

# les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

153  
SEPTEMBRE 2010



COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES

**SOMMAIRE //** DÉMANTÈLEMENT-ASSAINISSEMENT [P. 4] CONCOURS NATIONAL D'AIDE À LA CRÉATION D'ENTREPRISES DE TECHNOLOGIES INNOVANTES [PP. 11-15] LES BATTERIES DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES [PP. 16-17] LE PLUS VIEUX BÉBÉ MAMMOUTH AU MONDE SE FAIT SOIGNER AU CEA : 3 QUESTIONS À LAURENT CORTELLA [P. 18]



↳ VÉHICULES ÉLECTRIQUES //  
LA COURSE AUX BATTERIES [P. 6]

# Sommaire N° 153

## 04 Retour sur l'actualité

DÉMANTÈLEMENT-ASSAINISSEMENT // Mutualisation franco-britannique  
[04] ÉNERGIE NUCLÉAIRE // Coopération experte [04] TECHNOLOGIE  
POUR L'ÉNERGIE // Contrat Renault-CEA [04] REVUE DE PRESSE [05]



## 06 À la une VÉHICULES ÉLECTRIQUES // LA COURSE AUX BATTERIES

## 11 À la pointe

CONCOURS NATIONAL D'AIDE À LA CRÉATION D'ENTREPRISES INNOVANTES // 5 start-up du CEA primées [11] POLLUANTS CHIMIQUES // Ethera [12] CIRCUITS INTÉGRÉS // Aselta Nanographics [13] RÉALITÉ AUGMENTÉE // Diotasoft [13] LED // Ignus Opto [14] MÉDICAMENTS // Theranexus [15]

## 16 Tout s'explique

Les batteries des véhicules électriques

## 18 Ils en parlent

LAURENT CORTELLA, physicien nucléaire raconte le séjour du plus vieux mammouth au monde au laboratoire ARC-Nucléart du CEA.

## 19 À voir, à lire, à écouter



## Les défis des Savanturiers

Pénétrez dans les coulisses de la science, guidé par les chercheurs et leurs passions. Chaque samedi, de 15 h à 15 h 30, France Inter propose l'émission « Les Savanturiers », dont certains épisodes sont réalisés en partenariat avec *Les défis du CEA*. Animé par Fabienne Chauvière, ce programme part à la rencontre des femmes et des hommes de sciences sur leur terrain. Ces aventuriers de la connaissance se livrent pour nous permettre de comprendre le monde d'aujourd'hui et préparer celui de demain. À écouter sur France Inter et à podcaster sur [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

## ➔ À voir sur [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

Retrouvez sur le site du CEA l'actualité de ses laboratoires et de nombreux dossiers thématiques, en multimédia (texte, audio et vidéo) et pour tous les publics.

[www.cea.fr/videos/actualites](http://www.cea.fr/videos/actualites)

## Matériaux pour le nucléaire



Fortes températures, irradiation, corrosion, les matériaux des centrales nucléaires sont soumis à des conditions extrêmes. Pour garantir leur durée de vie et performances ou pour concevoir les matériaux du futur, les industriels font appel aux compétences du CEA, présentées dans ce reportage.

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

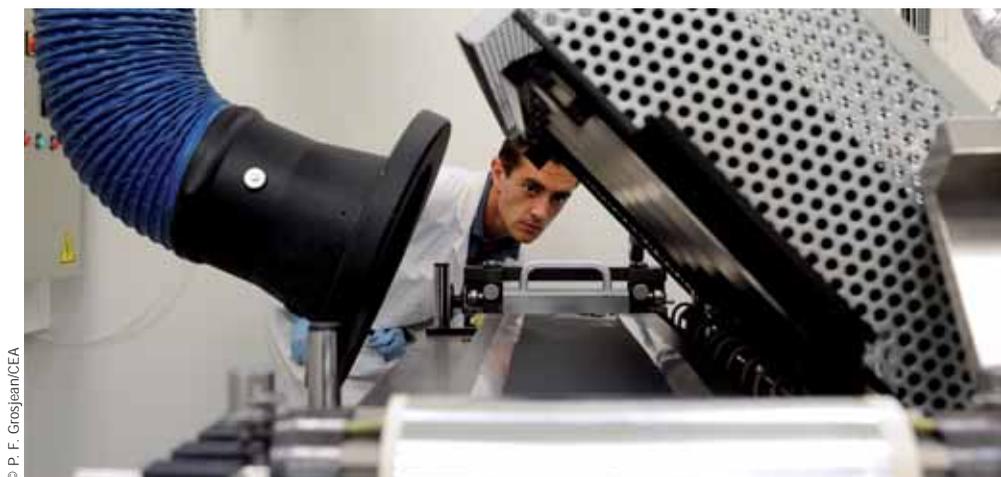
## Le climat de l'Eémien refait surface

Le forage de glace du site NEEM, au Groenland, a atteint le socle rocheux. La glace ainsi extraite à 2537,36 mètres de profondeur contient de précieuses informations sur l'Eémien, précédente période interglaciaire, lorsque le climat était plus chaud qu'aujourd'hui et le niveau des mers plus élevé d'environ 5 mètres.

## Erratum

Une erreur s'est glissée dans la rubrique « Repères » du n° 151, Spécial Lasers, des *Défis du CEA*. Pour expliquer les énergies des joules (p. 5), nous écrivions qu'1 joule était l'énergie nécessaire pour chauffer de 1 °C 1 gramme d'eau, alors qu'il s'agissait plutôt d'1 calorie, équivalant à 4,1855 joules.

Éditeur Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, R. C. S. Paris B77568019 | Directeur de la publication Xavier Clément | Rédactrice en chef adjointe Aude Ganier | Rédacteurs Fabrice Demarthon, Julie El Medioni, Patrick Philippou, Vane Ter Minassian | Comité éditorial Suzana Bahri, Elisabeth Lefevre-Rémy, François Legrand, Céline Gaffier, Brigitte Raffray, Frédéric Ravel, Emmanuelle Volant | Iconographie Micheline Bayard | Infographie Fabrice Maïtre | Photo de couverture Junos/BeyondCorbis | Diffusion Lucia Le Clech | Conception et réalisation SPÉCIFIQUE – www.spécifique.com | N° ISSN 1163-619X | Tous droits de reproduction réservés. | Ce magazine est imprimé sur du papier PEFC Galaxi Keramik, issu de forêts gérées durablement.



© P. F. Grosjean/CEA

## Le CEA-Liten

### En chiffres

**2005**

Année de création.

**410**

brevets, dont 134 déposés en 2009.

**500**

chercheurs répartis dans 19 laboratoires.

Parmi les recherches que mène le CEA-Liten (L'Institut des innovations pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux), celles sur la fabrication des batteries des véhicules électriques tiennent une place importante. Jusqu'à 150 chercheurs sont impliqués dans les différentes étapes de production. La majorité, dans le Laboratoire des batteries avancées (LBA), travaille à la synthèse des matériaux et à la réalisation des cellules des batteries. Les autres, du Laboratoire d'intégration des générateurs électrochimiques (Lige), réalisent l'assemblage des cellules et l'intégration de l'électronique en collaboration avec le CEA-Léti et l'Institut national de l'énergie solaire (Ines). Pour répondre à la demande des pouvoirs publics sur les transports durables, le centre de Grenoble vient d'accueillir une installation quasi industrielle de fabrication de batteries, la plateforme Steeve. Le CEA-Liten est également engagé dans plusieurs contrats avec des constructeurs automobiles et participe à quatre des onze programmes de l'Ademe sur les transports.

VOIR PAGES 6 À 10 & 16

## Les laboratoires



**CEA-Iramis**  
L'Institut rayonnement et matière mène des recherches fondamentales sur les énergies et les technologies pour l'information et la santé.

VOIR PAGE 12



**CEA-List**  
Les recherches du Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies portent sur les systèmes embarqués, les systèmes interactifs, les capteurs et le traitement du signal.

VOIR PAGES 7 & 13



**CEA-Iméti**  
L'Institut des maladies émergentes et des thérapies innovantes du CEA étudie les prions, les virus et les infections atypiques, et travaille sur de nouvelles pistes thérapeutiques.

VOIR PAGE 15



**CEA-Léti**  
Le Laboratoire d'électronique et des technologies de l'information est l'un des principaux centres européens de recherche appliquée en électronique pour l'industrie.

VOIR PAGES 7, 9, 13 & 14

# MUTUALISATION FRANCO- BRITANNIQUE

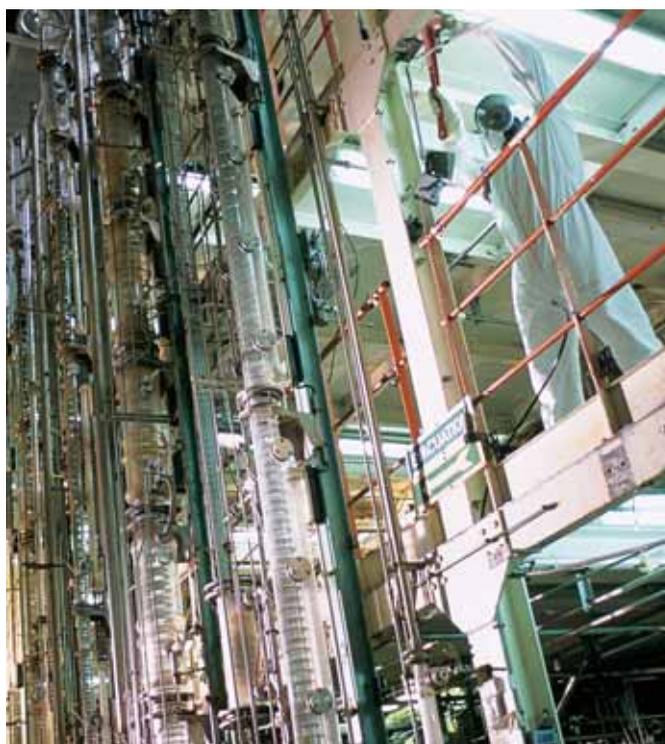
TEXTE: Julie El Medioni

DÉMANTÈLEMENT/ASSAINISSEMENT

Le CEA et la NDA<sup>1</sup>, organisme britannique chargé du démantèlement et de l'assainissement des sites nucléaires du secteur public et de la mise en œuvre du stockage géologique des déchets, ont signé en juin dernier un accord de coopération dans les domaines de la gestion des déchets et du démantèlement d'installations nucléaires. Évaluation des méthodologies et des coûts associés de tels projets et techniques d'évaluation de leur impact environnemental sont au programme de cette collaboration franco-britannique.

note: 1. Nuclear Decommissioning Authority.

Opération de démantèlement d'une installation nucléaire.



© P.Stroppar/CEA

TÉLEX

Le prix Diderot-Curien, qui récompense chaque année une personnalité pour son engagement en faveur de la culture scientifique et technique, a été remis à Roland Lehoucq, astrophysicien au CEA-Irfu. Retrouvez ses podcasts sur la physique des supers héros sur <http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/podcasts>



© L. Bonaventure/AFP/CEA

Salle de commande d'un réacteur de recherche du CEA.

## COOPÉRATION EXPERTE

TEXTE: J. E. M.

ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Le CEA et l'industriel allemand E.ON<sup>1</sup> ont signé un accord de R&D pour l'énergie nucléaire et son utilisation future. E.ON accède ainsi aux larges compétences du CEA et à ses installations expérimentales de recherche. Quant au CEA, cet accord lui permet d'étendre son offre d'expertise aux décideurs européens et d'intégrer des programmes de recherche sur des réacteurs nucléaires autres que ceux du parc français.

note: 1. E.ON est l'une des premières entreprises au niveau mondial dans le domaine de l'électricité et du gaz.

## CONTRAT RENAULT-CEA

TEXTE: Aude Ganier

TECHNOLOGIES POUR L'ÉNERGIE

Le CEA et Renault poursuivent leur collaboration avec la signature, le 24 juin dernier, d'un vaste accord de coopération stratégique pour la R&D dans les domaines des véhicules propres et de la mobilité durable pour tous. L'accord porte sur les voitures électriques, les nouvelles énergies ainsi que les futurs moteurs thermiques moins polluants. Il doit couvrir une période glissante de trois années, prolongeable tacitement d'année en année. Ce partenariat fait suite à des concertations menées en 2009 qui avaient permis d'identifier quatre chantiers: nouvelles énergies dans le transport, gains sur l'architecture électrique et électronique, compétitivité des moteurs thermiques et véhicule communicant.

## LA REVUE DE PRESSE QUAND L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE S'INVITE DANS LES MÉDIAS

> 12 juillet 2010  
*Libération*

### TREMBLEMENT DE TERRE

Séisme virtuel à Menton : 1500 morts, 7000 blessés, 15000 sans-abri. Ce terrible bilan est celui d'une simulation réalisée par le CEA pour être présentée au Sénat. Comme l'explique le quotidien, cette étude venait en support à une audition publique organisée par l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques sur le thème « La France est-elle préparée à un tremblement de terre? »



© CEA

> 1<sup>er</sup> août 2010  
*Capital*

### PERSPECTIVES POUR LA SANTÉ

Le magazine revient sur les maladies qui seront mieux soignées, voire vaincues, grâce aux avancées scientifiques attendues dans les dix prochaines années. C'est le cas, par exemple, de la dépression pour laquelle les travaux du CEA en imagerie fonctionnelle du cerveau, uniques en Europe, permettront de donner aux patients une prescription personnalisée afin d'éviter les effets secondaires nocifs.

> 22 juillet 2010  
*La Croix*

### L'ERREUR À L'HONNEUR

Prendre le risque de se tromper peut permettre de mieux trouver. Tel est le message de « Détrompez-vous! Un festival d'erreurs », organisé à l'École nationale supérieure de la rue d'Ulm et destiné à un public de 6 à 12 ans. « L'erreur est même le combustible de la recherche », rappelle au journal Étienne Klein, directeur de recherche au CEA et membre du conseil scientifique du festival.

> 22 juin 2010  
*La Croix*

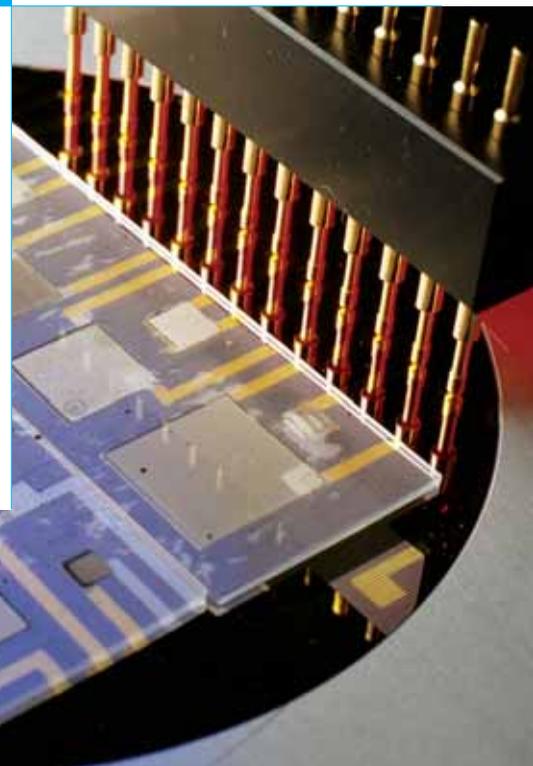
### UN GÉANT À ARC-NUCLÉART

« Les mammoths reviennent en Auvergne. » Ainsi est relatée la première exposition au monde d'un mammoth vieux de plus de 50000 ans. Avant d'arriver au musée de Crozatier du Puy-en-Velay, il a subi un nettoyage antibactérien et antiviral à l'aide de rayonnements gamma au laboratoire ARC-Nucléart du CEA à Grenoble (voir page 18).

> 5 juillet 2010  
[www.usinenouvelle.com](http://www.usinenouvelle.com)

### RÉSEAU NATIONAL POUR LES BATTERIES

Le quotidien en ligne fait le point sur le nouveau réseau de recherche et d'innovation dans le domaine des batteries pour la téléphonie mobile et pour les véhicules électriques. Sous l'égide du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ce réseau regroupe, pour plus de compétitivité, le CNRS, le CEA, huit laboratoires universitaires et des industriels tels que Renault, Saft ou EADS.



© A. Gontim/CEA



© P. F. Grosjean/CEA

▲  
Aperçu de l'une des salles anhydre de la plateforme Steeve du CEA-Liten. Son point de rosée à - 20 °C (10 fois moins humide que l'air extérieur) permet de réaliser la découpe et le bobinage des électrodes des batteries ainsi que d'effectuer des tests ponctuels (dans les boîtes à gants). Les autres étapes de conception et de fabrication des batteries se déroulent dans des salles aux points de rosée différents.

TEXTE : Aude Ganier

# LA COURSE AUX BATTERIES

## VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Pour asseoir sa maîtrise de toute la filière de conception et de production de batteries pour les véhicules électriques, le CEA se dote de la plateforme quasi industrielle Steeve. L'un des objectifs est notamment de préparer, pour 2015, l'arrivée sur le marché des premières batteries « made in CEA ».



**L**a révolution électrique dans les transports, le CEA la prépare depuis une dizaine d'années. Mais aujourd'hui, tout s'accélère: inauguration d'une plateforme unique en Europe, Steeve<sup>1</sup>, de conception et fabrication de batteries à façon au CEA-Liten<sup>2</sup> à Grenoble; projet d'une usine Renault à Flins dédiée aux batteries pour automobiles; lancement d'un programme de R&D avec Toyota<sup>3</sup> sur la mobilité solaire à l'Ines<sup>4</sup>; intégration dans différents prototypes de la technologie de pile à combustible (Pac) Génepac développée avec PSA... Plus que jamais, le CEA roule pour une approche durable des transports. Son objectif n'est autre que la maîtrise de toute la filière de production de générateurs électroniques, batteries et Pac pour véhicules électriques et hybrides. En effet, Jean Therme, directeur délégué aux énergies alternatives du CEA, affirmait en juin dernier: « Pour s'imposer, la France devra industrialiser les composants cœur comme les batteries et les Pac. Mais pour améliorer leurs performances, la révolution viendra des nanomatériaux: nanopoudres dans les batteries, nanocatalyseurs

dans les Pac... »<sup>5</sup> Pour y parvenir, les équipes du CEA-Liten ont été considérablement renforcées en 2010. Elles s'appuieront également sur les compétences du CEA-List<sup>6</sup>, du CEA-Léti<sup>7</sup> et de la Direction des applications militaires du CEA pour tenir les échéances fixées dans le cadre du partenariat avec Renault (voir page 4), le constructeur prévoyant notamment d'intégrer dans ses batteries des innovations issues des laboratoires du CEA. 2015 sera ensuite une étape importante avec l'arrivée sur le marché des premières batteries « made in CEA ».

### La révolution du lithium

Les jalons technologiques à franchir restent importants, inhérents à toute forme de stockage des énergies intermittentes. Il s'agit de réduire encore de moitié le coût de ces batteries tout en augmentant leur autonomie et leur durée de vie, et cela en toute maîtrise des aspects sécurité et recyclage. Mais avant de comprendre ces ruptures, entendons-nous d'abord sur le terme même de batterie. Il ne s'agit pas de celle dont sont équipées toutes les voitures afin de >>>

notes: 1. Plateforme Steeve (Stockage d'énergie électrochimique pour véhicules électriques) financée par l'État. 2. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3. 3. Projet AMI DHRT2. 4. Institut national de l'énergie solaire, installé près de Chambéry et fondé en 2006 par le CEA avec le CNRS et l'Université de Savoie. 5. Interview de Jean Therme in *Industrie et Technologie*, hors-série, juin 2010. 6. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3. 7. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3.



© P. F. Grosjean/CEA

▲ Étape de fabrication des encres, qui seront imprimées sur les électrodes des batteries, constituées de solvants et de poudres (éléments actifs nanostructurés).



© Artechnique/CEA

▲ Étape de bobinage : les composants (électrodes, électrolyte, séparateurs) sont enroulés sur eux-mêmes pour former une cellule cylindrique.



© P. Avavian/CEA

▲ Étape d'assemblage des cellules pour former le pack batterie lithium.

**« Alors que nous maîtrisons la fiabilité et les performances des capteurs, ils doivent être productibles au niveau industriel et acceptables en termes de coût. »**

Laurent Antoni, du CEA-Liten

>>> pouvoir démarrer et alimenter l'autoradio, il s'agit de celle qui alimente le moteur électrique ou qui vient en complément énergétique du véhicule hybride. Cette batterie est en fait un assemblage d'**accumulateurs**, appelés également cellules. Leur fonctionnement est celui, classique, d'une pile où circule un courant entre deux électrodes *via* un électrolyte (voir « *Tout s'explique* », pp. 16-17). L'innovation réside essentiellement dans le choix des matériaux de ces composants. Jadis au plomb, puis au nickel, ils sont de plus en plus à base de lithium couplé aux différents composés des électrodes. Le CEA a fait, entre autre, le pari du phosphate de fer lithié (LiFePO<sub>4</sub>) : « *Nos batteries s'inspirent de celles développées pour les dispositifs portables (ordinateurs, téléphones) et dont le lithium est couplé au cobalt. Or, ce dernier présente un coût prohibitif pour un véhicule et n'offre pas assez de garanties de sécurité car il a tendance à devenir instable avec l'échauffement. Le LiFePO<sub>4</sub> reste, lui, très stable jusqu'à 200 °C, alors que la batterie n'est soumise qu'à une cinquantaine de degrés, et présente des avantages en termes d'autonomie et d'encombrement* », explique Sébastien Martinet, chercheur au Laboratoire des batteries avancées du CEA-Liten. En effet, le LiFePO<sub>4</sub> permet déjà de diviser de moitié la masse des batteries par rapport à celle des batteries au nickel, tout en augmentant l'énergie embarquée, et a réduit cette masse d'un facteur dix par rapport à celle des batteries au plomb. Aujourd'hui, les performances affichées sont encourageantes : le pack batterie (assemblage de 200 cellules), de 200 kg, peut générer jusqu'à 20 kWh pour une autonomie d'environ 150 km sur autoroute. Par ailleurs, la durée de vie des cellules est de l'ordre de la demi-vie d'un véhicule, soit 6 ans.

« *Tout dépend du choix des matériaux selon les applications : véhicule léger ou bus, voiture tout électrique ou hybride... Nous testons de nombreuses configurations. Par exemple, nous travaillons à coupler le LiFePO<sub>4</sub> avec du graphite pour augmenter l'autonomie, comme dans le cadre du projet de roues électriques avec Michelin, ou à le coupler avec un oxyde de titane pour avoir de bonnes puissances et des recharges rapides* », poursuit le chercheur, dont l'objectif pour 2015 est notamment de pouvoir atteindre 25 kWh avec un pack batterie.

**La plateforme Steeve, la voie vers l'industrialisation**

Le choix des matériaux consiste en fait dans la formulation chimique des poudres qui tapissent les électrodes. Et la révolution, telle que la perçoit Jean Therme, tient également dans l'emploi de nanomatériaux. La nanostructuration permet en effet d'économiser les matières premières, d'augmenter la **densité énergétique** et la densité de puissance, et de diminuer les éléments à recycler. Forts de leur savoir-faire, les chercheurs sont en mesure de fabriquer eux-mêmes ces poudres. Produits dans des installations dédiées comme Nanomill, au CEA-Liten, les éléments sont broyés et structurés à l'échelle nanométrique, puis recomposés au format micrométrique afin d'être aisément manipulables. Les poudres sont alors déposées sur des feuilles d'aluminium (électrode positive) et de cuivre (électrode négative), épaisses de 10 à 20 microns, dans une machine semblable aux rotatives utilisées dans la presse. Ces feuilles sont ensuite comprimées en ligne, découpées, embobinées et encapsulées selon des architectures particulières aux applications. Reste alors à les assembler en modules empilés en étages pour former le pack batterie. C'est à ce niveau qu'intervient un autre domaine d'expertise du CEA-Liten. La phase d'assemblage consiste à intégrer de l'électronique dans les modules et d'en assurer une gestion optimisée. C'est le *Battery Management System* (BMS), tel que le présente Laurent Antoni, responsable du Laboratoire d'intégration des générateurs électrochimiques du CEA-Liten : « *Il s'agit de recueillir des données de performance sur les différentes architectures d'assemblage possibles. Nous*



◀ Étape du monitoring qui consiste en l'instrumentation d'un véhicule (ici le modèle Citroën AX) pour étudier ses performances énergétiques.

*travaillons dès lors sur des innovations mécaniques, thermiques ou électriques en utilisant des cellules commerciales ou nos propres éléments.* » Et ce n'est pas une mince affaire que de gérer simultanément 200 cellules!

#### Une électronique de dernière génération

La fonction principale de l'électronique des batteries est de veiller à l'homogénéisation et l'équilibrage des états de charge et de décharge des cellules. En effet, si une cellule venait à se charger plus rapidement que les autres, elle risquerait d'interrompre la charge de l'ensemble, et inversement. De plus, une cellule ne saurait à elle seule fournir les 20 kWh. Ainsi, les récents développements ont permis d'intégrer dans les batteries un équilibrage actif dit de 4<sup>e</sup> génération: un circuit mesure avec une très grande

précision les **tensions** de toutes les cellules et les transmet à un microcontrôleur intégré. À lui de gérer le transfert du surplus d'énergie vers les éléments les moins chargés. Les chercheurs développent également toute une intelligence embarquée pour être en mesure de connaître en temps réel la quantité d'énergie qu'il reste dans la batterie, son état de charge, d'énergie... La gestion de la thermique est également importante pour éviter la surchauffe des éléments qui aurait une incidence sur leur durée de vie et sur la sécurité. C'est ainsi que, dès leur fabrication, les cellules sont instrumentées de capteurs. Mais toute cette électronique embarquée a un coût! « *Nous travaillons étroitement avec les équipes du CEA-Léti, expertes en capteurs et autres actionneurs. Mais, alors que nous maîtrisons la fiabilité et les performances de ces composants, nous devons continuer d'innover pour veiller à ce qu'ils soient productibles au niveau industriel, et surtout acceptables en termes de coût* », indique Laurent Antoni. Si tous ces développements sont encourageants, le coût du kWh restitué s'estime actuellement à 1 €. Un coût qu'il faut encore réduire de moitié et qui représente une course contre la montre.

#### Du monitoring au parking solaire

Plusieurs pistes sont retenues pour étudier et optimiser les performances des packs batterie installés dans le véhicule. L'une d'elle réside dans la phase dite de *monitoring*: « *Nous avons développé des démonstrateurs, comme une Citroën AX, à partir de laquelle sont enregistrées des données relatives à la vitesse, aux accélérations, au dénivelé de la route, aux distances parcourues, aux températures... Nous devons connaître les cycles d'usage alors nous avons mis des véhicules à disposition des chercheurs qui* >>>

**Tension** // Circulation du champ électrique dans un circuit, exprimée en volts.



◀ Étape de refente des électrodes et des séparateurs, une fois imprimés et embobinés.

>>> *en font un usage particulier* », explique Laurent Antoni. Pour ce *monitoring* débuté en 2009 sur le centre de Grenoble et à l'Ines, le CEA-Liten dispose, à travers différents projets, d'une quinzaine de voitures tests : Prius Plug-in, Kangoo, 106, Citroën AX... Cette dernière, alimentée par des packs batterie LiFePO<sub>4</sub>, a ainsi pu effectuer le trajet complet de Grenoble à la station hivernale de Chamrousse, ce qui représente 96 km, dont 20 d'ascension, pour un dénivelé total de 1500 m. « *Nous avons également pu gravir deux fois la rampe de Laffrey, alors qu'avec la même voiture mais équipée de packs batterie à base de nickel-cadmium, une seule ascension fut possible. Avec ces véhicules électriques, nous profitons en plus des descentes car, lorsque le moteur est en décélération, il devient générateur de courant pour la batterie, ce qui la recharge. Et l'avantage des batteries à base de lithium est la possibilité de recharge rapide.* »

Vient ensuite la question du passage à la pompe ! Une question plus que d'actualité, à en lire les obligations législatives du Grenelle 2 de l'environnement. Celles-ci visent, dès 2012, l'intégration de bornes sur les parkings des immeubles neufs (bureaux et logements) et, à partir de 2015, à leur installation dans les bâtiments existants. Là encore, les ingénieurs font preuve d'innovation. Les voitures de l'opération *monitoring* sont rechargées au CEA-Liten à partir de bornes couplées au réseau électrique ou reliées à des panneaux photovoltaïques. Ce concept de parking solaire fait l'objet d'un partenariat entre l'Ines et Toyota sur des véhicules hybrides Prius Plug-in. Il s'agit notamment de développer des stratégies pouvant répondre à une « personna-

Nous développons des stratégies de personnalisation de l'usage des bornes de recharge.

lisation » de la recharge en proposant à un usager que le plein d'énergie soit fait à l'heure programmée de son départ. Une autre piste repose sur l'optimisation de la gestion de l'énergie lors des parcours : « *Nous développons par exemple des logiciels qui, en temps réel, calculent le meilleur trajet d'un point A à un point B, en fonction du niveau d'énergie à dépenser, du profil de la route, du trafic et des lieux de recharge* », révèle Laurent Antoni.

Les chantiers sont colossaux, le temps est compté, mais les idées ne manquent pas (voir encadré ci-dessous). L'enjeu est de taille. Celui de concevoir des processus industriels de fabrication de batteries et celui de voir, dès 2015, la propre production du CEA conduire vers des chemins durables.



© P. Dumas/CEA

▲ Station de recharge de véhicules couplée à l'énergie solaire, installée sur le centre CEA de Grenoble et à l'Ines.

## PILES A COMBUSTIBLE

# SUR TERRE, EN MER ET DANS LES AIRS



© P. Avramian/CEA

▲ Pile à combustible de 250 W, développée au CEA.

Si les chercheurs progressent dans le gain en autonomie de leurs batteries LiFePO<sub>4</sub>, ils anticipent déjà les limites, estimées à 300 km. Depuis quelques années, ils réfléchissent à un nouveau concept de véhicule hybride. Celui-ci, qui couplera les batteries à une pile à combustible (Pac), existe au CEA incarné dans un cabriolet 307 Peugeot<sup>1</sup>. Ses performances sont prometteuses : vitesse de 155 km/h et autonomie de 500 km, dont un peu moins de 100 avec la batterie et 400 grâce aux 4 kg d'hydrogène de la Pac. Ainsi, forts de leur savoir-faire, notamment avec leur prototype Génepac, les chercheurs continuent d'innover. Il y a par exemple des projets en cours qui visent les marchés de

niche comme l'alimentation d'engins agricoles, de drones ou de véhicules robustes évoluant en conditions hostiles, comme dans le désert. Plus connu est celui du voilier Zéro CO<sub>2</sub> autour de la Méditerranée, bateau hybride qui a initié son périple en juin dernier. Il a dans un premier temps fonctionné en tout électrique, avec la même technologie de batterie lithium que celle de l'AX, et entre actuellement en mode hybride afin que soit testée la Pac en milieu marin. Si le nouveau concept de véhicule ne doit voir le jour qu'en 2020, son développement reste conditionné à la problématique du stockage de l'hydrogène et à la réglementation associée.

note : 1. Dans le cadre du projet ANR Fisypac.

# À la pointe

## SUR LE PODIUM DE L'INNOVATION

Le CEA est de nouveau récompensé par le Concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes. Pour la 12<sup>e</sup> édition de ce rendez-vous annuel, trois de ses start-up sont primées dans la catégorie « Création & développement », et deux dans la catégorie « Émergence ». À notre tour de faire honneur aux lauréats Ethera, Asetla Nanographics, Diotasoft, ThéraneXus et Ignus Opto.

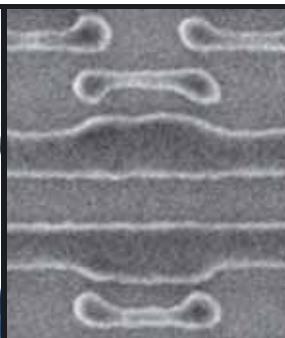


DANS LA CATÉGORIE « CRÉATION & DÉVELOPPEMENT »

DANS LA CATÉGORIE « ÉMERGENCE »



P. 12



P. 13



P. 13



P. 14



P. 15

**Ethera**

Technique de détection de polluants chimiques

**Asetla Nanographics**

Concept de logiciel d'aide à la production de circuits intégrés sub32nm

**Diotasoft**

Solutions de réalité augmentée pour smartphones et tablettes tactiles

**Ignus Opto**

Conception et fabrication de diodes électroluminescentes

**TheraneXus**

Concept de médicament pour la sécurité et l'efficacité des psychotropes

## LE CONCOURS NATIONAL D'AIDE À LA CRÉATION D'ENTREPRISES DE TECHNOLOGIES INNOVANTES

Créé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ce concours a pour objectif de révéler des projets à fort potentiel innovant et de soutenir les plus prometteurs grâce à une aide financière et un accompagnement adapté. Les projets peuvent être primés dans la catégorie « Émergence » lorsqu'ils nécessitent encore une phase de maturation technique, économique et juridique, ou dans la catégorie « Création & Développement » pour ceux dont la preuve du concept est établie et ont, ou vont, conduire à court terme à la création d'une entreprise.

**174**

Nombre de lauréats à la 12<sup>e</sup> édition du concours, dont 60 % sont issus de la recherche publique.

**45 000 €**

Montant maximum de la subvention dans la catégorie « Émergence » pour financer les prestations nécessaires à la maturation d'un projet.

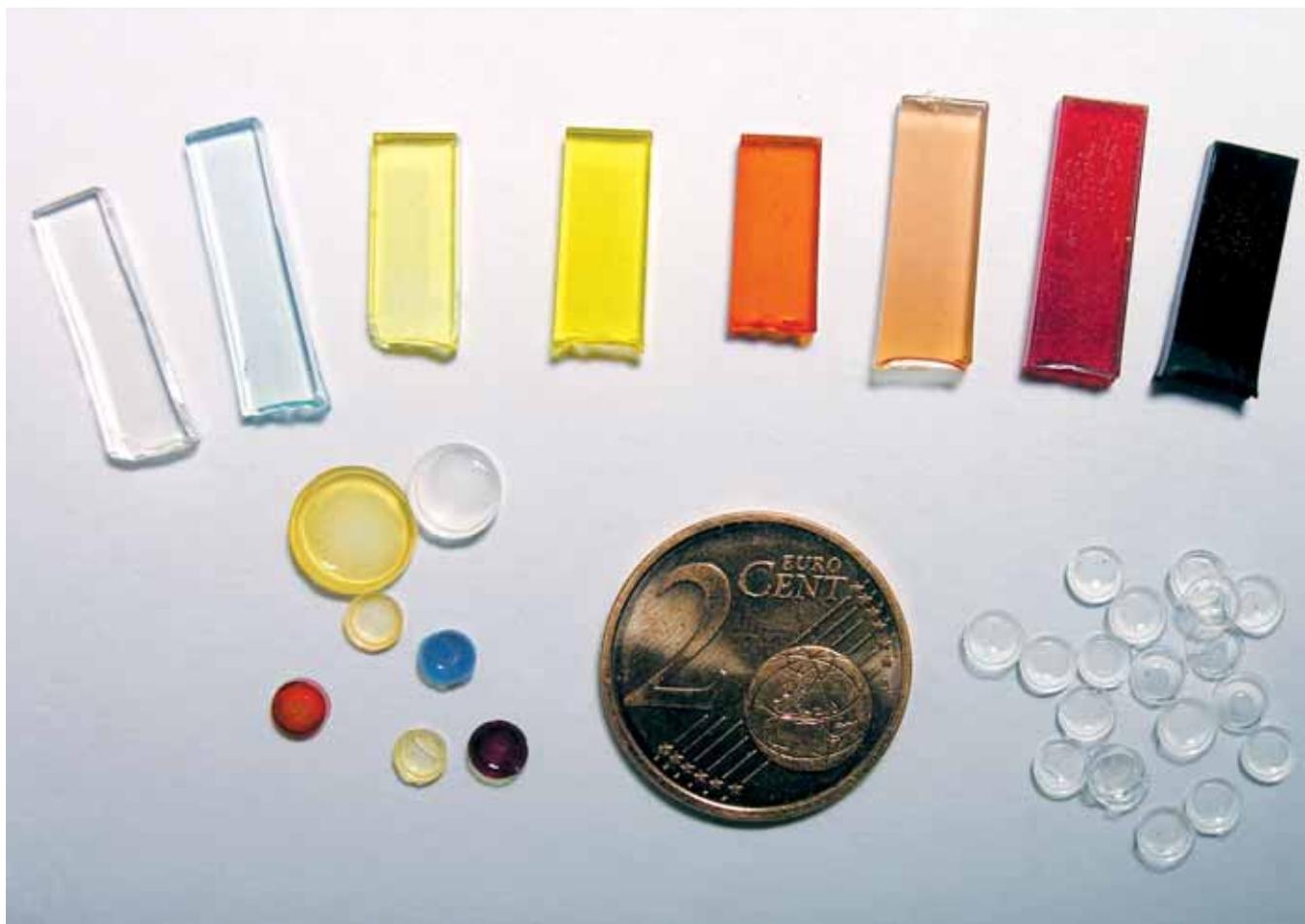
**450 000 €**

Montant maximum de la subvention dans la catégorie « Création & Développement » pour financer une partie du programme d'innovation d'un projet.

**1177**

Nombre d'entreprises créées avec la contribution du Concours depuis sa création en 1999.

CATÉGORIE « CRÉATION & DÉVELOPPEMENT »



© Ethera / CEA

## ETHERA

TEXTE : Vahé Ter Minassian

TECHNIQUE DE DÉTECTION DE POLLUANTS CHIMIQUES

**Détecter** la plus infime trace de pollution d'air intérieur rapidement. Tel est le créneau d'Ethera. Fondée en mars 2010 par Yves Bigay et Sylvain Colomb, ingénieurs du CEA, et Thu-Hoa Tran-Thi, chercheuse au CNRS qui en a développé la technologie, cette société grenobloise commercialise des dispositifs capables de mesurer, en quelques minutes, les faibles concentrations dans l'atmosphère d'un gaz toxique : le formaldéhyde, ou formol. Présent dans les colles pour moquette et certains matériaux contreplaqués, et utilisé comme désinfectant industriel, ce produit chimique pourrait dans les prochaines années faire l'objet d'une réglementation en raison des irritations qu'il provoque. Mais comment en déterminer facilement la teneur dans un bâtiment et à des coûts raisonnables? Développée au sein du Laboratoire

Francis Perrin, commun au CEA-Iramis<sup>1</sup> et au CNRS, la solution proposée par Ethera repose sur un matériau nanoporeux transparent dont les surfaces internes contiennent une molécule sonde déposée grâce à un **procédé sol-gel**. En cas de présence de formaldéhyde, celui-ci pénètre dans ce matériau synthétique et entre en contact avec cette molécule spéciale qui réagit en se colorant en jaune. En mesurant la différence de transparence du matériau, l'utilisateur peut ainsi déduire la concentration de formaldéhyde dans l'air ambiant en quelques minutes. Et cela même si celle-ci ne dépasse pas les 10 µg/m<sup>3</sup>.

note : 1. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3.

**Procédé sol-gel** // Méthode de réalisation de matériaux vitreux ou polymères par des réactions chimiques simples et à des températures proches de l'ambiante.

▲  
Gamme de capteurs pouvant détecter différents gaz qui seront, à terme, commercialisés par Ethera.

# ASELTA NANOGRAPHICS

TEXTE : V. T. M.

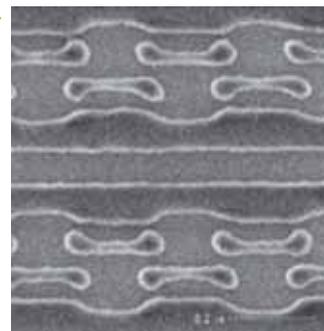
AIDE À LA PRODUCTION DE CIRCUITS INTÉGRÉS

**Réduire** les coûts de production des nouvelles générations de circuits intégrés, tel est l'intérêt du logiciel Inscale de la société Asetla Nanographics. Avec la course à la miniaturisation, les prix de fabrication de l'industrie des semi-conducteurs se sont envolés, ralentissant le rythme avec lequel les nouveaux produits arrivent sur le marché. Principales causes de ce phénomène : les procédés de lithographie actuels commencent à atteindre leurs limites dès lors qu'il s'agit de graver du silicium avec des détails inférieurs à 32 nanomètres. D'où un vaste effort de recherche mené au niveau international pour identifier de nouvelles techniques. Asetla Nanographics s'est focalisée, pour sa part, sur la lithographie à faisceaux d'électrons. Plus précise et permettant d'écrire des motifs avec une meilleure résolution que la photolithographie classique, cette technique pourrait, lors de sa mise sur le marché à l'horizon 2013, donner un second souffle au secteur. Reste qu'elle nécessite encore des développements. La start-up, dirigée par Serdar Manakli du CEA-Léti<sup>1</sup>, propose ainsi un nouveau concept de logiciel permettant d'optimiser le paramétrage des instruments

note : 1. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3.

▶ Photolithographie assistée par logiciel dans une salle du CEA-Léti.

▶ Motifs de circuits intégrés inférieurs à 32 nanomètres.



© CEA

et procédés de lithographie à faisceaux d'électrons (correction des effets de proximité, alignement des faisceaux, placement...), une étape déterminante pour travailler avec précision à l'échelle du nanomètre. À la clé, une meilleure définition du design des circuits électroniques, un gain de temps pour leur écriture, et une réduction de leur coût de production.



© CEA

TEXTE : Patrick Philipon

SOLUTIONS DE RÉALITÉ AUGMENTÉE

# DIOTASOFT

**La** réalité augmentée opère aujourd'hui une véritable percée sur les plateformes mobiles de type smartphones et tablettes tactiles. Ce concept, visant à « augmenter » la perception d'une situation réelle en y ajoutant des éléments fictifs, désigne les différentes solutions qui permettent de superposer de façon réaliste des objets virtuels (sons, images, effets tactiles, retours d'efforts...) à une séquence d'images. Christophe Montandon, de l'Institut CEA-List<sup>1</sup>, s'est associé à Lionel Joussemet et Ludovic Perrier pour fonder Diotasoft en s'appuyant sur une idée simple : appliquer aux plateformes mobiles les compétences qu'ils ont acquises dans ce domaine en répondant à des demandes d'industriels pour améliorer ou accélérer leurs procédés. La puissance de calcul des appareils nomades a tellement progressé qu'ils peuvent désormais accéder à des applications jusqu'alors réservées aux salles dites « immersives ». Et le marché est immense : les entreprises de communication et les sociétés de distribution veulent toutes avoir « leur » application en réalité augmentée, par exemple pour proposer un essai virtuel (prendre une photo de son salon avec son smartphone et y intégrer ensuite les différents mobiliers proposés par la société). « *La concurrence est très vive dans ce milieu, mais notre savoir-faire nous permet de concevoir des solutions plus rapides, plus précises, avec des capacités uniques d'analyse de l'environnement* », souligne Christophe Montandon.

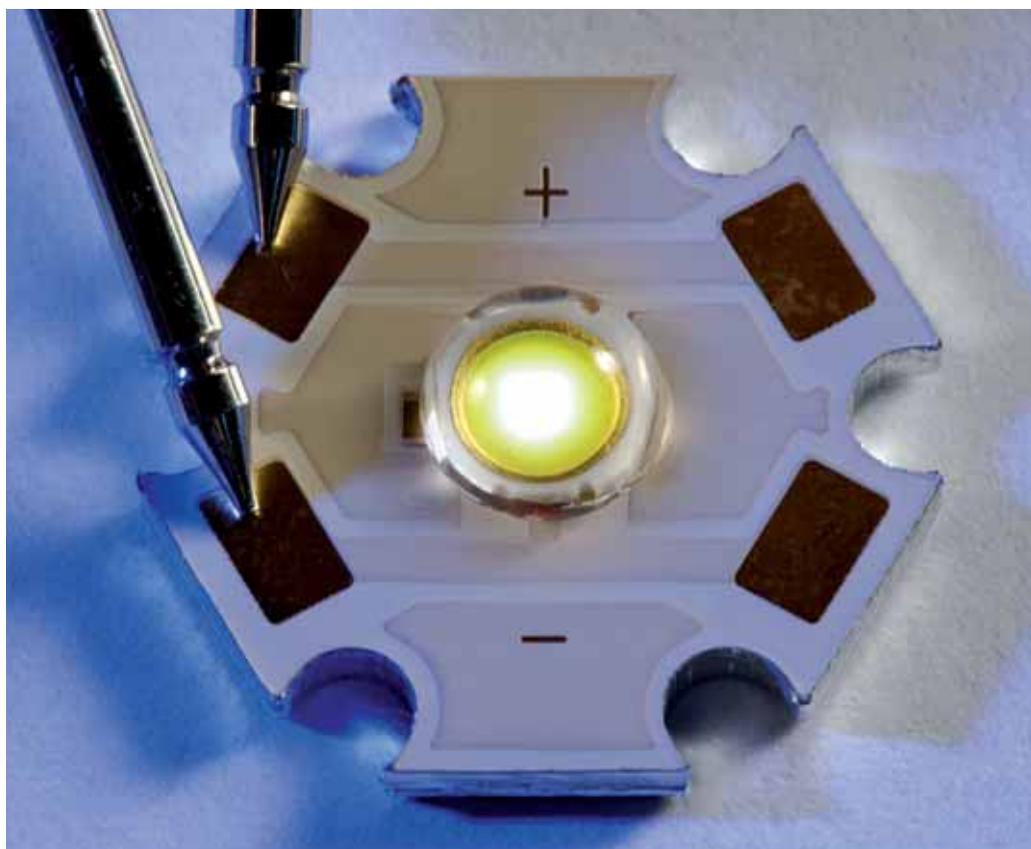


© DR

▶ La réalité augmentée permet d'ajouter des informations ou des éléments virtuels à un environnement réel.

note : 1. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3.

CATÉGORIE « ÉMERGENCE »



► Diode électroluminescente à base de nanocristaux de GaN.

© CEA

## IGNUS OPTO

TEXTE : V. T. M.

CONCEPTION ET FABRICATION DE DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES

**Concevoir** et fabriquer des diodes électroluminescentes (LED) de la prochaine génération : tel est l'objectif d'Ignus Opto. Créée à l'initiative de Pierre Moller, cette société grenobloise proposera des LEDs à base de nanofils de nitrure de gallium (GaN) destinées à l'éclairage. Par rapport aux produits existants, ces diodes high-tech développées par le CEA-Léti<sup>1</sup> seront fabriquées sur des substrats peu onéreux et de grandes tailles. Conséquence : elles pourront être produites plus facilement en grandes quantités et à des prix bien inférieurs à ceux du marché. Les performances visées sont également remarquables : pour chaque watt d'électricité consommé, les LEDs d'Ignus Opto pourraient générer près de 250 **lumens** de lumière blanche,

celles actuellement commercialisées en produisant autour d'une centaine suivant les conditions d'utilisation. Les premiers exemplaires de diodes à nanofils de GaN qui sortiront du laboratoire commun entre la « jeune pousse » et le CEA-Léti seront de couleur bleue, base de toutes les LEDs blanches actuelles. À terme, l'équipe devrait également produire des LEDs vertes efficaces, ce que ne permettent pas les technologies actuelles.

« Ces diodes high-tech seront fabriquées sur des substrats peu onéreux et de grande taille. Elles pourront ainsi être produites plus facilement en grandes quantités et à des prix inférieurs à ceux du marché. »

note : 1. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3.

# THERANEXUS

TEXTE : Fabrice Demarthon

MÉDICAMENT POUR LA SÉCURITÉ ET L'EFFICACITÉ DES PSYCHOTROPES

**Perte** de vigilance, sensation de vertige, anxiété, impuissance, prise de poids... La liste des effets indésirables des médicaments psychotropes – antidépresseurs, anxiolytiques, psychostimulants – fait pâlir. Le projet Theranexus, mené au CEA-Iméti<sup>1</sup>, pourrait bien changer la donne. Son objectif : augmenter l'efficacité des molécules psychotropes afin de réduire les doses à administrer et diminuer les effets secondaires. Comment ? En leur associant d'autres produits actifs. Les psychotropes agissent en modifiant l'activité de certains neurones. Or, certaines protéines inhiberaient naturellement cette activité et seraient donc un obstacle à l'efficacité des psychotropes. D'où l'idée de Franck Mouthon et de Mathieu Charvériat, coproducteurs du projet Theranexus, et de leurs collègues Virginie Nouvel et Christèle Picoli : renforcer l'activité des psychotropes en leur associant des molécules capables de bloquer ces protéines. « Nous avons testé des molécules déjà sur le marché, indique Franck Mouthon. Certaines, prescrites initialement contre l'hypertension ou l'inflammation, par exemple, agissent à faibles doses sur ces protéines. » Les chercheurs ont ajouté aux psychotropes l'une de ces molécules en faible quan-

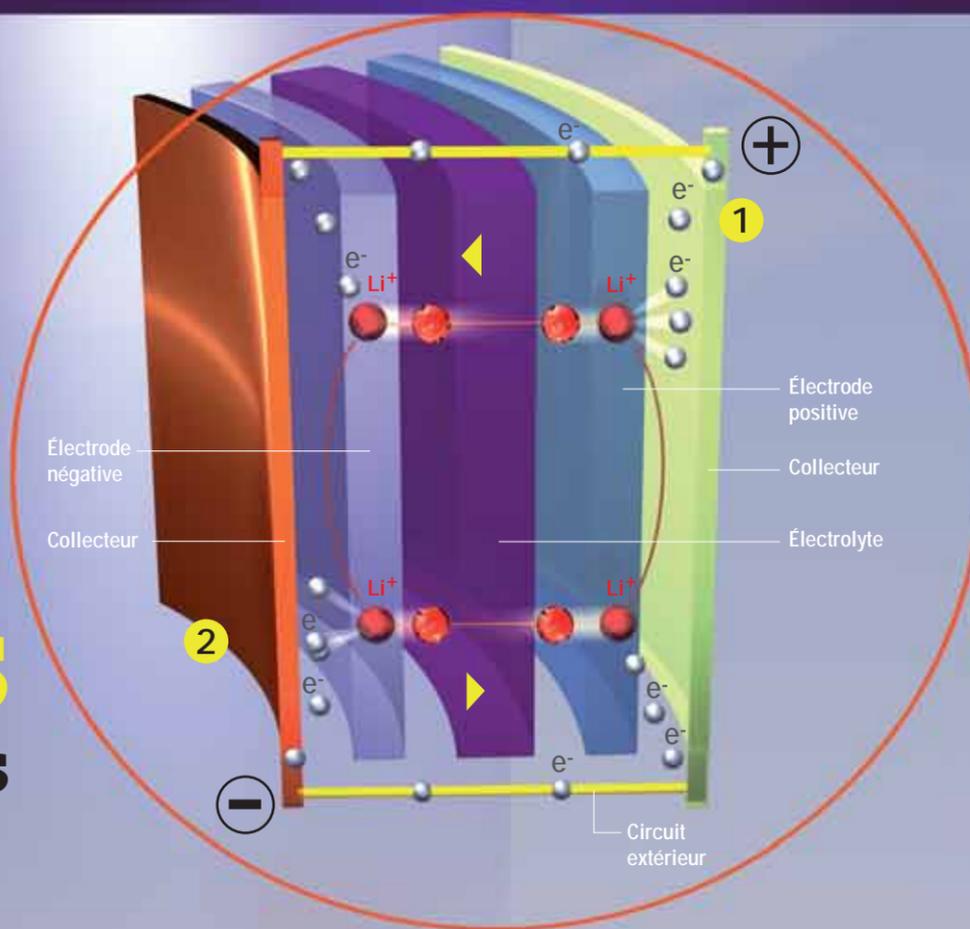
tité, suffisante pour bloquer ces protéines sans induire l'effet pour lequel elle est habituellement prescrite. Ils sont ainsi parvenus à réduire fortement les doses efficaces de certains psychotropes.

Aujourd'hui, une dizaine de ces « boosters » a été identifiée. L'équipe souhaite désormais créer une start-up afin d'accompagner les industries pharmaceutiques dans le développement et l'amélioration de leurs psychotropes. Car l'intérêt de la méthode est aussi économique : ils pourront sécuriser le développement de leurs nouveaux produits et, pour ceux actuellement prescrits, poursuivre et accroître leur exploitation.

note : 1. Voir rubrique « Les laboratoires », p. 3.

Alimentant les moteurs électriques des véhicules, la batterie est un assemblage d'accumulateurs, dispositifs qui stockent l'énergie électrique par des réactions chimiques. L'énergie est échangée par la circulation d'ions entre les deux électrodes *via* un électrolyte, et d'électrons dans un circuit extérieur. Il existe différentes batteries, selon leur fonction dans un véhicule hybride ou électrique : récupération d'énergie au freinage, traction en continu, etc.

# Les batteries des véhicules électriques



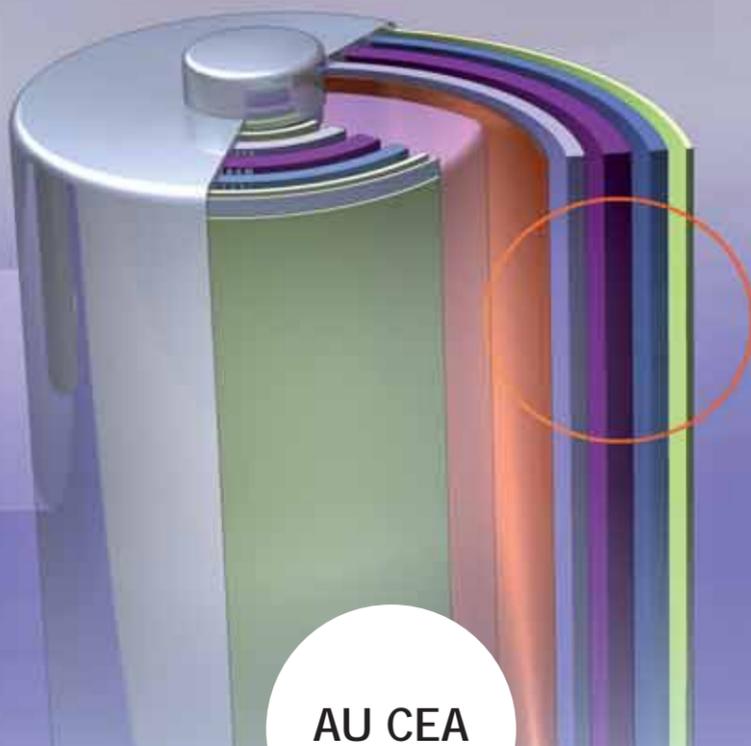
## FONCTIONNEMENT DE L'ACCUMULATEUR

**1 Charge**  
Le matériau actif de l'électrode<sup>+</sup> s'oxyde en libérant à la fois des ions lithium ( $\text{Li}^+$ ) dans l'électrolyte et des électrons ( $\text{e}^-$ ) dans un circuit extérieur. Le potentiel électrique de ce matériau est voisin de 3,7 V. Du côté de l'électrode<sup>-</sup>, c'est une réaction de réduction qui se produit au sein du matériau actif qui insère les ions lithium tout en consommant les électrons du circuit extérieur. Le potentiel de cette réaction est, lui, de 0,1 V. Cela conduit ainsi à une tension de fonctionnement, donnée par la différence entre les deux potentiels, de 3,6 V.

**2 Décharge**  
Les réactions inverses se produisent aux deux électrodes : les ions sont libérés par l'électrode<sup>-</sup> et viennent se réinsérer dans la structure du matériau de l'électrode<sup>+</sup>. C'est ainsi que ce principe de fonctionnement est communément appelé mécanisme « rocking-chair ».

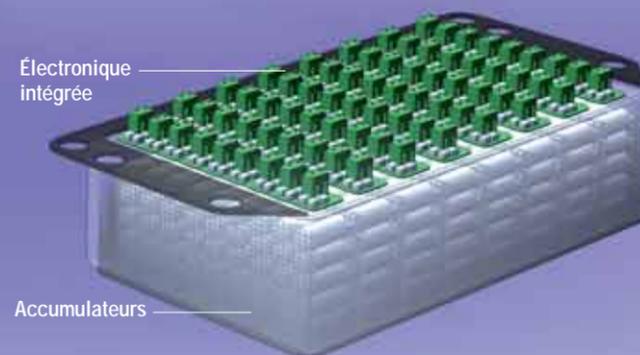
## L'ACCUMULATEUR

Un accumulateur est une pile électrique qui peut être rechargée. Il est constitué d'un électrolyte, contenu dans un séparateur isolant électronique, et de deux électrodes supportées par des collecteurs de courant. Dans un accumulateur lithium-ion, l'électrolyte est un solvant organique liquide à base de sel de lithium. Les électrodes, réalisées à partir de poudres d'actifs chimiques (carbone, phosphate, titane...), sont imprimées sur des feuillards collecteurs de courant, épais de 10 à 20 microns. Les électrodes et le séparateur, d'une dizaine de mètres de longueur, sont emboînés en plusieurs tours avec une précision d'alignement inférieure au millimètre. On obtient un cylindre de 4,5 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur.



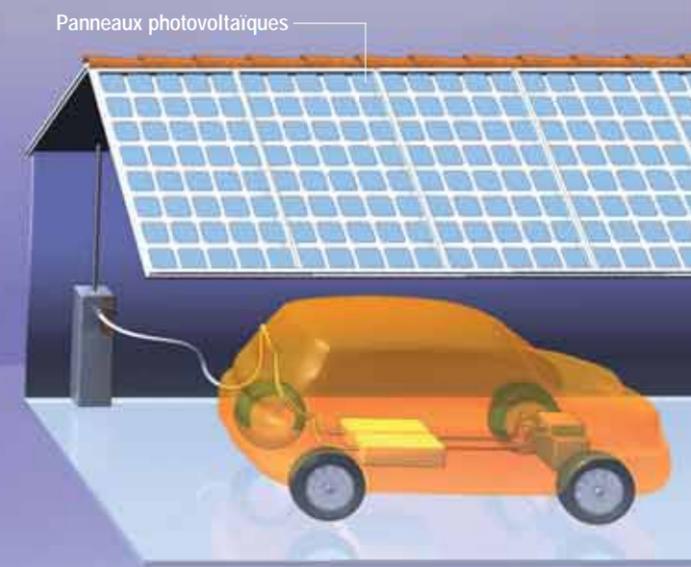
## LA BATTERIE

Les accumulateurs sont groupés en série dans des modules assemblés eux-mêmes en parallèle pour former une batterie et atteindre la tension de fonctionnement et la capacité nécessaire à l'alimentation du véhicule. L'énergie stockée (estimée en kWh) dépend du nombre d'accumulateurs, de leur chimie et du mode de recharge de la batterie. Chaque module possède une électronique qui veille à homogénéiser les états de charge et de décharge de chaque accumulateur afin de garantir à la batterie une durée de vie et des performances optimales.



## RECHARGE DE LA BATTERIE

La batterie est rechargée par une source extérieure d'énergie qui communique avec l'électronique intégrée à la batterie afin de charger au mieux chaque accumulateur. Cette source provient d'une borne reliée au réseau électrique ou couplée à des panneaux photovoltaïques. Le temps de recharge dépend également de la chimie de la batterie.



**AU CEA**

Les chercheurs du CEA-Liten et de l'Ines maîtrisent toute la chaîne de production des batteries des véhicules électriques. Cela comprend la synthèse des poudres des électrodes, l'assemblage des accumulateurs, leur intégration dans les packs batteries ainsi que la réalisation de l'électronique du système pour assurer la sécurité et optimiser le fonctionnement des batteries...

PROPOS RECUEILLIS PAR : Aude Ganier

# LE TOILETTAGE HIGH-TECH DE KHROMA

## 3 QUESTIONS À LAURENT CORTELLA

Il était attendu depuis des mois par ARC-Nucléart ! Plus de 50 000 ans après son décès, et un an après sa découverte en Sibérie, le plus vieux bébé mammouth Khroma arrive enfin. L'histoire de son parcours et de son transit pour traitement *via* le CEA, racontée en trois points par Laurent Cortella.



© CEA

1

### Qui est Khroma ?

**L. C.** | Khroma est un bébé mammouth, découvert en mai 2009, près de la rive du fleuve Khroma, au nord de la Yakoutie, en Sibérie. Il mesure 1,64 mètre, pèse 80 kilos et aurait entre six et sept mois. Quant à sa mort, elle remonterait à plus de 50 000 ans car elle échappe à la datation au carbone 14 qui ne peut pas livrer de résultats au-delà de cette période. Les paléontologues ignorent également s'il s'agit d'un mâle ou d'une femelle car son bassin est tordu, sans doute suite à une chute mortelle, et masque son sexe. Mais il est dans un état de conservation exceptionnel, grâce à sa congélation dans le permafrost sibérien. Ses chairs sont intactes et il a même des poils au niveau des pattes. Seules manquent sa trompe et sa bosse (réserve de graisse), probablement dévorées par les renards polaires.

### Laurent Cortella,

physicien nucléaire au laboratoire ARC-Nucléart du CEA.

le débarrasser des germes potentiellement pathogènes et de certains bacilles anciens qui restent présents dans cette matière organique. Et c'est la spécialité d'ARC-Nucléart de travailler à la conservation et à la restauration des objets du patrimoine de nature organique (bois, tissus, etc.). Ainsi, après de longues négociations avec le Gouvernement russe, et dans le cadre de l'année croisée France-Russie, Khroma est arrivé dans notre laboratoire le 13 juillet. Il était logé entre deux enveloppes en vinyle et enfermé dans une caisse réfrigérée.



◀ Le mammouth Khroma a été débarrassé de ses germes au laboratoire ARC-Nucléart du CEA.

© F. Laitrelle

2

### Pourquoi s'est-il retrouvé dans votre laboratoire ?

**L. C.** | La nouvelle de sa découverte, par une équipe de l'académie des Sciences de Yakoutsk, a fait le tour du monde et a vite intéressé les paléontologues du musée Crozatier du Puy-en-Velay. Mais pour exposer le mammouth au public, il fallait

3

### Et comment l'avez-vous... soigné ?

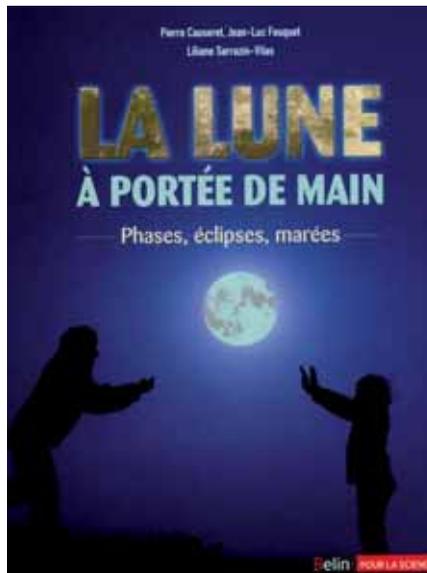
**L. C.** | Nous l'avons traité par ionisation, comme le font par exemple les hôpitaux pour stériliser les prothèses chirurgicales. Dans une cellule d'irradiation, nous avons utilisé des rayons gamma car ils sont très pénétrants et permettent un traitement sans contact, au travers de l'emballage dans lequel est placé le mammouth congelé. Comme les germes et les bacilles sont très résistants, nous l'avons exposé pendant une cinquantaine d'heures à environ 20 000 grays de rayonnements gamma, soit 5 000 fois la dose létale pour l'homme. Pour mémoire, nous avons utilisé une dose de 18 000 grays pour tuer les moisissures de la momie Ramsès II, en 1977.

Ce type de traitement permet également d'améliorer la conservation et de retarder la décomposition du cadavre lorsqu'il est décongelé. Car, après avoir été exposé dans une vitrine cryogénique à -18 °C au musée Crozatier, Khroma subit actuellement une autopsie. Les experts espèrent en savoir plus sur son sexe, son âge et sur son environnement... d'il y a plus de 50 000 ans.

## Nouvelle Lune

Le pouvoir d'attraction de la Lune n'est plus à démontrer mais ses sautes d'humeur restent difficiles à saisir. Des réponses précises et pédagogiques sont ici fournies sur les différentes phases de la Lune, ses éclipses, les marées. À l'aide de nombreux schémas et illustrations, cet ouvrage propose en quarante chapitres d'apprendre à observer l'astre, découvrir sa face cachée, ses couleurs, sa géologie et tout comprendre sur ses influences ici-bas. —

*La Lune, à portée de main* | Pierre Causeret, Jean-Luc Fouquet, Liliane Sarrazin-Vilas | Éditions Belin | 10 €



## Un air de faussaire

Témoign, complice ou victime... Les citoyens et les consommateurs sont tous concernés par la problématique de la contrefaçon. Une exposition originale, à travers quatorze lieux mettant en scène des images 3D, des objets et des témoignages, propose différentes approches. De l'intention de copier à la garantie de l'authentique en passant par la lutte contre le faux, le public découvrira toutes les technologies mises en œuvre pour lutter contre cet enjeu. —

*Contrefaçon, la vraie expo qui parle du faux* | Cité des sciences et de l'industrie | Paris | Jusqu'au 13 février 2011



## À deux, c'est mieux

Dans le cadre de l'année de la biodiversité, cette exposition revient sur les interactions entre les espèces vivantes des mers. En six tableaux réalisés par des vidéastes et artistes, le visiteur évolue entre les requins qui poursuivent des poissons pilotes sans les attaquer, le gobie qui surveille les alentours pendant que la crevette s'occupe de son terrier, le parasite qui s'invite dans la carapace du crabe pour en modifier le comportement... Une belle découverte de la survie et du vivre ensemble. —

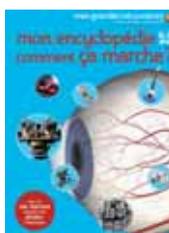
*Alliances marines* | Palais de la Découverte | Paris | Jusqu'au 23 janvier 2011



## Scènes d'ADN

Révolutionnant les enquêtes criminelles, le test de l'ADN est l'instrument le plus puissant pour prouver une identité. Mais en quoi consiste-t-il? Est-il vraiment infaillible? Pour y répondre, l'auteur revient sur des énigmes célèbres: l'affaire O. J. Simpson, la paternité d'Yves Montand, l'identité du dauphin de France... Des considérations pénalistes aux explications scientifiques, ce livre se lit comme un bon polar. —

*L'histoire controversée du test ADN* | Alice Andreoli | Éditions Belin | 19,50 €



## Tout savoir

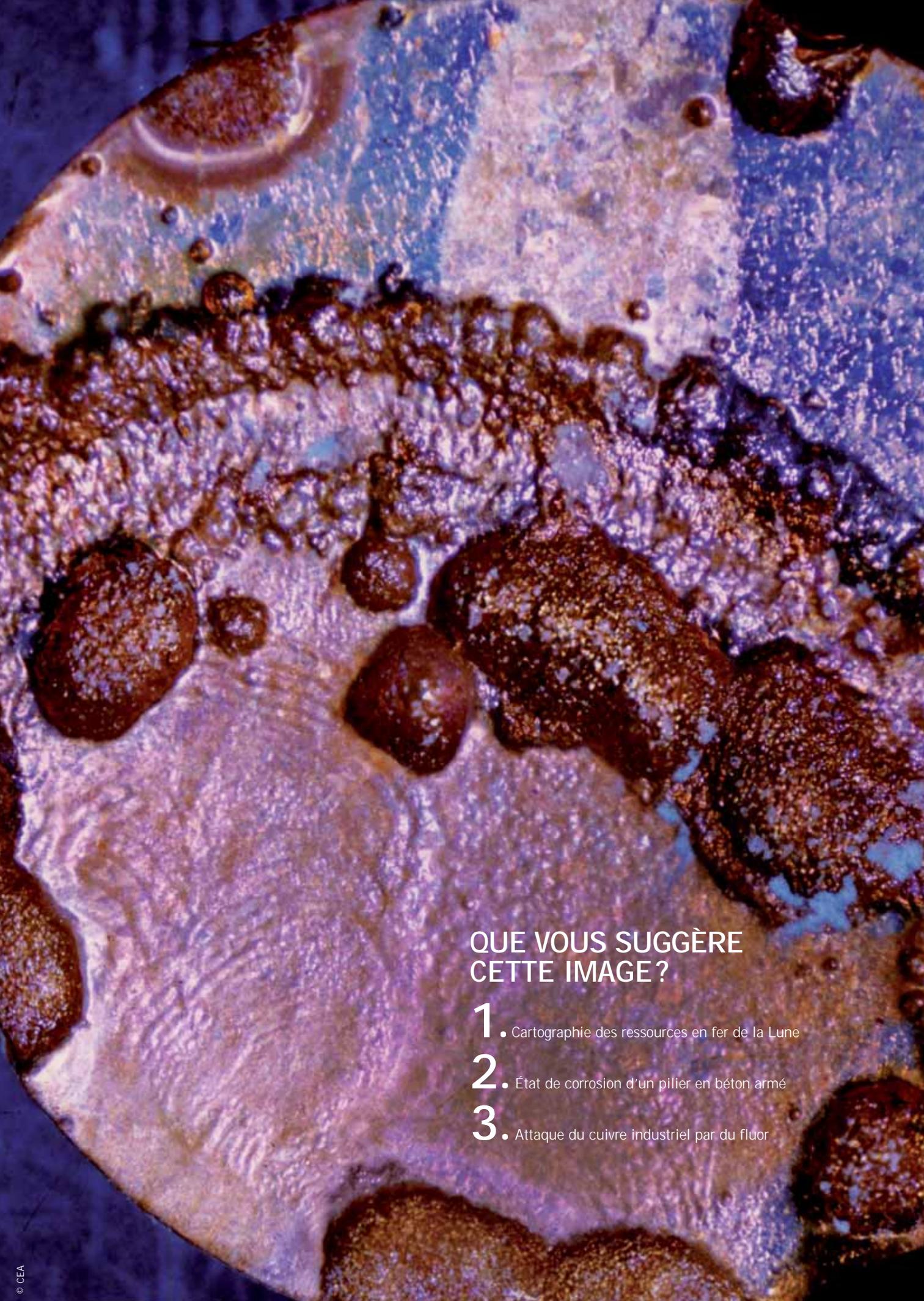
Comment vole un avion? Comment voit mon œil? Quelles sont les propriétés d'un miroir? Ces questions, nous nous les posons tous! Et, bien que cette encyclopédie soit réservée aux 6-9 ans, son traitement illustré et concis intéressera tout le monde. De nombreux suppléments sont également proposés sur les huit thématiques (technologie, mouvement, transport, air & eau, énergie, lumière & son, informatique, futur): expériences, quiz, galeries de photos à télécharger sur Internet... —

*Mon encyclopédie comment ça marche?* | Gallimard Jeunesse | Éditions Belin | 14,95 €

ABONNEMENT GRATUIT



Abonnement en ligne sur <http://defis.cea.fr> ou par courrier, en nous faisant parvenir sur papier libre vos nom, prénom, adresse et profession à :  
Les Défis du CEA, Abonnement, CEA-Bâtiment siège, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France.



## QUE VOUS SUGGÈRE CETTE IMAGE ?

1. Cartographie des ressources en fer de la Lune
2. État de corrosion d'un pilier en béton armé
3. Attaque du cuivre industriel par du fluor

> Il s'agit de figures d'attaque du cuivre industriel par le fluor à 650 °C. La réaction du fluor, à cette température, provoque le départ du cuivre sous une forme volatile. Cette macrographie en lumière rasante a été effectuée par une équipe du centre CEA de Saclay dans le cadre d'études des matériaux.