les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

189

Mai 2014

GRAND ANGLE

DÉMANTÈLEMENT : HÉRITAGE DU PASSÉ, PERSPECTIVES D'AVENIR

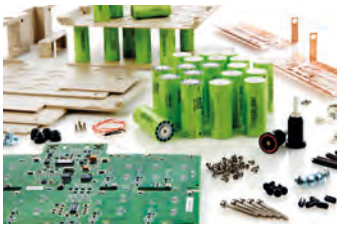
COUP DE PROJECTEUR

SUR LA ROUTE DES AÉROSOLS DE PARIS AU LAC BAÏKAL

TOUT S'EXPLIQUE

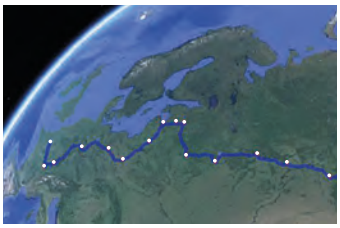
LE DÉMANTÈLEMENT NUCLÉAIRE

SOMMAIRE défis du cea 189



03 **ACTUALITÉ**

06 **COUP DE PROJECTEUR**
Sur la route des aérosols de Paris au lac Baïkal



08 **À LA POINTE**
BOSS lève le voile sur l'expansion de l'univers 08
Une molécule pour endormir les défenses mutines 09
Des vibrations mortelles pour les cellules cancéreuses 10
Des micro-algues deux fois plus productives 10
À la lumière des LED, le WI-FI pourrait céder la place au LI-FI 11

12 **TOUT S'EXPLIQUE**
Le démantèlement nucléaire.

14 **GRAND ANGLE**
Démantèlement : héritage du passé, perspectives d'avenir
Maître d'ouvrage sur les chantiers de démantèlement de ses installations nucléaires, le CEA déploie également une R&D innovante pour en optimiser les coûts, délais et sûreté. À la clé, des transferts industriels.

22 **À VOIR, À LIRE, À ÉCOUTER**
Le CEA dans les médias 22
Kiosque 23
Sur le Web 23

ABONNEMENT GRATUIT

Vous pouvez vous abonner sur : www.cea.fr/le_cea/publications, ou en faisant parvenir par courrier vos nom, prénom, adresse et profession à *Les Défis du CEA* – Abonnements. CEA. Bâtiment Siège. 91191 Gif-sur-Yvette.

Éditeur Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, R. C. S. Paris B77568019 | **Directeur de la publication** Xavier Clément | **Rédactrice en chef** Aude Ganier | **Rédactrice** Amélie Lorec | **Ont contribué à ce numéro** Mathieu Grousson, Stéphanie Delage, Esther Leburgue et Vahé Ter Minassian | **Comité éditorial** Andrew Chilton, Alexandra Bender, Vincent Coronini, Claire Abou, Elizabeth Lefevre-Remy, Sophie Martin, Brigitte Raffray, Emanuelle Volant, Philippe Laporte | **Iconographie** Micheline Bayard | **Infographie** David Torondel - COM CI COM CA | **Photo de couverture** CEA | **Diffusion** Lucia Le Clech | **Conception et réalisation** www.rougevif.fr | N°ISSN 1163-619X | Tous droits de reproduction réservés. **Ce magazine est imprimé sur du papier PEFC BVS, issu de forêts gérées durablement. Imprimerie Abelia.**

ÉVÉNEMENT

À LA RENCONTRE DES PME-PMI

Dans le cadre de la semaine de l'Industrie, le CEA a convié des PME et PMI à venir découvrir son offre technologique et sa stratégie de valorisation de la recherche, le 10 avril à Paris. Sous le haut patronage du ministère de l'Économie, du Redressement productif et du Numérique, et en présence de la secrétaire d'État à l'Enseignement supérieur et à la Recherche, Geneviève Fioraso, cette journée a été l'occasion de remonter toute l'échelle TRL d'une recherche au service de l'innovation. Ainsi, des recherches fondamentales à fort potentiel applicatif jusqu'aux start-up du CEA qui portent sur le marché des produits innovants, tout a été passé au crible : accompagnement des industriels et des chercheurs du CEA pour valoriser une idée ou une technologie, R&D partenariale, politique de protection industrielle, soutiens financiers de fonds d'investissement comme la BPI ou CEA Investissements. Près de 300 personnes, chercheurs, experts et industriels, ont ainsi pu échanger, jusqu'à tard dans la soirée. Certaines rencontres pourraient déboucher sur de prochaines innovations…

La secrétaire d'État à la Recherche et l'Administrateur général du CEA sur le stand de la plateforme Doséo.

L'artiste plasticien en action sur le tableau numérique développé au CEA.

Discussion sur le stand « Démantèlement », devant la maquette de l'installation APM de Marcoule.

Présentation d'un kit de détection de toxines biologiques développé en partenariat avec un industriel.

200

entreprises étaient présentes à la journée *De la recherche à l'industrie avec le CEA* pour découvrir son offre technologique et échanger sur les processus d'innovation.

40

chercheurs du CEA et partenaires industriels ont animé plus de 25 conférences de type TEDx sur des thématiques variées.

12

stands présentant différentes plateformes technologiques du CEA ont été le lieu de nombreux échanges informels entre les participants.

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

TROISIÈME DÉPOSANT DE BREVETS EN FRANCE

Premier organisme de recherche **avec 625 demandes publiées[1], le CEA se positionne en 2013 à la troisième place des déposants de brevets au niveau national,** derrière PSA Peugeot Citroën (1378 publications) et le groupe Safran (645). Dans les vingt premiers de ce classement de l'Institut national de la propriété intellectuelle (INPI), on retrouve principalement les entreprises du secteur automobile, suivies de la cosmétique, de l'aéronautique, des télécommunications, de l'électronique, de la chimie et de l'énergie. Deux autres organismes de recherche trouvent leur place dans ce classement : le CNRS (7e avec 408 publications) et l'IFP Énergies Nouvelles (13e avec 188).
Par ailleurs, en 2013, 16886 demandes de brevets ont été déposées auprès de l'INPI par la voie nationale, soit une augmentation de 1,5 % par rapport à 2012. Ce résultat confirme que les entreprises françaises investissent dans la R&D et intègrent de plus en plus la propriété industrielle dans leur stratégie de développement.

Note :

1. *Nombre de demandes de brevets publiées en 2013, relatives à leur dépôt entre le 1er juillet 2011 et le 30 juin 2012.*

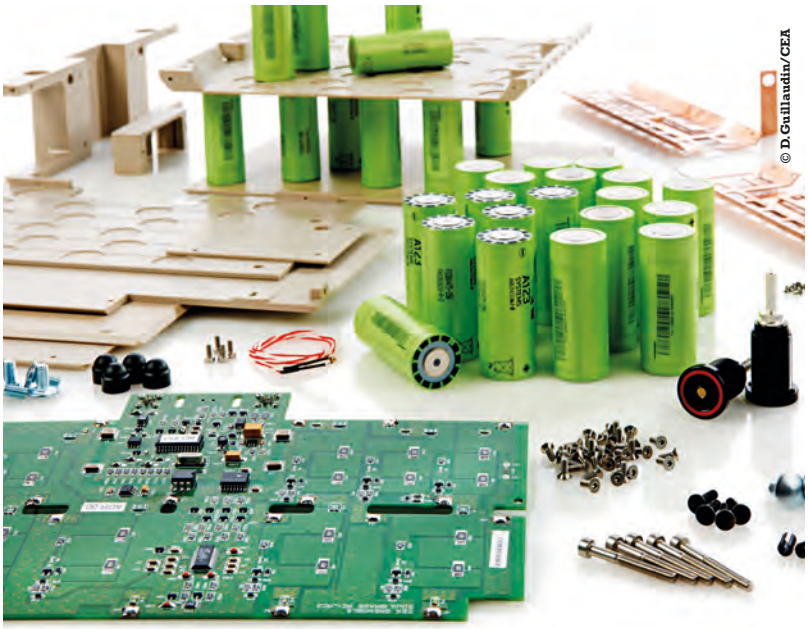
DISTINCTION

LA GESTION FINANCIÈRE DU CEA PLÉBISCITÉE

La Direction financière du CEA reçoit le Trophée d'or, catégorie « secteur public », des Trophées Leaders de la Finance, pour l'ensemble des chantiers menés par ses équipes sur la période 2012-2013. Sont ainsi distingués : les progrès dans le contrôle de gestion, les investissements et le financement du démantèlement ; le rendement et la prudence des placements financiers ; la qualité du dialogue avec l'État ; le suivi strict des recommandations de la Cour des comptes ; l'innovation dans le financement de la rénovation des centres civils ; la qualité des méthodes de comptabilité analytique ; la rigueur des déclarations fiscales et douanières ; la réalisation d'outils de suivi des dépenses de fonctionnement. La Direction financière du CEA figurait dans la liste des nominés aux côtés, notamment, du groupe Caisse des Dépôts, du CNRS, de Radio France et de la RATP.
S'appuyant sur un jury de 140 professionnels de la finance, les Trophées Leaders de la Finance récompensent chaque année les meilleures directions financières sectorielles et spécifiques, banques d'investissement et de financement, banques privées et conseils spécialisés.

COLLABORATION

UNE ALLIANCE POUR MIEUX RECYCLER LES MATÉRIAUX STRATÉGIQUES DES BATTERIES



© D. Guillaudin/CEA

Face à la croissance à venir du marché des véhicules hybrides et électriques, la réglementation européenne impose le recyclage des batteries, avec des rendements minimaux de 50 % de leur poids total. Dans ce contexte, **la société SNAM, leader européen dans la collecte et le recyclage de batteries de nouvelle génération et acteur majeur de l'économie circulaire, s'associe au CEA.** Objectif : améliorer les procédés de récupération de métaux stratégiques contenus dans des batteries Nickel-Métal-Hydrure et Lithium-Ion. Les axes de cette R&D collaborative concerneront la séparation, la purification et la récupération des métaux tels que terres rares, cobalt, nickel, cuivre, aluminium, manganèse. Le tout, selon des procédés n'émettant pas de substance gazeuse nocive et fournissant des matériaux de haute pureté. *« Ce partenariat illustre notamment la capacité du CEA à être au plus proche des besoins d'un tissu industriel local, en l'état celui de la Région Midi-Pyrénées,* via *l'une des plateformes régionales de transfert technologique de CEA Tech »* a indiqué Florence Lambert, directrice du CEA-Liten.

Éclaté du prototype RC1 d'un pack de batteries lithium.

SUR LA ROUTE DE L'INNOVATION

Lancé en septembre 2012, le programme EasyTech de l'IRT Nanoélec porté par le CEA livre un premier bilan de ses collaborations avec des entreprises. Objectif : accompagner la montée en gamme de leurs produits grâce à l'intégration de briques technologiques en électronique et microélectronique.

Un an et demi après le lancement du programme Easytech, quel bilan pouvez-vous dresser ?

Trente-six contrats de transferts de technologies ont été conclus entre septembre 2012 et décembre 2013 dans le cadre du programme EasyTech piloté par Minalogic. Notre objectif, qui répond à un besoin certain de soutien à l'innovation, est de proposer aux entreprises de tous secteurs d'activité des briques technologiques en microélectronique afin d'opérer une montée en gamme de leurs produits. Pour cela, et c'est la démarche Pepite[1] initiée au CEA il y a déjà quatre ans, nous les accompagnons autant dans les phases de créativité que lors de la réalisation de prototypes ou démonstrateurs. Comme le rappelle Isabelle Millet, chargée des relations avec les PME à Minalogic, le ticket moyen pour monter des projets d'innovation avec un laboratoire est de 700 000 euros sur trois ans ; or cela demeure inaccessible pour une petite entreprise. Avec EasyTech, les entreprises peuvent bénéficier d'un soutien financier : pour un projet court n'excédant pas 18 mois, ni 200 000 euros, 20 % peuvent être pris en charge par l'IRT Nanoelec. De plus, pour les entreprises situées en Rhône-Alpes, 30 % supplémentaires sont accordés par les collectivités locales. Trente et une entreprises, principalement des PME, ont été labellisées EasyTech et nous visons d'ouvrir notre offre à une cinquantaine d'autres d'ici à la fin de l'année.

Comment se passent concrètement vos collaborations ?

Cela dépend de la demande initiale. Certains chefs d'entreprises ont une idée précise et nous intervenons pour en étudier la faisabilité sur les plans technologique, industriel et marketing. Dans 90 % des cas, ils nous sollicitent par rapport à une problématique comme l'arrivée de nouveaux concurrents ou des produits vieillissants. Un premier rendez-vous avec un comité d'experts permet d'identifier le projet et d'explorer les pistes envisageables, notamment grâce à la visite de la vitrine technologique du CEA de Grenoble, qui présente notamment les objets et applications issus du CEA-Leti. Une fois le projet ébauché, l'entrepreneur est orienté vers le laboratoire compétent qui lui fournit un devis de la prestation. Le dossier est alors monté pour obtenir le label EasyTech et les travaux sont lancés. À mi-parcours, le même comité d'experts s'assure que le prototype en cours de réalisation répond bien au cahier des charges. En général l'ensemble du processus d'innovation court sur 12 mois.

Auriez-vous des exemples d'innovations générées dans le cadre d'EasyTech ?

Avec EasyTech, la société TPL System a mis au point un système de communication sans fil sécurisé et performant avec un design permettant l'intégration de l'antenne dans le boîtier. Ce dispositif vise les marchés professionnels de la sécurité tels que pompiers et policiers. De même, la start-up Terradona propose un collecteur de déchets intelligent et incitatif. Grâce aux capteurs que nous développons au CEA-Leti, la nature, la quantité et la provenance des déchets seront identifiées et le dépôt dans cette borne de tri sélectif récompensera les habitants, par exemple, avec des chèques cadeaux.

Propos recueillis par Aude Ganier

IRT NANOELEC

Huit instituts de recherche technologique (IRT) ont été lancés par le programme gouvernemental Investissements d'avenir. Rassemblant les compétences de l'industrie et de la recherche publique dans une logique de co-investissement public-privé, ils doivent permettre le développement industriel de produits ou services en couvrant l'ensemble du processus d'innovation, jusqu'à la démonstration et le prototypage industriel. L'IRT Nanoelec, basé à Grenoble et piloté par le CEA, se dédie à l'innovation scientifique et technologique dans le domaine de la nanoélectronique. Doté d'un investissement total de 460 millions d'euros sur dix ans, il comporte trois programmes majeurs : « Core Technology Program », formation, et valorisation dont fait partie EasyTech.

Note :

1. *Voir* Les Défis du CEA *n°171, page 5.*

ULM avec à son bord le système Lidar du CEA.

Arrêt déjeuner sur la route entre Chelyabinsk et Ishim.

Usines en Allemagne.

Halte à Riga (Lettonie).

13 000 KM

parcourus en camping-car pour l'expédition « Paris-Lac Baïkal ».

54 GO

de données relevées grâce à un système Lidar développé au CEA.

SUR LA ROUTE DES AÉROSOLS DE PARIS AU LAC BAÏKAL

Traquer les aérosols en suspension dans l'air sur un parcours de plus de 13 000 km ! Pour mener à bien cette expédition, deux chercheurs du LSCE sont partis de Paris le 4 juin 2013 jusqu'au Lac Baïkal. Leur mission : caractériser ces particules fines sur lesquelles les scientifiques ont peu d'informations alors qu'elles sont un acteur important de la machine climatique.

« *Initialement, c'est à bord d'un ULM que nous voulions mesurer les aérosols entre Paris et le Lac Baïkal, mais une fois arrivés en Russie, le survol du territoire nous a été refusé. Nous avons donc dû rebrousser chemin pour repartir à nouveau de France à bord d'un camping-car* », raconte Patrick Chazette. Pendant près d'un mois, l'expédition s'est donc déroulée au rythme des deux voies et des pistes détruites par les rigueurs de la Sibérie. Mais le jeu en valait la chandelle car la nature, la quantité et la répartition des aérosols demeurent mal connues des scientifiques. Or ces particules fines sont une composante importante du climat, en ce qu'elles participent à la diffusion de l'énergie solaire, contribuant à refroidir la surface de la Terre avec un « effet parasol » qui peut générer une diminution des rendements agricoles. Les mesures des scientifiques doivent donc permettre de corriger les hypothèses sur leur impact évalué dans les modèles climatiques actuels. Elles constituent également un ensemble de validation unique pour les observations spatiales.

Paris et Moscou, mêmes aérosols !

Dans leur camping-car, les climatologues ont embarqué un système Lidar[1], développé au CEA, dont le faisceau laser UV est émis vers la zone à étudier au niveau de la basse et moyenne **troposphère**•. Suite à la **rétrodiffusion**• du faisceau, la réponse des particules est analysée pour déterminer leurs densité, localisation, nature et géométrie. « *Nous avons effectué ces mesures quatre à six heures par jour, et en continu chaque nuit, pour avoir un échantillonnage conséquent et représentatif.* » Au total, c'est une base de données inédite de plus de 54 gigaoctets qui a été obtenue pour être analysée, classée et couplée avec des informations satellites. Les résultats démontrent que les aérosols rencontrés sur Moscou ont des propriétés similaires à ceux de Paris et Londres, en raison de parcs automobiles identiques. En allant vers l'Asie, ces particules issues du trafic se mélangent avec des aérosols de feux de biomasse, industriels et terrigènes. Ces derniers, soulevés localement dans des villes « poussiéreuses » ou provenant du Kazakhstan, contribuent à près de 50 % à l'atténuation du rayonnement solaire dans ces régions.

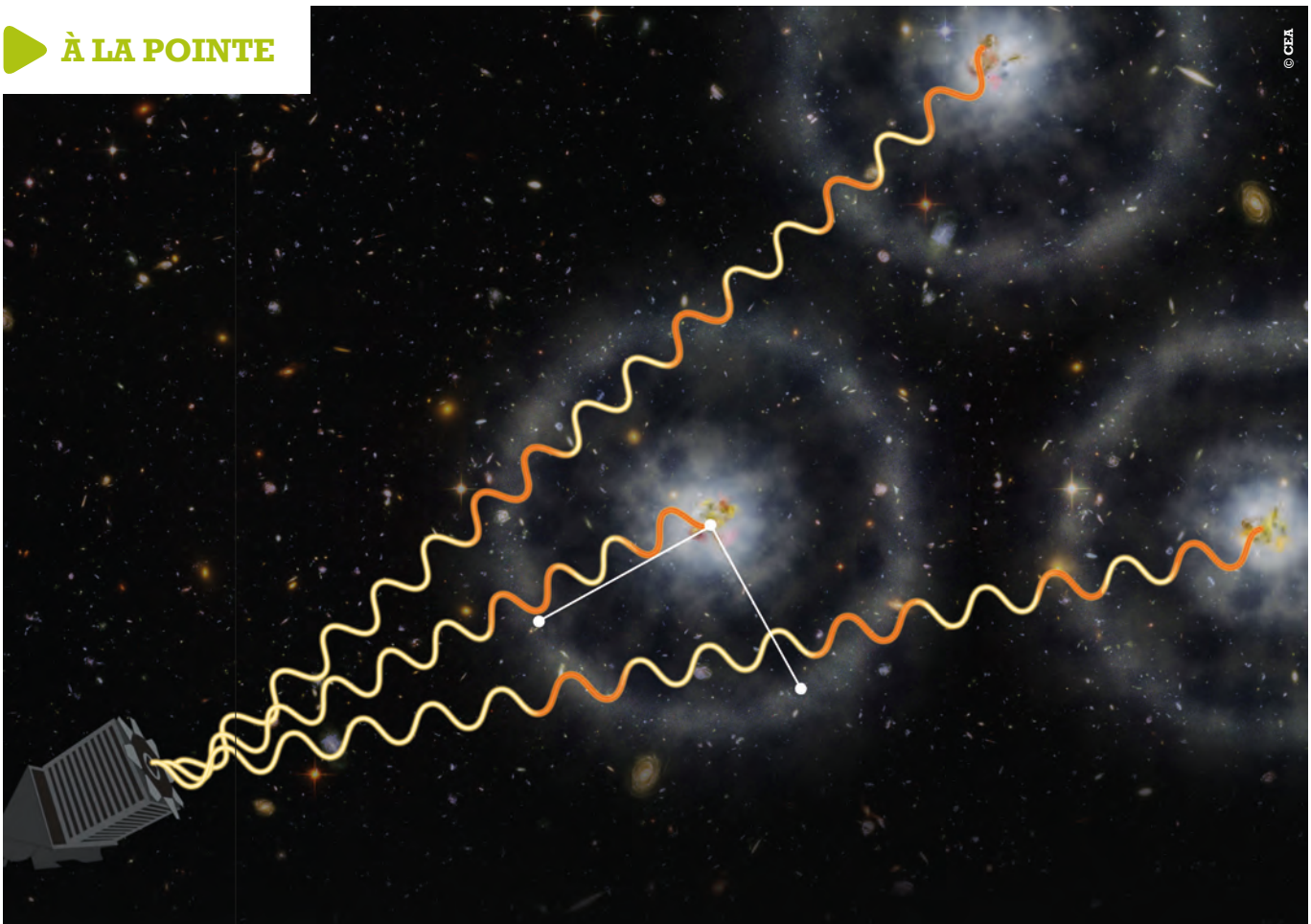
Amélie Lorec

• **Troposphère :** zone de l'atmosphère terrestre située entre 0 et 10 km d'altitude.

• **Rétrodiffusion :** partie du faisceau retournée dans la direction d'où elle a été émise après avoir rencontré une particule.

Note :

1. Light Detection and Ranging.



Vue d'artiste de la méthode de mesure du taux d'expansion de l'Univers : à partir de structures imprimées sur la distribution des gaz entre les quasars…

ASTROPHYSIQUE

BOSS LÈVE LE VOILE SUR L'EXPANSION DE L'UNIVERS

Percer le secret de « l'énergie sombre » est le Graal de la collaboration internationale BOSS[1] à laquelle participent des astrophysiciens du CEA-Irfu. Pour s'en rapprocher, ils parviennent à mesurer avec une précision inégalée le taux d'expansion de l'Univers lorsqu'il n'était encore âgé que de 3 milliards d'années.

Des travaux, récompensés en 2011 par le prix Nobel de physique, l'avaient établi en 1998 : l'Univers connaît actuellement une phase d'expansion accélérée. À mesure que le temps passe, il « enfle » en écartant de plus en plus vite les galaxies les unes des autres, sans que les cosmologistes puissent en expliquer les raisons. Seuls indices : ce grand coup de booster aurait été donné au cosmos lorsqu'il n'était âgé que de 6 milliards d'années – il en a aujourd'hui 13,7 – et son responsable serait « l'énergie sombre » constituant 70 % de l'énergie de l'Univers actuel. D'où provient-elle ? Comment agit-elle ? *« Pour espérer le savoir, nous devons mieux en cerner les effets, ce qui suppose d'établir comment la vitesse d'expansion de l'Univers a varié depuis le big bang »* explique Timothée Delubac, ancien thésard au CEA-Irfu.

L'onde sonore primordiale gravée dans les spectres des quasars

Installées sur un télescope du Nouveau-Mexique, les expériences de la collaboration BOSS se sont consacrées, pendant de nombreuses années, à l'observation de 140 000 **quasars**•. Et ce, pour remonter jusqu'aux 3 premiers milliards d'années de l'Univers[2]. *« Lorsque la lumière d'un quasar passe à travers l'hydrogène intergalactique, les régions de plus grande densité absorbent plus de lumière. Le spectre d'un quasar, observé par BOSS, contient ainsi des pics d'absorption correspondant à toutes ces régions denses traversées. En combinant des spectres de quasars assez rapprochés les uns des autres, il nous est possible d'étudier la répartition de l'hydrogène dans l'Univers en trois dimensions »* détaille l'astrophysicien. Cette répartition est alors utilisée pour mesurer la taille des « oscillations acoustiques de baryons » (BAO) résultant des ondes sonores qui se sont propagées dans l'Univers primordial. Celles-ci ont imprimé une échelle caractéristique de la distribution de matière dont la taille apparente permet de déterminer le taux d'expansion de l'Univers.

Plusieurs valeurs de ce taux d'expansion à différents âges de l'Univers ont, par le passé, été livrées par des équipes à travers le monde. Mais jamais entachées d'une marge d'erreur aussi faible que celle donnée grâce à BOSS[3], moins de 2 %, et jamais lorsque l'Univers avait moins de 6 milliards d'années…

Vahé Ter Minassian

CEA-Irfu

Les activités scientifiques de l'institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers relèvent de l'astrophysique, de la physique nucléaire et de la physique des particules.

• **Quasar :** noyau actif de galaxie constitué d'un trou noir super-massif accrétant une grande quantité de matière et émettant une lumière intense.

Notes :

1. *Baryon Oscillation Spectroscopy Survey (BOSS), principale composante de la 3e génération de relevés de la mission Sloan Digital Sky Survey (SDSS).*
2. *À cette époque l'énergie sombre avait un rôle négligeable.*
3. *Voir l'article paru en ligne sur le site « Astronomy & Astrophysics ».*

BIOLOGIE CELLULAIRE

UNE MOLÉCULE POUR ENDORMIR LES DÉFENSES MUTINES

La médecine peine à traiter les maladies auto-immunes où le système immunitaire d'un organisme entre en guerre contre ses propres composants. Des chercheurs du CEA-Imeti s'intéressent à la molécule HLA-G pour empêcher la mise en route de cet arsenal guerrier…

Le diabète de type I, les thyroïdites sont les maladies auto-immunes les plus fréquentes. Toutes se caractérisent par une hyperactivité du système immunitaire contre l'organisme. Les lymphocytes B produisent alors des anticorps dirigés contre des constituants du soi. Or, ce même mécanisme est à l'œuvre chez les patients qui bénéficient d'une transplantation d'organe et dont le greffon est rejeté par l'organisme. Depuis dix-huit ans, Nathalie Rouas-Freiss du CEA-Imeti de l'hôpital Saint-Louis à Paris étudie la molécule HLA-G : *« Cette protéine permet à l'organisme de tolérer des cellules étrangères dans le cas d'une greffe, en mettant en veille les acteurs du système immunitaire. Nous avions décrit son interaction avec les récepteurs inhibiteurs présents sur certaines cellules immunitaires, telles que les lymphocytes T et les cellules Natural Killer. Nous voulions savoir si elle engendrait cet effet inhibiteur sur les lymphocytes B… »*

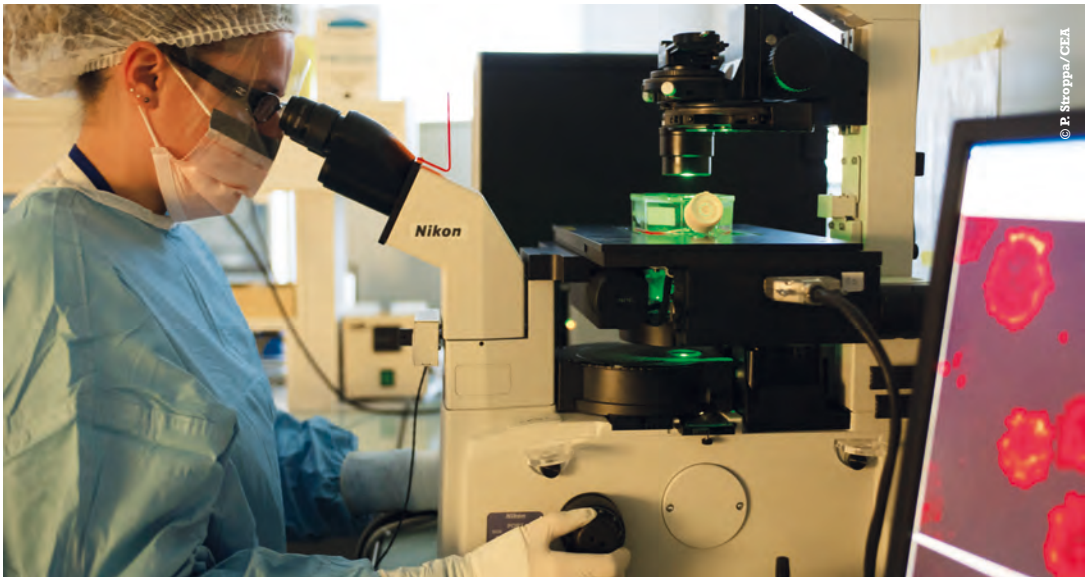
Un immunosuppresseur naturel

En greffant des cellules humaines exprimant ou non HLA-G à des modèles rongeurs puis en observant les taux d'anticorps produits contre ces cellules humaines, les chercheurs ont démontré que lorsque la molécule HLA-G était exprimée par les cellules greffées, de nombreuses fonctions des lymphocytes B étaient ralenties (prolifération, différenciation, capacité à sécréter des anticorps). *« HLA-G est une molécule immunosuppressive naturelle qui pourrait avoir des effets secondaires moindres que les médicaments immunosuppresseurs utilisés actuellement chez les patients transplantés. Son utilisation pourrait parfaitement être étendue à des personnes souffrant de maladies auto-immunes »* ajoute la chercheuse.

Stéphanie Delage

CEA-Imeti

L'institut des maladies émergentes et des thérapies innovantes se concentre sur les aspects originaux liés aux maladies émergentes, sur les études de la physiopathologie de ces maladies afin de comprendre de nouvelles fonctions biologiques, et sur la définition de nouvelles approches.



© P. Stroppa/CEA

Observation de cellules vivantes au microscope confocal.

TEXTO

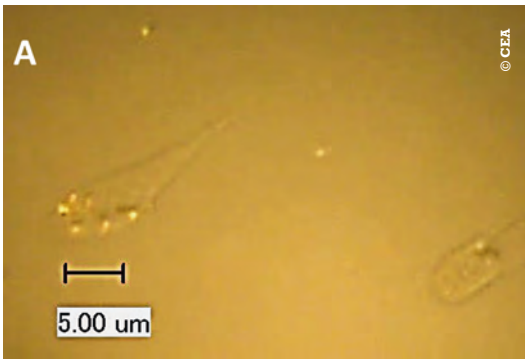
Plato sur la piste des exoplanètes

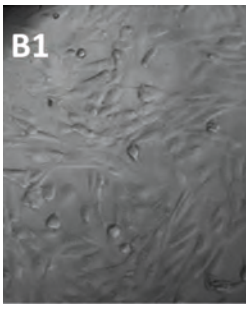
L'Agence spatiale européenne (Esa) vient de sélectionner la mission *Planetary Transist and oscillation of stars* (Plato). Consacrée à l'étude de la formation et de l'évolution des systèmes planétaires et de leur habitabilité, elle devrait être lancée en 2024. Objectif : détecter et caractériser des milliers de systèmes exoplanétaires, dont plusieurs dizaines similaires au système solaire, avec des planètes semblables à la Terre. Pour cela, ce télescope spatial mesurera les variations de lumière des étoiles afin de détecter leurs oscillations intrinsèques et le transit des planètes autour d'elles. Le CNES, le CNRS, l'Observatoire de Paris et le CEA participeront à la réalisation de l'instrument et au traitement des données scientifiques. Particulièrement, les équipes du CEA-Irfu participeront aux aspects logiciels et algorithmes pour le traitement des données ainsi qu'aux analyses scientifiques.

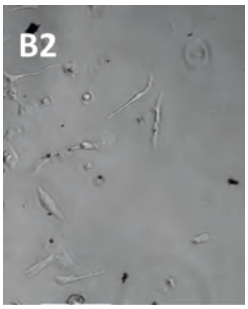
BIOTECHNOLOGIES

DES VIBRATIONS MORTELLES POUR LES CELLULES CANCÉREUSES

En oncologie, les nanoparticules magnétiques sont utilisées pour brûler les cellules cancéreuses. Un nouvel usage, basé sur leur vibration au contact de ces cellules, est à l'étude par les chercheurs du CEA-Inac. Pour un traitement plus doux pour le patient, mais sans appel pour les tumeurs…







A - Microvortex magnétiques liés à la membrane d'une cellule cancéreuse, vus par microscopie optique. B1 - Cellules cancéreuses témoins, sans particules, après application du champ magnétique. B2 - Cellules ayant subi le traitement avec particules : beaucoup moins de cellules restent vivantes.

« Actuellement, des traitements par hyperthermie sont proposés aux patients atteints de cancer : les nanoparticules magnétiques sont chauffées pour brûler les cellules cancéreuses voisines. Mais, les instruments sont volumineux, coûteux et il arrive que des tissus sains soient lésés » explique Selma Leulmi, en thèse au CEA-Inac, qui explore une nouvelle approche. Là, il ne s'agit plus de chauffer les nanoparticules mais de les faire vibrer[1] en appliquant un champ magnétique : les vibrations engendrent des échanges d'ions entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule et les réactions s'enchaînent jusqu'à son **apoptose**•, ce qui, contrairement à la nécrose provoquée par l'hyperthermie, n'engendre aucune inflammation. Pour épargner les tissus sains, des anticorps spécifiques sont fixés sur les nanoparticules qui ne ciblent alors que les cellules malades. *« Nous travaillons sur des cellules d'un cancer avancé du rein chez l'homme et sur des cellules de mélanomes de souris[2],* précise Selma Leulmi. *Dans les deux cas, nous constatons une diminution des cellules vivantes après 24 heures. »* Reste à quantifier cette diminution et vérifier sa reproductibilité. En parallèle, les chercheurs travaillent à l'élaboration de nanoparticules non toxiques et s'apprêtent à tester cette méthode sur des cultures 3D avant de passer aux tests cliniques.

Esther Leburgue

• **Apoptose :** mort cellulaire programmée, qui est une composante normale du développement multicellulaire.

Notes :

1. *Les nanoparticules vibrent à une fréquence comprise entre 15 et 20 Hz.*

2. *Des travaux similaires sont conduits aux États-Unis, mais sur des cellules de tumeurs cérébrales.*

CEA-Inac

L'institut nanosciences et cryogénie est un acteur majeur de la recherche fondamentale à Grenoble avec des activités en physique, chimie voire biologie qui se regroupent sous la bannière des nanosciences.

BIOÉNERGIE

DES MICRO-ALGUES DEUX FOIS PLUS PRODUCTIVES

Bientôt un nouveau brevet pour le CEA et Fermentalg, avec une micro-algue capable de produire deux fois plus d'huile que ses consœurs. Un résultat prometteur pour la production de biocarburants.

Transformer le métabolisme d'une micro-algue pour doubler sa teneur en lipides : des chercheurs du CEA-IRTSV et de la société Fermentalg y sont parvenus ! Cette micro-algue modifiée peut désormais produire significativement plus d'huile que la cellule originale et laisse ainsi entrevoir des applications en bioénergies. Ces travaux font l'objet d'une demande de brevet qui vient renforcer la propriété intellectuelle de Fermentalg, société de biotechnologies leader européen de la production de micro-algues en **mixotrophie**•. Grâce notamment à sa collaboration avec le CEA, Fermentalg dispose aujourd'hui d'un portefeuille de vingt familles de brevets. En exploitant ces nouveaux résultats prometteurs, la société pourra accroître la compétitivité économique de sa technologie de production de molécules d'intérêt à partir des micro-algues. Avec, à terme, l'ambition d'exploiter à l'échelle industrielle les micro-algues pour la production de biocarburants.

Amélie Lorec

• **Mixotrophie :** capacité d'un organisme à se développer à la fois par photosynthèse et à partir de nutriments ingérés.

CEA-IRTSV

L'institut de recherches en technologies et sciences pour le vivant s'appuie sur un ensemble de plateaux technologiques modernes pour analyser la diversité et la complexité du vivant. À ces fins, il coordonne les programmes d'unités mixtes CEA/Université Joseph Fourier/CNRS/Inserm/INRA.

MICROÉLECTRONIQUE

À LA LUMIÈRE DES LED, LE WI-FI POURRAIT CÉDER LA PLACE AU LI-FI

Envoyer une vidéo haute définition vers un PC, modulant l'éclairage de sa lampe de bureau. Il fallait y penser ! Une équipe du CEA-Leti à Grenoble l'a démontré en présentant au Salon « Light + Building 2014 » qui se tenait début avril à Francfort un prototype de transmission de données haut débit LI-FI…

On le sait, l'encombrement du spectre de radiofréquences et l'explosion du trafic de données compliquent chaque jour un peu plus l'utilisation des micro-ondes électromagnétiques servant de support au WI-FI•. Dès lors pourquoi ne pas carrément s'en passer ? C'est ce qu'ont imaginé Dimitri Kténas et ses collègues du CEA-Leti en se penchant sur une intéressante caractéristique des LED• : l'intensité du courant les traversant, et donc la lumière blanche émise, peut être modulée à de très hautes fréquences. Développé depuis la fin 2012, d'abord en interne puis prochainement avec la start-up « Luciom » basée à Caen, le système LI-FI[1] qu'ils ont mis au point consiste à transformer les données numériques à faire parvenir au destinataire en un signal lumineux produit par une LED. En mesurant, à l'aide d'un photodétecteur, les variations d'intensité imperceptibles à l'œil nu de l'éclairage blanc produit par ce dispositif, les chercheurs réussissent à récupérer l'information en temps réel sur leur PC ou tablette. Et cela, avec un débit de l'ordre de 10 Mbits/s à trois mètres. Largement suffisant pour naviguer sur le réseau ou télécharger des vidéos…

Transmettre des données sans altérer l'éclairage

« L'intérêt de notre procédé est qu'il a recours à un dispositif d'éclairage, la LED du commerce qui, à en croire les préconisations de l'Union européenne, va progressivement remplacer la lampe halogène à partir de 2016 » explique Dimitri Kténas. Comme l'utilisation de la fonction LI-FI ne nuit pas à la qualité de l'éclairage, on peut tout à fait imaginer en équiper les plafonniers d'un avion ou même d'une entreprise désirant confiner à une salle de réunion, pour des raisons de confidentialité, les échanges d'informations. D'ici là, quelques améliorations seront toutefois nécessaires. Outre l'augmentation du débit de transmission des données jusqu'à 100 Mbits/s, les chercheurs souhaiteraient que cette transmission LI-FI devienne bi-directionnelle. Ce qui ne devrait pas trop poser de problèmes, expliquent-ils.

Vahé Ter Minassian

• ***Wireless Fidelity* (fidélité sans fil) :** protocole de transmission sans fil de données numériques grâce à leur conversion en ondes électromagnétiques.

• **LED *Light-emitting diode* (diode électroluminescente) :** composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

Note :

1. Light Fidelity.

CEA-Leti

Le laboratoire d'électronique et de technologies de l'information est un centre de recherche appliquée en microélectronique et en technologies de l'information et de la santé. Au sein du campus d'innovation Minatec à Grenoble, il est une interface entre le monde industriel et la recherche.

LE DÉMANTÈLEMENT NUCLÉAIRE

Toute installation nucléaire de base (réacteurs nucléaires, laboratoires…) a une durée d'exploitation limitée. À l'arrêt de son utilisation, elle est assainie (élimination des substances radioactives) et démantelée (démontage des éléments), selon un référentiel de sûreté, puis déclassée pour servir à de nouveaux usages ou être démolie. Les opérations d'assainissement/démantèlement concernent l'ensemble de ses composants, comme les cellules blindées que certains laboratoires peuvent contenir par dizaine.

Caractérisation
Avant toute intervention, il faut élaborer le protocole du référentiel de sûreté et définir le scénario le plus approprié. L'environnement de la cellule blindée est donc inspecté pour quantifier et qualifier son état radiologique initial. Objectifs : dresser l'inventaire radioactif de ses équipements, catégoriser les déchets qui seront générés, déterminer les dispositions de radioprotection à mettre en œuvre. Cette caractérisation se fait notamment avec des outils de détection et de mesure comme les alpha ou gamma caméras, développées au CEA.

Ménage nucléaire
Les travaux se poursuivent en vidant le contenu de la cellule blindée. Les divers instruments ayant servi aux expériences sont découpés et placés par téléopération dans une poubelle de 20 litres. Celle-ci est évacuée, *via* un sas étanche ouvert depuis l'intérieur par le téléopérateur, dans un « Padirac » (conteneur en plomb de 3 tonnes), accosté à l'extérieur de la cellule, qui est ensuite conditionné dans des colis de déchets.

Assainissement
Le caisson de la cellule est vide mais une pellicule d'éléments radioactifs peut subsister sur ses parois. Le téléopérateur y applique un gel oxydant de décontamination et gratte les parois pour recueillir des copeaux qui sont introduits dans le « Padirac ».

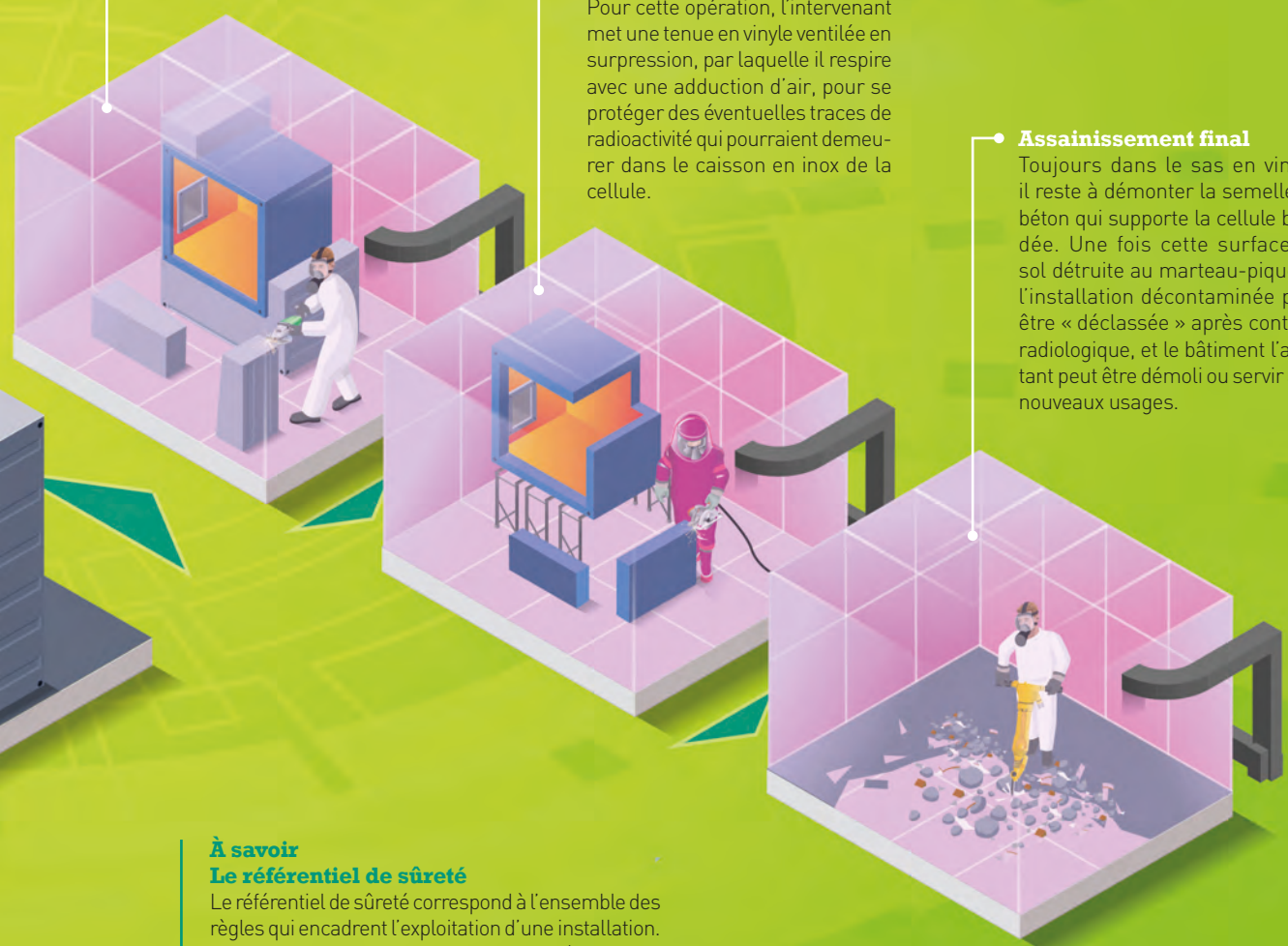
Infographie : David Torondel com ci com ça **- textes : Amélie Lorec**

Plus d'informations sur www.cea.fr

Démantèlement de la protection biologique
La protection biologique non contaminée de la cellule, enveloppe externe généralement en plomb pour empêcher les rayonnements bêta et gamma de la traverser, peut être démontée. Pour ce faire, un sas de vinyle ventilé est installé autour de la cellule pour la confiner et aspirer les poussières générées par la découpe des éléments par l'opérateur. Pour sa protection, ce dernier s'équipe d'une tenue blanche recouverte d'une blouse de « papier », avec gants et masque filtrant.

Démantèlement du caisson
Le caisson contaminé par des radioéléments est découpé en morceaux, qui sont mis dans des colis et évacués, tout comme les débris de la protection biologique, par un sas propre au gros œuvre. Pour cette opération, l'intervenant met une tenue en vinyle ventilée en surpression, par laquelle il respire avec une adduction d'air, pour se protéger des éventuelles traces de radioactivité qui pourraient demeurer dans le caisson en inox de la cellule.

Assainissement final
Toujours dans le sas en vinyle, il reste à démonter la semelle en béton qui supporte la cellule blindée. Une fois cette surface du sol détruite au marteau-piqueur, l'installation décontaminée peut être « déclassée » après contrôle radiologique, et le bâtiment l'abritant peut être démoli ou servir à de nouveaux usages.



À savoir
Le référentiel de sûreté
Le référentiel de sûreté correspond à l'ensemble des règles qui encadrent l'exploitation d'une installation. En entrant en phase d'assainissement/démantèlement, ces règles sont modifiées. Le nouveau référentiel, qui fait l'objet d'une autorisation par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN ou ASND), précise et cadre alors les grandes étapes du chantier, les délais, l'état final visé, les moyens mis en œuvre, les risques induits (rejets, dosimétrie...), les déchets produits et les filières de traitements associées.

Mise en place d'une protection vinyle avant décontamination et évacuation de l'équipement d'une installation de Marcoule.

DÉMANTÈLEMENT : HÉRITAGE DU PASSÉ, PERSPECTIVES D'AVENIR

© CEA

CEA, ACTEUR DE LA PREMIÈRE HEURE DU DÉMANTÈLEMENT

LA RECHERCHE ET L'INNOVATION AU SERVICE DU DÉMANTÈLEMENT

INTERVIEW LAURENCE PIKETTY

L'émergence d'une nouvelle filière industrielle

Leader sur l'ensemble du cycle de l'électronucléaire, la France assume également les exigences d'assainissement/démantèlement de ses installations nucléaires en fin d'exploitation. À ce titre, le CEA fait figure de pionnier tant dans la maîtrise d'ouvrage de chantiers que dans la R&D pour en optimiser les délais, coûts et sûreté. Définir le scénario le plus adapté, caractériser l'état radiologique des équipements, décontaminer les lieux, procéder au démontage et optimiser les déchets qui en découlent : fort de ce large panel de compétences et de la diversité de ses installations concernées, la Direction de l'énergie nucléaire du CEA développe des solutions innovantes qui font déjà l'objet de transferts industriels.

Dossier réalisé par Amélie Lorec

Intérieur du bâtiment de l'ancien réacteur Mélusine, du site CEA de Grenoble, assaini et démantelé.

CEA, ACTEUR DE LA PREMIÈRE HEURE DU DÉMANTÈLEMENT

Deux tiers des installations nucléaires françaises en fin d'exploitation appartiennent au CEA. Une situation liée à son histoire qui implique la mise en œuvre de chantiers d'assainissement/démantèlement, aux enjeux scientifiques, humains et financiers sans précédent…

Au cours des années cinquante à quatre-vingts, le monde a vu se construire la majorité des installations nucléaires. Les plus anciennes ont été progressivement arrêtées pour laisser place à de nouvelles activités. Plusieurs raisons à cela : programmes de recherche ou de production achevés, équipements obsolètes, maintenance lourde, ou évolution de la réglementation. Que se passe-t-il alors ? En résumé, ces installations vont être nettoyées, et réutilisées en fonction des besoins ou éventuellement détruites. Dans le langage du nucléaire, on parle d'assainissement/démantèlement. Une activité qui représente un marché estimé à 220 milliards d'euros dans le monde sur vingt ans[1] ! En France, ce sont près de trente installations nucléaires qui sont aujourd'hui concernées…

Vingt ans d'expertise pour le CEA… et des situations nouvelles à chaque fois !

Une fois lancé, un chantier d'assainissement/démantèlement s'étale sur plusieurs années… Et cette véritable « course de fond », le CEA la connaît bien. Acteur historique de la recherche nucléaire en France, il gère des installations en fin d'exploitation dans ses propres centres depuis plus de vingt ans : réacteurs de « première génération », réacteurs de recherche, laboratoires, installations de traitement de déchets… *« La totalité des installations du centre de Grenoble a par exemple été déconstruite, et sera déclassée par les instances de sûreté »* raconte Bernard Vignau, chef de département[2] à la Direction de l'énergie nucléaire (DEN) du CEA. *« Ce chantier d'envergure, réalisé pour la première fois à l'échelle d'un site, a permis de faire place nette pour des laboratoires en recherche technologique. »*

Sur les 43 installations que le CEA exploite, 22 sont aujourd'hui en cours de démantèlement. Parmi elles, les INB[3] du centre de Fontenay-aux-Roses qui est en pleine reconversion pour passer du génie nucléaire au génie biologique, les réacteurs Phénix à Marcoule et Rapsodie à Cadarache, l'usine UP1 de retraitement de combustibles et l'atelier pilote de Marcoule… *« Aucun de nos chantiers n'est identique ce qui nous empêche de bénéficier d'un "effet de série". Même si nous profitons d'un retour d'expérience d'une opération à l'autre, il faut toujours chercher à être ingénieux pour trouver des solutions aux situations encore jamais rencontrées. C'est chaque fois une source nouvelle de connaissances sur les travaux et les efforts de recherche engagés »*

Plus d'informations sur www.cea.fr

témoigne Bernard Vignau. La grande diversité de ces installations, que ce soit par leur nature, leur taille ou leurs spécificités techniques, confère ainsi à la DEN du CEA une expertise unique en maîtrise d'ouvrage et en R&D, que ce soit pour l'assainissement, le démantèlement ou la reprise et le conditionnement des déchets radioactifs anciens. Ce savoir-faire s'avère par ailleurs très précieux dès la phase de conception des futures installations nucléaires qui oblige, dorénavant, chaque exploitant à considérer leur démantèlement. Tel est le cas du projet international Iter, réacteur expérimental de fusion thermonucléaire, actuellement en construction à Cadarache.

Une course de fond en plusieurs étapes

Mais concrètement, comment se déroulent de telles opérations ? Tout commence par la définition du scénario du chantier et des moyens d'intervention à mettre en œuvre en collectant les données initiales sur l'installation (plans, équipements...) et en évaluant son état radiologique (taux d'irradiation, locaux contaminés...). Ce scénario est réalisé conformément au **référentiel de sûreté**• de l'installation qui, pour une INB en arrêt définitif, évolue du statut « d'exploitation » à celui de « démantèlement ». Il précise alors l'état final visé, l'analyse des nouveaux risques induits par les opérations, l'étude des déchets produits, des rejets, de la dosimétrie, etc. Conséquences : une nouvelle cartographie des risques radiologiques est réalisée, avec l'individu au cœur des préoccupations pour s'assurer de sa protection contre une éventuelle contamination ou irradiation au cours des opérations. En parallèle, un dossier administratif relatif à la gestion des déchets est élaboré, évaluant leur impact environnemental pour s'assurer qu'ils seront acceptés par l'Andra[4]. À partir du scénario retenu, et une fois les autorisations délivrées par l'Autorité de sûreté nucléaire compétente (ASN ou ASND[5]), s'ensuit l'entrée en phase de préparation : délimitation du périmètre des opérations, installation d'un circuit de ventilation pour protéger l'environnement de travail, mise en œuvre du matériel de radioprotection... Enfin, les travaux démarrent, tout d'abord pour évacuer les matières, puis assainir, c'est-à-dire nettoyer et éliminer les substances radioactives des équipements et parties des installations. Ce travail s'effectue en amont du démantèlement qui, lui, consiste à démonter et évacuer l'ensemble des objets et locaux. Un chantier qui peut prendre plus d'une décennie... Le rapport de fin d'intervention, faisant état des bilans radiologique, de sécurité et de déchets, servira ensuite pour autoriser le déclassement définitif de l'installation qui pourra être complet ou partiel.

© CEA

Démolition de la cheminée du réacteur G1 à Marcoule.

Un défi technique et un enjeu financier

Quant au coût de tels chantiers, Laurence Piketty, directrice de l'Assainissement et du Démantèlement nucléaire à la DEN, estime que *« dans les prochaines années, le CEA dépensera environ 700 millions d'euros par an pour ses programmes d'assainissement/démantèlement, d'exploitation et de gestion des déchets. Financées par des fonds dédiés[6], nos provisions s'élèvent aujourd'hui à 16,7 milliards d'euros, dont 80 à 90 % seront réinjectés dans l'industrie française. »* C'est un réel challenge pour les équipes du CEA de mener ces projets complexes à leur terme tout en tenant les coûts et les délais, et surtout en respectant strictement, à chaque étape, le référentiel de sûreté des installations imposé par l'ASN. L'une des clés de la réussite pour respecter ces nombreuses exigences passe notamment par une R&D ciblée pour optimiser les outils et les procédés *(voir article suivant)*.

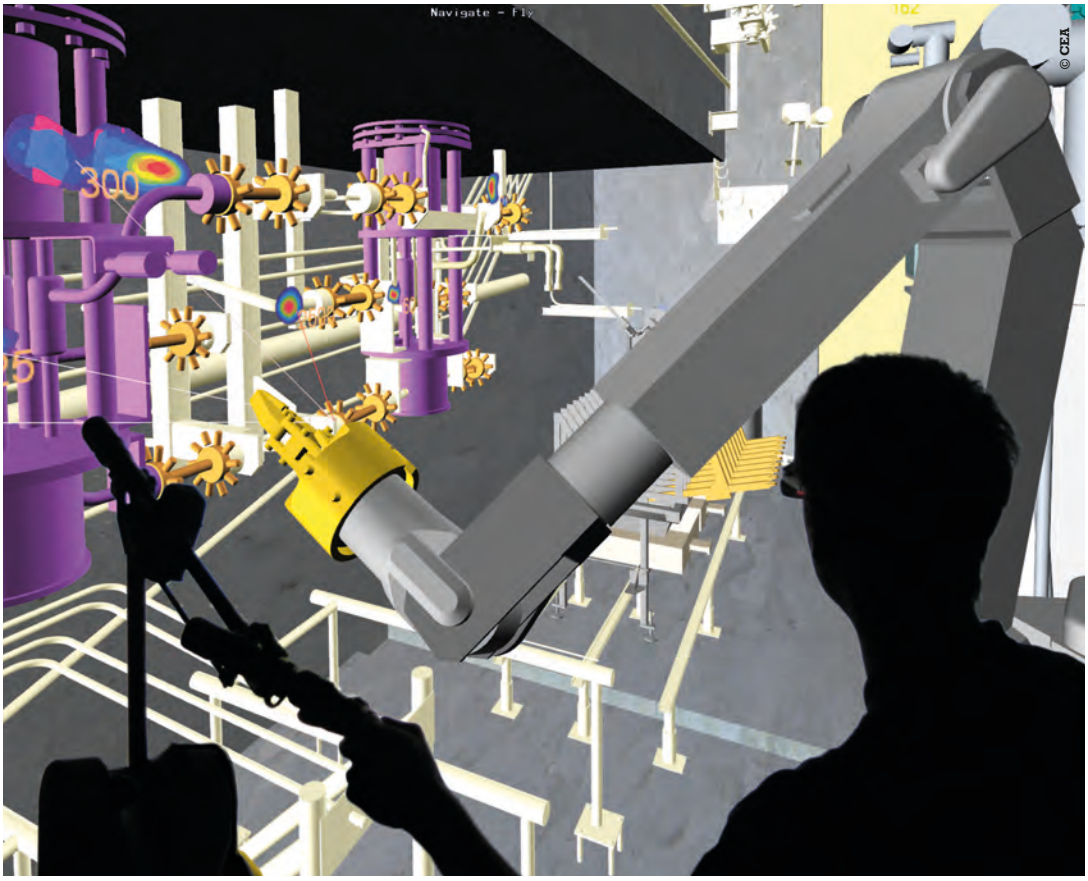
• **Référentiel de sûreté :** ensemble des règles qui autorisent le fonctionnement d'une installation nucléaire de base.

© CEA

Chantier d'assainissement d'une sorbonne ventilée de type boîte à gants à Fontenay-aux-Roses.

Notes :

1. *Estimation du cabinet de conseil Arthur D. Little en stratégie, innovation et technologie.*
2. *Département des projets d'assainissement/démantèlement.*
3. *Installation nucléaire de base.*
4. *Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.*
5. *Autorité de sûreté nucléaire Défense.*
6. *Les lois de 2006 stipulent qu'en France les exploitants doivent provisionner l'intégralité des charges futures de démantèlement.*



Simulation d'une intervention téléopérée sur une cellule blindée avec visualisation des points chauds, dans la salle immersive de Marcoule.

LA RECHERCHE ET L'INNOVATION AU SERVICE DU DÉMANTÈLEMENT

Maître d'ouvrage sur ses projets d'assainissement/démantèlement, le CEA consacre également une forte activité de recherche et développement (R&D) afin de diminuer les délais, les coûts et les déchets des chantiers actuels et futurs, tout en améliorant leur sûreté. Les innovations qui en découlent donnent souvent lieu à des transferts industriels.

« Pour honorer le scénario des chantiers et être encore plus performants sur les prochains, il nous faut au maximum éviter les aléas des travaux et positionner nos recherches sur l'ensemble des étapes » commence Christine Georges, chef de programme[1] à la Direction de l'énergie nucléaire (DEN) du CEA. Ces efforts de R&D portent en premier lieu sur l'évaluation de l'état radiologique des installations, dès le début du chantier puis tout au long des opérations. Il s'agit de localiser les **points chauds**•, d'identifier les radioéléments et d'estimer l'activité radiologique des matériaux pour les trier en fonction de leur catégorie *(voir encadré)*. Cette tâche est loin d'être aisée car, parfois, les plans d'architecte des installations construites dans les années soixante ne sont pas aussi précis qu'aujourd'hui, omettant par exemple le tracé de certaines canalisations qu'il faut à tout prix prendre en compte… De même, des incertitudes peuvent demeurer sur l'état des substances radioactives contenues depuis des dizaines d'années dans les cuves, retardant d'autant le début des opérations qui ne peuvent commencer sans une caractérisation globale.

• **Point chaud :** source où le niveau de radioactivité est supérieur à un seuil déterminé.

Des technologies innovantes pour quantifier à distance la radioactivité

Pour faire face à ces imprévus, les chercheurs de la DEN ont dû innover. Ainsi est née la nouvelle génération de

Plus d'informations sur www.cea.fr

« gamma caméra » qui permet de repérer, situer et quantifier les points chauds dans des zones inaccessibles, enjeu majeur pour établir le plan des opérations de démantèlement. Son principe : amplifier l'émission des rayons gamma par les radioéléments sous la forme d'un signal électrique qui est détecté et transformé en image. Afin d'aboutir à une version industrielle compacte et sensible de cette caméra, le CEA a su exploiter toute son expertise[2], allant de la conception d'un détecteur jusqu'à l'utilisation experte d'un système final. Les ingénieurs de la DEN ont également mis au point, en partenariat avec la société IVEA, une technologie d'analyse à distance de la matière : la Libs[3]. Installé sur un drone ou manipulé par un opérateur, son dispositif focalise un faisceau laser par impulsion sur le matériau à analyser pour créer un plasma qui émet, en se refroidissant, un rayonnement lumineux caractéristique des éléments du matériau. Un système optique, couplé à un spectromètre, permet ensuite de collecter cette lumière, de l'analyser et de renseigner sur la composition élémentaire. Inédite, cette technologie a aussi été mise en œuvre à bord du rover Curiosity de la Nasa pour déterminer la composition du sol de Mars. Mais revenons sur Terre…

Choisir le scénario le plus adapté grâce à la simulation du chantier

Un chantier d'assainissement/démantèlement ne saurait toutefois commencer sans un minimum de préparation. Là, la modélisation et la simulation numérique sont essentielles, tant pour valider un scénario que pour entraîner ou former les opérateurs sur une intervention. En 2008, le CEA s'est doté à Marcoule d'une salle de réalité virtuelle, la « salle immersive », équipée d'un grand mur d'images simulant des opérations à l'échelle 1 pour qu'un utilisateur puisse répéter virtuellement l'ensemble des opérations qu'il aura à mettre en œuvre. Ces simulations sont générées par le logiciel Chavir, développé par le CEA et testé avec succès sur plusieurs de ses chantiers pilotes, notamment à Fontenay-aux-Roses, avant une prochaine mise sur le marché. Forte de son expertise, la DEN a été approchée par la start-up Oreka Sud qui commercialise un simulateur 3D d'aide à la décision qui donne la vision globale d'un projet de démantèlement. *« Le logiciel Demplus est capable d'établir techniquement plusieurs scénarios d'intervention et d'évaluer les principaux paramètres associés : bilan déchets, bilan dosimétrique, estimation du budget et planning. La DEN nous a apporté son retour d'expérience pour pouvoir intégrer des données de terrain et avoir des simulations au plus près de la réalité »* témoigne Luc Ardellier, directeur d'Oreka Sud. Quel avantage pour le CEA ? Avec cet outil, les réponses des industriels à ses propres appels d'offres pourront être standardisées et leur comparaison, de fait, plus facile pour choisir le dossier le plus adapté aux besoins.

Assainir et démanteler sans s'exposer

« Notre R&D se concentre également sur la phase d'assainissement final des locaux pour la décontamination radioactive des surfaces, des sols… avant leur démontage et destruction » souligne Frédéric Charton, responsable de projets de R&D. C'est ainsi que des procédés chimiques inédits ont vu le jour. Présentés sous forme de mousses ou de gels contenant des éléments actifs, ils sont injectés dans des zones complexes difficiles d'accès, comme des circuits de ventilation ou des cuves de stockage, pour y capturer les radioéléments et se liquéfier à leur contact. Les liquides sont ensuite récupérés pour être traités comme des **effluents**•. On parle de mode d'élimination « par transfert » de la radioactivité. Dans la décontamination toujours, les chercheurs s'attellent aussi à concevoir des techniques mécaniques ou par laser.

À ces opérations d'assainissement des structures succède le démantèlement, notamment des milieux hostiles et très irradiants. Pour faciliter ces opérations et protéger les intervenants, la DEN conçoit de nouveaux outils en optant pour la **téléopération**•. Des systèmes

• **Effluent :** liquide usé pollué ou contaminé.

• **Téléopération :** intervention qui s'effectue à distance, et non pas au contact direct des éléments à démanteler.

Mise au point de mousses et de gels de décontamination chimique.

Notes :

1. *Programme Valorisation assainissement/démantèlement.*
2. *Collaboration des directions de l'énergie nucléaire, des sciences de la matière et de la recherche technologique.*
3. Laser induced breakdown spectroscopy.

robotisés « prolongent » la main de l'opérateur, comme le bras Maestro développé en partenariat avec la société Cybernétix. À Saclay, les scientifiques ont également créé DELIA, plateforme d'évaluation de procédés pour une découpe laser immergée ou dans l'air, pour étudier les vitesses d'action et épaisseurs de découpe.

Des installations pour traiter les déchets et effluents générés…

Tous ces travaux génèrent des déchets, en plus de ceux issus des activités nucléaires passées du CEA. Là encore la R&D prend tout son sens pour minimiser leur volume et leur toxicité, optimiser leur traitement et conditionnement, comprendre et démontrer les mécanismes de comportement à long terme, tout en s'assurant que les colis finaux auront une filière de stockage à l'Andra. Des installations spécialement adaptées à la nature des déchets ont vu le jour comme, en 1978, l'atelier de vitrification dédié au traitement des solutions de produits de fission de haute activité de Marcoule (AVM), puis, avant sa fermeture fin 2012, à la vitrification des effluents de rinçage décontaminant de l'usine UP1. Sur le même site, depuis 1966, la Station de traitement des effluents liquides (STEL) permet notamment de bitumer des effluents de faible et moyenne activité issus des opérations de traitement de combustibles usés. Une contrainte toutefois avec cette matrice organique : sous l'effet des rayonnements, le bitume évolue par radiolyse et génère de l'hydrogène gazeux à l'entreposage.

Des programmes de R&D sont ainsi en cours pour renforcer les démonstrations de maîtrise du comportement de tels colis, notamment en vue de leur futur stockage en milieu géologique en condition de sûreté maîtrisée. *« La station STEL devient aujourd'hui "STEMA" pour remplacer ce bitume par une matrice minérale, en ciment »* explique Thierry Advocat, chef de programme[4] à la DEN. Des chercheurs du CEA ont déterminé la formule optimale de compatibilité physico-chimique entre le déchet et ce nouvel enrobage puis ont évalué le vieillissement du produit final. Pour les effluents organiques de faible activité, une autre technique a été développée pour les minéraliser : l'oxydation hydrothermale qui leur impose des conditions de température et de pression supercritiques pour que la « métamorphose » opère.

Quant aux déchets plus anciens, héritages du passé du CEA, il faut parfois les reconditionner. À Marcoule, cette opération a été entamée dans les années 2000, sur les 60 000 fûts de bitume anciens entreposés en fosse et **casemates**•. Objectif : les caractériser pour connaître leur nature et la quantité de matière fissile qu'ils contiennent, puis les catégoriser pour qu'ils soient acceptés par l'Andra. Pour ce faire, le CEA a recours aux mêmes dispositifs d'analyses non destructives que ceux utilisés pour la cartographie radiologique d'un chantier, et d'analyses destructives, comme les techniques de mesures nucléaires des émetteurs bêta à vie longue.

• **Casemate :** abri enterrés, souvent en béton.

Note :
4. *Programme Gestion des flux de déchets et matières.*

Bras Maestro permettant des opérations de découpe téléopérées.

CINQ CATÉGORIES DE DÉCHETS RADIOACTIFS

Il existe cinq grandes catégories de déchets radioactifs, en fonction de leur niveau de radioactivité et de leur durée de vie :
- TFA, très faible activité (27 % du volume des déchets radioactifs produits en France) ;
- FMA-VC, faible et moyenne activité à vie courte (63 % de ce volume) ;
- FA–VL, faible activité à vie longue, (7 %) ;
- MA-VL, moyenne activité à vie longue (3 %) ;
- HA-VL, haute activité à vie longue, représentant 96 % de la radioactivité totale des déchets mais seulement 0,2 % de leur volume.

Un chantier de démantèlement génère très majoritairement des TFA. Par exemple, celui des INB du centre CEA de Grenoble a produit 96,1 % de TFA, 3,7 % de FA, 0,1 % de MA et 0,03 % de HA.

Plus d'informations sur www.cea.fr

INTERVIEW
Laurence Piketty,
directrice de l'Assainissement et du Démantèlement nucléaire à la DEN

L'ÉMERGENCE D'UNE NOUVELLE FILIÈRE INDUSTRIELLE

Le démantèlement constitue sans conteste un marché d'avenir sur lequel le CEA, fort de l'expertise acquise depuis vingt ans, entend bien se positionner. En France bien sûr, *via* des transferts industriels avec les principaux acteurs du secteur, mais aussi à l'étranger !

Assainissement/démantèlement, est-ce l'émergence d'une nouvelle filière industrielle ?

En 2013, le parc nucléaire français était composé de 125 installations, dont une trentaine en cours de démantèlement, principalement au CEA, chez EDF et Areva. À travers le monde, ce sont 300 réacteurs qui devront être arrêtés dans les vingt années à venir. Et ce marché a été estimé à 220 milliards d'euros sur vingt ans par un cabinet d'étude, dont 31,9 milliards rien qu'en France. Le démantèlement devient un élément à part entière du cycle de l'industrie nucléaire, de fait, c'est un secteur d'emplois en forte croissance. Au CEA, près de 800 salariés et 2000 à 2500 intervenants d'entreprises extérieures, agréés par la commission CAEAR[1], sont mobilisés sur nos chantiers.

Cette activité repose donc sur de nombreuses compétences ?

Les métiers de l'assainissement/démantèlement regroupent plusieurs domaines d'activité : sûreté/sécurité, ingénierie, BTP, maintenance, assainissement, gestion des déchets. Ils font ainsi appel à des compétences d'exploitation et de projet. Les chefs d'installation sont garants des aspects sûreté, sécurité, radioprotection, et sont responsables de la gestion des déchets et des transports sur leur installation. Les chefs de projet doivent intégrer la coordination entre l'avancement « projet » et les contraintes nucléaires. C'est la synergie entre ces différents acteurs sur le terrain qui contribue à la réussite des chantiers. D'autres compétences ont par ailleurs émergé, en appui aux opérations, grâce à la R&D menée au CEA, et des cycles de formation spécifiques à ces métiers du démantèlement sont proposés, notamment à l'INSTN[2].

L'expertise du CEA a-t-elle vocation à être diffusée à l'extérieur ?

La valorisation de notre expérience et de nos métiers est un réel objectif. Le centre de Marcoule de la Direction de l'énergie nucléaire s'apprête ainsi à accueillir le PVSI, Pôle national de valorisation des sites industriels. Son objectif est d'encourager les transferts de technologies et la R&D collaborative entre les principaux acteurs français du démantèlement, grâce au soutien de la région Languedoc-Roussillon. Il permettra notamment de préserver la valeur existante des bassins industriels, d'améliorer l'offre et la compétitivité des entreprises et d'offrir de nouvelles formations. Un autre exemple est la sollicitation de la DEN par l'IRID[3] en tant qu'expert, fournisseur de R&D et point d'entrée vis-à-vis des entreprises françaises pour accroître la coopération internationale sur le démantèlement de la centrale de Fukushima. Enfin, le résultat de notre activité R&D se traduit régulièrement par de nouveaux transferts industriels, comme sur nos technologies de téléopération et simulation.

Propos recueillis par Amélie Lorec

Notes :

1. *Commission d'acceptation des entreprises d'assainissement radioactif et de démantèlement.*
2. *Institut national des sciences et techniques nucléaires.*
3. International Research Institute for nuclear Decommissioning.

LE CEA DANS LES MÉDIAS

LES PROJETS XXL DE LA SIMULATION

L'USINE NOUVELLE / 10 AVRIL 2014

Comprendre l'activité cérébrale, déchiffrer la structure de l'Univers, prévoir le changement climatique, élucider une composante du virus HIV ou encore préparer l'énergie du futur… La conduite de ces grands programmes de recherche repose désormais sur la simulation numérique telle que l'explique le numéro spécial de l'hebdomadaire. Le CEA l'a bien compris car, fort de son expertise scientifique et de son infrastructure de calcul intensif, le CCRT, il participe à la progression des connaissances dans chacun de ces domaines.

Aperçu des câblages d'un supercalculateur.

LE PREMIER AVION ÉLECTRIQUE FRANÇAIS

LE FIGARO / 26 AVRIL 2014

Airbus Group prévoit de lancer la production en série du premier avion électrique, l'e-fan 2.0, en 2018 à Mérignac, tel que l'annonce le quotidien. Ce projet rassemble un pôle de partenaires dont le CEA, responsable des batteries avec l'entreprise Saft. E-fan est un avion-école qui verra le jour en prélude au développement du modèle de ligne en 2050, qui proposera jusqu'à 100 sièges. À terme, cet appareil permettra le renouvellement du parc de l'aviation générale en France.

UN NOUVEAU SPRAY CONTRE LES CONTAMINATIONS RADIOACTIVES

LA TRIBUNE / 04 AVRIL 2014

« Nous serons les premiers à lancer un produit de type spray individuel pour la décorporation du plutonium, du césium et de l'uranium, pour lesquels aucun traitement n'existe à ce jour » annonce à l'hebdomadaire Jean-Claude Maurel, fondateur de Medesis Pharma. Pour préparer une commercialisation dès 2017, la société a signé un contrat d'exploitation exclusive avec le CEA, avec lequel elle a développé ce spray, qui porte sur les produits issus de leur collaboration.

UNE CARRIÈRE IDÉALE D'INGÉNIEUR AU CEA

BLOG ECONOMIE LE MONDE / 4 AVRIL 2014

Le CEA est en tête des « entreprises idéales » pour débuter une carrière d'ingénieur selon les diplômés d'universités. Tel est le résultat du classement du cabinet d'études Universum qui recense chaque année les employeurs idéaux auprès de 34 000 étudiants des grandes écoles de commerce et d'ingénieurs et des universités françaises. Le CEA se place ainsi devant IBM, GDF Suez, Sony et PSA Peugeot Citroën. Le blog précise toutefois que *« les ingénieurs sont les seuls à faire confiance à la France pour démarrer leur carrière »*.

LA CRYOGÉNIE AU SECOURS DES MOTEURS D'ARIANE 6

USINE NOUVELLE / 17 AVRIL 2014

Reproduire durablement sur Terre les conditions de microgravité que l'on retrouve dans l'espace ! L'hebdomadaire explique que des chercheurs du CEA-Inac savent le faire grâce à la cryogénie. Leur technique, basée sur le phénomène de lévitation magnétique, permet ainsi d'étudier le comportement des ergols (carburants) du futur moteur d'Ariane 6. Pour ce faire, ils plongent ces liquides au centre de bobines supraconductrices refroidies à -269 °C, soit à peine 4,2 °C au-dessus de la température la plus froide.

Plateforme HELIOS de cryogénie à Grenoble.

KIOSQUE

Jules Verne selon différents points de vue

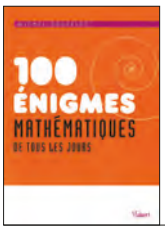
Trois écrivains se prêtent à l'exercice de revisiter, analyser et s'interroger sur l'œuvre *Voyages extraordinaires.* L'un évoquera l'émerveillement de la découverte de ce roman et souligne ses vertus littéraires et géographiques. Les autres s'attarderont tantôt sur le pan scientifique, les aspects religieux et philosophiques, ou encore les côtés social et politique de l'œuvre. Une façon originale de mettre en lumière l'ambitieuse entreprise de Jules Verne pour son époque…

Jules Verne aujourd'hui. Julien Gracq, Michel Serres et Régis Debray. Éditions Le Pommier. 23 €

La vie d'un aventurier

Féru de découvertes, boxeur, militant engagé au tempérament volcanique, Haroun Tazieff est l'un des grands explorateurs ayant ouvert le globe à la science moderne, à l'instar de Jacques-Yves Cousteau ou Paul-Émile Victor. Pourtant, ses travaux étaient jugés trop médiatiques et vulgarisateurs pour être reconnus par la science « officielle ». À l'occasion des 100 ans de sa naissance, l'auteur explore les zones d'ombre et les silences *« de ce père qui l'éleva pendant plusieurs années sans jamais le reconnaître »*…

Un volcan nommé Haroun Tazieff. Frédéric Lavachery. Éditions L'Archipel. 21 €



Les mathématiques nous entourent

Peut-on améliorer ses gains au loto ? Que signifie une remise de 25 % ? En partant du constat que les mathématiques sont au cœur de notre quotidien, ce livre passe en revue toutes les situations s'y référant : fuseaux horaires, marée, code-barres, permis côtier, inflation, nombre d'or… Au fil des pages sont dévoilées les clés pour résoudre et comprendre, simplement et de façon pratique, ces énigmes de tous les jours.

100 énigmes mathématiques de tous les jours. Michel Soufflet. Éditions Vuibert. 23 €

Voyage dans le temps et l'espace

De Galilée à nos jours… et au-delà, ce livre retrace l'histoire des avancées et des échecs qui ont jalonné la conquête du système solaire. La mécanique céleste triomphante, la pluralité des mondes habités, la formation et l'évolution du système solaire, les enjeux de la planétologie aujourd'hui… les auteurs, chercheur et astronome, ont décortiqué quatre siècles en onze chapitres tous illustrés de gravures, photographies, images scientifiques et schémas.

L'exploration des planètes. Thérèse Encrenaz-James Lequeux. Éditions Belin. 24,50 €

SUR LE WEB

LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES DE 4e GÉNÉRATION

Des recherches sur les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium, RNR-Na, sont menées dans plusieurs laboratoires du CEA. À Marcoule, des équipes travaillent plus particulièrement à l'amélioration de la démonstration de sûreté de ces installations, de leur disponibilité et de leur opérabilité. Venez découvrir le reportage.

www.cea.fr/jeunes

LE DÉMANTÈLEMENT NUCLÉAIRE

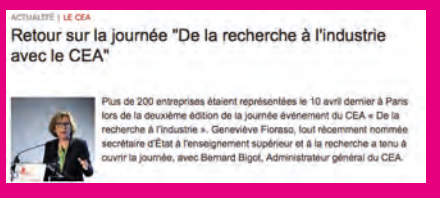
À travers l'exemple d'une cellule blindée, qui a servi à manipuler de la matière radioactive lors d'expériences, cette animation décrit pas à pas les différentes étapes de la déconstruction de ce type de structure. Les termes caractérisation, ménage nucléaire, assainissement… prennent alors tout leur sens.

www.cea.fr/jeunes

INDUSTRIELS ET CHERCHEURS, MÊME COMBAT

Retour sur la journée du 10 avril où le CEA a réuni plus de 200 personnes de PME et PMI lors de la deuxième édition de l'événement « De la recherche à l'industrie ». Photos, vidéos… retracent cette journée rythmée par plus de 40 intervenants et par l'allocution de Geneviève Fioraso, secrétaire d'État à l'Enseignement supérieur et à la Recherche.

www.cea.fr/entreprises



JEU VIDÉO L'EXPO.

Paris. La Cité des Sciences et de l'Industrie. Du 22 octobre 2013 au 24 août 2014

Tous joueurs, toutes joueuses ! C'est ce que cette exposition propose de vérifier. Dans son espace de 1 000 m², le visiteur construit en toute liberté son parcours en s'amusant tantôt à la course automobile, tantôt au jeu de tir en réseau… Ces activités permettent une immersion totale dans l'univers vidéo-ludique. Les « non-joueurs » seront initiés au plaisir des jeux vidéo, les visiteurs les plus expérimentés pourront vivre une expérience de jeu inédite : *exhibitionplay* !