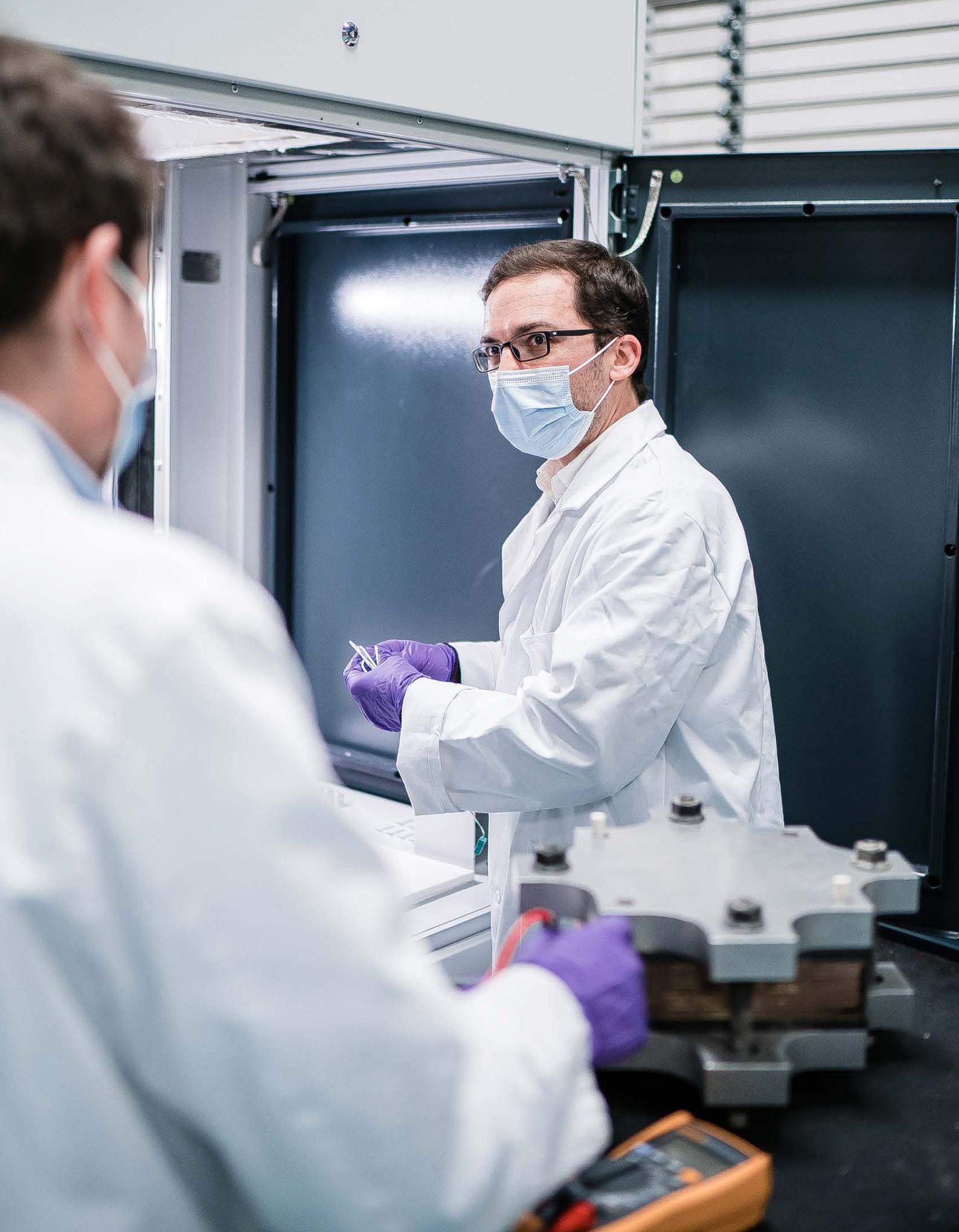


# RAPPORT D'ACTIVITÉ 2020





## É D I T O



François Legalland,  
Directeur du Liten

**L**a pandémie COVID-19 à laquelle le monde a dû faire face en 2020 et les crises sanitaires et économiques qui en ont découlé ont mis en évidence le rôle majeur de la recherche et de l'innovation pour relever les grands défis de notre société (enjeux climatiques, enjeux de souveraineté nationale). Dans ce contexte, l'augmentation du soutien des politiques publiques sur les filières d'avenir est au cœur des grandes annonces européennes et nationales pour relancer la croissance et renforcer la souveraineté technologique. Le plan de relance français de 7,2 milliards d'euros pour la filière hydrogène d'ici 2030 ou encore le lancement des IPCEI Batteries et Hydrogène en Europe en sont d'excellentes illustrations. Dans cette optique, et dans un contexte de très forte croissance des énergies renouvelables et d'amélioration continue de leur compétitivité, le Liten confirme sa place parmi les instituts de référence de la recherche technologique sur les nouvelles technologies de l'énergie, et se positionne comme un acteur incontournable de la réindustrialisation de la France dans son objectif de neutralité carbone.

Les équipes du Liten disposent d'une expertise reconnue sur l'ensemble des vecteurs énergétiques (électriques, thermiques et gaz) de leur production à leur utilisation en passant par leur transport, leur conversion et leur stockage. Nous continuons également à démontrer notre capacité à développer des innovations de rupture comme la technologie PV à hétérojonction, les batteries tout solide ou l'électrolyse haute température, et notre approche de maîtriser et d'innover tout au long de la chaîne de la valeur - des matériaux, aux systèmes, en passant par les composants et les équipements - continue à montrer sa pertinence et son intérêt pour nos partenaires d'innovation.

Ce document met en lumière nos résultats marquants de 2020, et montre qu'à travers l'aspect différentiant de nos développements et notre capacité à les amener au bon niveau de maturité technologique, nous proposons à nos partenaires industriels des innovations majeures pour répondre à leurs enjeux.

## S O M M A I R E

4 > 7

### LE LITEN

UN ACTEUR MAJEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE . . . . .	4
ACTEUR DE L'INSTITUT CARNOT	
ÉNERGIES DU FUTUR. . . . .	5
LE LITEN, VOTRE PARTENAIRE DE R&D PRIVILÉGIÉ . . . . .	6
SÉCURISER VOTRE PROJET D'INNOVATION	
AVEC EASYPOC . . . . .	7

8 > 13

### PRODUCTION D'ÉNERGIES RENOUVELABLES

PV À HAUTE PERFORMANCE . . . . .	9
NOUVELLES GÉNÉRATIONS PV	11
DÉPLOIEMENT DU PV	12
PV POUR LE SPATIAL . . . . .	13

14 > 23

### STOCKAGE ET SOLUTIONS DE FLEXIBILITÉ

BATTERIES DU FUTUR . . . . .	15
CARACTÉRISATION ET MODÉLISATION DES BATTERIES . . . . .	16
GESTION THERMIQUE DES BATTERIES . . . . .	17
STRATÉGIE EUROPÉENNE H <sub>2</sub> ET BATTERIES . . . . .	18
ÉLECTROLYSE À HAUTE TEMPÉRATURE . . . . .	20
PRODUCTION ET TRANSPORT D'HYDROGÈNE . . . . .	21
PILE PEMFC . . . . .	22

24 > 27

### SYSTÈMES, RÉSEAUX ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Outils numériques . . . . .	25
PILOTAGE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES . . . . .	26

28 > 35

### ÉCONOMIE CIRCULAIRE

ÉCO-INNOVATION . . . . .	29
RECYCLAGE . . . . .	30
COMPOSANTS MAGNÉTIQUES . . . . .	31
SÉCURITÉ DES PROCÉDÉS . . . . .	32
ÉLECTRONIQUE STRUCTURELLE . . . . .	33
FABRICATION ADDITIVE . . . . .	34
ÉCONOMIE CIRCULAIRE DU CARBONE . . . . .	35

36 > 39

### PLATEFORMES NUMÉRIQUES ET TECHNOLOGIQUES

# LE LITEN, ACTEUR MAJEUR DE

**L**e CEA-Liten, membre de l’Institut Carnot Énergies du futur, implanté sur les centres du CEA-Grenoble et d’INES (Chambéry), est dédié à la transition énergétique. Ses activités se concentrent sur plusieurs domaines clés : l’énergie solaire, le pilotage des réseaux, le stockage dont les batteries et l’hydrogène dans une logique d’efficacité énergétique et d’économie circulaire. Il adresse de nombreuses applications dans les marchés de la production et la distribution d’énergie, des transports, des procédés industriels, et de l’environnement.

Fort de son positionnement au sein du CEA, le Liten est devenu en 15 ans un acteur majeur de la recherche technologique en développant des solutions complémentaires, compétitives et plus respectueuses de l’environnement afin de déployer une stratégie énergétique multi-vecteurs, multi-échelles et multi-temporalités.

[www.liten.cea.fr](http://www.liten.cea.fr)

Dans cette perspective, nos axes de recherche principaux se concentrent sur :

- Développer des composants solaires photovoltaïques à haute performance, les intégrer dans des systèmes innovants et compétitifs
- Imaginer et mettre au point les futures générations de batteries alliant performance, sécurité et durabilité
- Concevoir des technologies de production, stockage, transport et conversion pour le déploiement de la filière hydrogène
- Concevoir et exploiter des outils numériques pour dimensionner et piloter de manière optimale les systèmes et réseaux d’énergie - électricité, gaz et chaleur
- Développer des composants pour la gestion de l’énergie électrique (convertisseurs de puissance) et de l’énergie thermique (génération, conversion et stockage)
- Intégrer les principes de l’économie circulaire « réduire, réutiliser, recycler » à l’ensemble de nos développements afin de réduire l’empreinte de la transition énergétique sur les matières premières
- Développer des technologies de conversion du CO<sub>2</sub> et de ressources carbonées en produits synthétiques d’intérêt pour l’énergie ou la chimie

Pour mener à bien ses missions, l’institut s’appuie sur ses 13 plateformes technologiques, son portefeuille de plus de 1750 brevets, et mobilise l’expertise d’un millier de chercheurs, techniciens et équipes supports.

## CHIFFRES-CLÉS



1000  
EMPLOYÉS



150  
DOCTORANTS  
ET POST-DOCS



BUDGET :  
140 MILLIONS  
D’EUROS



210 BREVETS  
ET 200  
PUBLICATIONS  
EN 2020



PLUS DE  
200 PARTENAIRES  
INDUSTRIELS

# LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

## UNE QUATRIÈME LABELLISATION DU CARNOT ÉNERGIES DU FUTUR EN 2020

En 2020, le Liten a obtenu **le renouvellement du label Carnot**, attribué par le MESRI. Ce label d'excellence, soumis à évaluation tous les 4 ans, est engageant et vise à renforcer les partenariats directs entre des laboratoires de recherche et l'industrie et anticiper les évolutions technologiques en développant les actions de ressourcement scientifique à l'origine des innovations futures.

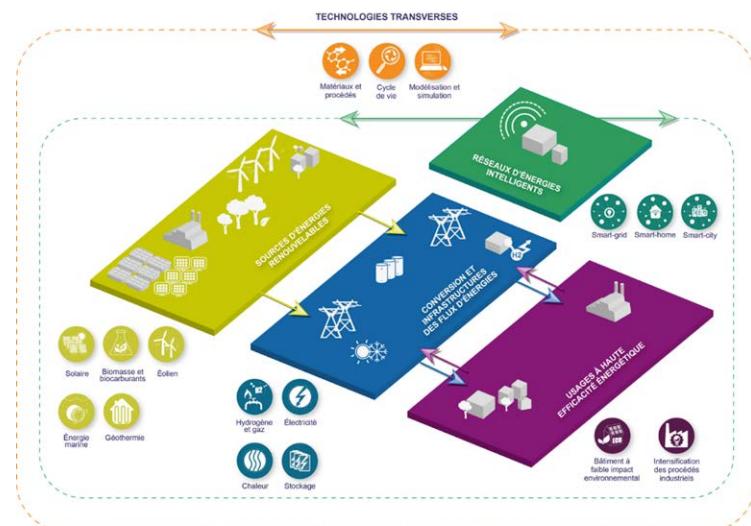
Carnot Énergies du futur réunit le Liten à dix laboratoires académiques pour proposer une offre d'innovation élargie sur l'échelle de maturité technologique et une visibilité renforcée. Les moyens complémentaires du label Carnot sont un véritable bras de levier depuis plus de 12 ans pour maintenir notre socle technologique et développer nos actions de ressourcement scientifique, garantissant ainsi dans la durée le niveau d'innovation et d'exigence pour être un acteur majeur des énergies du futur.



Pour en savoir plus : [www.energiesdufutur.fr](http://www.energiesdufutur.fr)

### Rencontres ECOTECH Énergie

Le Liten a co-organisé en tant que Carnot Énergies du futur avec les autres Carnot EnergICs de la filière des Énergies bas-Carbone, en collaboration avec le PEPE (association des PME et ETI engagées dans la transition écologique) et le comité stratégique de filière des Nouveaux Systèmes Énergétiques, la journée de rencontre « Ecotech énergie » le 15 décembre 2020. Des présentations, des échanges, des rendez-vous ont eu lieu entre les organisations, les entreprises, toutes engagées dans l'accélération de la transition écologique et énergétique. Ce réseau permet de contribuer efficacement à la construction de l'excellence de la filière française des entreprises du domaine.



Carnot EnergICs : une large palette de thématiques couvrant toute la chaîne énergétique.

# LE LITEN, VOTRE PARTENAIRE

En 2020, le Liten a collaboré avec plus de 200 partenaires industriels. Les relations de confiance établies ont permis de poursuivre les collaborations engagées et en lancer de nouvelles, toutes avec un objectif d'innovation et d'accélération sur les filières d'avenir pour répondre aux grands enjeux de notre société.



## *DES PROJETS SUR MESURE, HAUTE VALEUR AJOUTÉE POUR LES INDUSTRIELS*

### **L'INNOVATION AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT D'ACTIVITÉS :**

- Le Liten a acquis une **expérience approfondie multi secteur** (transport, énergie, industrie, environnement...) tant en France qu'à l'international
- Notre **approche intégrée** (du composant au système) permet de focaliser sur votre centre d'intérêt tout en étant pertinent dans la chaîne de valeur globale

### **GAGNER DU TEMPS**

- **Accélérer les phases de développement et d'industrialisation :** un accès immédiat à l'expertise acquise par le Liten, et au portefeuille brevets disponible pour lever des verrous techniques

- **Concrétiser des idées en innovations :** réaliser des preuves de concept, disposer de prototypes fonctionnels

- **Monter en compétences** rapidement par transfert de savoir-faire, outils

### **SÉCURISER ET EXPLOITER SA R&D**

- **Confidentialité assurée**
- **Exploitation exclusive possible** des résultats sur le domaine/produit
- **Benchmark et analyse de marché** avant le lancement des études de R&D

# DE R&D PRIVILÉGIÉ

## SÉCURISER VOTRE PROJET D'INNOVATION AVEC EASYPOC EN RÉGION AURA

**EasyPOC** est un programme à destination des entreprises (<2 000 pers.) de tous secteurs d'activité souhaitant intégrer de l'innovation technologique. Il a pour objectif de sécuriser votre processus d'innovation à fort contenu technologique en **finançant l'étape de preuve de concept**.

Il s'appuie sur l'expertise du CEA dans les technologies clés génériques pour les domaines du **numérique, de la santé et de l'énergie**. Ce programme est financé à 100% par la Région Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) et opéré par le CEA. Ce programme lancé en 2020 a permis à 17 sociétés partenaires du CEA-Liten de bénéficier de ce dispositif. Après une étude de faisabilité afin d'identifier les verrous technologiques à lever, les projets ont pour objectif de réaliser une preuve de concept, afin de tester la pertinence de la brique technologique dans l'application visée et ainsi sécuriser la première étape du processus d'innovation.

**“** Le Groupe GRIMS, PME constituée de deux fonderies Gravitec et FTB, développe le procédé innovant

Néo LATTICE® en mousse métalliques régulières. Dans le cadre d'EasyPOC, nous avons conçu avec le CEA un démonstrateur de stockage thermique hypercompact à base de MCP\* bio-sourcés intégrant notre concept Néo LATTICE®. Grâce à ce projet, nous souhaitons évoluer vers un rôle d'équipementier et élargir ainsi notre offre vers les marchés des réseaux de chaleur urbains, bâtiment tertiaire, habitat, logements isolés.

\*MCP Matériaux à Changement de Phase

**Cyrille GRIMAUD,**  
Président du Groupe GRIMS

**GRIMS**  
GROUPE  
FONDEURS D'INNOVATION

**“** Alliance Concept est une PME française fondée en 1991, innovante, leader international des équipements de dépôts de couches minces sous vide. La collaboration avec le CEA sur les procédés Photovoltaïques Pérovskites est une opportunité pour nous, avec un partenaire local au quotidien. Le projet nous permet de mieux comprendre les évolutions technologiques, d'anticiper les futurs procédés et matériaux et de renforcer notre innovation pour le marché du Photovoltaïque.

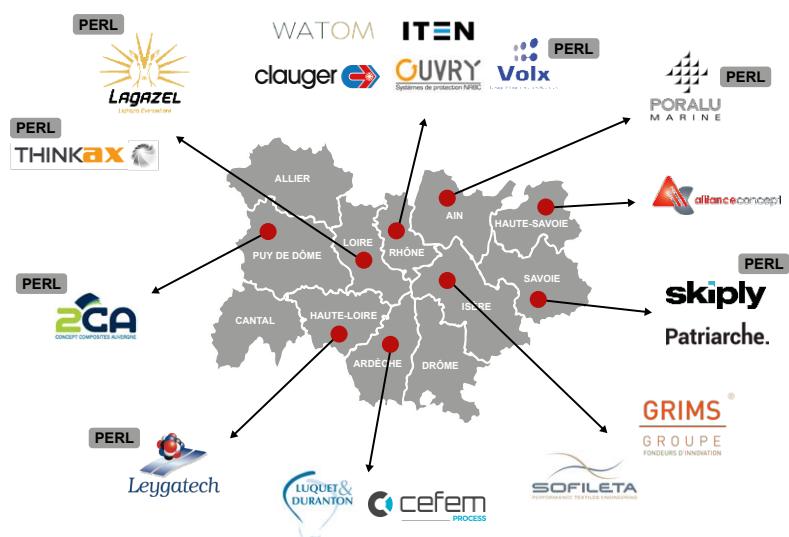
**Gaël DUCRET,**  
CEO d'Alliance Concept

 **allianceconcept**

**“** Crée en 1898 en Ardèche, et spécialisée dans les consommables médicaux et administratifs, Luquet & Duranton est une PME toujours en quête d'innovation et de nouvelles fonctionnalités pour ses produits. Ce projet avec le CEA sur l'électronique imprimée est une formidable occasion pour nous d'apporter des éléments technologiques différentiateurs, et de faire ainsi évoluer nos produits avec des solutions intelligentes et communicantes.

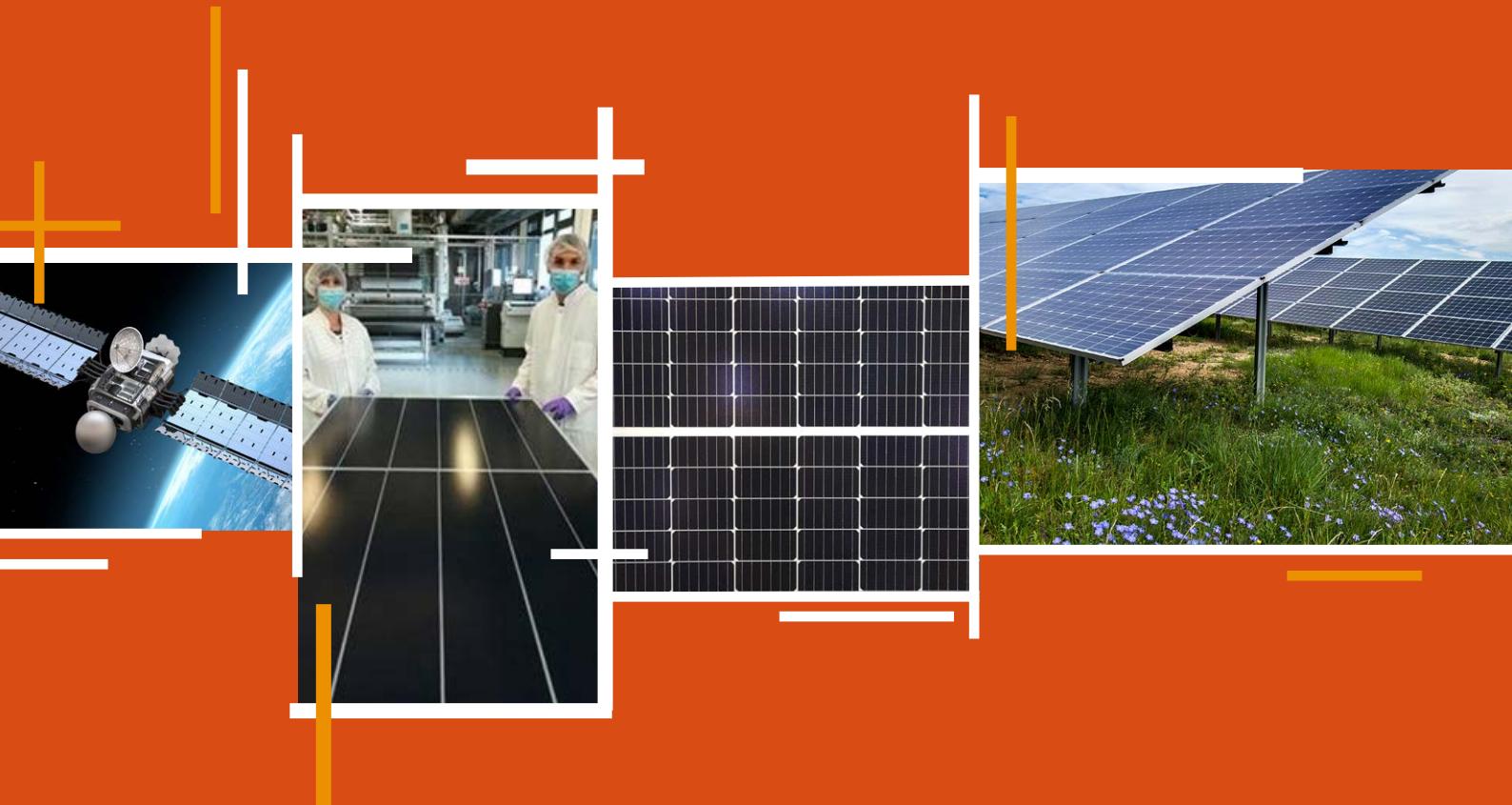
**Max Braha-Lonchant,**  
Co président du groupe  
LUQUET DURANTON

  
**LUQUET & DURANTON**  
LITEN RAPPORT D'ACTIVITÉ 7



## PRODUCTION D'ÉNERGIES RENOUVELABLES

LE LITEN COUVRE L'ENSEMBLE DE LA CHAÎNE DE LA VALEUR DES COMPOSANTS PHOTOVOLTAÏQUES. IL UTILISE DES ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS POUR ATTEINDRE DES RENDEMENTS DE 25 % SUR SILICIUM ET À TERME DÉPASSER LES 30% AVEC LES TECHNOLOGIES DITES TANDEM. AU-DELÀ DU COMPOSANT, DES ARCHITECTURES SYSTÈMES INNOVANTES SONT DÉVELOPPÉES POUR AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ DES CENTRALES AU SOL MAIS ÉGALEMENT POUR GÉNÉRALISER LE SOLAIRE DANS L'HABITAT, LES ZONES INDUSTRIELLES ET LE LONG DES VOIES DE COMMUNICATION.

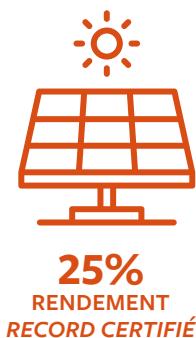


## DES CELLULES À HÉTÉROJONCTION À 25% DE RENDEMENT

En collaboration avec Enel Green Power, le Liten a obtenu un rendement record certifié de 25% pour des cellules photovoltaïques à hétérojonction. Ces dernières ont été produites sur des plaques de silicium au format M2 sur la ligne pilote industrielle du CEA à l'INES. Ce résultat est d'autant plus marquant qu'il a été obtenu en utilisant des procédés et des couches représentatifs d'un environnement industriel pour la fabrication de cellules PV.

La mesure a été réalisée sur une cellule de 212,84 cm<sup>2</sup> (plus précisément une cellule de 244,33 cm<sup>2</sup> dont les bords

ont été masqués). Prochains défis : obtenir les mêmes résultats sur le site industriel de Enel Green Power à Catane, et atteindre 25% de rendement de conversion, voire plus, sur une surface totale de 244,33 cm<sup>2</sup>. |



## ENEL GREEN POWER MISE SUR L'HÉTÉROJONCTION

ENEL Green Power a inauguré dans son usine 3SUN à Catane la toute première ligne de production industrielle en Europe de panneaux photovoltaïques bifaces à hétérojonction, technologie développée en collaboration avec le Liten à l'INES. Celle-ci produira environ 500 000 panneaux (200 MW) par an. |

## PASSAGE AU FORMAT M6

Afin de s'adapter à l'augmentation importante de la taille des wafers dans l'industrie PV tout en garantissant un haut rendement, le Liten a intégré des wafers M6 sur la plateforme LABFAB pour les nouvelles générations de cellules à hétérojonction. Ces cellules ont permis la fabrication d'un module 120 ½ cellules de près de 365 W, avec un ratio Cell to Module de 102%. |



## PRÉPARER LES CELLULES SOLAIRES À CONTACTS PASSIVÉS POUR L'INDUSTRIALISATION

Un rendement de conversion de 23% a été atteint pour une cellule photovoltaïque à contacts passivés poly-silicium sur oxyde de grande taille (244,3 cm<sup>2</sup>). Ces résultats, certifiés par le CalTeC, ont été obtenus sur la plateforme développée par SEMCO Smartech sur le site de l'INES pour la diffusion du bore et le dépôt LPCVD de polysilicium sur oxyde. Ils ont été présentés lors de la dernière conférence EU-PVSEC en septembre 2020. |



## UN PREMIER MODULE INNOVANT DE TYPE SHINGLE

Un premier module Shingle de taille industrielle a été réalisé avec des cellules solaires bifaciales à hétérojonction, fabriquées au LabFab du CEA à l'INES. Ce type de module, dont les cellules sont interconnectées en se chevauchant, formant ainsi une sorte d'escalier, permet d'optimiser le remplissage surfacique du module grâce à la suppression des rubans métalliques qui connectent habituellement les cellules entre elles, mais également de l'espace inter-cellule.

Le gain de surface active qui en résulte (environ 8%), lui permet d'atteindre, avec des cellules de qualité standard, des puissances supérieures à un module classique de même dimension doté de cellules records. Et ce, avec une excellente fiabilité. Enfin, l'assemblage Shingle améliore fortement l'aspect esthétique du module et permet d'envisager des applications dans le bâtiment ou l'automobile. |



## DES MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DES MODULES PARMI LES PLUS FIABLES AU MONDE



La caractérisation des modules PV est un préalable indispensable à la commercialisation pour garantir leur bonne tenue dans le temps. La fiabilité des mesures et méthodes de caractérisation des modules photovoltaïques bifaciaux du Liten a été testée dans le cadre d'un projet regroupant 25 laboratoires internationaux. Les résultats montrent qu'elle s'avère à la hauteur de celle des instituts certificateurs reconnus au niveau mondial.

Par ailleurs, afin de s'assurer de la fiabilité de ses modules HET, le Liten a mené des campagnes de tests de vieillissement accélérés selon la norme IEC 61215. Les modules ont été soumis à des essais (humidité, chaleur, UV, et combiné) 3 à 4 fois plus sévères que ceux imposés par cette norme. Aucun de ces essais n'a provoqué de dégradations au-delà des pertes admises durant les tests IEC (<5%). |

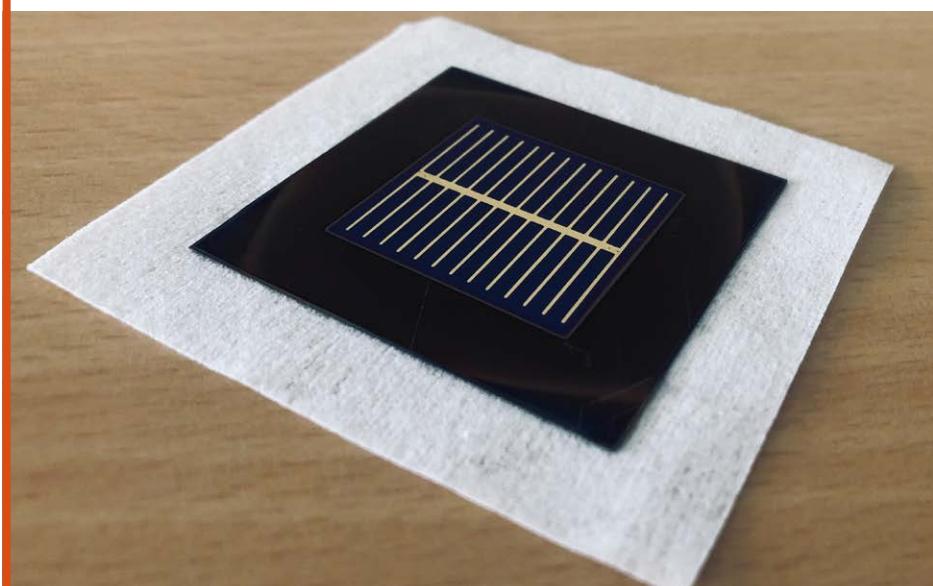
## LE TANDEM PÉROVSKITE/SILICIUM : L'AVENIR DU PHOTOVOLTAÏQUE ?

**“**Sur le site de l'INES, nous œuvrons pour la transition énergétique en développant le photovoltaïque, et en particulier la technologie des cellules tandem silicium/pérovskite. Cette dernière consiste à superposer deux matériaux différents pour mieux convertir le rayonnement solaire. Notamment les pérovskites, qui sont un type de matériau très prometteur car elles présentent des propriétés optoélectroniques remarquables et sont relativement faciles à fabriquer.

Nous les superposons sur des cellules silicium à hétérojonction que nous maîtrisons bien au laboratoire. Ce type de tandem a le potentiel d'atteindre des performances bien plus élevées que la technologie silicium existante, avec des surcoûts limités. Toutes ces raisons font que de nombreux experts estiment que les tandems pérovskite/silicium seront l'avenir de l'industrie photovoltaïque. En 2020, nous avons atteint des rendements de conversion de plus de 23% sur des tailles de cellules intéressantes. Nous espérons transférer rapidement nos développements à l'industrie. » **|**



**Olivier DUPRÉ,**  
Chercheur au Laboratoire  
des Cellules Tandem



### VERS UNE CELLULE PV PÉROVSKITE À HAUT RENDEMENT

L'IPVF et le CEA unissent leurs forces pour développer des cellules associant les matériaux pérovskites à la technologie d'hétérojonction de silicium afin de créer un dispositif tandem à haut rendement, transférable à l'échelle industrielle. Ils espèrent ainsi accélérer le développement d'une technologie qui doit permettre d'atteindre 30% de rendement. |

## RENDEMENT RECORD POUR DE PETITES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES ORGANIQUES

Les équipes de recherche de Toyobo et du Liten à l'INES, ont réussi à fabriquer des petites cellules photovoltaïques organiques (PVO) sur substrat de verre présentant le meilleur rendement de conversion au monde avec une luminosité limitée. Pour cela, Toyobo a développé

un matériau spécialement formulé pour produire une puissance électrique élevée à partir de faibles sources lumineuses. Sous un faible éclairage au néon de 220 lux, un rendement de conversion d'environ 25% a été obtenu. Sur un substrat de film PET d'une surface effective de

18 cm<sup>2</sup>, le module a été capable de produire environ 130 microwatts dans les mêmes conditions d'éclairage. Ce matériau pourrait être utilisé comme source d'énergie pour les capteurs de température-humidité et de mouvement. |

## VERS LA GÉNÉRALISATION DES CENTRALES PV LINÉAIRES

**FF** Pour faire face à la raréfaction des terrains disponibles pour les centrales PV conventionnelles, la filière s'oriente vers des centrales PV linéaires qui pourront couvrir des dizaines de kilomètres. En France, le potentiel en voies ferrées, fluviales, et en autoroutes est de plusieurs dizaines de milliers de km !

Au CEA, nous développons des outils permettant d'optimiser l'architecture de ce type de structure par une approche technico-économique. L'objectif est de réduire les pertes énergétiques que l'on aurait avec les principes de conception actuels. L'une des voies d'amélioration est la montée en tension des installations, pour atteindre plusieurs milliers de volts.

L'absence de verrou technique ainsi que l'intérêt grandissant des industriels devraient permettre de franchir ce cap à moyen terme. » |



**Hervé COLIN**  
Chercheur au Laboratoire  
Systèmes PV Appliqués

## DES KITS DE RÉNOVATION PRÊTS À L'EMPLOI

Une solution de rénovation rapide de maisons d'habitation avec des éléments de façade et de toiture pré-fabriqués a été testée sur les maisons expérimentales INCAS de l'INES. Ces éléments sont, selon les besoins, dotés de fenêtres, de parements de façade et de panneaux solaires PV. L'aspect esthétique de ces derniers est également travaillé au laboratoire, où plusieurs solutions sont étudiées : verres imprimés, verres comportant une couche mince filtrante en surface et films de résine encapsulante imprimés par sérigraphie.

Parallèlement, tout ce qui est chauffage, climatisation et eau chaude sanitaire



est intégré dans un cabanon accolé à la maison. Dans le cadre de ce projet, une maison a été équipée de 19 panneaux photovoltaïques en façade et en toiture, représentant une puissance totale d'environ 6 kWc sur une surface de 31 m<sup>2</sup>. |

Ces études ont été menées dans le cadre de l'ITE INES.2S, financé avec l'aide de l'Etat français au titre du Programme d'Investissements d'Avenir (ANR-10-IEED-0014-01), et avec le soutien de l'ADEME dans le cadre du projet ESOPE (convention 1882C0020).

## ÉVALUER LE NETTOYAGE DES PANNEAUX SOLAIRES

Le Liten a développé et mis en service un équipement unique en son genre, permettant de tester une grande diversité de procédés de nettoyage à sec ou humide des panneaux solaires. Il est également utilisable pour reproduire des événements naturels comme par exemple la rosée, les averses ou les pluies torrentielles plus ou moins polluées par des minéraux ou autres particules. |

## LA ROUTE SOLAIRE DÉVELOPPE DE NOUVELLES FONCTIONS

La collaboration entre le groupe COLAS et le Liten à l'INES a franchi de nouvelles étapes en 2020 avec la commercialisation du Wattway Pack, ainsi qu'avec le transfert du procédé de fabrication des dalles LED de signalisation Flowell à l'industriel qui en sera le fabricant pour le compte de COLAS. |

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'ITE INES.2S financé avec l'aide de l'Etat français au titre du Programme d'Investissements d'Avenir (ANR-10-IEED-0014-01).

## LE LITEN, ACTEUR DES TECHNOLOGIES SOLAIRES POUR LE SPATIAL

Avec l'arrivée des acteurs privés sur le marché du spatial, les satellites et leurs procédés de fabrication sont en pleine mutation. Depuis 2016, le Liten à l'INES renforce ses activités de recherche pour le spatial en développant des solutions photovoltaïques intégrées visant à diminuer la masse spécifique (Kg/W) et l'encombrement des modules pliés, tout en préservant un coût acceptable pour

l'industrie. Ces solutions s'appuient sur les modèles et les méthodes de production issues des applications PV terrestres afin de répondre à une demande de productivité élevée. Des moyens de caractérisation sont déployés pour évaluer les performances des panneaux solaires et proposer des solutions de qualification innovantes et facilement intégrables dans des lignes de production.

Ces nouvelles solutions photovoltaïques devant supporter des contraintes environnementales sévères, le laboratoire vient d'acquérir des enceintes thermiques, présentant une large plage de température de -180°C à +150°C sous atmosphère, et de -120°C à +120°C sous vide. Ces équipements viennent compléter les machines de fabrication de la plateforme Modules. |



### DES PANNEAUX PV FLEXIBLES POUR APPLICATIONS SPATIALES HAUTE PUISSANCE

Réunissant 8 partenaires, le projet ALFAMA se penche sur l'électrification des missions spatiales, qui nécessitent une puissance électrique supérieure à 25 kW tout en présentant des contraintes fortes en termes de volume disponible. Il ambitionne de proposer une technologie de panneaux solaires flexibles, présentant une augmentation du rapport puissance/masse de plus de 50%, une réduction des coûts grâce à un processus d'assemblage issu du photovoltaïque terrestre et une densité de puissance multipliée par quatre.

Les chercheurs du CEA à l'INES travaillent sur le substrat imprimé, la composition et le procédé de fabrication des panneaux flexibles. En fin de projet, les prototypes de panneaux solaires grande échelle fabriqués par le CEA avec les nouvelles cellules III-V des partenaires seront intégrés sur une structure de déploiement. |

## STOCKAGE ET SOLUTIONS DE FLEXIBILITÉ

LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE EST UN ENJEU MAJEUR, NOTAMMENT POUR ACCOMPAGNER L'ESSOR DES ÉNERGIES RENOUVELABLES INTERMITTENTES, ET POUR DÉCARBONER LE SECTEUR DU TRANSPORT. LE LITEN TRAVAILLE SUR DEUX SOLUTIONS PRINCIPALES : LES BATTERIES ET LE VECTEUR HYDROGÈNE. NOS DÉVELOPPEMENTS SUR LES BATTERIES RÉPONDENT AUX DEMANDES DE DENSITÉ D'ÉNERGIE CROISSANTE TOUT EN GARANTISSANT LEUR FIABILITÉ ET LEUR SÉCURITÉ. CONCERNANT LE VECTEUR HYDROGÈNE, LE LITEN A UNE APPROCHE GLOBALE, DE LA PRODUCTION PAR ÉLECTROLYSE À HAUTE TEMPÉRATURE, AU STOCKAGE ET TRANSPORT, JUSQU'À LA CONVERSION PAR DES PILES À COMBUSTIBLE.



# CAP SUR LES BATTERIES DU FUTUR !



## TROIS QUESTIONS À

**Séverine JOUANNEAU,**  
Chef du Département de l'Électricité  
et de l'Hydrogène pour les Transports  
(DEHT) du Liten.



“

**Comment se positionne le Liten en support de la filière batteries ?**

Le Liten s'inscrit dans une dynamique impulsée par la communauté européenne pour soutenir la filière batteries, en jouant un rôle de soutien en R&D pour les industriels sur toute la chaîne de valeur. Nous travaillons notamment sur l'amélioration des matériaux pour les électrodes, des procédés de fabrication, des électrolytes et des chimies, jusqu'à la mise en œuvre des technologies développées et leur évaluation sur des prototypes de cellules. Côté matériaux, nous cherchons, par exemple, à améliorer les composants lamellaires des électrodes positives afin de réduire la quantité de cobalt, et donc leur impact environnemental. Dans tous les cas, il s'agit de caractériser finement les phénomènes qui se produisent aux interfaces afin de les optimiser, ce qui est crucial pour les performances.

**Quels sont les résultats marquants de l'année 2020 qui servent la roadmap de développement ?**

En 2020, nous avons réussi à produire et à mettre en œuvre les premières électrodes par extrusion plutôt que par enduction ! Ce procédé permet de s'affranchir de l'utilisation de solvants toxiques et difficiles à retraiter. Nous avons été jusqu'à la réalisation de premières cellules et les tests de leurs performances laissent entrevoir des résultats à la hauteur des attentes. Côté matériaux, nous avons identifié plusieurs pistes de travail pour développer des électrolytes hybrides voire solides. Par rapport aux électrolytes liquides actuels, ils permettent de concevoir des cellules beaucoup plus compactes et plus sûres. Enfin, concernant les électrodes, nous avons amélioré les performances des matériaux existants et sélectionné ceux qui seront intégrés dans les premières batteries de 3<sup>e</sup> génération qui sortiront des usines françaises en 2023-2024.

**Quels sont les défis et les enjeux à venir ?**

La 3<sup>e</sup> génération de batteries lithium-ion étant à peu près prête, nous allons concentrer nos efforts sur la suivante. Nous avons déjà identifié des électrolytes candidats : il faut maintenant sélectionner et mettre en œuvre celui ou ceux qui permettront d'atteindre les performances industrielles visées. Quelques verrous restent à lever, comme la maîtrise des interfaces au sein d'une batterie « tout solide », pour maintenir de bonnes conductions ionique et électronique. Parallèlement, nous avons en ligne de mire la 5<sup>e</sup> génération de batteries et même au-delà. Nous travaillons, par exemple, sur des technologies en rupture comme la chimie lithium-soufre qui permettrait de passer encore un gap en termes de performances. Enfin, la prise en compte, désormais indispensable, des impacts environnementaux, du cycle de vie et du recyclage de ces produits, orientera les recherches et développements futurs, dès le choix des composants et des procédés comme de la conception même des prochaines générations de batteries. |



## SIMULER LES TRANSITIONS DE PHASES AU SEIN DU GRAPHITE



**Marion CHANDESRIS,**  
Chercheuse au Laboratoire  
Modélisation multi-échelle  
et suivi de Performance

**Au Liten, nous avons mis au point des outils de simulation des transitions de phases au sein du graphite, matériau actif contenu dans la majorité des batteries lithium-ion. Le graphite est constitué de plans de graphène entre lesquels le lithium vient s'insérer, un peu comme sur des étagères. Le lithium s'ordonne sur ces étagères en en remplaçant une sur quatre, sur trois, ou sur deux, et en formant des sortes d'îlots. Selon sa concentration, le lithium force en outre ces étagères à se décaler les unes par rapport aux autres. C'est cette dynamique que nous avons récemment réussi à simuler en introduisant des paramètres d'ordre dans nos équations.**

*Aujourd'hui, nous poursuivons la validation de nos outils de simulation multi-phénomène en les comparant à des données électrochimiques, mais également à des données structurales operando obtenues à l'ESRF. Prédire et simuler la dynamique de ces transitions de phases est crucial : cela permettra de modifier les propriétés de ces matériaux de façon à pouvoir recharger la batterie plus rapidement, en toute sécurité. » |*



## SIMULER FINEMENT LA PHYSIQUE DES BATTERIES LITHIUM-ION

Le CEA a lancé un programme scientifique d'ampleur sur la «Simulation multi-échelle des batteries appliquée aux matériaux d'électrode», visant à accélérer le développement de la technologie des batteries Li-ion avec une approche de simulation plus prédictive, basée sur un fort couplage entre modélisation physique et caractérisation expérimentale. Avec ce programme transverse, le CEA souhaite démultiplier les opportunités de R&D au niveau national et européen. |

## LA MICROSTRUCTURE DES ÉLECTRODES SE RÉVÈLE

Les électrodes des batteries sont constituées d'un milieu granuleux et poreux dans lequel circule l'électrolyte. Pour améliorer le fonctionnement de la batterie, il est nécessaire de caractériser la microstructure des électrodes en 3D. Or, les images obtenues par microscopie classique ne permettent pas de distinguer les grains des porosités.

Dans le cadre du projet Carnot CARMA Énergie, le Liten a développé un processus de segmentation des images 3D adapté aux volumes acquis sur les électrodes négatives de batterie en FIB-SEM 3D. L'utilisation combinée des images obtenues par deux détecteurs différents et leur analyse par un algorithme d'intelligence artificielle a permis de classifier correctement chaque pixel. |

# UN MODÈLE GLOBAL POUR SIMULER LE COMPORTEMENT THERMIQUE D'UN PACK BATTERIE COMPLEXE

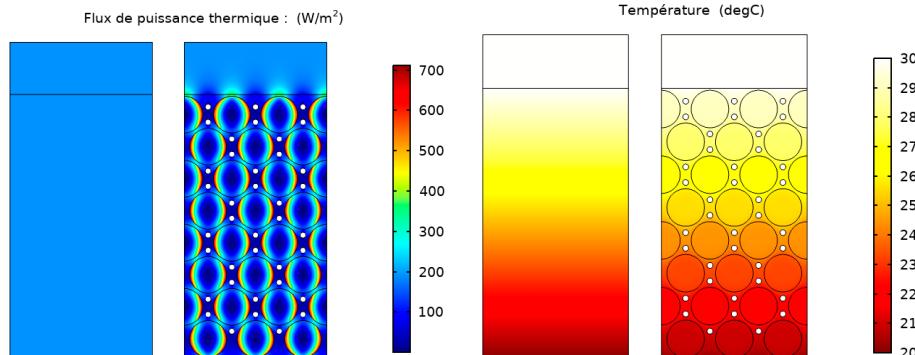
Comment évaluer rapidement le comportement thermique d'un pack batterie complexe constitué de plus de 5000 pièces différentes, incluant une matrice de matériaux à changement de phase ? Plutôt que de simuler le comportement de chacun des types de pièces individuellement, les chercheurs du Liten ont mis au point un modèle « poreux » équivalent. Ce dernier reproduit le comportement d'un matériau corres-

pondant à l'ensemble constitué par les cellules et les autres composants, baignés dans l'environnement de fonctionnement prévu.

Ce modèle permettra d'évaluer le comportement thermique du pack dans différentes conditions environnementales et différentes phases de fonctionnement, et de s'assurer que les préconisations d'utilisation des cellules batterie seront respectées. |

## MIEUX MAÎTRISER L'EMBALLEMENT THERMIQUE DES MODULES-TESTS

Pour étudier le risque de propagation de l'emballage thermique au sein des modules de batteries lithium, il est nécessaire de réussir à provoquer l'événement de manière reproductible. Pour cela, une cellule « gâchette » est placée au sein du module, depuis laquelle l'emballage est déclenché et se propage au reste du dispositif. Parmi les méthodes de déclenchement étudiées, celle du fil chauffant a été retenue. Elle permet de faire monter la température de la cellule gâchette à plus de 200°C, tout en maintenant celle des cellules alentour à 50°C. Cette meilleure maîtrise du déclenchement de l'emballage thermique de la cellule gâchette va permettre d'étudier et de simuler la propagation thermique aux autres cellules cibles du module. La meilleure reproductibilité des essais permettra de fiabiliser les données pour le dimensionnement et la validation des batteries. |



## REFROIDIR LES BATTERIES PLUS EFFICACEMENT



Dans le cadre du projet Carnot REDBAT, le Liten étudie un système de refroidissement par fluide diphasique des batteries lithium-ion de puissance. Une boucle d'essai a été mise au point pour caractériser l'écoulement typique entre des cellules d'un pack batterie baignant dans un fluide isolant que fait circuler une pompe. L'originalité du dispositif repose essentiellement sur les propriétés du fluide utilisé, dont la température d'ébullition est assez

basse (65 °C environ). Dès que la température dépasse ce seuil critique, le fluide se vaporise au niveau du point chaud, favorisant localement une forte absorption de chaleur et de ce fait, un refroidissement ciblé et efficace. Les performances d'un tel système, actuellement en cours d'évaluation en laboratoire, seront comparées à celles des systèmes existants pour une utilisation dans les véhicules électriques. |

# LE LITEN AU CŒUR DE LA SUR L'HYDROGÈNE



**Simon Perraud,**  
Directeur adjoint du Liten



**Laurent Antoni,**  
Responsable des affaires publiques  
au Liten, technologies de l'hydrogène

## Quelle est la stratégie européenne sur l'hydrogène et les batteries ?

### **Simon Perraud:**

Décarboner notre économie est une priorité affirmée en Europe à la fois à travers le Green Deal et la nouvelle stratégie industrielle. Dans le secteur de la mobilité, l'hydrogène et les batteries sont deux solutions de décarbonation complémentaires, puisque les batteries vont plutôt adresser le transport léger sur courte et moyenne distance, et l'hydrogène le transport lourd et longue distance. Cette complémentarité se retrouve également pour répondre aux enjeux de flexibilité du réseau d'électricité, avec le stockage des énergies renouvelables intermittentes, où les batteries et l'hydrogène assurent respectivement le stockage de courte et longue durée. Enfin, l'hydrogène, en tant que vecteur d'énergie et matière première chimique, a sa carte à jouer pour la décarbonation de l'industrie (chimique, sidérurgique...).

### **Laurent Antoni:**

La Commission Européenne prône une transition vers la production d'hydrogène propre, ce qui demande une ambition forte en termes d'installations d'électrolyseurs à mettre en œuvre au niveau européen pour adresser les usages dont a parlé Simon. En plus de ces objectifs environnementaux de décarbonation, l'Europe montre également une réelle volonté de renforcer sa souveraineté d'un point de vue énergétique et économique.



# STRATÉGIE EUROPÉENNE ET LES BATTERIES



## Comment l'Europe la met-elle en œuvre ?

### **Laurent Antoni :**

Cette stratégie est mise en œuvre à différents niveaux par la création d'alliances européennes sur ces deux secteurs. Elles adressent d'une part les problématiques de développement industriel à travers la mise en place d'IPCEI, et œuvrent d'autre part à préparer l'avenir en cherchant à accentuer les efforts de R&D dans le cadre de Partenariats public-privé européens dans Horizon Europe, avec notamment la poursuite de la FCH 2 JU côté Hydrogène, dont le CEA est le premier bénéficiaire européen comme acteur de recherche.

### **Simon Perraud :**

Sur le volet industriel, deux IPCEI batteries de plusieurs milliards d'euros de financements publics et d'investissements privés ont déjà été lancés, et nous espérons que l'IPCEI hydrogène suivra la même trajectoire d'ici fin 2021. En tant qu'acteur de R&D reconnu en Europe, le CEA-Liten est à la gouvernance des deux associations qui représentent la partie privée des partenariats européens dans Horizon Europe (l'association Hydrogen Europe Research pour le partenariat sur l'hydrogène, et l'association BEPA pour celui sur les batteries).

## Sur le plan national ?

### **Laurent Antoni :**

La stratégie nationale hydrogène annoncée en septembre 2020 avec 7,2 milliards d'euros d'ici 2030 place la France aux premiers rangs des acteurs européens pour le développement de la filière industrielle hydrogène. Plusieurs outils de financement ont été déployés dans ce cadre : la contribution à l'IPCEI à hauteur de 1,5 milliard, les appels à projets ADEME dans lesquels le CEA soutiendra les industriels français dans le développement de briques technologiques innovantes, et enfin le lancement du Programme et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR) hydrogène. En tant que copilotes de ce programme, le CEA et le CNRS sont attendus pour « préparer l'avenir », d'une part via la formation, et d'autre part via la recherche pour le développement de technologies de rupture.

### **Simon Perraud :**

Pour conclure, l'ensemble de ces dispositifs permet au Liten d'amplifier ses partenariats, et le transfert de ses technologies innovantes vers l'industrie. L'actualité récente autour des partenariats avec Symbio, Genvia, et des acteurs industriels des batteries en sont un parfait exemple.





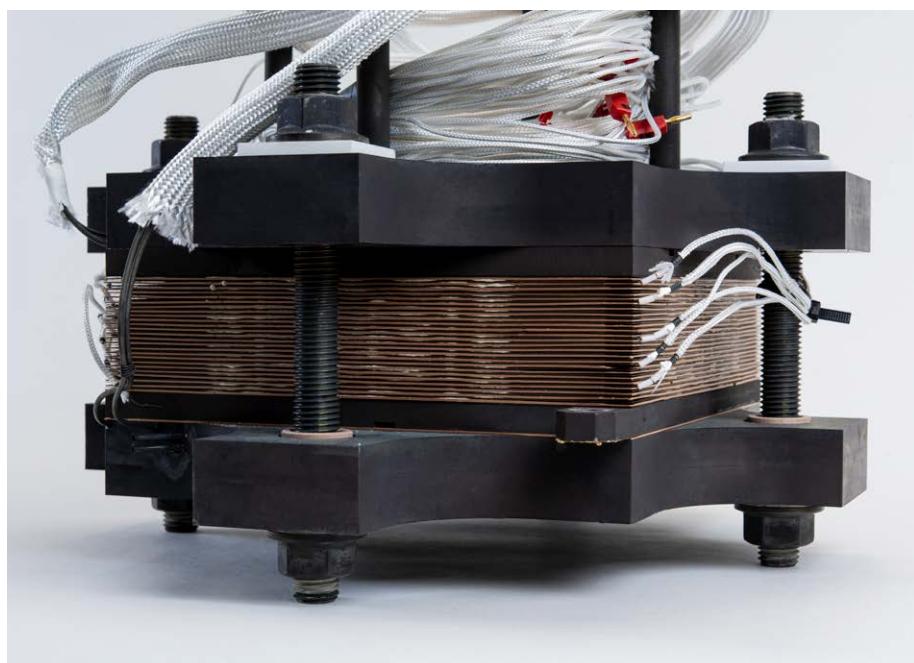
## RENDRE L'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ COMPÉTITIF D'ICI 10 ANS



**La technologie d'électrolyse haute température développée au Liten depuis plus de 15 ans sera commercialisée par la toute nouvelle co-entreprise Genvia, créée en mars 2021 par le CEA, Schlumberger, Vinci, Vicat et l'AREC.**

Le Liten s'intéresse de longue date à la production décarbonée d'hydrogène par électrolyse à haute température (EHT). Et pour cause, l'hydrogène vert, grâce à sa capacité de stockage à long terme, est considéré comme un vecteur énergétique local de stabilisation et de flexibilité du réseau électrique. Fort de ses 15 années de R&D, l'institut a développé un électrolyseur haute température offrant des rendements de conversion supérieurs de 15 ou 20 points par rapport aux technologies existantes alcalines ou PEM (Proton Exchange Membrane). Cette technologie EHT présente plusieurs atouts : outre son rendement élevé, elle est réversible (autrement dit l'électrolyseur peut devenir une pile à combustible), et elle peut permettre d'électrolyser du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Le Liten, qui détient plus de 40 brevets sur son électrolyseur, entend désormais passer à la vitesse supérieure en développant des stacks et des modules plus gros, plus performants, pour baisser les coûts, et préparer les générations suivantes.

Des progrès significatifs ont été réalisés en 2020. Les travaux ont porté sur deux axes : l'amélioration de la durabilité de la cellule céramique par une meilleure compréhension des mécanismes de dégradation en lien avec sa microstructure, et les premières réalisations d'un stack nouveau format. La nouvelle architecture conçue pour les futurs stacks de puissance (x6 par rapport aux stacks fabriqués jusqu'à présent au CEA) a été validée sur des stacks de puissance intermédiaire. Ils ont été réalisés sur les équipements de l'atelier pilote et testés dans les locaux du centre de Grenoble. Ces résultats viennent conforter la feuille de route extrêmement claire établie avec un certain nombre d'étapes clés : des démonstrateurs de l'ordre de quelques centaines de kW en 2023 suivis de démonstrateurs de l'ordre du MW en 2024. L'objectif étant qu'à l'horizon 2030, le coût de l'hydrogène produit avec cette technologie atteigne moins de 2€/kg, pour la rendre financièrement compétitive. |



## UNE PLATEFORME DE TEST DE MODULES SOC JUSQU'À 120 KW



Une plateforme permettant le test de modules SOC (Solid Oxide Cell) d'une puissance totale de 120 kW<sub>CC</sub> (courant continu) a été conçue et mise en service au Liten. Les modules, composés de plusieurs stacks, peuvent y être opérés de façon réversible, en mode électrolyse et/ou pile à combustible ( $H_2$  et  $CH_4$  pouvant être utilisés comme combustible).

Les installations permettaient jusqu'à présent de tester un par un des stacks d'une puissance jusqu'à 15 kW<sub>CC</sub>. Il était ainsi nécessaire d'augmenter la capacité de test du laboratoire pour répondre aux besoins de puissance pré-industriels et industriels à venir. En effet, ces puissances ne peuvent être atteintes qu'avec une architecture d'assemblage

de multiples modules, eux-mêmes composés de multiples stacks, dont le nombre dépendra de la puissance visée. Ce passage à l'échelle a impliqué le changement de technologies et de dimensionnement pour certains composants de la plateforme, tout en prenant en compte la gestion de la sécurité. |

## UN NOUVEAU VECTEUR ORGANIQUE LIQUIDE BIO-SOURCÉ POUR STOCKER L'HYDROGÈNE

Une alternative au stockage d'hydrogène liquéfié ou comprimé consiste à utiliser un vecteur organique liquide : un composé chimique est alors successivement hydrogéné et déshydrogéné pour stocker puis libérer l'hydrogène. Or, les vecteurs actuels sont loin d'être parfaits, car ils font intervenir des catalyseurs à base de platine et présentent des problèmes de stabilité. En outre, le rendement énergétique de la réaction est limité (25% de perte). Enfin, ils sont produits à partir de ressources fossiles. Le Liten a proposé un nouveau vecteur résolvant une partie de ces inconvénients : le couple GBL/BDO. Les catalyseurs utilisés sont à base de cuivre, la réaction de déshydrogénération consomme environ 15% de l'énergie contenue dans l'hydrogène. Reste à améliorer la quantité massique d'hydrogène stocké sous forme chimique, actuellement de 4,5g pour 100g de composé. |

## LA GAZÉIFICATION SOLAIRE PASSE À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE

Un concept de gazéifieur solaire a été étudié de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle en combinant simulation numérique et expérimentation à haute température. Un modèle 3D du gazéifieur a servi au développement d'un mode de chauffage hybride dans lequel l'injection contrôlée d' $O_2$  permet d'assister le chauffage solaire. Démontré expérimentalement, ce contrôle dynamique ouvre la voie de l'industrialisation pour la gazéification 24/7 des biomasses et déchets sous flux solaire concentré. |

## UN ACCORD-CADRE SIGNÉ AVEC SYMBIO

Après plus de 10 ans de collaboration, Symbio et le CEA renforcent leur relation en signant un accord-cadre dans le domaine de l'hydrogène au service de la transition énergétique des transports. Ils travailleront conjointement pour accélérer l'industrialisation de systèmes moins coûteux, plus performants et plus faciles à intégrer dans les véhicules.



A FAURECIA MICHELIN HYDROGEN COMPANY

## DE LA SÉCURITÉ DES SYSTÈMES À HYDROGÈNE

“

*La question de la sécurité de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique est cruciale.*

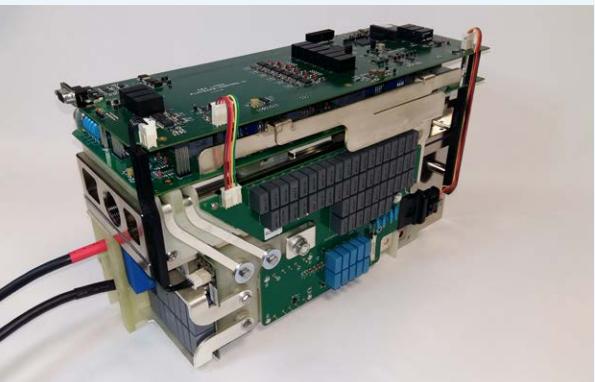
*Dans le cadre du projet européen HYTUNNEL, le CEA participe à une campagne d'expérimentation ayant pour but d'étudier les trois risques principaux liés à l'hydrogène : la dispersion, l'incendie et l'explosion. L'idée est de valider expérimentalement les modèles établis et les résultats prédictifs. Par exemple, on cherche à déterminer les effets de la ventilation et de la structure du tunnel sur la dispersion. En cas d'incendie, il s'agit de prédire l'impact des jets enflammés autour d'un véhicule et leurs conséquences sur l'évacuation des passagers. Enfin, pour l'explosion, on cherche à déterminer la contribution du profil du tunnel à la sécurité des biens et des personnes. En 2020, nous avons mené une expérience unique à échelle réelle dans un tunnel du Vercors : le tunnel du Mortier. Nous en avons extrait une banque de données conséquente que nous sommes en train de traiter pour éditer les futures réglementations destinées aux ouvrages, mais également aux véhicules. »*



**Didier BOUIX,**  
Chercheur au Laboratoire  
des Systèmes PEMFC



## UN CONVERTISSEUR DE TENSION INTÉGRÉ À UNE PILE PEMFC



Afin de réduire l'encombrement et le poids de l'ensemble pile PEMFC / convertisseur, le Liten a développé un dispositif intégré modulaire. Le convertisseur électrique continu-continu (élévateur DC/DC) a été intégré directement sur la plaque terminale du stack en mutualisant une partie de la mécanique et du circuit de refroidissement de la pile. Cela a été rendu possible par la mise au

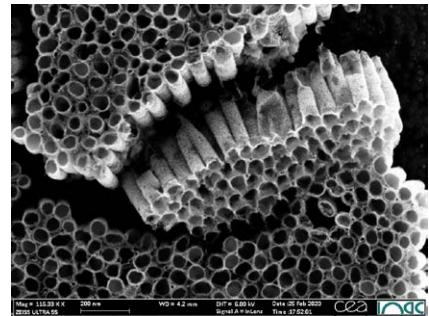
point d'un système de refroidissement liquide atypique, mais également par une interaction forte en mécanique et électronique. Les contraintes de dimensions et de facteur de forme sont au final respectées, et le prototype doit maintenant être testé. Les applications visées sont entre autres celles présentant des contraintes environnementales fortes (température, vibrations...), comme l'aéronautique par exemple. |

## DU GRAPHÈNE POUR LES CATALYSEURS DE PEMFC



Pour augmenter la durabilité des PEMFC, l'une des pistes envisagées consiste à jouer sur le support du catalyseur. Dans le cadre du projet CORE 2, les chercheurs du Liten ont testé de nouveaux catalyseurs dont le support carboné est constitué de feuillets de graphène beaucoup plus résistants à la corrosion que le carbone amorphe classiquement utilisé.

Produit par un industriel, le catalyseur à support graphène est mis en œuvre par le Liten. Le travail réalisé sur la formulation de l'encre, son dépôt par enduction et l'assemblage des couches catalytiques par transfert à chaud, ont permis d'atteindre les performances visées de  $1 \text{ A/cm}^2$  à  $0,6 \text{ V}$ . La durabilité de la pile est actuellement testée sur un stack de  $1 \text{ kW}$ , qui a déjà fonctionné 800 heures. |



## DES ÉLECTRODES ORIGINALES POUR AMÉLIORER LES PEMFC

Pour réduire la quantité de platine dans les piles à combustible à membranes échangeuses de protons (PEMFC) tout en améliorant leurs performances, le Liten a contribué à développer de nouvelles électrodes à base de nanotubes de platine, sans carbone. Les chercheurs ont imaginé une structure à base de nanoparticules de platine assemblées entre elles pour former un ensemble organisé de tubes creux de  $50 \text{ nm}$  de diamètre et  $400$  à  $500 \text{ nm}$  de long. Ces nanostructures autoportantes décarbonées ont montré une activité et une stabilité supérieures à celles des électrodes conventionnelles. L'ajout de nickel améliore encore la rapidité de la réaction et réduit les pertes de courant. Loin d'être industrialisées, ces nouvelles électrodes sont un bel objet d'étude pour mieux comprendre le fonctionnement des PEMFC et faire émerger de nouvelles pistes de développement. |

## SIMULATION MULTI-ÉCHELLE ET MULTI-PHYSIQUE

Une étape décisive vient d'être franchie dans la capacité à simuler les problèmes couplés d'électrochimie sur des structures 3D réelles de piles à combustible et de batteries lithium-ion. Le Liten a développé une bibliothèque logicielle permettant d'écrire le jeu complexe d'équations de l'électrochimie dans un langage simple et plus accessible que les codes informatiques existants dans le

domaine. Grâce au calcul symbolique et à la compilation « à la volée », elle calcule automatiquement et rapidement la matrice « Jacobienne » complète du problème couplé, étape clé d'un schéma de résolution robuste et rapide. Cet outil peut ensuite résoudre le problème sur les plus grands super-calculateurs avec une finesse inédite de plusieurs milliards de points. |

## S Y S T È M E S , R É S E A U X E T E F F I C A C I T É É N E R G É T I Q U E

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SE TRADUIT PAR LE DÉPLOIEMENT DE SOURCES RENOUVELABLES INTERMITTENTES, L'APPARITION DE NOUVEAUX USAGES (COMME LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE, LA PRODUCTION MASSIVE D'HYDROGÈNE PAR ÉLECTROLYSE, OU ENCORE L'AUTOCONSOMMATION), ET LE COUPLAGE ENTRE LES DIFFÉRENTS VECTEURS (ÉLECTRICITÉ, CHALEUR, FROID, GAZ, ETC.). DANS CE CONTEXTE, LE LITEN CONÇOIT ET EXPLOITE DES OUTILS NUMÉRIQUES POUR DIMENSIONNER ET PILOTER DE MANIÈRE OPTIMALE LES SYSTÈMES ET RÉSEAUX D'ÉNERGIE, EN S'APPUYANT SUR DES PLATEFORMES EXPÉIMENTALES MULTI-VECTEURS ET UNE CONNAISSANCE APPROFONDIE DES BRIQUES TECHNOLOGIQUES. LE LITEN DÉVELOPPE ÉGALEMENT DES COMPOSANTS POUR LA GESTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (CONVERTISSEURS DE PUissance) ET DE L'ÉNERGIE THERMIQUE (GÉNÉRATION, CONVERSION ET STOCKAGE), AFIN DE MAXIMISER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES ET DES RÉSEAUX.



# DES OUTILS POUR MIXER LES ÉNERGIES EN TOUTE SIMPLICITÉ



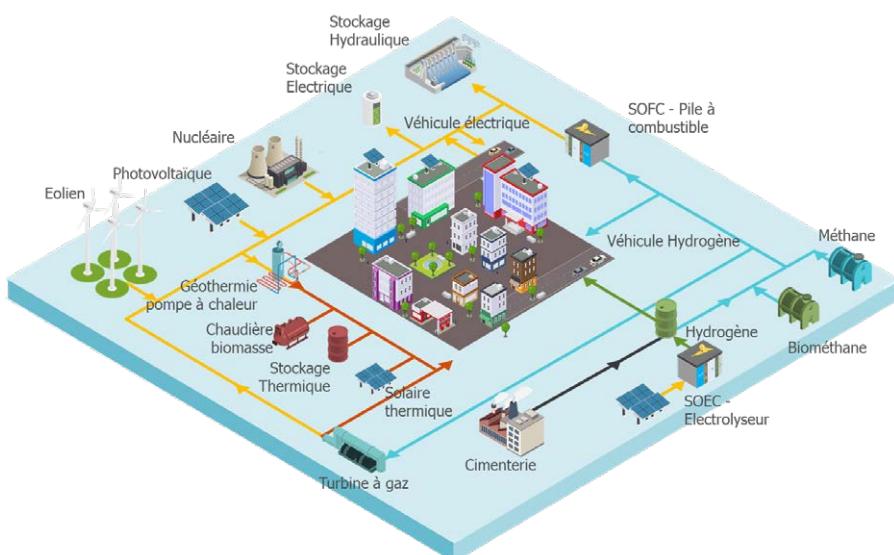
**Mathieu VALLEE,**  
Chercheur au Laboratoire  
des Systèmes Énergétiques  
pour les Territoires

ff

Au Liten, nous faisons aussi des outils numériques. Nous avons par exemple développé des outils de dimensionnement des systèmes électriques, que nous avons adaptés à la conception d'architectures de réseaux couplant différents vecteurs énergétiques. Pour cela, nous avons mis en œuvre nos compétences en analyses technico-économiques et environnementales, en modélisation des différents usages de l'énergie, en simulation des réseaux thermique, électrique et aussi gaz, et enfin, en optimisation mathématique.

Considérant les moyens de production éventuellement en place, l'outil définit une architecture optimale permettant de satisfaire les besoins exprimés tout en respectant des contraintes techniques, économiques et environnementales. Et ceci à l'échelle d'un bâtiment, d'un site industriel, voire d'une ville entière.

En 2020, le Carnot Energies du Futur a financé la modélisation d'un cas d'étude à l'échelle d'un quartier. Nos outils ont été appliqués avec succès au quartier de Cambridge, lequel combine électricité, chaleur et gaz, pour réaliser une preuve de concept pertinente. Ces outils constitueront le socle de la future plateforme de simulation multi-vecteurs conçue dans le cadre du projet TRILOGY. » |



## INTÉGRER LES ÉNERGIES RENOUVELABLES AU RÉSEAU

L'introduction des énergies renouvelables au réseau électrique à grande échelle pose de nouveaux défis techniques. Tandis que l'équilibre des réseaux est actuellement assuré par une adaptation de la production à la demande, la nature intermittente de la production d'énergies renouvelables impose de trouver de nouveaux compromis. Un outil d'aide à la décision permettant de trouver des solutions de stockage optimales

pour un mix énergétique donné à différentes échelles de temps a été développé au Liten. Une fois le système décrit, l'outil proposé permet d'optimiser le choix des méthodes de stockage pour équilibrer le réseau sur une période donnée, allant de l'heure à l'année. A court terme, il apparaît par exemple que le meilleur stockage est celui présentant un bon rendement, même s'il est cher à l'achat. Et inversement sur le long terme. |

## LES ÉLECTROLYSEURS, ACTEURS DE LA RÉGULATION DU RÉSEAU

Utilisés pour produire de l'hydrogène à partir d'électricité, les électrolyseurs peuvent contribuer au maintien de l'équilibre du réseau électrique. L'objectif du projet européen Qualygrids, auquel a participé le Liten, était de mettre en place un protocole de tests unique et standardisé, valable pour l'ensemble des pays européens, afin de déterminer la capacité d'un électrolyseur à respecter les contraintes associées à une participation aux services au réseau.

Ce protocole a vocation à être mis à la disposition des opérateurs et fabricants d'électrolyseurs, et à être utilisé notamment dans des projets de démonstration qui voudraient tester la participation d'un électrolyseur aux services au réseau.

Un travail de standardisation a été initié avec le Comité Technique ISO197 « Hydrogen technologies » pour transformer ce protocole en un standard. |



LE PROTOCOLE DE TEST  
EST DISPONIBLE EN LIGNE

## VERS UNE GESTION COORDONNÉE DES MICRO-RÉSEAUX

Les micro-réseaux sont des réseaux de production, de stockage et de distribution d'énergie à l'échelle d'un quartier. Ils sont capables de fonctionner en mode connecté au réseau principal, ou de façon autonome en cas de panne de ce dernier. Dans le cadre du projet européen m2M-grid, le Liten a développé des

outils innovants de gestion coordonnée et d'interaction cohérente de ces micro-réseaux, afin de répondre aux exigences de chacun d'eux, mais également à celles des gestionnaires de réseaux de distribution et de transport d'électricité. Il s'agit notamment de maximiser la pénétration de l'énergie renouvelable,

d'assurer la stabilité du réseau en toutes circonstances en maintenant le niveau de tension et de qualité de l'énergie pour répondre à la demande. Ces outils ont été testés avec succès sur réseau réel chez SOREA. |

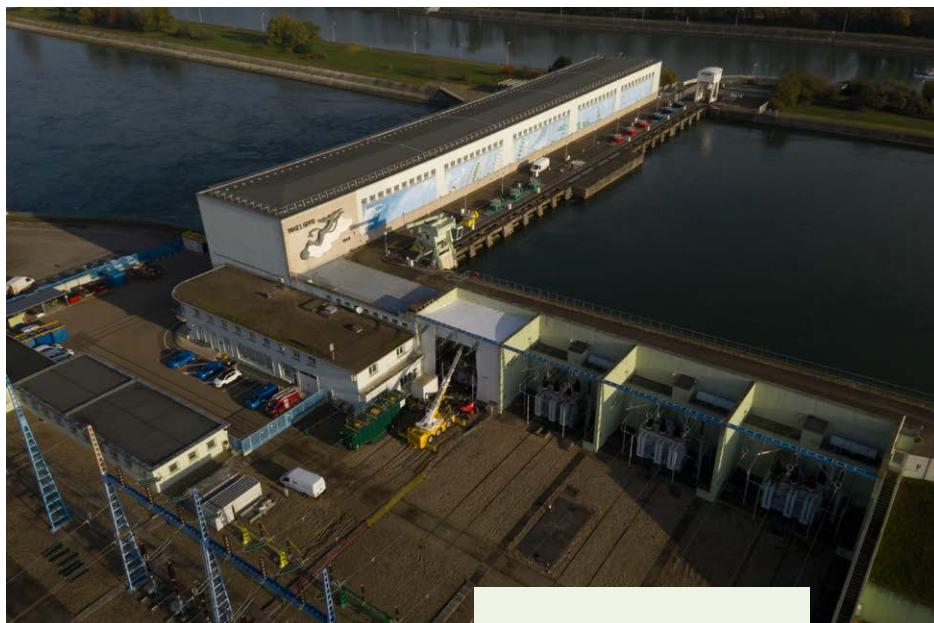


## DES BATTERIES POUR BOOSTER LA FLEXIBILITÉ ÉLECTRIQUE DES BARRAGES

Une étude de dimensionnement et de pilotage de batteries Li-ion couplées à une turbine hydroélectrique de 35 MW a été menée dans le cadre du projet européen XFLEX Hydro.

Objectif : concevoir un système capable de répondre en quelques secondes aux fluctuations de fréquence du réseau électrique ; celles-ci se multiplient avec l'intégration importante des énergies renouvelables dans le mix énergétique. Ce système comprend un convertisseur de 650 kVA couplé à un ensemble de bat-

teries embarquant 380 kWh d'énergie, et pilotées par des algorithmes intelligents de contrôle-commande qui limitent leur vieillissement tout en répondant aux services systèmes demandés par le gestionnaire de réseau. Grâce à ce démonstrateur hybride, la puissance de réglage est atteinte en moins de 30 secondes et le barrage hydroélectrique voit baisser de 35% les sollicitations mécaniques sur ses organes de contrôle liées à la régulation de fréquence. |



**380 kWh**

ÉNERGIE EMBARQUÉE  
PAR LES BATTERIES



## DONNER PLUS DE FLEXIBILITÉ À LA GÉOTHERMIE PROFONDE

Dans le cadre du projet européen Geosmart, des stockages thermiques ont été dimensionnés pour deux sites de géothermie profonde (2000 m sous terre), en Turquie et en Belgique : un stockage par matériaux à changement de phase de 2 MWh, un accumulateur de vapeur de 5 MWh et trois modules de thermocline en eau pressurisée (15 MWh en tout). L'enjeu technique est de concevoir des systèmes qui soient adaptés aux conditions particulières de fonctionnement de ces sites.

Un brevet a été déposé sur le pilotage de l'accumulateur de vapeur ; il limite l'effet pénalisant des gaz incondensables de la saumure, eau fortement minéralisée, sur la capacité de stockage.

L'objectif de ces développements est d'améliorer la flexibilité de la géothermie profonde, source d'énergie qui produit aujourd'hui de l'électricité en continu. |

## ÉCONOMIE CIRCULAIRE

POUR MINIMISER L'IMPACT DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SUR LA CONSOMMATION DE MATIÈRES PREMIÈRES, L'ÉCO-CIRCULARITÉ DOIT ÊTRE AU CŒUR DE L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE. LE LITEN MÈNE DES TRAVAUX DE RECHERCHE POUR RÉPONDRE AUX ENJEUX DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DE LA MATIÈRE (« RÉDUIRE, RÉUTILISER, RECYCLER ») : ÉCO-CONCEPTION ET RECYCLAGE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE, PROCÉDÉS DE FABRICATION NEAR NET SHAPE (COMME LA FABRICATION ADDITIVE), ÉLECTRONIQUE STRUCTURELLE. PAR AILLEURS, LE LITEN DÉVELOPPE DES MATERIAUX, PROCÉDÉS ET SYSTÈMES POUR L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DU CARBONE, C'EST-À-DIRE LA CONVERSION DE RESSOURCES CARBONÉES EN MOLÉCULES D'INTÉRÊT POUR L'ÉNERGIE OU LA CHIMIE.



## UN OUTIL POUR CALCULER DES SCORES D'ÉCO-CIRCULARITÉ

L'économie circulaire a pour objectif de produire des biens et services en limitant la consommation et le gaspillage de matières premières et de sources d'énergie non renouvelables. Un laboratoire Liten de 200 salariés en a fait l'un de ses axes de travail ; après deux ans de préparation, il a commencé en 2020 à déployer un plan d'action.

Deux tiers des managers ont été formés aux bases de l'éco-conception. Un outil de pilotage, ICE-T (*Indicator of Circular Economy Tool*) a été proposé aux équipes à des fins de test. Il s'inspire, entre autres, de l'outil Circulytics de la fondation Ellen MacArthur.

Basé sur des questionnaires à choix multiples, ICE-T calcule un « score de circularité », applicable à un programme de recherche terminé ou en cours, à la conduite des opérations du laboratoire ou à sa stratégie. Il propose également des leviers de progression. Quatre guides méthodologiques ont été rédigés à destination des différents profils d'utilisateurs du laboratoire.

L'objectif de cette démarche est de mettre en place par étapes un outil de pilotage de l'éco-circularité, ainsi qu'un système de management de projet porté par une philosophie d'amélioration continue de la circularité. |



## DES IDÉES POUR RENFORCER LES POLYMÈRES THERMOPLASTIQUES BIOSOURCÉS

Les propriétés mécaniques du polylactide, polymère thermoplastique 100% biosourcé et biodégradable, ont été renforcées grâce à l'incorporation de 20% de fibres végétales. Le module élastique, qui détermine la rigidité, progresse de 80% ; la résilience (résistance aux chocs), de 140%. Des pré-traitements chimiques des fibres cellulosiques, polaires, améliorent leur compatibilité avec la matrice polymère, apolaire et hydrophobe. L'ajout de fibres végétales contribue aussi à la baisse des coûts de fabrication du biocomposite. Autre piste étudiée : la compatibilisation de polymères biosourcés initialement immiscibles, grâce à un protocole de fonctionnalisation en voie fonduée. Le projet européen INN-PRESSME a démarré début 2021 sur cette thématique. |



## RECYCLAGE : MISE EN SÉCURITÉ ET DÉMONTAGE DES MODULES

Dans le cadre du projet Recybat, dont l'objectif est de monter en maturité les technologies de traitement et de recyclage de batteries lithium-ion issues principalement du secteur automobile, le Liten participe à la définition d'un procédé innovant de séparation et de régénération des matériaux constituant les cellules.

Il se penche, en particulier, sur la mise en sécurité des modules avant démontage. En fonction de ce à quoi sont destinées les cellules (seconde vie ou destruction), un état de charge cible est défini. Il s'agit d'éviter le risque de court-circuit et d'emballage thermique des cellules, tout en préservant leurs conditions de fonctionnement si nécessaire. |

## RECYCLAGE DES TECHNOLOGIES ENR : LES PEMFC AUSSI !

Le projet européen Best4Hy vise une montée en maturité des procédés de recyclage des piles à combustible PEMFC et SOFC, par des technologies adaptées ou développées spécifiquement pour ces systèmes. Fort de ses années de développement de procédés chimiques pour le recyclage des batteries, le Liten y participe notamment pour récupérer le platine par ionométallurgie à l'échelle pilote. L'institut intervient également sur la synthèse du catalyseur, la fabrication d'AME intégrant les matériaux recyclés, ou encore la mise au point de l'étape du désassemblage des AME. Ses compétences en caractérisation des matériaux et test des composants sont également sollicitées. |



## UNE SECONDE VIE POUR LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Pour recycler les panneaux photovoltaïques en fin de vie, le Liten a développé une méthode peu polluante et peu consommatrice d'énergie. Elle consiste à séparer la face avant en verre de la face arrière constituée d'un mélange de polymères en découpant à travers les cellules photovoltaïques grâce à un fil diamanté. De cette manière, il est possible de désolidariser les deux faces espacées de quelques centaines de microns seulement.

L'équipement expérimental se révèle capable de traiter un module d'un mètre carré en une demi-heure. Le verre ainsi récupéré peut être recyclé dans une nouvelle filière. Enfin, il est possible de séparer et de récupérer les différents métaux présents dans les poudres de découpe par traitement hydrométallurgique afin de les réutiliser également. |

## AIMANTS PERMANENTS ET TERRES RARES : RÉDUIRE, SUBSTITUER, RECYCLER

Le Liten a présenté une feuille de route visant à limiter l'utilisation de terres rares dans les aimants permanents de type NdFeB, que l'on retrouve dans les moteurs électriques et les éoliennes. Elle s'articule autour de trois axes : développer des aimants de forme complexe qui ne nécessitent pas d'usinage, employer moins de terres rares « lourdes » et remplacer les terres rares Nd/Pr par des légères (qui sont plus abondantes), améliorer le recyclage et la réutilisation des aimants usagés. Ces actions se concrétisent dans plusieurs projets bilatéraux et européens et s'appuient sur la plateforme de métallurgie des poudres Poudr'Innov 2.0. |



## ÉVITER LA SURCHAUFFE DES COMPOSANTS DE PUISSANCE GaN

Protéger les composants des circuits électroniques de puissance de la surchauffe devient un enjeu majeur du développement de la technologie GaN. Le Liten, qui travaille depuis plus de 15 ans dans le domaine de la thermoélectricité, a développé des capteurs pour gérer les flux de chaleur, adaptés pour la première fois à la technologie GaN HEMT (high electron mobility transistor) développée en partenariat avec le CEA-Leti. Produits en même temps que les transistors GaN eux-mêmes, ils convertissent l'énergie thermique qu'ils dissipent en un signal électrique, lequel peut ensuite être utilisé dans des systèmes de lecture et des boucles de rétroaction destinés à protéger le fonctionnement des composants en prédisant et en évitant l'échauffement des transistors et des circuits. Cette solution de protection des circuits est à la fois compacte et ne nécessite aucune alimentation électrique. |

## VERS DES AIMANTS PERMANENTS MOINS RICHES EN NÉODYME

Des travaux menés dans le cadre du projet européen Novamag ont permis des avancées prometteuses vers des aimants permanents de type Nd<sub>2</sub>Fe<sub>12</sub>, qui contiendraient jusqu'à 35% de néodyme en moins. Le Liten a écarté les méthodes de fabrication conventionnelles (*book mold*) au profit de la trempe sur roue, ou *strip casting*, largement utilisée dans l'industrie de fabrication d'aimants permanents en NdFeB. Il a obtenu ainsi des alliages avec 97% de phase 1 :12. La nitruration de cette phase

permet une forte augmentation de l'anisotropie magnétocristalline et de la température de Curie. Différents paramètres de nitruration ont été testés pour déterminer un optimum, sans décomposer la phase 1 :12. Ceci a permis d'augmenter l'anisotropie magnétocristalline de 2T à 11T et de la température de Curie de 147°C à 288°C. La valeur de coercivité, encore faible pour une application aimant permanent, devrait progresser grâce à l'amélioration de la microstructure des poudres nitrurées. |



### DES FILTRES À OXYDES D'AZOTE DANS LES HABITACLES

Si des filtres à oxydes d'azote existent, notamment au niveau des pots catalytiques, ils ne sont actifs qu'à haute température. Le Liten a développé des filtres efficaces à température ambiante et à pression atmosphérique. La surface de filtres à particules mécaniques classiques a été recouverte d'une matière active destinée à piéger les polluants gazeux. Cette dernière est constituée d'un produit (tenu secret) connu pour capter le NO<sub>x</sub>, et d'un autre visant à améliorer d'un facteur quatre la capacité de captage du premier. L'utilisation de ce filtre amélioré permettrait de purifier l'air d'un habitacle automobile et de filtrer de 50 à 80% du NO<sub>x</sub> entre deux contrôles techniques (30000 kilomètres). Un brevet est en cours de dépôt et les recherches se poursuivent pour étendre le captage au NO, en le transformant préalablement en NO<sub>2</sub>. |

### LE LITEN MOBILISÉ POUR LA LUTTE CONTRE LA COVID-19



Pour faire face à la pénurie de masques chirurgicaux en mars 2020, les chercheurs du Liten et du centre d'innovation Y-SPOT se sont rassemblés au sein du collectif citoyen Voc-coV pour créer un masque de protection sobre en consommation de médias filtrants. Le masque OCOV® a été conçu d'une part en réduisant par trois la surface totale de médias filtrants par rapport à un masque FFP jetable, et d'autre part en identifiant des médias filtrants performants lavables et donc réutilisables jusqu'à vingt fois. Ce masque est au-

jourd'hui fabriqué et commercialisé par la société Ouvry. La flexibilité et la rapidité inhérentes à l'impression 3D combinées à l'expertise des équipes du CEA a également permis le prototypage et la mise au point d'un respirateur artificiel en un temps record de deux mois dans le cadre du projet MAKAIR.

En parallèle, et à la demande de la Direction Générale des Entreprises (DGE) en avril 2020, la plateforme NanoSécurité du Liten a été désignée tiers-compétent et s'est mobilisée pour la certification et l'évaluation des masques grand public. |



**UNE 7ÈME ÉDITION**  
**100% DIGITALE RÉUSSIE**  
pour la conférence dédiée aux enjeux de santé  
et de sécurité liés aux nanomatériaux



**247**  
INSCRITS



**161**  
ABSTRACTS



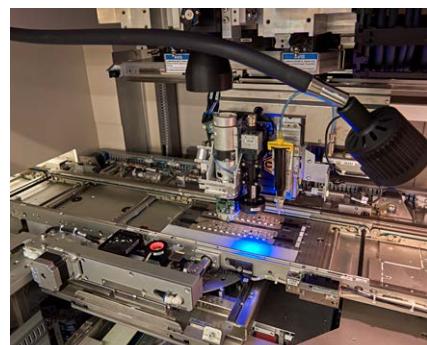
**93**  
PRÉSENTATIONS  
ORALES

## LA PLASTRONIQUE BIENTÔT PRÉSENTE DANS LES TABLEAUX DE BORD DES VOITURES ?

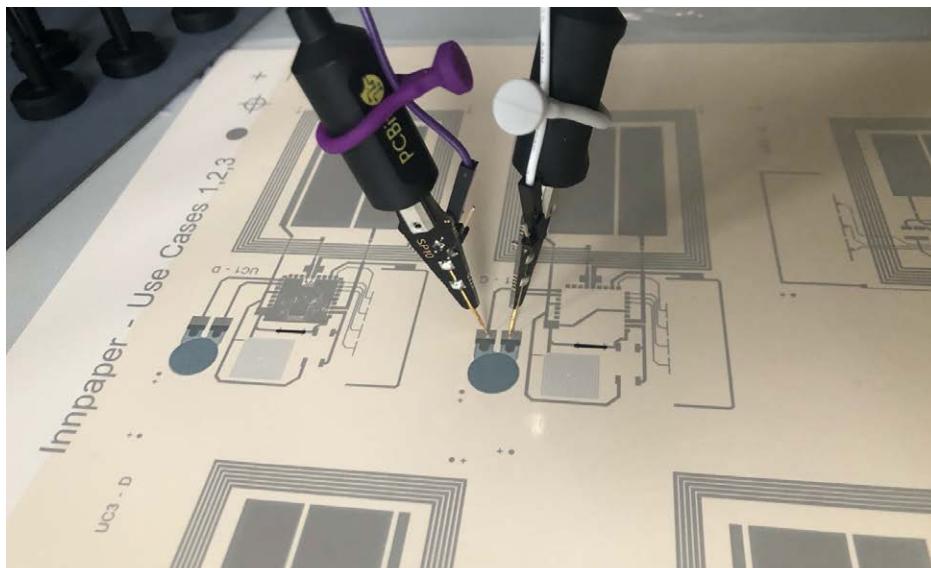
La plastronique, ou alliance de la plasturgie et de l'électronique, pourrait s'inviter bientôt dans les tableaux de bord automobiles. Un démonstrateur de pièce plastique capacitive a en effet été réalisé dans le cadre de la collaboration avec la start-up Symbiose. Il intègre six boutons de commande de fonctions et des LED pour l'éclairage. La tenue mécanique de ces composants imprimés en sérigraphie

a été renforcée pour qu'ils supportent les étapes de fabrication, en particulier la pression élevée lors de l'injection.

La plastronique permet d'enrichir les fonctions du tableau de bord avec des pièces bas coût de faible épaisseur, faciles à assembler par surmoulage et recouvrables par un film décor. Des essais sur leur tenue au vieillissement sont en cours. |



## UNE ÉLECTRONIQUE IMPRIMÉE SUR... PAPIER !



Quitte à faire de l'électronique sur substrat souple, autant choisir le papier plutôt qu'un polymère : il n'est pas issu de la chimie du pétrole.

Dans le cadre du projet européen Innpaper, consacré à ce sujet, le Liten a participé au développement d'une plateforme hybride multifonction sur substrat papier. Composée de plusieurs éléments (connectique, antenne, batterie, écran, puce RFID...), elle permet de piloter différents détecteurs pour des applications aussi variées que la détection de caféine, de drogue, de bactéries ou virus... Une étiquette intelligente pour le suivi de la chaîne du froid dans le domaine de l'agroalimentaire a été fabriquée et interfacée avec la plateforme hybride.

L'ensemble de ces développements a été réalisé sur la ligne pilote PICTIC du Liten, dédiée à l'électronique structurelle. |

## UNE JAUGE DE CONTRAINTE IMPRIMÉE SUR SUBSTRAT ÉTIRABLE

Une jauge de contrainte imprimée sur un substrat étirable a été mise au point. Près de 40 références d'encre et plus de 10 substrats étirables différents ont été testés pour obtenir une jauge capable de résister à une élongation de 30%, et dont la variation de résistance reste stable durant au moins 500 cycles de flexions. |



## OPTIMISATION DES PERFORMANCES D'ÉCHANGEURS GRÂCE À LA FABRICATION ADDITIVE



La liberté de formes qu'apporte la fabrication additive métallique permet des gains de matière importants et améliore l'efficacité des transferts énergétiques dans le domaine des échangeurs. Le projet Carnot FAMERGIE\* visait à comprendre les liens entre les paramètres du procédé de Fusion Laser sur Lit de Poudre (FLLP), la microstructure obtenue et les propriétés mécaniques, puis à concevoir des maquettes d'échangeurs-réacteurs par optimisation de forme, les fabriquer et les tester sur banc thermo-hydraulique. La microstructure des échantillons en alliage de nickel de densité supérieure à 99% a été caractérisée finement et a permis d'expliquer les propriétés en traction mesurées. Plusieurs géométries d'échangeurs-réacteurs à canaux 2D ont été modélisées puis optimisées en performance. Les tests sur maquettes FLLP montrent qu'une section de canal circulaire présente des performances 7% plus élevées qu'une section carrée. |

\*Ce projet de R&D, financé grâce au fond Carnot EF, utilise les moyens de la plateforme FAMERGIE

## LE HUB 3DPRINT EN PLEINE EXPANSION

Le projet collaboratif Hub 3DPRINT mutualise les expertises de ses partenaires sur la technologie d'impression 3D et les besoins d'acteurs de différents secteurs de marché pour faire émerger de nouveaux modèles industriels. Ce projet en pleine expansion vise à faciliter l'adoption de mise en forme de polymères pour accélérer la mise sur le marché de produits innovants, grâce à la technologie MultiJetFusion. Dans ce cadre, le Liten associe ses compétences à celles d'Arkema sur les matériaux, de Siemens

sur les outils numériques et d'HP sur l'impression.

Cette année, pour aider au traitement des patients atteints de la Covid-19, les équipes du Hub 3DPRINT ont notamment participé à la réalisation, au prototypage et à la mise au point d'un respirateur artificiel en un temps record de 2 mois, démontrant ainsi la flexibilité et l'agilité qu'apporte la fabrication additive. La dynamique impulsée dans le Hub 3DPRINT se poursuit avec l'adhésion de nouveaux membres en 2021. |



## LA MISE EN ŒUVRE DES POUDRES OPTIMISÉE AVEC L'ANALYSE STATISTIQUE

Le Liten a établi un modèle mathématique reposant sur l'analyse statistique de données de caractérisations de plus de 60 poudres de 316L, obtenues dans le cadre de nombreux pro-

jets de fabrication additive métal. Ce modèle aide à prédire la processabilité d'une poudre ou à l'inverse, à optimiser ses caractéristiques. |



**Marine PEYROT,**  
Project Manager du projet Pulp&Fuel  
et chercheuse au Laboratoire  
Réacteurs et Procédés

## VALORISER LES DÉCHETS DES USINES DE PÂTE À PAPIER

“

Coordonné par le Liten, le projet européen Pulp&Fuel vise à développer des technologies de traitement des déchets issus d'une usine de production de pâte à papier. Ils sont principalement de deux types : un déchet sec de type écorce de bois, et un déchet humide appelé liqueur noire (résidu de l'étape de cuisson du bois). Les technologies de conversion de ces déchets sont basées sur des procédés de pyro-gazéification et de gazéification hydrothermale étudiés au laboratoire. Elles permettent de convertir les déchets en gaz, lesquels peuvent eux-mêmes être convertis en biocarburants.

Depuis le début du projet, nous avons démontré la faisabilité de la conversion de poudre d'écorce de bois et de liqueur noire en gaz valorisables. Très transverse, ce projet fait appel à toutes les compétences du laboratoire et présente une incroyable opportunité de collaborer avec des partenaires européens d'excellence dans le domaine des bioraffineries. » |

## TRAITEMENT DE BIODÉCHETS : LA LIQUÉFACTION HYDROTHERMALE FAIT SES PREUVES

Hydroliq, l'équipement pilote de production de pétrole synthétique (biocrude) du Liten, a démontré son potentiel à l'occasion de deux projets Waste2Road et Bitume 2.0. Il a en effet fonctionné en continu pendant 30 heures, et fabriqué respectivement 10 et 5 kg de biocrude, destinés à une utilisation ultérieure comme biocarburant ou comme liant routier. Hydroliq est un équipement de liquéfaction

hydrothermale, procédé qui opère à des températures comprises jusqu'à 350°C, et à des pressions jusqu'à 200 bars. Dans ces conditions, l'eau acquiert des propriétés spécifiques qui favorisent la conversion de bio-ressources. Sur la base des résultats obtenus, l'objectif du Liten est maintenant de se doter d'un pilote de 10 litres/h (contre 1 à 2 litres/h aujourd'hui). |



JUSQU'À 10 KG  
DE BIOCRAUDE PRODUIT

## LA COMPRESSION ISOSTATIQUE À CHAUD TRANSFÉRÉE À UN INDUSTRIEL

L'expertise du Liten en compression isostatique à chaud a permis à ATMOSTAT de mener à terme et avec succès la réalisation d'un panneau de première paroi échelle 1. Ces panneaux sont constitués de trois matériaux assemblés par compression isostatique à chaud autour d'un circuit de refroidissement complexe, qui permet de limiter leur température à 600°C. Fort de cette expérience, ATMOSTAT en groupement avec ALSYOM, autre société du Groupe ALCEN, a remporté un contrat de fabrication des panneaux de première paroi du réacteur de fusion nucléaire ITER. |

## ESSAIS DE GAZÉIFICATION DE POUDRE DE BOIS SUR GIROFLÉ

Un essai de gazéification de poudre de bois a été mené dans le réacteur à flux entraîné pilote GIROFLÉ, afin d'évaluer l'efficacité de la gazéification à des températures et pressions modérées (<1250°C - 5 bars). La conversion de bois en gaz est quasi-totale, quelle que soit la température de paroi interne du réacteur (1165 et 1225°C). |

## PLATEFORMES NUMÉRIQUES ET TECHNOLOGIQUES

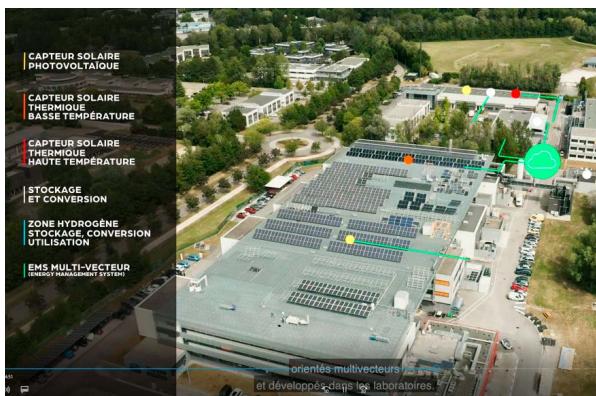
NOS PLATEFORMES NUMÉRIQUES ET TECHNOLOGIQUES, ALLIANT MOYENS ET COMPÉTENCES, PERMETTENT D'INNOVER À LA FOIS SUR DE LA R&D PRODUIT ET PROCÉDÉ. CONVAINCU QUE LA COMPÉTITIVITÉ PASSE ENTRE AUTRES PAR LE DÉVELOPPEMENT, LE TEST ET LA VALIDATION DES INNOVATIONS SUR DES ÉQUIPEMENTS PRÉ-INDUSTRIELS, LE LITEN INVESTIT CONTINUELLEMENT POUR MAINTENIR SES PLATEFORMES AU MEILLEUR NIVEAU MONDIAL.



## SYSTÈMES SMART GRID

La mission de cette plateforme est de dimensionner, piloter et optimiser des systèmes énergétiques comprenant des sources de production variables et des moyens de stockage électrique en mélangeant émulateurs et composants réels. Sa conception permet d'étudier des configurations variées, de tester des composants, de définir des stratégies de pilotage et de les tester.

Découvrez en images, sur notre site internet, la présentation de nos moyens numériques et expérimentaux dédiés aux réseaux d'énergie



## BÂTIMENT & ÉNERGIE

La plateforme optimise l'intégration des apports solaires dans le bâtiment et adresse la convergence habitat-transport. Véritable outil d'expérimentation en grandeur réelle, elle permet aux constructeurs et aux équipementiers de tester des solutions innovantes pour la performance énergétique des bâtiments.

## RÉSEAU ET STOCKAGE THERMIQUE

Unique en Europe par sa taille et la diversité de ses activités, la plateforme développe des technologies pour gérer l'énergie thermique, la récupérer, la stocker en vue d'une utilisation ultérieure, l'utiliser dans l'industrie ou la distribuer via les réseaux de chaleur.

## SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Développer la filière française du solaire, c'est la vocation de cette plateforme qui travaille sur l'ensemble des éléments constitutifs d'un système PV. Pour ce faire, elle innove au niveau matériaux, procédés et équipements pour développer des solutions PV à haut rendement. Sa ligne pilote est capable de fabriquer des cellules de la technologie hétérojonction à la cadence de 2400 plaques/heure de façon reproductible.

De nouveaux équipements pour le PV organique sur la plateforme RESTAURE



Pour + d'infos, consultez notre page web

## PRODUCTION ET STOCKAGE D'HYDROGÈNE

La plateforme a pour vocation d'exploiter l'hydrogène en tant que source d'énergie. Les travaux portent sur la technologie réversible d'électrolyse haute température (EHT) et son couplage possible avec des sources de production renouvelables. Avec son atelier pilote, le Liten développe et qualifie des démonstrateurs de taille significative, depuis le stack jusqu'au système complet.

**Les bancs de conditionnement d'ECM GreenTech viennent compléter les équipements de l'atelier pilote de fabrication de stacks EHT. Ils permettent de réaliser la dernière étape du procédé de fabrication, rendant les stacks fonctionnels et permettant de vérifier leurs performances**



## BATTERIES

La plateforme développe en particulier des batteries lithium-ion : matériaux, composants, assemblages des packs, intégration système, tests... Elle vise des applications dans les domaines du stationnaire et de l'embarqué, des fortes puissances jusqu'aux objets nomades. Sa concentration de moyens et d'équipements pré-industriels en fait un outil de R&D unique en Europe.

**Montée en puissance de l'activité batteries tout solide avec l'aménagement d'une zone dédiée en salle anhydre. Différents équipements y ont été installés pour développer de nouveaux procédés : mélangeur interne, plusieurs extrudeuses, presse à chaud, sorbonnes...**



## PILES À COMBUSTIBLE

La plateforme propose une approche unique de conception et d'optimisation des piles de type PEMFC qui couvre les matériaux, les assemblages membrane-electrode, les stacks et leurs tests en conditions représentatives. Son objectif est d'accélérer les transferts entre recherche et applications adossés à une stratégie de propriété intellectuelle volontariste.

## MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

La plateforme 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. Les essais alimentent le retour d'expérience sur les performances, le cyclage et le vieillissement.

Pour + d'infos, consultez notre page web

## POUDR'INNOV 2.0

La plateforme développe et fabrique des composants à haute valeur ajoutée à partir de poudres métalliques, céramiques, semi-conductrices ou magnétiques. La préparation des poudres et leur mise en œuvre notamment par fabrication additive permet d'obtenir directement des pièces de forme complexe en limitant l'étape ultérieure d'usinage.

L'offre de fabrication additive s'enrichit, avec l'arrivée des équipements HP 5002 et HP Metal Binder Jet



## NANOCARACTÉRISATION

Pour élaborer matériaux et composants à l'échelle nanométrique, il faut connaître leur morphologie et leurs propriétés chimiques et physiques. C'est le rôle de cette plateforme qui compte une quarantaine d'équipements capables de scruter la matière en 2D ou 3D à une échelle proche de l'atome. Certains d'entre eux n'existent qu'en quelques exemplaires dans le monde.



## BIORESSOURCES

L'objectif de cette plateforme est de produire de l'énergie en valorisant des déchets, avec un rendement énergétique élevé. Ses activités couvrent la torréfaction, la liquéfaction hydrothermale et la gazéification, à une échelle extrapolable à des procédés industriels.

## IMPRESSION GRANDE SURFACE

La plateforme développe des plastiques, papiers et textiles intelligents produits par impression de fonctions électroniques directement sur leurs surfaces flexibles, pour des dimensions de 320x380mm<sup>2</sup>. Parmi les applications potentielles se trouvent les interfaces homme-machine, l'éclairage intelligent, les écrans interactifs ou encore la surveillance de l'environnement.

## NANOSÉCURITÉ

La plateforme travaille sur les questions de protection, de santé et de sécurité liées à la mise en œuvre des nanomatériaux. Elle mène des travaux de R&D et des missions plus opérationnelles de mesures, d'expertise, d'intervention et de formation. Son large spectre d'activités en fait un outil emblématique en France et en Europe.

*Le CEA-Liten a été désigné tiers-compétent par la DGE pour la réalisation des essais de filtration des masques grand public à usage non sanitaire*

Pour + d'infos, consultez notre page web



[www.liten.cea.fr](http://www.liten.cea.fr)