

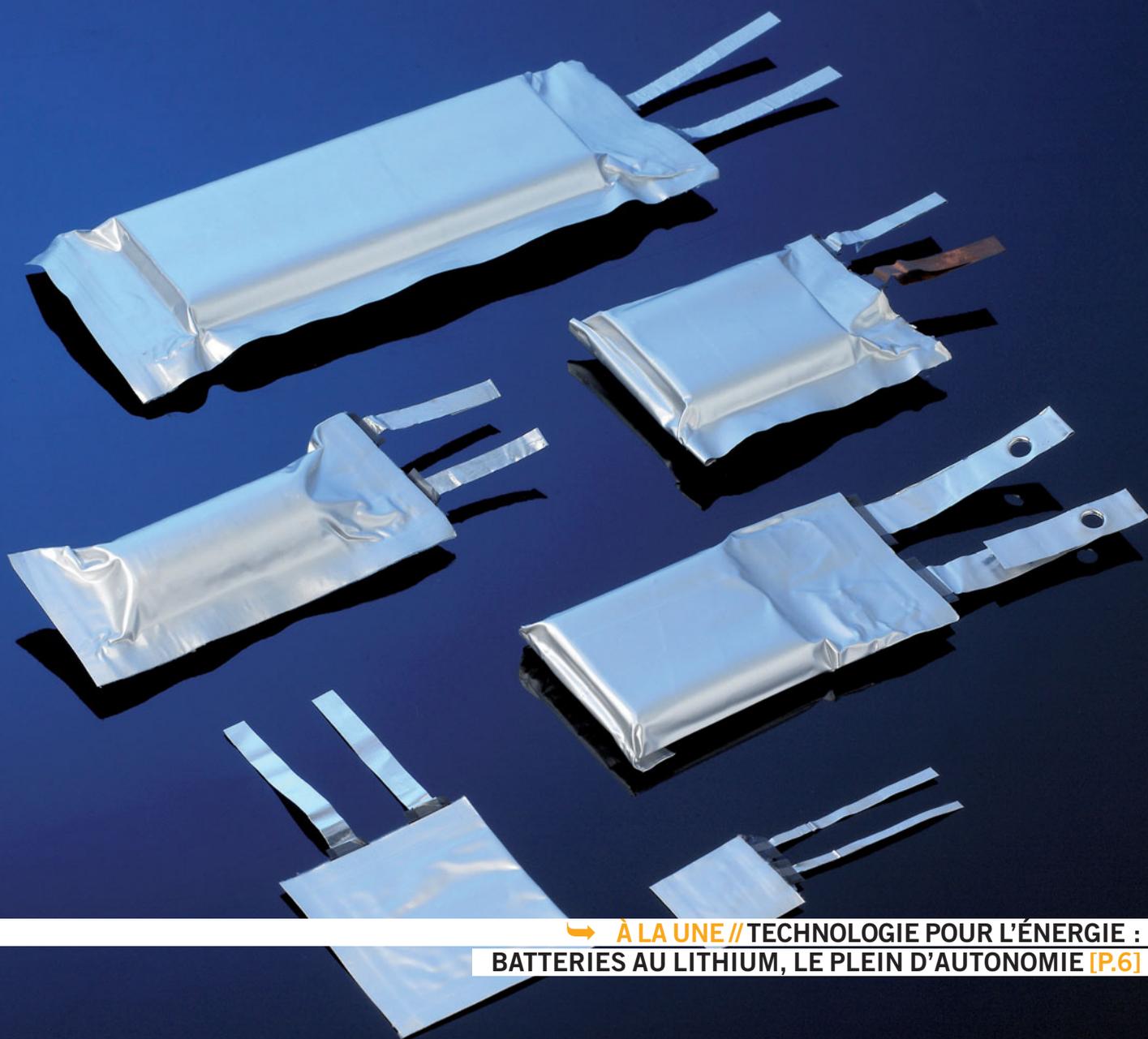
# les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

140  
MAI 2009



**SOMMAIRE //** DERNIÈRE LIGNE DROITE POUR PHÉnix [P.4] ENVIRONNEMENT [P.12] PILES À COMBUSTIBLE [P.13] IMAGERIE MÉDICALE [P.14] SPINTRONIQUE [P.15] BIOCARBURANTS DE 2<sup>e</sup> GÉNÉRATION [P.16] PEUT-ON PRÉVOIR LES SÉISMES ? 3 QUESTIONS À RÉMY BOSSU [P.18]

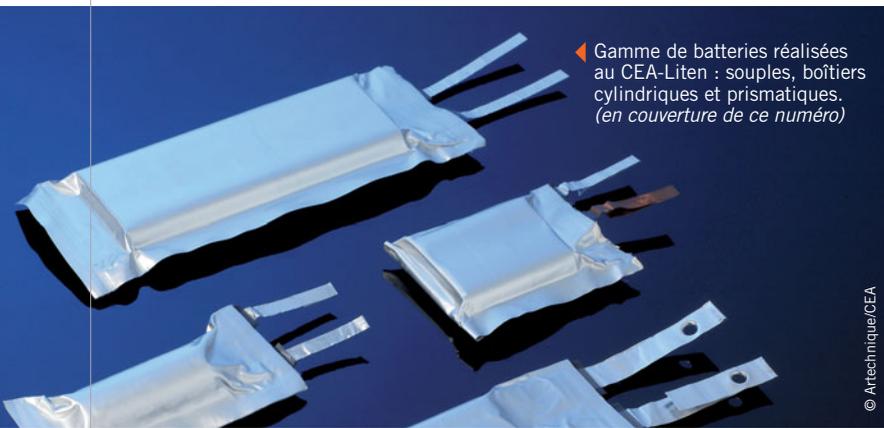


→ **À LA UNE //** TECHNOLOGIE POUR L'ÉNERGIE :  
BATTERIES AU LITHIUM, LE PLEIN D'AUTONOMIE [P.6]

# Sommaire N° 140

## 04 Retour sur l'actualité

R & D NUCLÉAIRE // Dernière ligne droite pour Phénix [04] **PLAN CAMPUS** // Saclay vise l'excellence [04] **REVUE DE PRESSE** [05]



◀ Gamme de batteries réalisées au CEA-Liten : souples, boîtiers cylindriques et prismatiques. (en couverture de ce numéro)

© Artechnique/CEA

## 06 À la une TECHNOLOGIE POUR L'ÉNERGIE // BATTERIE AU LITHIUM, LE PLEIN D'AUTONOMIE

### 11 À la pointe

**ENVIRONNEMENT** // Graffast, une technologie de dépollution [12] **PILES À COMBUSTIBLE** // Platine réduit, puissance accrue [13] **RECHERCHE MATÉRIAUX** // Bouclier breveté [13] **IMAGERIE MÉDICALE** // Des biomarqueurs d'altérations cérébrales [14] **SPINTRONIQUE** // La mémoire est meilleure à chaud... [15]

### 16 Tout s'explique

**ÉNERGIE** // Biocarburants de 2<sup>e</sup> génération

### 18 Ils en parlent

**RÉMY BOSSU**, chercheur au Laboratoire de détection géologique du CEA-Dase, fait le point sur la prévisibilité et la prévention des séismes, après celui qui a dévasté une partie des Abruzzes, en Italie, le 6 avril.

### 19 À voir, à lire, à écouter

➔ À voir sur  
**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/le\\_cea/actualites](http://www.cea.fr/le_cea/actualites)

### Grands outils

Le CEA vient de signer une convention relative au plan de relance du gouvernement, qui dédie des budgets supplémentaires aux grands équipements de la recherche. Retrouvez un dossier spécial consacré à ceux auxquels contribue le CEA, tels le LHC, Neurospin, le Ganil, ITER ou encore le Centre de calcul recherche et technologie.

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

### Mix énergétique

Seul un mix des différentes énergies permettra de préserver ressources et environnement, tout en répondant à la demande », peut-on lire dans le dossier multimédia « Énergie, climat : les défis de la recherche ». Dans la continuité de la semaine du développement durable (du 1<sup>er</sup> au 7 avril), le CEA propose un tour d'horizon de ses recherches dans le domaine du climat, du nucléaire, de l'hydrogène, du solaire et des biocarburants.

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

### Expérience fruitée

Fabriquer une pile avec un citron ? Une vidéo à regarder pour réaliser soi-même cette expérience et comprendre que l'acidité du citron en contact avec du cuivre ou du zinc crée un courant électrique ! De nombreuses autres expériences sont proposées aux jeunes par le CEA et les éditions Play-Bac.

<http://www.cea.fr/videos/conferences>

### Conférence climatique

Jean Jouzel et Valérie Masson-Delmotte, climatologues du CEA mondialement reconnus, ont donné une conférence sur le climat au musée des Arts et Métiers de Paris. Le CEA était présent et met en ligne les vidéos de leurs interventions.

Éditeur Commissariat à l'énergie atomique, R. C. S. Paris B77568019 | Directeur de la publication Xavier Clément | Rédactrice en chef Claire Abou | Rédactrice Aude Ganier | Ont contribué à ce numéro Julie Coquart, Fabrice Demarthon, Anne Orillac, Vahé Ter Minassian | Comité éditorial Suzana Bahri, Emmanuel Berthier, François Legrand, Céline Gaiffier, Brigitte Raffray, Frédéric Ravel, Annabelle Rondaud, Élisabeth Lefèvre-Rémy | Iconographie Micheline Bayard. | Infographie Fabrice Mathé | Photo de couverture Artechnique/CEA | Diffusion Lucia Le Clech | Conception et réalisation SPÉCIFIQUE – www.specifique.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.

© L. Godart/CEA



## Florence Fusalba

Responsable du programme stockage de l'énergie à l'Institut d'innovations pour les technologies des énergies (CEA-Liten)

**VOIR PAGES 6 À 10**

**LES DÉFIS DU CEA** Le stockage de l'énergie est une problématique commune à toutes les nouvelles sources d'énergie...

**F. F. |** Nos recherches concernent des sources d'énergie adaptées aux besoins de marchés visés (véhicule, habitat, nomade) ou d'autres applications comme l'aérospatial, le biomédical, le textile... Nos objectifs sont multiples : réduction des coûts, augmentation des densités de puissance et/ou d'énergie, prolongation de la durée de vie, sécurité intrinsèque des accumulateurs, choix des matériaux acceptables pour l'environnement. Et pour tous ces développements se pose en effet le problème du stockage de l'énergie.

**LES DÉFIS DU CEA** Comment s'organisent vos recherches ?

**F. F. |** Le Laboratoire des composants pour l'énergie (LCE) a plus de 15 ans d'expérience dans les technologies des batteries lithium-ion. Il regroupe des compétences fortes dans le domaine des matériaux et nanomatériaux pour l'énergie, depuis la synthèse des matériaux pour les systèmes de stockage de l'énergie jusqu'à leur intégration sous diverses formes dans des prototypes. Ces compétences sont complétées par la prévision du comportement des systèmes de stockage de l'énergie, grâce à une plateforme d'essai du Laboratoire systèmes solaires. À ces travaux s'ajoutent, dans le domaine de l'électrification du véhicule, ceux du Laboratoire piles à combustible. C'est pourquoi le CEA-Liten s'implique dans de grands projets nationaux et internationaux. Nous collaborons en effet avec d'autres centres de recherche et des industriels (PSA, Valéo...) afin de réaliser des transferts de technologie et de dynamiser la filière.

### Le CEA-Liten en chiffres

**550**

collaborateurs, scientifiques et industriels

**320**

brevets en portefeuille

**70**

millions d'euros de budget annuel

### Et aussi...



**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 PAGE 15**



**CEA-I<sup>2</sup>BM** L'Institut d'imagerie biomédicale œuvre à comprendre le fonctionnement du cerveau humain et à développer des approches thérapeutiques innovantes. **VOIR PAGE 14**



**CEA-Inac** La recherche fondamentale à l'Institut nanosciences et cryogénie est structurée autour des nanosciences, de la matière condensée, de la cryogénie et du développement des outils de recherche. **VOIR PAGES 11 & 15**



**CEA-Dase** Le Département analyse, surveillance, environnement de la direction des applications militaires participe à la lutte contre la prolifération nucléaire, fort de ses compétences en détection des séismes, des radionucléides et des phénomènes atmosphériques. **VOIR PAGE 11**

# DERNIÈRE LIGNE DROITE POUR PHÉNIX

TEXTE : Aude Ganier

R & D NUCLÉAIRE

Le réacteur expérimental Phénix entame sa dernière ligne droite avant son arrêt définitif à la fin de cette année. Une ultime série d'essais sera réalisée jusqu'en novembre, pour compléter les connaissances acquises sur la filière des réacteurs à neutrons rapides à caloporteur sodium – l'une des options envisagée par la France pour les réacteurs de quatrième génération.

Mis en service en juillet 1974 sur le site CEA de Marcoule, Phénix a servi de démonstrateur pour cette filière de réacteurs. Son bon fonctionnement a permis de valider les choix technologiques adoptés. Jusqu'à aujourd'hui, plus de deux cents expériences ont été réalisées dans Phénix. Elles ont permis de faire progresser les connaissances dans de nombreux domaines de la filière électro-nucléaire : matériaux, combustibles, gestion des déchets... Dès 2010, et dans l'attente du prototype à neutrons rapides de quatrième génération prévu en 2020, ces expériences seront poursuivies sur des moyens disponibles à l'étranger puis sur le réacteur de recherche Jules-Horowitz (RJH) qui sera mis en service en 2014 au centre CEA de Cadarache.



Hall du réacteur de la centrale Phénix.

TÉLEX

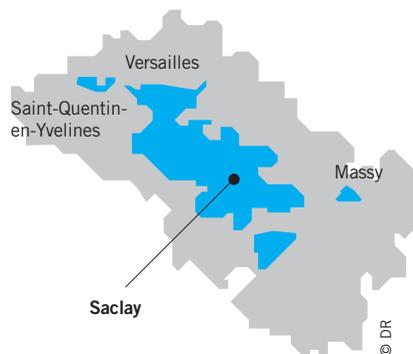
**Le débat public** sur l'élaboration des grandes orientations de l'État en matière de développement et de régulation des nanotechnologies aura lieu à l'automne prochain. Conduit par la Commission nationale du débat public, c'est l'un des engagements pris dans le cadre du Grenelle de l'environnement.

## SACLAY VISE L'EXCELLENCE

TEXTE : A. G.

PLAN CAMPUS

Le projet de campus du plateau de Saclay a été validé le 24 février par le comité d'évaluation de l'Opération campus du gouvernement. Objectif de ce projet regroupant 23 acteurs, dont le CEA : placer le plateau de Saclay parmi les dix premiers lieux d'enseignement et de recherche dans le monde. Il s'appuie sur douze thématiques scientifiques allant des nanosciences aux sciences du vivant, de la physique des deux infinis aux technologies de l'information, des énergies faiblement émettrices de CO<sub>2</sub> à la finance et à la gestion...



Localisation du projet de campus.

**34 000**

étudiants attendus en 2015,  
contre 22 000 aujourd'hui.

**12 000**

chercheurs attendus en 2015  
(20 % des effectifs de recherche  
en France), contre 9 500 en 2009.

**1,4 milliard €**

nécessaires pour un financement  
en capital à placer.

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

> 6 avril 2009  
*La Croix*

### SPARADRAP INTELLIGENT

Un pansement électronique pour surveiller en temps réel l'évolution de la plaie, détecter d'éventuelles infections ou simplement indiquer si le bandage est trop serré. C'est la piste qu'étudient le CEA et Philips pour l'industriel Urgo en mettant au point des capteurs agrégés au pansement.



© Getty Images



> 6 avril 2009  
*France 3 / Soir 3*

### POLÉMIQUE

Peut-on prévoir les séismes ? La question est posée en direct à Rémy Bossu, sismologue au CEA et secrétaire général du Centre sismologique euroméditerranéen après la polémique suscitée par les affirmations d'un scientifique italien qui prétend avoir prévu le séisme de 6,3 sur l'échelle de Richter survenu le 6 avril dans les Abruzzes, en Italie. (voir p. 18)

> 14 avril 2009  
*Chimie Pharma Hebdo*

### ALLIANCE POUR LA VIE

Huit organismes publics de recherche, dont le CEA, ont créé l'Alliance pour les sciences de la vie et de la santé. Dix thèmes de recherche ont été retenus. Parmi eux : technologies pour la santé ; biologie cellulaire, développement et évolution ; bases moléculaires et structurales du vivant ; cancer ; génétique ou encore santé publique.

> 8 avril 2009  
<http://forums.snri.enseignement-sup-recherche.gouv.fr>

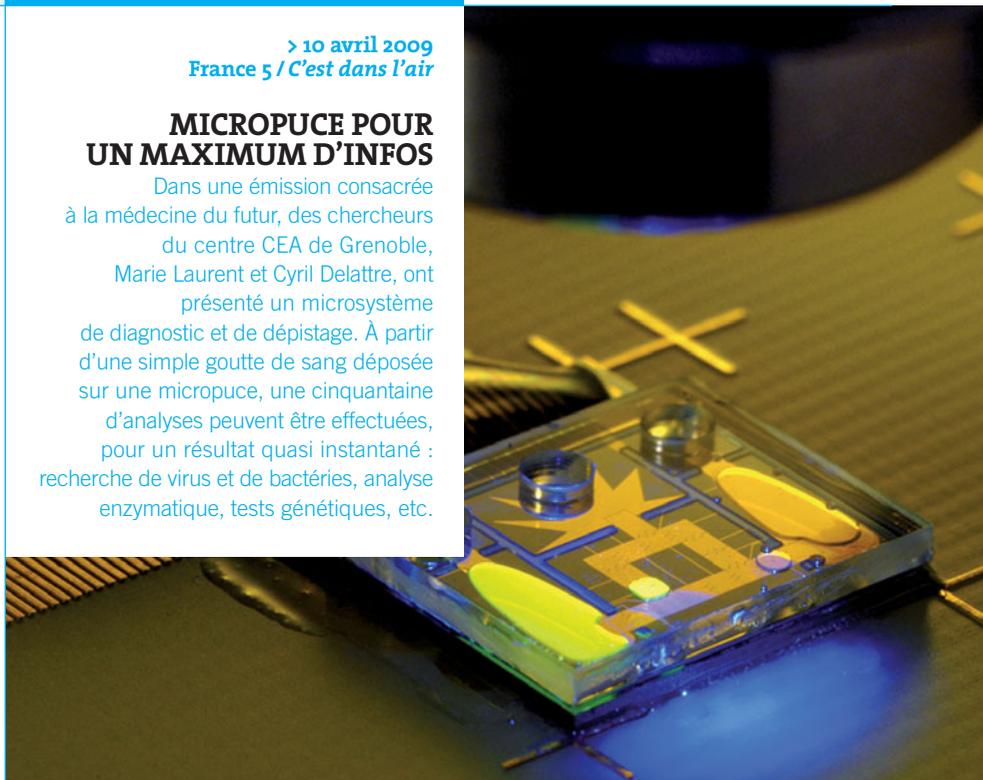
### FEUILLE DE ROUTE 2012

Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a lancé en octobre 2008 la stratégie nationale de recherche et d'innovation. Objectif : faire face à la compétition scientifique et économique mondiale tout en répondant aux attentes de la société. Les premières conclusions des groupes de travail sont déjà en ligne. Des textes sur l'énergie, l'eau et l'alimentation, les matériaux, le calcul intensif, etc., qui pourraient préfigurer la feuille de route de la recherche en France pour 2012.

> 10 avril 2009  
*France 5 / C'est dans l'air*

### MICROPUCE POUR UN MAXIMUM D'INFOS

Dans une émission consacrée à la médecine du futur, des chercheurs du centre CEA de Grenoble, Marie Laurent et Cyril Delattre, ont présenté un microsystème de diagnostic et de dépistage. À partir d'une simple goutte de sang déposée sur une micropuce, une cinquantaine d'analyses peuvent être effectuées, pour un résultat quasi instantané : recherche de virus et de bactéries, analyse enzymatique, tests génétiques, etc.



© CEA

Dates-clés

**1991**

Sony commercialise la première batterie lithium-ion, à base de cobalt.

**1997**

Premier brevet du CEA-Liten sur une batterie de type  $\text{LiFePO}_4$ .



▲ Empileur de composants d'une nouvelle génération de batteries dédiées à de futurs équipements médicaux implantables.

**TECHNOLOGIE POUR L'ÉNERGIE**

Depuis plusieurs années, le CEA-Liten est actif sur toute la chaîne de fabrication des batteries au lithium, une technologie en passe de bouleverser le domaine des composants pour l'énergie. Le point sur les principales avancées en la matière, du développement de nouveaux matériaux à la réalisation de prototypes.

TEXTE : Anne Orliac

# BATTERIES AU LITHIUM, LE PLEIN D'AUTONOMIE

Quel est le point commun entre une éolienne, une voiture et un ordinateur portable ? La batterie au lithium ; tous ces objets pourraient en être équipés dans quelques années, si ce n'est pas déjà le cas. Plus sûres et plus performantes que leurs consœurs à base de plomb ou de nickel, ces batteries-là annoncent une véritable révolution. Le Laboratoire des composants pour l'énergie (LCE) du CEA-Liten<sup>1</sup> travaille sur la question depuis des années et, chose rare dans le monde de la recherche, il s'est appliqué à suivre d'un bout à l'autre la chaîne de fabrication. Développement de nouveaux matériaux, optimisation de la géométrie, réalisation de prototypes : tout a été fait pour coller au mieux aux besoins des utilisateurs. Le rôle d'une batterie est simplissime : fournir un courant électrique sans avoir à être relié à une prise électrique. Sous son emballage, deux électrodes positive et négative, isolées électroniquement par un séparateur poreux, baignent dans un **électrolyte** contenant des ions lithium. Chacune de ces électrodes collectrices de courant est recouverte de matériaux actifs. En fonctionnement, le

matériau déposé sur l'électrode négative relâche des ions ( $\text{Li}^+$  dans le cas des batteries au lithium) qui migrent dans l'électrolyte et s'insèrent dans le matériau actif de l'électrode positive. Et pour chaque ion libéré, un électron s'échappe dans le circuit extérieur : c'est ainsi que naît le courant ! Mais, du coup, la batterie se décharge, et ses électrodes changent d'aspect, jusqu'à ne plus pouvoir fournir de courant. Pour leur rendre leur forme originelle et redonner à la batterie toute sa jeunesse, il faut inverser la réaction et recharger l'engin avec... de l'électricité. Voilà le principe de base.

Plus sûres et performantes que leurs consœurs à base de plomb ou de nickel, les batteries au lithium annoncent une véritable révolution

Bien sûr, les ions qui passent d'une électrode à l'autre diffèrent selon les matériaux d'électrode choisis et les technologies d'accumulateur (acide au plomb, alcalines ou organiques pour le lithium-ion). « *Mais c'est en échangeant >>>*

note : 1. Voir p. 3.

**Electrolyte** // Composés dissociés dans un solvant (organique, eau), permettant le passage du courant électrique par déplacement d'ions.

## « Tout est affaire de compromis, la batterie idéale n'existe pas encore »

Sébastien Patoux,  
spécialiste des matériaux d'électrodes

>>> *des ions lithium que l'on obtient sans conteste les batteries les plus performantes* », analyse Sébastien Patoux, qui travaille au CEA-Liten sur le développement de nouveaux matériaux. Il faut dire que l'ion lithium est si petit qu'il se faufile sans mal dans le matériau actif de l'électrode positive. Et puis, il s'allie facilement avec toutes sortes de composés : le choix des matériaux actifs n'en est que plus vaste. Pour autant, il n'y a pas de couple miracle qui optimiserait toutes les performances de l'engin à la fois. « *Tout est affaire de compromis, la batterie idéale n'existe pas encore* », s'empresse de préciser Sébastien Patoux. Il est donc crucial de définir précisément le cahier des charges auquel devra répondre la batterie. S'adapter aux exigences spécifiques de chaque application, voilà la clé.

Pour les téléphones et ordinateurs portables, par exemple, c'est la quantité d'énergie stockée par unité de volume et de masse qui importe. Plus elle est grande, meilleure sera son autonomie. Et plus l'appareil sera fin et léger. La plupart des batteries qui équipent aujourd'hui le matériel nomade sont d'ailleurs composées d'une électrode positive à base d'oxyde de lithium et de cobalt et d'une

électrode négative en graphite, car ce système permet d'emmagasiner des quantités importantes d'énergie à chaque charge. Hélas, son coût reste élevé à cause de la présence de cobalt. Et, dans des conditions d'utilisation inadaptées, le lithium se déposant sur le graphite risque de former des dendrites, de petites excroissances qui peuvent relier les deux électrodes et provoquer des courts-circuits, voire des explosions sur des éléments qui ne respecteraient pas les normes de sécurité. Autant de limitations qui remettent déjà en cause son utilisation dans les appareils portables et, surtout, dans les engins spatiaux ou les véhicules tout-électrique. Aussi pour stocker beaucoup d'énergie de manière sûre, les chercheurs travaillent-ils sur les générations futures d'accumulateurs, « *plutôt sur des batteries au lithium avec une électrode positive recouverte de matériaux appelés oxydes spinelles, principalement à base de manganèse, et une électrode négative portant des composés de silicium et de carbone* », explique Sébastien Patoux. Mais à plus long terme, les efforts se concentrent déjà sur la technologie **LiFePO<sub>4</sub>** dopé bore-graphite, notamment pour les véhicules électriques. Trois brevets ont été déposés depuis 2004 sur la synthèse des électrodes oxydes spinelles et les recherches s'ouvrent sur celles recouvertes de silicium et de carbone, avec déjà

**Spinelle** // Structure cristalline commune à un groupe de minéraux, correspondant à un empilement cubique compact. Cette structure est souple et stable sur une large gamme de pressions et de températures.

**LiFePO<sub>4</sub>** // Phosphate de fer lithié, constitué d'ions lithium (Li<sup>+</sup>), fer (Fe<sup>2+</sup>), et d'un groupement phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).

## UNE FORTE VALEUR AJOUTÉE

### BATTERIES MINIATURES

Les batteries ne sont pas toujours de gros dispositifs, elles peuvent aussi se cacher dans un minuscule capteur ou sous une carte à puce. On parle alors de batterie miniature. « *Avec elles, nous sommes souvent dans des domaines à forte valeur ajoutée, comme le spatial, le médical, la conception d'étiquettes ou de vêtements intelligents* », commente Hélène Rouault, spécialiste des batteries miniatures au CEA-Liten. Certaines devront donc résister à des conditions extrêmes – et rejoignent en cela les contraintes imposées aux batteries pour véhicules électriques. Pour répondre à ces cahiers des charges, le CEA-Liten est devenu un expert dans

la maîtrise des procédés de réalisation d'électrodes, et notamment du contrôle de l'environnement des matériaux d'électrodes. Car autour de ces éléments, il y a des solvants, des liants, des additifs ; autant de composés inactifs qui jouent pourtant sur la durée de vie et les performances de la batterie. Et pour s'adapter aux exigences de souplesse des vêtements intelligents et cartes à puce, les chercheurs ont même imaginé un instrument très novateur : « *une imprimante capable de déposer directement les deux électrodes l'une sur l'autre, et non de les imprimer séparément*, explique Hélène Rouault. *Notre rêve serait d'imprimer une batterie sur du papier...* ».



© Artechmique/CEA

▲ Prototype de batterie lithium.



▲ Réalisation des électrodes et membranes des batteries lithium par enduction d'une encre sur un support souple.

plusieurs demandes de brevets en cours. Ensemble, ils permettraient de stocker à des coûts compétitifs encore plus d'énergie que les batteries classiques au cobalt. En effet, la quantité d'énergie stockée est proportionnelle à la différence de potentiel entre les électrodes. Et celui du couple oxyde spinelle-composés de silicium est justement très haut : plus de 4,5 V. Mais tout se paie ! Les électrolytes couramment utilisés ont tendance à se décomposer sous de telles tensions. Au fil du temps, la capacité de stockage de la batterie se réduit et sa durée de vie diminue. « *Nous réfléchissons donc à des cocktails d'additifs capables de former une protection à l'interface électrode-électrolyte* », commente Sébastien Patoux. Une fois ces « cocktails » mis au point, les électrolytes de nouvelle génération, associés au couple oxyde spinelle/silicium-carbone, offriront donc tout à la fois une excellente autonomie et une sécurité accrue pour des durées de vie acceptables.

Mais on ne le dira jamais assez, il n'y a pas de solution universelle, et d'autres applications imposent des contraintes quelque peu différentes. Prenons un véhicule hybride : sa batterie se décharge lors des accélérations et récupère de l'énergie pendant les freinages. Pour suivre le rythme soutenu d'une conduite en ville, la batterie doit pouvoir fournir rapidement le courant demandé et se charger pendant le freinage. En termes de physique, on dira qu'elle doit avoir une grande densité de puissance. Les mêmes contraintes pèsent sur les batteries d'éoliennes,

qui doivent stocker très vite de gros pics d'énergie pour restituer celle-ci quand il n'y a pas de vent. Pour répondre à ces exigences, le CEA-Liten a misé sur des électrodes négatives à base de titane, qui donnent d'excellents espoirs d'améliorer la puissance et la sécurité des batteries. Et pour l'électrode positive ? Des composés à base de fer et de phosphate, de formule  $\text{LiFePO}_4$ , sont déjà matures. Intrinsèquement très sûrs, ils conviennent bien à ces applications dites de puissance.

« *Associé à une électrode négative ordinaire en graphite, le  $\text{LiFePO}_4$  offre déjà de belles performances : bas coût, sécurité, puissance. Mais couplé avec des composés à base de titane sur l'électrode négative, il permet d'aller encore plus loin* », assure Sébastien Patoux. Ce n'était pas gagné d'avance : le  $\text{LiFePO}_4$  est naturellement isolant, un sacré handicap pour un matériau censé conduire

rapidement le courant ! Le CEA-Liten s'est donc évertué à lever cet obstacle. Depuis 2001, il a déposé quatre brevets concernant la synthèse du  $\text{LiFePO}_4$  dopé au bore. Preuve de son succès, il a transféré en novembre 2008 son savoir-faire à Prayon, une société belge spécialisée dans la fabrication de produits phosphorés.

Mais ce n'est pas seulement du côté des matériaux que se concentrent les recherches au CEA-Liten. L'expertise de cet >>>

Associant bas coût, puissance et sécurité, la technologie  $\text{LiFePO}_4$  est aujourd'hui la meilleure solution

## Perspectives

**2010**

Premières batteries à base d'oxydes spinelles « 5 V ».

**2011-2012**

Premières batteries à base de silicium.

**2013-2015**

Premières batteries lithium-soufre et aqueuses.

**2020**

Premières batteries lithium-organique et/ou lithium-air.

>>> institut a tout naturellement poussé ses chercheurs à fabriquer eux-mêmes leurs prototypes et à les tester directement dans les laboratoires. « Nous nous appliquons aussi à étudier dans ses moindres détails le processus de vieillissement des batteries », explique Sophie Mailley, qui travaille sur les applications pour véhicules électriques au CEA-Liten. Les chercheurs ont mis au point des outils informatiques permettant de surveiller le comportement de ceux-ci et d'identifier leurs faiblesses pour doper encore leurs performances. Ils se sont même attaqués à la structure des accumulateurs. Car un couple d'électrodes permet au mieux de fournir quelques volts... quand l'alimentation d'une voiture hybride en demande des dizaines, et une voiture tout-électrique des centaines. De nombreuses cellules unitaires, ou accumulateurs, sont alors reliées entre elles pour former la batterie complète. Hélas, si l'une des cellules est un peu différente de ses voisines, elle peut provoquer des courts-circuits et griller le montage tout entier. Pour résoudre cet épineux problème,

Pour répondre aux cahiers des charges des différentes applications, le CEA-Liten est devenu expert dans les matériaux, la formulation et l'impression des électrodes.

les chercheurs ont imaginé une architecture tout à fait originale : « Les matériaux d'électrodes ne sont plus déposés sur deux feuillets métalliques différents, mais sur les deux faces d'un seul et même collecteur de courant en aluminium », poursuit Sophie Mailley. Il devient alors possible d'empiler à l'intérieur même de la cellule plusieurs couches d'électrodes bipolaires, et d'obtenir des tensions de 24, 36, voire 300 V. Le nombre de cellules pour alimenter une voiture peut ainsi être abaissé d'un facteur 100, réduisant d'autant la connectique et les sources de résistance ! Cerise sur le gâteau, les chercheurs dissèquent aussi les batteries usagées pour optimiser leur fonctionnement. D'un bout à l'autre de la chaîne..., le CEA-Liten est décidément sur tous les fronts.

Sébastien Martinet, chef du Laboratoire des composants pour l'énergie du CEA-Liten, nous parle des perspectives d'avenir du laboratoire.

## interview



© CEA

**LES DÉFIS DU CEA** Vous suivez d'un bout à l'autre la chaîne de fabrication des batteries au lithium. En quoi cela consiste-t-il ?

**S. M.** | Nous nous intéressons au sujet depuis les années 90 ; aussi sommes-nous aujourd'hui capables de concevoir des batteries à façon. Cela nous conduit à développer de nouveaux matériaux, choisir les bonnes électrodes ou encore trouver la géométrie adaptée. Nous sommes d'ailleurs en train de mettre en place un nouvel acteur du domaine, la société Prollion, qui devrait voir le jour d'ici à mi-2009. Elle permettra de prendre le relais du laboratoire et de proposer des solutions industrielles à nos clients.

**LES DÉFIS DU CEA** Pour quels types d'applications ?

**S. M.** | Il y a évidemment une très forte demande sur les véhicules électriques, et nous sommes déjà en contact avec des constructeurs automobiles. Mais nous espérons aussi attirer des clients ayant d'autres besoins, comme Pellenc, constructeur d'outillage agricole, ou des fabricants d'appareils électroniques, ou encore développer des applications pour l'aéronautique, le spatial et le médical.

**LES DÉFIS DU CEA** Sur quelles pistes de recherches vous lancez-vous aujourd'hui ?

**S. M.** | Nous nous penchons sur des solutions plus exotiques à fort potentiel en termes de densité d'énergie (lithium-soufre, lithium-air...) ou à bas coût à forte densité de puissance (lithium-aqueux). Le

laboratoire vient d'initier de nouveaux travaux sur le lithium-soufre, un couple qui serait capable de stocker énormément d'énergie avec un potentiel de doublement de la densité d'énergie des systèmes lithium-ion actuels. L'idée n'est pas nouvelle, mais elle avait été reléguée en raison de la faible durée de vie de ces batteries. Nous espérons revisiter cette technologie en proposant de nouvelles améliorations qui n'étaient pas envisageables, vingt ans auparavant. Nous lançons aussi des études sur le lithium-organique, une batterie potentiellement très verte, puisque les deux électrodes seraient fabriquées à partir de matière organique. Mais ce ne sont pas elles qui équiperont les voitures de demain : il faudra plusieurs années pour parvenir à un résultat concret !



# À la pointe



## MOISSON DE BREVETS

À l'honneur ce mois-ci, les derniers développements du CEA qui ont fait l'objet d'un brevet. En 2008, le CEA en a déposé 526, ce qui le positionne, au niveau national, à la première place des organismes de recherche et à la septième après de grands industriels.



# 2

nouvelles stations sismiques ont été certifiées par l'Otice, Organisation du traité d'interdiction complète des essais nucléaires. Installées en Bolivie (station AS08) et à Madagascar (station AS61) elles ont été conçues en collaboration avec le CEA-Dase<sup>1</sup>. Ces stations viennent compléter les 22 autres que le CEA met à la disposition du système international de surveillance du traité, qui en compte 321.

note : 1. Voir p. 3, rubrique « Et aussi... »



▲ Dans les Andes, en Bolivie.

© Getty Images

# 3 875

C'est le nombre d'articles associant au moins un auteur du CEA qui ont été publiés en 2008 dans des journaux scientifiques dotés d'un comité de lecture. Parmi eux, 169 sont parus dans *Physical Review Letters*, 15 dans *Nature* ou encore 12 dans *Science*.



© DR

# 800

C'est, en années, l'âge des semelles de cuir retrouvées près de Lyon et étudiées par des équipes du CEA-Inac<sup>1</sup> et du laboratoire Arc Nucléart du CEA à Grenoble. Après huit siècles passés dans l'eau et bien que les tanins qui préservent le cuir aient disparu, leur état de conservation a étonné les chercheurs. Les techniques de résonance magnétique leur ont permis de découvrir que la bonne préservation de ces semelles a été assurée par des oxydes de fer et de manganèse libérés par les sédiments dans lesquels elles étaient enfouies !

note : 1. Voir p. 3, rubrique « Et aussi... »

Banc de filtration assistée par CO<sub>2</sub> supercritique.



© CEA

# GRAFFFAST, UNE TECHNOLOGIE DE DÉPOLLUTION

TEXTE : Julie Coquart

ENVIRONNEMENT

**Abaisser** la concentration en impuretés métalliques des effluents industriels et tendre vers zéro rejet, tel était le défi lancé au CEA par l'Union des industries du traitement de surface. Un défi relevé et gagné par le Laboratoire de chimie des surfaces et interfaces (LCSI) à Saclay et le Laboratoire des fluides supercritiques et membranes (LFSM) à Marcoule, qui ont réussi à abaisser le taux de cuivre, zinc, cobalt et autres nickels de 100 mg/l à 1 mg/l. À partir de membranes déjà commercialisées, ces laboratoires ont développé un nouveau procédé de dépollution. L'originalité de la technique consiste à coupler une phase de **nanofiltration**, abaissant le taux d'impuretés à la dizaine de mg/l, à une phase d'électrocapture pour passer au-dessous de 1 mg/l. La nanofiltration étant une technologie mature au niveau industriel, c'est sur l'étape d'électrocapture que se sont concentrés les chercheurs du LCSI. Le résultat : un dispositif, breveté sous le nom de Grafffast<sup>1</sup>, qui permet de greffer sur un feutre de carbone conducteur un film mince de poly-

mères qui agissent comme des « pincettes moléculaires ». Des petites pincettes qui, au contact d'une particule de métal, se referment sur elle et l'emprisonnent. Lorsque la membrane de carbone est saturée, il suffit alors d'appliquer une tension pour que les pincettes relâchent leurs proies et soient de nouveau prêtes à l'emploi. Pour l'étape de nanofiltration, le recours à la simulation numérique a permis de réduire les temps de développement et d'optimisation. « En effet, après avoir réalisé quelques essais ciblés, nous avons alimenté le logiciel Nanoflux de ces données expérimentales pour optimiser notre dispositif, avant de procéder à une validation expérimentale », explique Luc Schrive, l'un des chercheurs du LFSM. Reste à suivre l'industrialisation du produit...

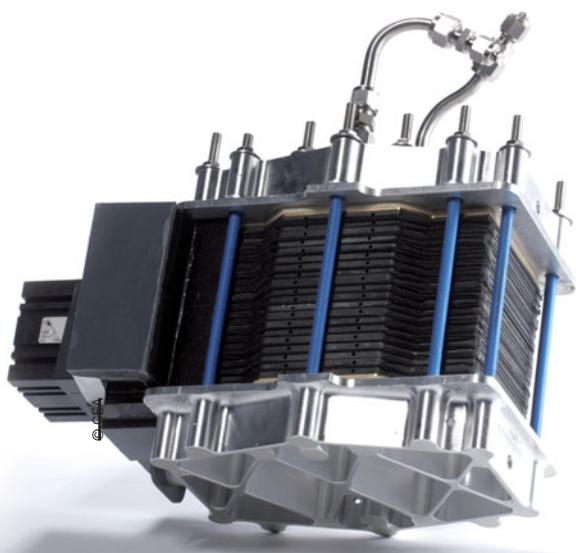
note : 1. Voir *Les Défis du CEA* n° 135, p. 11, et [www.grafffast.com](http://www.grafffast.com)

**Nanofiltration** // Procédé qui permet de filtrer des éléments en fonction de leur taille, avec des pores de taille nanométrique, et de leurs affinités chimiques.



© Photodisc

# PLATINE RÉDUIT, PUISSANCE ACCRUE



© P. Avastiani/CEA

▲ Pile à combustible de 250 watts, de type PEMFC, pour laquelle les chercheurs ont réussi à réduire la masse de platine.

TEXTE : Vahé Ter Minassian

PILES À COMBUSTIBLE

Pour qu'elles puissent un jour conquérir le marché des transports, les voitures à hydrogène devront être d'un coût abordable. C'est pourquoi une partie des travaux actuellement menés vise à limiter la masse des matières premières nécessaires à l'élaboration des piles à combustible (PAC) qui constitueront les sources d'énergie électrique de ces véhicules. Et à réduire aussi la masse du platine contenu dans les électrodes (anode et cathode) et qui sert de **catalyseur** aux réactions de dissociation des molécules d'hydrogène et d'oxygène, produisant électricité et eau. Car ce métal, dont le prix est de l'ordre de 30 euros le gramme, ne coûte aujourd'hui pas moins de 1 000 euros par PAC ! Le but est ainsi de diviser par dix les quantités nécessaires dans les systèmes existants. Sans toutefois avoir atteint cet objectif, des chercheurs du CEA-Liten<sup>1</sup> à Grenoble viennent d'obtenir un résultat spectaculaire en trouvant le moyen de réduire d'un facteur quatre la masse de platine dans une PAC de type « PEMFC » (pile à membrane échangeuse de protons). Grâce à des modèles et à des tests développés dans leur laboratoire<sup>2</sup>, Nicolas Bardi et ses collègues ont d'abord établi qu'il était possible de rendre dix fois moindres les doses de ce matériau dans l'anode et moitié moindres dans la cathode sans que les performances générales en soient affectées. Le CEA-Liten a ensuite élaboré divers procédés novateurs, dont l'un, breveté, de dépôt sous vide, qui permettent de contrôler finement le dépôt de ce platine en le plaçant seulement aux endroits où il est indispensable. Le résultat ? Une pile à combustible contenant 0,2 mg de platine par centimètre carré, contre au moins 0,6 généralement, et plus puissante que celle d'origine !

notes : 1. Voir p. 3. 2. Laboratoire des composants pour piles à combustible et électrolyseurs et de modélisation.

**Catalyseur** // Substance qui augmente ou ralentit la vitesse d'une réaction chimique.

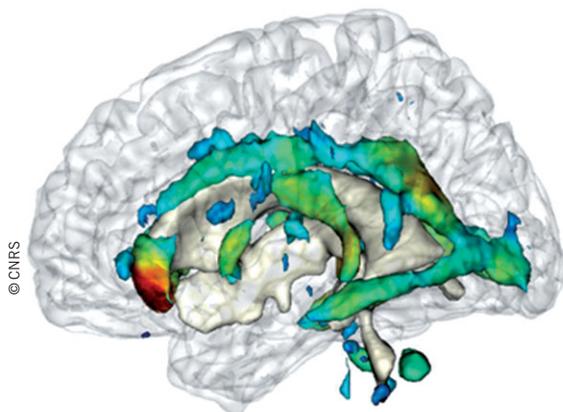
## BOUCLIER BREVETÉ

TEXTE : Aude Ganier

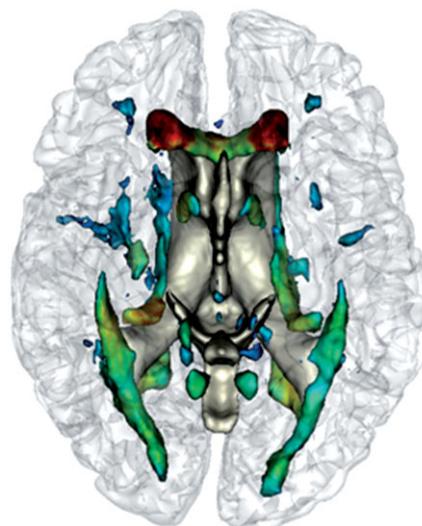
RECHERCHE MATÉRIAUX

Les options de la quatrième génération de réacteurs nucléaires se préparent dès maintenant. C'est le cas des gaines de combustible qui devraient pouvoir supporter les très hautes températures (900 °C) et les irradiations intenses des réacteurs à caloporteur gaz et à neutrons thermiques. Depuis plus de vingt ans, des chercheurs de la Direction des applications militaires du centre CEA du Ripault développent des composites à base de carbone ou de céramique, ainsi que des procédés de renfort fibreux. L'un de leurs travaux sur ces matériaux pour des applications de bouclier thermique vient d'être breveté. Il s'agit d'une structure résolument innovante de type nid-d'abeilles composite. Des améliorations doivent encore être menées dans ce domaine, compte tenu des performances extrêmement ambitieuses demandées pour ces composants.

# DES BIOMARQUEURS D'ALTÉRATIONS CÉRÉBRALES



© CNRS



◀ Figures montrant les régions de la matière blanche où les lésions ont augmenté en quatre ans. En rouge, les zones où elles ont le plus augmenté.

TEXTE : A. G.

IMAGERIE MÉDICALE

**Accidents** vasculaires cérébraux, maladies neurodégénératives, troubles cognitifs, voire dépressions nerveuses seraient étroitement liés à la présence de lésions dans la **substance blanche** de notre cerveau. Des lésions qui pourraient être alors utilisées comme biomarqueurs de ces pathologies. Voici l'une des perspectives résultant de l'étude des Trois Cités<sup>1</sup> de l'Inserm réalisée en collaboration avec le CEA, qui a mis au point une nouvelle méthode de détection. Bien que visibles à l'œil nu sur un cliché IRM (zones plus foncées que leur environnement), ces lésions n'en demeurent pas moins subtiles à repérer, tant elles sont protéiformes (taches, amas de points, traits allongés...) et de tailles variées (du millimètre à la dizaine de centimètres). Une équipe du CEA-I<sup>2</sup>BM<sup>2</sup> a donc mis au point un algorithme informatique pour les détecter automatiquement tout en les quantifiant, les mesurant et les localisant. La riche base de données de ce logiciel breveté permet en outre un suivi individuel de chacune de ces lésions pour observer leur évolution ou détecter de nouvelles apparitions.

Et c'est précisément l'objet de l'étude des Trois Cités réalisée chez des sujets âgés de 65 à 85 ans à qui l'on a fait une IRM à quatre ans d'intervalle. Chez 1 200 personnes, l'étude a, par exemple, fait apparaître un volume important de lésions (sur 1 % de la substance blanche du cerveau). Elle montre également que l'aggravation des lésions s'accélère avec l'âge – particulièrement chez les hommes, surtout s'ils souffrent d'hypertension.

« Cette approche originale nous fournit un outil précieux pour le dépistage précoce de sujets à risque. La survenue d'une dépression chez une personne âgée ou les troubles de la marche pourraient être prédits à partir de l'analyse de ces lésions, de leur taille, de leur vitesse d'évolution », explique Bernard Mazoyer, chercheur au CEA-I<sup>2</sup>BM<sup>2</sup>, pour qui cette technique devrait également permettre d'évaluer l'efficacité des traitements.

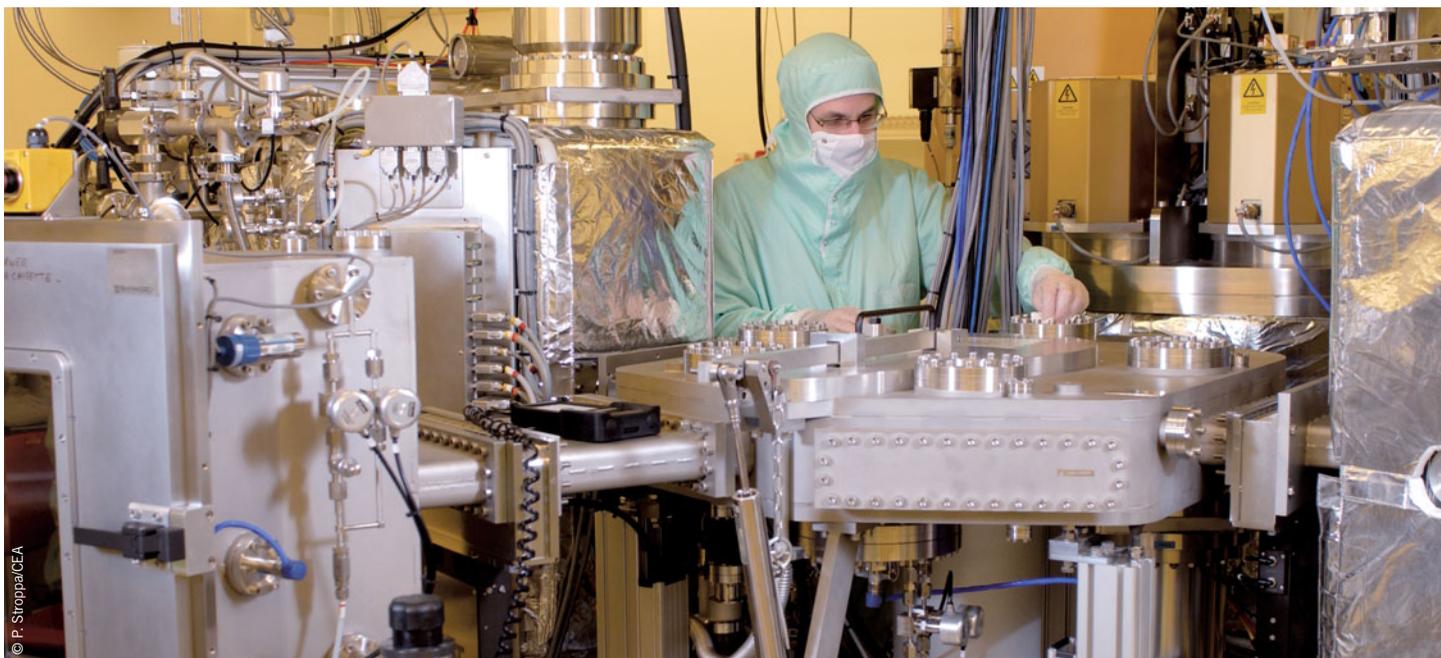
notes : 1. Inserm, Unité 708, Neuroépidémiologie, Salpêtrière, Centre d'imagerie-neurosciences et applications aux pathologies de l'I<sup>2</sup>BM. 2. Voir p. 3, rubrique « Et aussi... ».

**Substance blanche** // Tissu constitué de prolongements des neurones (axones) entourés d'une substance conductrice (myéline) permettant de diffuser des informations dans les différentes régions du cerveau.



**LE SYSTÈME HÉLINUC MIS AU POINT PAR LE CEA** (voir *Les Défis du CEA* n° 136) a participé à la sécurisation contre les menaces NRBC<sup>1</sup> lors du 60<sup>e</sup> anniversaire de l'Otan. Ce système, embarqué sur hélicoptère, a permis de réaliser la surveillance radiologique de l'agglomération de Strasbourg sur 80 km<sup>2</sup>.

note : 1. Risques nucléaire, radiologique, biologique et chimique.



Machine de dépôt de couches minces magnétiques pour la fabrication de MRAM.

# LA MÉMOIRE EST MEILLEURE À CHAUD...

TEXTE : Fabrice Demarthon

SPINTRONIQUE

Même les mémoires de nos ordinateurs deviennent économes en énergie ! Grâce notamment aux chercheurs du CEA-Inac<sup>1</sup> et du CEA-Léti<sup>2</sup> à Grenoble, qui viennent de franchir une étape importante dans la mise au point des mémoires magnétiques (MRAM<sup>2</sup>). Avec leur partenaire Crocus Technology, ils sont parvenus à s'affranchir du champ magnétique nécessaire pour écrire des données dans ce type de dispositif. Là, c'est le courant électrique qui fait tout ! Les MRAM sont constituées de plots où s'empilent deux couches magnétiques. Lorsque leur aimantation est dans le même sens, le courant peut circuler facilement. Mais si l'aimantation de l'une d'elles – appelée couche de stockage – est dans le sens opposé à l'autre, le courant passe moins bien. Ce sont ces deux états qui permettent de stocker l'information sous la forme 1 quand le courant

passé, 0 dans le cas contraire. « Les MRAM que l'on trouve dans le commerce nécessitent l'application d'un champ magnétique extérieur pour orienter l'aimantation de la couche de stockage, donc pour écrire les données », explique Ricardo Sousa, chercheur au CEA-Inac. D'où un surcroît de consommation électrique pour créer ce champ.

Pour réduire cette consommation tout en garantissant la stabilité des données écrites pendant dix ans, les chercheurs ont amélioré leur technologie brevetée de mémoire magnétique « assistée thermiquement ». Le principe de celle-ci repose sur le fait que, pour certains empilements, l'intensité du champ magnétique nécessaire au basculement de l'aimantation est réduite si l'écriture se fait à température élevée (200-250 °C). Chauffer la couche de stockage permettrait donc déjà d'économiser sur la production du champ magnétique pendant la phase d'écriture. « La deuxième étape a consisté à ne plus du tout utiliser de champ externe, indique Ricardo Sousa. L'injection d'un courant polarisé en spin permet à la fois de chauffer la couche de stockage et d'imposer une direction à son aimantation. » De telles mémoires combinant courant de spin et assistance thermique pourraient être commercialisées par Crocus Technology d'ici trois ou quatre ans pour les nœuds technologiques avancés, après la mise sur le marché en fin d'année d'une première génération utilisant champ magnétique et assistance thermique.



Motifs MRAM en cours de caractérisation sur testeur automatique pour évaluer les courants électriques d'écriture.

notes : 1. Voir p. 3, rubrique « Et aussi... ». 2. Magnetic random access memory.

**Polarisé en spin** // Se dit d'un courant dont les électrons ont tous le spin – propriété comparable à une mini-aimantation – orienté dans le même sens.

**CONTEXTE** Produire des hydrocarbures à partir du bois, de paille, des débris végétaux, voire ménagers, c'est l'enjeu des biocarburants de 2<sup>e</sup> génération. À la clé, une ressource énergétique qui ne contribuera pas à l'effet de serre et une aubaine pour la France, qui possède la 3<sup>e</sup> forêt d'Europe occidentale.

# ÉNERGIE

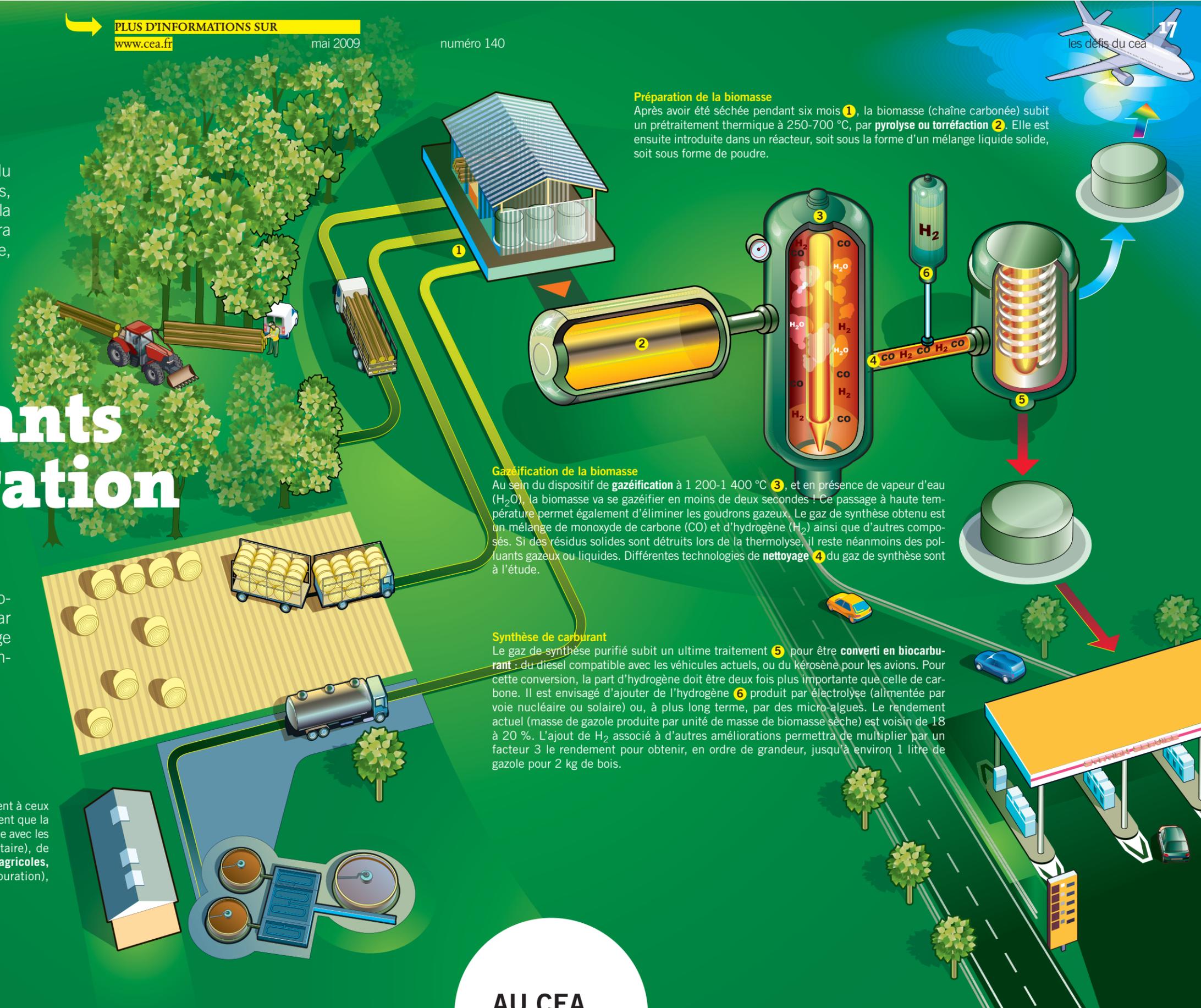
## Biocarburants de 2<sup>e</sup> génération

**PRINCIPE** L'un des modes de production des biocarburants de 2<sup>e</sup> génération consiste à générer, par traitement thermique de la biomasse, un mélange gazeux à partir duquel les hydrocarbures seront synthétisés.

### Ressources en biomasse

Actuellement, seuls les biocarburants de 1<sup>re</sup> génération (diester ou éthanol) sont produits à l'échelle industrielle. Ils résultent de cultures de colza, tournesol, maïs, betterave, etc. Ceux dits de 2<sup>e</sup> génération concerneront la production d'hydrocarbures, compatibles avec les moteurs diesel, à partir de

**plantes** entières (contrairement à ceux de 1<sup>re</sup> génération qui n'utilisent que la graine, et sont en concurrence avec les cultures dédiées à l'alimentaire), de **bois, de déchets forestiers, agricoles, industriels** (type boues d'épuration), voire **ménagers**.



### Préparation de la biomasse

Après avoir été séchée pendant six mois **1**, la biomasse (chaîne carbonée) subit un prétraitement thermique à 250-700 °C, par **pyrolyse ou torréfaction** **2**. Elle est ensuite introduite dans un réacteur, soit sous la forme d'un mélange liquide solide, soit sous forme de poudre.

### Gazéification de la biomasse

Au sein du dispositif de **gazéification** à 1 200-1 400 °C **3**, et en présence de vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), la biomasse va se gazéifier en moins de deux secondes ! Ce passage à haute température permet également d'éliminer les goudrons gazeux. Le gaz de synthèse obtenu est un mélange de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H<sub>2</sub>) ainsi que d'autres composés. Si des résidus solides sont détruits lors de la thermolyse, il reste néanmoins des polluants gazeux ou liquides. Différentes technologies de **nettoyage** **4** du gaz de synthèse sont à l'étude.

### Synthèse de carburant

Le gaz de synthèse purifié subit un ultime traitement **5** pour être **converti en biocarburant** : du diesel compatible avec les véhicules actuels, ou du kérosène pour les avions. Pour cette conversion, la part d'hydrogène doit être deux fois plus importante que celle de carbone. Il est envisagé d'ajouter de l'hydrogène **6** produit par électrolyse (alimentée par voie nucléaire ou solaire) ou, à plus long terme, par des micro-algues. Le rendement actuel (masse de gazole produite par unité de masse de biomasse sèche) est voisin de 18 à 20 %. L'ajout de H<sub>2</sub> associé à d'autres améliorations permettra de multiplier par un facteur 3 le rendement pour obtenir, en ordre de grandeur, jusqu'à environ 1 litre de gazole pour 2 kg de bois.

## AU CEA

Des équipes des centres de Grenoble, Marcoule et Cadarache développent la 2<sup>e</sup> génération de biocarburants, notamment par la conception de démonstrateurs de recherche. Parallèlement, le CEA travaille à la réalisation d'un pilote industriel à Bure-Saudron, dans le cadre de l'accompagnement économique de la Meuse et de la Haute-Marne (développement d'activités et d'emplois dans le territoire d'accueil du laboratoire de recherche sur le stockage géologique des déchets nucléaires).

PROPOS RECUEILLIS PAR : Aude Ganier

# POLÉMIQUE SISMIQUE...



PLUS D'INFORMATIONS SUR

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

© DR

## 3 QUESTIONS À RÉMY BOSSU

Lorsque l'Italie tremble, les polémiques répliquent ! Le séisme des Abruzzes était-il réellement prévisible ? Les investigations des sismologues, loin d'être prédictives, permettent néanmoins d'envisager des solutions de prévention. Le point sur cette question par Rémy Bossu.

**LES DÉFIS DU CEA** Un scientifique italien annonce l'émission d'un séisme. Quelques semaines plus tard, les Abruzzes subissent un tremblement de terre de magnitude 6,3 sur l'échelle de Richter. Que pensez-vous de la polémique née après cet événement ?

**R. B.** | Ce scientifique a basé sa prévision sur des mesures de radon. Le CEA a une grande expérience de ce gaz, qui est étudié depuis trente ans comme candidat potentiel à la prédiction des séismes. Or sa mesure est particulièrement délicate, notamment parce que son émanation varie selon la pression atmosphérique... Cette méthode, testée sur différents séismes, n'a apporté aucun résultat probant. Ce type de polémique est très fréquent à la suite d'un séisme. Pour les éviter, le SCEC<sup>2</sup> a mis en place des procédures destinées à tester scientifiquement les méthodes de prédiction. Cette démarche a également été initiée en Europe.

**LES DÉFIS DU CEA** Qu'en est-il ? Peut-on aujourd'hui prévoir les séismes ?

**R. B.** | Il n'existe aujourd'hui aucune méthode scientifiquement prouvée. Et il convient de relativiser la prédiction d'un séisme qui n'aurait de sens que si elle était fiable dans le temps et l'espace : à quelle heure, dans quelle localité et à quelle magnitude. Car on n'évacue pas impunément une région, surtout pour un séisme de magnitude 3 ou 4 qui n'aura pas d'impact... Aujourd'hui, nous pouvons caractériser sur de longues périodes la probabilité d'un séisme. Par exemple en Turquie, où depuis les années 30 jusqu'au dernier séisme de 1999 à Izmit, la faille anatolienne se casse. Or il ne reste plus qu'une zone bloquée au sud d'Istanbul. Les autorités sont alertées mais personne ne peut dire quand ce séisme aura lieu exactement. Toujours est-il que la prédiction n'empêchera pas les dommages matériels. L'impact économique du séisme des Abruzzes vient d'être estimé à 12 milliards d'euros !

**LES DÉFIS DU CEA** Justement, quels dispositifs de prévention les États peuvent-ils mettre en place ?

**R. B.** | L'instauration de normes parasismiques pour les bâtiments, que le CEA étudie depuis longtemps, est le meilleur outil de prévention. Mais comme il ne concerne que les nouvelles constructions, son efficacité se mesure à moyen terme. Les alertes précoces peuvent également apporter un certain bénéfice. L'idée est de détecter et caractériser le séisme dans les toutes premières secondes suivant son initiation et d'informer les villes avant que les ondes sismiques ne les atteignent. Cela permet, suivant les configurations, d'être informé de cinq à quinze secondes avant que les secousses ne surviennent. Un laps de temps certes ridicule pour envisager l'évacuation d'une ville, mais qui peut permettre d'intervenir sur les systèmes automatiques pour, par exemple, arrêter les trains ou bloquer les réseaux de distribution de gaz et éviter ainsi des incendies.



Salle d'analyse des signaux géophysiques du CEA-Dase. Ces signaux sont captés par des stations de surveillance installées dans le monde entier.

© Dupont/CEA

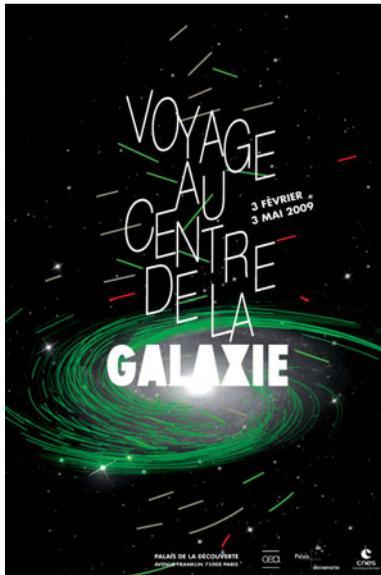
notes : 1. Voir p. 3, rubrique « Et aussi... ». 2. South Californian Earthquake Centre.

**Radon** // Gaz radioactif d'origine naturelle provenant de la désintégration de l'uranium et du radium contenus dans la croûte terrestre.

**Ondes sismiques** // Ondes générées par un séisme qui se propagent sous terre et sont moins rapides que les ondes électriques d'un système de transmission de données.

## Galaxie en mouvement

Pour ceux qui auraient manqué l'exposition présentée à Paris au Palais de la découverte, le CEA décline plusieurs versions itinérantes du « Voyage au centre de la galaxie ». Rendez-vous jusqu'au 27 juin au musée de l'Air et de l'Espace du Bourget, en juillet et août à Forcalquier (Alpes-de-Haute-Provence) et au château de Lavardens (Gers), et de septembre à novembre au Visiatome, à Bagnols-sur-Cèze (Gard). D'autres dates seront annoncées à la rentrée. —



Exposition itinérante |



## Agir pour la Terre, ça presse...

Que nous réserve la Terre ? Comment concilier essor démographique et limitation des ressources naturelles ? L'exposition offre à la fois une vision d'ensemble de la planète, d'un seul regard, et une vision rapprochée des ressources et de l'urbanisation. Pour comprendre ce qu'est devenue la Terre en 4,5 milliards d'années, et ce qu'elle pourrait devenir... —



## Mieux voir dans le ciel

Devons-nous subir ou pouvons-nous prévoir les caprices du ciel ? Les hommes restent impuissants face aux inondations, tempêtes, tornades, sécheresses... Mais les connaissances progressent pour comprendre les causes naturelles et humaines de ces phénomènes extrêmes, ici expliqués dans des modules interactifs. —

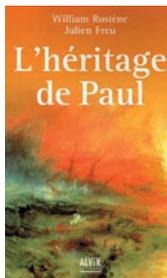
Cité des sciences et de l'industrie | Paris | Jusqu'au 30 août |

Visiatome - CEA Marcoule | Bagnols-sur-Cèze (Gard) | Jusqu'au 1<sup>er</sup> juin |



## Guerre froide ?

Fonte des glaces, drapeau russe planté dans les fonds marins polaires... Ça bouge dans l'Arctique, où le réchauffement climatique entraîne des bouleversements écologiques, géopolitiques et socio-économiques. Les deux auteurs dressent un panorama des nouveaux enjeux du Grand Nord : exploration de nouvelles ressources naturelles, contrôle de nouveaux passages maritimes, expérimentation et démonstration militaires... —



## En quête du père

Paris, 1861. Charles Dormont, du Collège de France, et son ami Paul Bert révolutionnent la chirurgie, la plongée et l'aéronautique. Leurs expériences les mèneront jusqu'en Australie où l'on perd la trace de Paul Bert lors du naufrage d'un clipper. Vingt ans plus tard, son fils est amené à résoudre une énigme scientifique, étrangement liée à la disparition du clipper... Un roman d'initiation au cœur du Paris universitaire du XIX<sup>e</sup> siècle. —

La bataille du Grand Nord a commencé... | Richard Labévière et François Thual | Éditions Perrin | 252 pages | 18 € |

L'héritage de Paul | William Rostène et Julien Freu | Éditions Alvik | 272 pages | 16 € |

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. Céramiques
2. Nanotraceurs fluorescents
3. Membranes