



Les **matériaux**  
au cœur du processus  
d'innovation

Clefs CEA N° 59 – ÉTÉ 2010

**Image principale de couverture**

La plupart des programmes du CEA exigent une maîtrise préalable de matériaux innovants. Conscient des enjeux, mais aussi de l'importance des challenges à relever pour ces matériaux situés au cœur de la performance des composants, le CEA a mis en place un programme transversal. P.-F. Grosjean/CEA - P. Avavian/CEA - P. Stroppa/CEA - Artechnique/CEA

**Images en médaillon**

**haut :** Le microscope électronique à Très Haute Tension (THT) du CEA/Saclay constitue une installation assez unique pour simuler/observer une partie des effets de l'irradiation neutronique sur les matériaux de gainage et autres composants de cœur sujets à l'irradiation neutronique en service, que ce soit pour les REL, les RNR ou les RNR-G. P. Stroppa/CEA

**bas :** Cellules EHT tubulaires.

Développement de cellules de 600 cm<sup>2</sup> pour l'architecture innovante coaxiale. Dépôt des électrodes par enduction. P. Stroppa/CEA

**Pictogramme des pages intérieures**

Architecture composite typique d'un réservoir d'hydrogène réalisé par enroulement filamentaire. Cette technologie permet la dépose de couches successives de fibres de carbone imprégnées de résine avec des angles variables définis pour un comportement thermomécanique optimal de la structure. P. Stroppa/CEA

**Revue éditée par le CEA**

Direction de la communication  
Bâtiment Siège  
91191 Gif-sur-Yvette Cedex - (France)  
Tél. : 01 64 50 10 00  
Fax (rédaction) : 01 64 50 17 22

Directeur de la publication  
Xavier Clément

Rédactrice en chef  
Marie-José Loverini  
marie-jose.loverini@cea.fr

Rédactrice en chef adjointe  
Martine Trocellier  
martine.trocellier@cea.fr

**Comité scientifique**  
Bernard Bonin, Christian Charissoux,  
Gilles Damamme, Céline Gaiffier,  
Étienne Klein, François Papat,  
Gérard Sanchez

**Iconographie**  
Florence Klotz

**Suivi de fabrication**  
Lucia Le Clech

**Abonnement**  
L'abonnement à la revue *Clefs CEA* (version papier) est gratuit. Les demandes d'abonnement doivent être adressées, de préférence par Internet, à l'aide du formulaire disponible à l'adresse : <http://www.cea.fr> ou par télécopie au 01 64 50 20 01

ISSN 0298-6248  
Dépôt légal à parution

**Réalisation**  
Efil - 3 impasse Pellerault - 37000 Tours  
Tél. : 02 47 47 03 20 - [www.efil.fr](http://www.efil.fr)

Imprimerie Gilbert-Clarey  
(Chambray-lès-Tours)

**Réalisation des supports électroniques**  
Calathea Paris - Tél. : 01 43 38 16 16  
ISSN 1625-9718  
*Clefs CEA* (en ligne)

À l'exclusion des illustrations, la reproduction totale ou partielle des informations contenues dans ce numéro est libre de tous droits, sous réserve de l'accord de la rédaction et de la mention d'origine.

© 2010 CEA

RCS Paris B 775 685 019  
Siège social : Bâtiment Le Ponant D,  
25 rue Leblanc, 75015 Paris

# Les matériaux au cœur du processus d'innovation

- 2 Avant-propos  
*par Bernard Bigot,*
- 4 Enjeux, avenues de progrès et priorités du programme transversal sur les matériaux avancés au CEA,  
*par Frédéric Schuster*

## I. LES MATÉRIAUX POUR LE NUCLÉAIRE

- 8 Introduction, *par Bernard Bonin*

- 10 **Des innovations pour les matériaux de l'assemblage combustible des réacteurs à eau légère,**  
*par Jean-Christophe Brachet, Marion Le Flem et Didier Gilbon*

- 14 **Les expériences numériques**  
Modélisation multiéchelle des matériaux : de l'*ab initio* à la cinétique,  
*par François Willaime, Thierry Deutsch et Pascal Pochet*



- 17 **L'élaboration de verres nucléaires en creuset froid,**  
*par Roger Boën*

- 22 Le comportement à long terme des verres pour le confinement des déchets,  
*par Stéphane Gin*

- 24 **Lire les structures**  
La RMN du solide pour observer les verres à l'échelle atomique,  
*par Thibault Charpentier*

- 26 **Des composites SiC/SiC pour les gaines de combustible des RNR-G,**  
*par Patrick David, Fabienne Audubert, Valérie Chamat, Cédric Sauder et Lionel Gélébart*



- 31 **Les alliages ODS pour les structures sous irradiation,**  
*par Yann de Carlan*

- 35 **Simuler expérimentalement**  
Étude du comportement sous irradiation des matériaux nucléaires : apport de la plateforme JANNUS,  
*par Patrick Trocellier, Sandrine Miro et Yves Serruys*

- 38 **Des barrières environnementales pour milieux extrêmes,**  
*par Frédéric Sanchette, Cédric Ducros, Karine Wittmann-Ténèze, Luc Bianchi et Frédéric Schuster*

- 42 **De l'intérêt des solides mésoporeux pour le nucléaire,**  
*par Xavier Deschanel, Frédéric Goettmann, Guillaume Toquer, Philippe Makowski et Agnès Grandjean*

- 47 **Explorer les surfaces**  
La microscopie à force atomique : une technique puissante et polyvalente pour étudier les matériaux,  
*par Jacques Cousty*



## II. LES MATÉRIAUX DÉDIÉS AUX NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR L'ÉNERGIE

50 Introduction, par *Hélène Burtel*

52 **La pile à combustible PEMFC : une solution très crédible,**  
par *Joël Pauchet, Arnaud Morin, Sylvie Escribano, Nicolas Guillet, Laurent Antoni et Gérard Gebel*



74

60 **L'EHT, un procédé de production de l'hydrogène très prometteur,**  
par *Julie Mougin, Emmanuel Rigal, Julien Vulliet et Thierry Piquero*

66 **Li-ion : une technologie de pointe pour de nouveaux accumulateurs performants et innovants,**  
par *Sébastien Martinet et Sébastien Patoux*

72 **Des systèmes de stockage robustes et sûrs pour l'hydrogène,**  
par *Fabien Nony*

76 **L'énergie photovoltaïque monte en puissance,**  
par *Philippe Thony, Renaud Demadrille et Emmanuel Hadji*

84 **Nanomatériaux et maîtrise des risques**  
Une approche « intégrée »,  
par *Rémy Maximilien, Frédéric Schuster, Yves Sicard et François Tardif*



80

## III. DES MATÉRIAUX POUR LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA SANTÉ

92 Introduction, par *Amal Chabli*

94 **Le diamant, matériau ultime pour la fabrication de capteurs,**  
par *Philippe Bergonzo et ses collaborateurs*

100 **Les films minces nanostructurés par voie Sol-Gel,**  
par *Philippe Belleville*

106 **Nanotubes et matériaux bidimensionnels carbonés pour la microélectronique,**  
par *Jean-Christophe P. Gabriel*

112 **Analyser les surfaces**  
XPEEM, une technique d'analyse de surface parfaitement adaptée aux matériaux innovants,  
par *Nick Barrett et Olivier Renault*

115 **Substrats et matériaux : course à la miniaturisation,**  
par *Jean-Jacques Aubert, Thierry Billon, Laurent Clavelier, Olivier Demolliens, Jean-Michel Hartmann, Didier Louis et François Martin*



100

122 **Des matériaux intégrés pour de nouvelles fonctions radiofréquence sur le silicium,**  
par *Bernard Viala et Emmanuel Defaj*

127 **Fonctionnalisation des surfaces : de l'électronique organique aux capteurs et biocapteurs,**  
par *Serge Palacin*

132 **De nouveaux biomatériaux à haute valeur ajoutée,**  
par *Carole Mathevon et Vincent Forge*

137 **Institutions et organismes : qui fait quoi ?**

141 **Glossaire**

### Le CEA, acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation

Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives intervient dans quatre grands domaines : les énergies décarbonées, la défense et la sécurité globale, les technologies pour l'information, et les technologies pour la santé.

Pour être au plus haut niveau de la recherche, le CEA compte plusieurs atouts : une recherche fondamentale d'excellence, une culture croisée ingénieurs-chercheurs, propice aux synergies entre recherche fondamentale et innovation technologique ; des installations exceptionnelles (super-calculateur, réacteurs de recherches, grands instruments de la physique, lasers de puissance...) ; enfin, une forte implication dans le tissu industriel et économique. Le CEA est implanté sur 10 centres répartis dans toute la France. Il développe de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités. À ce titre, le CEA est partie prenante de la mise en place d'alliances nationales coordonnant la recherche française dans les domaines de l'énergie (ANCRE), des sciences de la vie et de la santé (AVIESAN), des sciences et technologies du numérique (ALLISTENE) et des sciences de l'environnement (AllEnvir). Par ailleurs, une importance particulière est portée à l'enseignement et à l'information du public, afin de favoriser le transfert des connaissances et le débat sciences/société. Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau international.

#### Précisions

Les termes figurant dans le glossaire (p. 141) apparaissent en **bleu** dans les textes à leur première occurrence. Les noms apparaissant en **vert** renvoient à la page 137.