

les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

196

Février 2015



▶ **GRAND ANGLE**

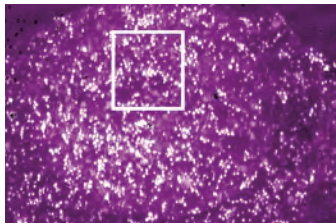
LES MATÉRIAUX CRITIQUES DÉFIENT LA R&D

▶ **COUP DE PROJECTEUR**

ARNANO : À JAMAIS GRAVÉ DANS LES MÉMOIRES

▶ **TOUT S'EXPLIQUE**

L'EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE



14 GRAND ANGLE
Les matériaux critiques
défient la R&D. La compétitivité des industries européennes repose aussi sur la disponibilité de certains matériaux critiques. Pour contourner les fluctuations des marchés, le CEA développe des solutions de substitution et de recyclage du silicium, du platine, des terres rares...



03 ACTUALITÉ

06 COUP DE PROJECTEUR

Arnano : à jamais gravé dans les mémoires

08 À LA POINTE

TRIM37 impliquée dans le cancer du sein 08

Dernière ligne droite pour le foie bioartificiel 09

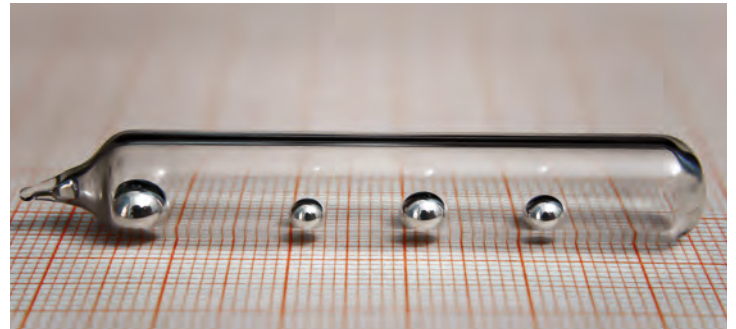
L'ascenseur énergie zéro, c'est pour bientôt 09

Observer 1 000 cellules uniques à la fois 10

Produire de l'hydrogène efficacement et proprement 11

12 TOUT S'EXPLIQUE

L'extraction liquide-liquide.



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** Fabrice Demarthon et Vahé Ter Minassian | **Comité éditorial** Andrew Chilton, Alexandra Bender, Vincent Coronini, Claire Abou, Elizabeth Lefevre-Remy, Sophie Martin, Brigitte Raffray, Françoise Poggi, Philippe Laporte | **Iconographie** Micheline Bayard | **Infographie** Fabrice Mathé | **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 Satimat, issu de forêts gérées durablement. Imprimerie Abelia.

GOUVERNANCE

DANIEL VERWAERDE, NOMMÉ ADMINISTRATEUR GÉNÉRAL DU CEA

Le Conseil des ministres a nommé Daniel Verwaerde Administrateur Général du CEA à compter du 28 janvier 2015. Diplômé de l'École centrale de Paris et spécialiste en modélisation numérique, il est entré au CEA en 1978 où il a exercé différentes fonctions, dont : directeur du Département de mathématiques appliquées (1991-1996), directeur du Programme simulation (1996-2000), directeur du centre CEA DAM/Ile-de-France (2000-2004), directeur des Armes nucléaires (2004 à 2007), directeur des Applications militaires (jusqu'au 27 janvier 2015). Il a notamment contribué à l'ouverture des grands moyens du calcul numérique à l'ensemble de la communauté civile, via la création du projet TeratDec, et piloté la maîtrise d'ouvrage du Laser Mégajoule. En qualité de directeur des Applications militaires, il a également été responsable des programmes confiés au CEA de propulsion nucléaire, d'approvisionnement des matières stratégiques, de lutte contre la prolifération nucléaire, et d'armement conventionnel.



© P. Stroppa/CEA

PÔLE UNIVERSITAIRE

L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY EST OFFICIELLEMENT CRÉÉE

Le décret de création de l'Université Paris-Saclay a été publié au journal officiel du 31 décembre 2014. Il officialise la naissance d'une **nouvelle communauté de formation et de recherche, de rang mondial, comptant 19 membres fondateurs¹, dont le CEA**. Ce nouvel établissement de nature fédérale vise à créer une grande université d'enseignement, de recherche et d'innovation, en interaction avec les pôles académiques franciliens au sein de la plus importante région universitaire d'Europe. Objectif : développer, à un niveau inédit en France, le *continuum* des connaissances depuis les sciences fondamentales jusqu'aux sciences appliquées. Et ce, en favorisant le rapprochement entre la

recherche et le monde économique, autour de domaines à fort intérêt socio-économique, notamment grâce à la présence et aux installations à venir de grands industriels sur le plateau de Saclay.

L'un des enjeux de l'Université Paris-Saclay est d'inscrire son ambition au sein d'un campus, à la fois lieu de vie, de formation et de travail. Dans le cadre du programme des Investissements d'Avenir conduit par l'État, elle pourra accroître son attractivité à travers le développement d'infrastructures, de services, de transports et d'habitats. La première rentrée étudiante aura lieu en septembre 2015.

Note :

1. Les membres fondateurs sont : AgroParisTech, CEA, Centrale-Supelec, CNRS, École Polytechnique, ENSAE, ENS Cachan, ENSIA Paris Tech, HEC, IHES, INRA, Inria, Inserm, Institut Mines Telecom, Institut d'Optique, Onera, Université Paris-Sud, Université Versailles Saint-Quentin.



© MSH/CEA

◀ Vue d'artiste du quartier du Moulon, sur le plateau de Saclay.

RECHERCHE EUROPÉENNE

LE CEA, PARTIE PRENANTE DE TOUTES LES KICS EUROPÉENNES

Le CEA est partenaire des deux consortiums sélectionnés par l'institut européen d'innovation et de technologie (EIT) pour constituer **les deux nouvelles Communautés de la connaissance et de l'innovation (KIC) : « Innovation pour la santé et le vieillissement »** qui concerne le développement de produits innovants pour faciliter le bien vieillir et l'autonomie, et « **Matières premières** » qui doit permettre de relever les défis liés à l'extraction, à l'utilisation, au recyclage et à la substitution des matériaux critiques (voir pp. 14 à 21).

Une KIC est un réseau d'excellence technologique, alliant unités de formation, centres de recherche et entreprises, concentrant une forte expertise reconnue internationalement autour d'un enjeu sociétal majeur. Instituée pour une période minimale de 15 ans, afin de

garantir des perspectives à moyen et long terme aux partenaires, une KIC est financée à hauteur de 25 % par l'EIT. Son objectif est de soutenir, par l'innovation, une économie durable dans des secteurs stratégiques. Le CEA est déjà impliqué dans les trois KICs lancées en 2009 : « Climat » sur la lutte et l'adaptation aux changements climatiques ; « InnoEnergy » sur la recherche et la diffusion des nouvelles technologies énergétiques ; et « ICT Labs » sur la société de l'information du futur. Il organise actuellement sa participation à de nouveaux consortiums en vue du démarrage de trois nouvelles communautés. En 2016 seront en effet lancées, deux KICs sur les processus industriels à forte valeur ajoutée et sur l'alimentation du futur, puis, en 2018, une KIC dédiée aux mobilités urbaines.

ANNIVERSAIRE

L'ICSM A CINQ ANS



Réception de l'ICSM le 6 janvier dernier. ▶

« **D**ans un contexte de raréfaction des ressources, le recyclage apparaît comme un levier incontournable pour récupérer les flux de matières issus des rebuts de fabrication, des déchets ou du traitement d'objets complexes en fin de vie » indique Stéphane Pellet-Rostaing, directeur de l'Institut de chimie séparative de Marcoule (ICSM) qui célèbre ses cinq ans. **Cette unité mixte de recherche (CEA-CNRS-ENSCM-Université de Montpellier) a été créée pour proposer des options pour la chimie du recyclage en intégrant les concepts d'une économie circulaire et d'un nucléaire durable** (voir pp. 14 à 21). Par la compréhension des mécanismes multi-échelles associés, il s'agit de découvrir, mettre en œuvre, et former aux procédés

innovants de la chimie séparative. Et ce, fort de l'expertise historique du CEA acquise pour développer le cycle fermé du combustible nucléaire.

Le 6 janvier dernier, les partenaires et des élus du Gard et de la Région Languedoc-Roussillon ont ainsi été conviés à célébrer l'ICSM. En plus d'une visite des huit laboratoires, deux tables rondes étaient organisées pour donner la parole aux jeunes chercheurs et pour réfléchir, avec leurs partenaires industriels (dont Areva et Véolia), aux enjeux de la valorisation des recherches, certes fondamentales, de l'ICSM. Auteur de plus de 300 publications scientifiques depuis 2010, l'ICSM a également déposé 29 brevets, dont deux en exploitation.

TEXTO

Un nouvel accord-cadre CEA-CNES

Engagés dans un accord de coopération depuis 2004, et au vu du bilan fructueux des collaborations menées à ce jour, le CEA et le CNES signent un nouvel accord-cadre pour la période 2015-2020. Cet engagement cible en particulier le secteur de l'astrophysique pour lequel la coopération est, plus que jamais, un impératif et un gage de réussite. Il s'agira notamment de partager le plus en amont possible les visions stratégiques et les pistes de développement de projets ou d'instruments, d'accélérer la mise sur le marché de produits et services issus de leur collaboration, et de faciliter l'accès partagé aux plateformes et installations spécifiques des deux organismes.



INTERVIEW
Vincent Minier,
 astrophysicien au CEA-Irfu

EXPLORUNIVERS, LE PREMIER MOOC FRANCOPHONE POUR L'ASTRONOMIE POPULAIRE

Peut-on vivre sur Mars ? Combien d'étoiles naissent par an dans une galaxie ? L'astronomie est la discipline abordée dans la première formation gratuite et libre d'accès, ou MOOC¹, proposée par le CEA du 2 mars au 13 avril 2015. À l'origine de cette initiative, l'astrophysicien Vincent Minier présente le MOOC « ExplorUnivers ».

Comment ce MOOC a-t-il vu le jour ?

La production d'« ExplorUnivers » s'inscrit dans la continuité du projet collaboratif de recherche « ExplorNova » du CEA-Irfu et de l'Université de Nantes. En s'appuyant sur un environnement numérique, ce projet permet de rendre accessible à tous les aspects scientifiques, technologiques et culturels des sciences spatiales. Il a ainsi conduit à la réalisation d'un Web documentaire « ExplorNova 360° » qui offre une découverte interactive et immersive du système solaire et de l'Univers. L'idée nous est alors venue, Francky Trichet, vice-président de l'université de Nantes, et moi-même, d'adapter son contenu pour proposer le MOOC « ExplorUnivers ». Ce cours en ligne d'astronomie populaire fournit des connaissances élémentaires en astrophysique et en planétologie, à travers notre conception de l'Univers et les découvertes des grands instruments de recherche, comme l'observatoire spatial Herschel.

Quels sont les objectifs pédagogiques d'« ExplorUnivers » ?

Les enjeux pédagogiques du MOOC se situent à trois niveaux : acquérir une culture générale en sciences de l'Univers ; approfondir ses connaissances en sciences et techniques ; s'interroger, en interactivité avec les autres participants, sur les théories ou les concepts alimentant des controverses scientifiques. Le tout pour prendre conscience de notre condition terrestre. Ainsi, durant six semaines, les étudiants inscrits auront accès à 12 séances, à raison de deux par semaine, pour aborder les sujets suivants : le système solaire et la place de la Terre ; le

Soleil et la planète Mars ; les planètes géantes Jupiter et Saturne ; les galaxies ; la naissance des étoiles et des planètes ; l'existence d'autres mondes habitables et les exoplanètes. Le contenu est présenté sous forme de textes, de vidéos, de quiz et même de « cyber-enquêtes » ! Par ailleurs, ce MOOC fait intervenir des chercheurs du CEA-Irfu et du Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de l'Université de Nantes.

Y aura-t-il une interaction directe entre les chercheurs et les participants ?

Des interactions auront surtout lieu entre les étudiants. C'est le propre d'un MOOC. À travers des forums et la plateforme FUN², ils pourront se questionner, échanger, débattre sur différents sujets. En revanche, quand un sujet sera fortement présent, récurrent et objet de controverse, nos experts pourront intervenir pour éclairer les participants et répondre à leurs interrogations.

Le CEA proposera-t-il d'autres MOOC en astronomie ?

Un mois et demi avant le début des cours, nous avons déjà 3000 étudiants inscrits, ce qui reflète bien l'intérêt porté à cette thématique. Mais nous allons attendre d'avoir le recul nécessaire sur « ExplorUnivers » avant de nous lancer, ou pas, dans la réalisation de nouveaux MOOC. Toutefois, si cela se fait, le prochain cours traitera de notre rapport à l'énergie dans l'Univers et sur Terre.

Propos recueillis par Amelie Lorec

INSCRIPTIONS

ExplorUnivers se déroule du 2 mars au 13 avril 2015. Les inscriptions sont ouvertes jusqu'au 27 février sur : https://www.france-universite-numerique-mooc.fr/courses/univnantes/31003/Trimestre_1_2015/about

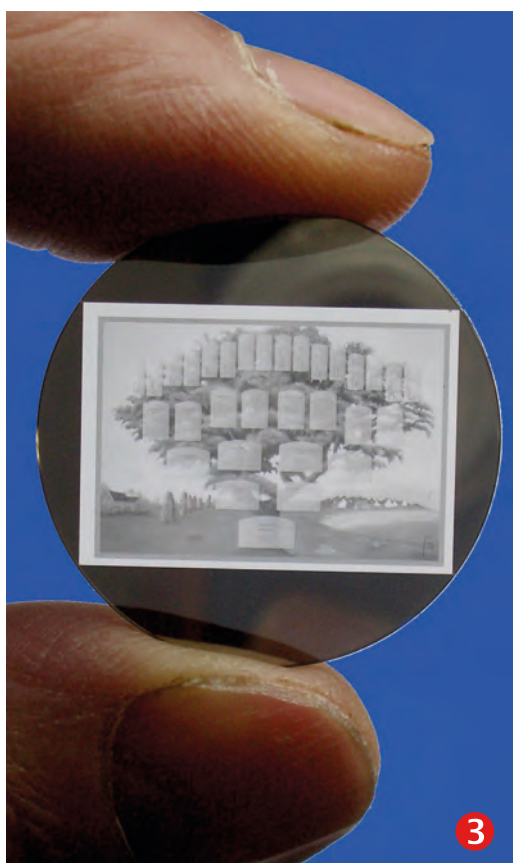
Notes :

1. Massive open online course.
2. Consultez la liste officielle des MOOC francophones disponibles sur le site FUN (France université numérique).

▶ COUP DE PROJECTEUR



1



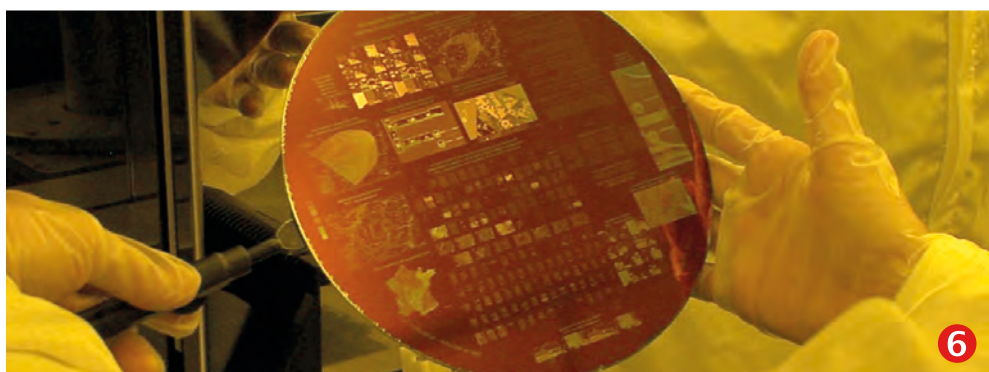
3



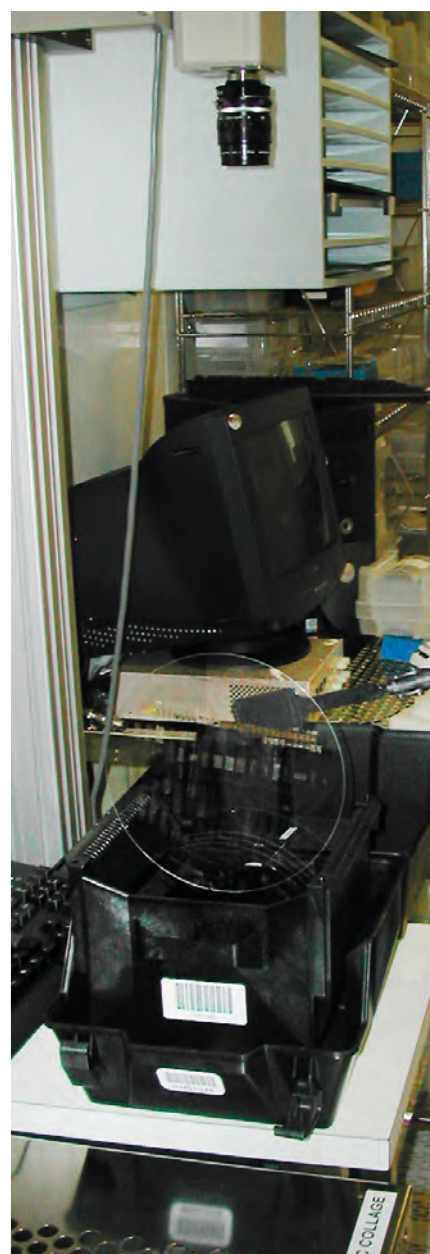
5



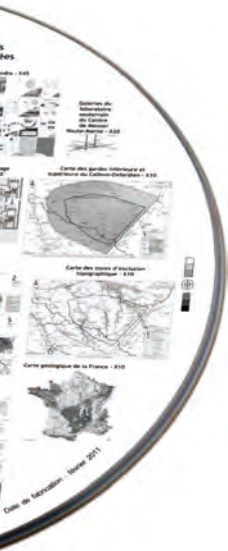
4



6



La nanoforme est un disque de saphir de 20 cm de diamètre (1) sur lequel des informations sensibles, comme celles de l'Andra (2), peuvent être conservées. Un format réduit sera prochainement proposé au grand public pour y inscrire de façon pérenne des données plus personnelles (3) (4). Alain Rey (5), chercheur au CEA-Leti et créateur de la société Arnano, a développé le produit à partir de procédés de microélectronique (6) (7) issus du CEA-Leti.



2

10 000

Nombre de feuilles A4 dont les informations peuvent être gravées sur une nanoforme de 20 cm de diamètre.

ARNANO : À JAMAIS GRAVÉ DANS LES MÉMOIRES

Grâce à la microgravure, la société Arnano, issue du CEA-Leti, propose des micro-décors et des « tag » d'authentification pour des produits de l'industrie horlogère. Mais pas seulement ! Elle a aussi développé une solution inédite permettant de conserver des données sur des millénaires...

Archiver des informations pour l'éternité, ou presque, est une nécessité dans des domaines sensibles comme l'industrie nucléaire. L'Andra¹ doit par exemple être en mesure de conserver sur des millénaires les données relatives à ses sites de stockage de déchets nucléaires. Aujourd'hui, de telles informations existent sur papier et surtout sur CD, clés USB ou encore disques durs. Or, ces supports numériques ont des durées de vie limitées et les technologies pour les lire finissent, tôt ou tard, par devenir obsolètes au profit de nouveaux dispositifs. Le risque de perte des données est donc grandissant sur le long terme. Arnano, start-up essaimée du CEA-Leti en 2009, propose alors une solution innovante pour reproduire et « enregistrer » de façon définitive et infalsifiable les archives numériques. « Appelée "nanoforme", il s'agit d'un disque de saphir synthétique au cœur duquel les informations sont gravées à l'échelle microscopique, puis sont révélées par une couche de nitrure de titane » explique Alain Rey, chercheur au CEA-Leti et créateur d'Arnano. Ces matériaux sont stables et de très haute performance. Aussi, la nanoforme résiste aux agressions externes les plus sévères telles que les rayures et abrasions, l'eau, les produits chimiques, les fortes températures...

Conserver l'information... et la restituer !

Issue de la microélectronique, cette technique de gravure permet de reproduire et protéger sur un disque de 20 cm de diamètre les informations inscrites sur 10000 pages A4 ! Et ce, quel que soit le type de documents : textes, plans, photos... Non seulement, la nanoforme recèle une grande quantité de données, mais elle permet d'y accéder de façon pérenne : « sa lecture est indépendante de toutes technologies puisqu'il suffit juste de grossir l'image ou le texte. Or, il existera toujours des microscopes ou des systèmes équivalents pour le faire » se réjouit Alain Rey. Enfin, à partir de ce disque de saphir et d'un scanner, il est également possible de restituer l'information sous format numérique. Prochainement, une version réduite de la nanoforme (5 ou 10 cm) sera accessible au grand public. Mais d'ores et déjà, cette méthode inédite d'archivage intéresse les industries nucléaire, pharmaceutique et chimique, ainsi que les archives municipales ou nationales et les musées pour la conservation du patrimoine... Reste à savoir si les générations futures seront encore capables de comprendre notre langage dans 2000 ans ou s'il serait préférable de graver uniquement des images et des hiéroglyphes ?

Amélie Lorec



7

© Arnano

Note :

1. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

TRIM37 IMPLIQUÉE DANS LE CANCER DU SEIN

Les chercheurs avaient déjà détecté la présence excessive de cette protéine dans les cellules tumorales de modèles rongeurs. Une équipe du CEA-IRCM a désormais décrypté son mécanisme d'action dans le cancer du sein humain. TRIM37 intervient notamment dans la modification des histones*, protéines impliquées dans l'expression de certains gènes, comme les gènes « supprimeurs de tumeur ».

• **Histones**: associés à l'ADN, ces principaux constituants protéiques des chromosomes régulent sa compaction, participant ainsi à la définition des programmes d'expression génique spécifiques de chaque type cellulaire.

• **Surexpression**: excès d'expression de la protéine lié à une trop forte activité du gène qui la code.

• **Modifications épigénétiques**: modifications des histones ou de l'ADN n'altérant pas le code génétique mais conditionnant son expression.

• **Ubiquitination**: modification biochimique aboutissant à la fixation d'une ou de plusieurs protéines d'ubiquitine sur une autre protéine, induisant sa modification.

Grand pas dans la lutte contre le cancer du sein : une équipe du CEA-IRCM, en collaboration avec des laboratoires américains, identifie et caractérise une protéine jouant un rôle dans cette pathologie. « En croisant un grand nombre d'études disponibles dans des banques de données publiques, il est apparu que le gène TRIM37 était **surexprimé** dans près de 40 % des cas de cancers du sein » explique Claude Gazin, chercheur au CEA-IRCM, qui précise que l'implication de la protéine TRIM37, dans des **modifications épigénétiques** conditionnant la progression tumorale avait été identifiée auparavant sur un modèle de rongeur. Pour vérifier le rôle de TRIM37 dans les cancers humains, les scientifiques ont inhibé l'action de cette protéine dans des cellules tumorales humaines issues de cancer du sein et greffées chez des souris. Résultat : la croissance des tumeurs a bel et bien été bloquée.

Une enzyme qui modifie les histones

Comment l'expliquer ? Les chercheurs ont repéré sur TRIM37 un domaine « RING » qui est caractéristique d'enzymes responsables de l'**ubiquitination** de protéines, mécanisme engendrant la modification de ces dernières. L'implication de TRIM37 dans l'ubiquitination de l'histone H2A, a été montrée *in vitro*, puis vérifiée *in vivo* : « en effet, nous avons pu observer une corrélation tout au long du génome humain entre la présence de TRIM37 et celle de l'histone H2A ubiquitinée, notamment au niveau de régions contrôlant l'expression de gènes "supprimeurs de tumeurs" » précise le biologiste.

En intervenant dans la modification des histones, de concert avec d'autres enzymes, TRIM37 participe donc à un programme épigénétique qui conditionne la progression tumorale chez l'Homme. L'inhibition de cette protéine représente alors une sérieuse piste pour développer des traitements contre le cancer du sein. Reste aux scientifiques à déterminer précisément sa structure, grâce notamment à la cristallographie, pour repérer les domaines « cibles » des futurs médicaments qui viendront contrer son action...

Amélie Lorec



L'institut de radiobiologie cellulaire et moléculaire étudie les effets *in vitro*, *ex vivo* et *in vivo* des rayonnements ionisants et des toxiques nucléaires. Objectif : traiter les maladies causées directement ou indirectement par ces rayonnements, et développer de nouvelles stratégies pour les utiliser.

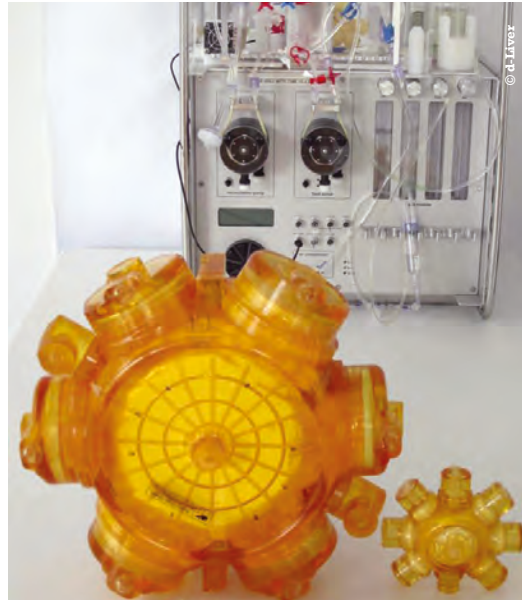
DERNIÈRE LIGNE DROITE POUR LE FOIE BIOARTIFICIEL

Une équipe du CEA-Leti contribue au développement d'un prototype de foie bioartificiel. Les capteurs qu'elle met au point permettent de surveiller précisément et en continu le bon fonctionnement des cellules cultivées dans l'appareil afin de détoxifier le sang des malades.

Destiné aux patients en insuffisance hépatique ou en attente de greffe, un foie bioartificiel est en cours de développement dans le cadre du projet d-Liver, réunissant une douzaine de partenaires européens dont le CEA-Leti. Le prototype se compose d'un réacteur dans lequel des cellules hépatiques humaines ou animales nettoient le sang, et d'un système acheminant et réinjectant le sang ainsi détoxifié dans l'organisme. La sûreté du dispositif repose sur de nombreux capteurs qui vérifient différents paramètres du sang et de la culture cellulaire. Notamment, ceux du CEA-Leti qui mesurent le taux d'ions ammonium sécrétés par les cellules – une trop grande proportion de cet élément indiquant une défaillance des cellules, sa surveillance permet de réajuster leurs conditions de culture. « Nos capteurs sont réalisés à partir d'électrodes dont les membranes sont sensibles à des ions spécifiques (technologie ISE). Aujourd'hui, ils atteignent une très bonne précision et permettent des mesures en temps réel et en continu » indique la chercheuse Marie-Line Cosnier.

Cinq campagnes de tests menées à l'hôpital de la Charité à Berlin ont en effet montré que les mesures restaient valides après trois semaines, soit la durée de vie de la culture cellulaire hépatique. Il reste à présent un an aux partenaires pour démontrer l'efficacité de ce foie bioartificiel, à partir d'essais sur du sérum pathologique. Si la technologie fait ses preuves, elle sera mise à disposition en centre hospitalier, selon les mêmes modalités qu'un appareil de dialyse.

Aude Ganier



◀ Prototype de système complet de foie bioartificiel.

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 Minatéc à Grenoble, il est une interface entre le monde industriel et la recherche.

L'ASCENSEUR ÉNERGIE ZÉRO, C'EST POUR BIENTÔT

Un ascenseur intelligent, capable à la fois de produire de l'énergie et d'adapter sa propre consommation, tel est l'objet du projet européen Arrowhead, auquel participent deux laboratoires du CEA.

Quand il monte « à vide » ou qu'il descend « à plein », il ne consomme pas d'énergie. Et quand il freine, il libère de l'énergie qui pourrait être stockée ou réinjectée dans le réseau. Ce constat fait de l'ascenseur le parfait candidat des maisons à basse consommation. Surtout s'il est alimenté par des énergies alternatives et le réseau. C'est tout l'enjeu du projet européen Arrowhead que de le démontrer. Un prototype est ainsi en cours de réalisation, impliquant le CEA-Leti et le CEA-List. « Nous avons développé une plateforme virtuelle qui coordonne les échanges entre le contrôle-commande de l'ascenseur et un module d'optimisation énergétique réalisé par Schneider Electric » explique Maxime Louvel, ingénieur chercheur au CEA-Leti. Basée sur des technologies internet innovantes, cette plateforme orchestre en temps réel de nombreuses

informations (historique du trafic, données météo...) pour décider quelle source d'énergie utiliser. Elle a été testée avec succès sur un ascenseur virtuel et sera validée, en 2016, sur un site pilote.

Aude Ganier

CEA-List

Le laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies oriente ses recherches sur tous les systèmes à logiciel prépondérant. Il concentre ses efforts sur trois thématiques : les systèmes embarqués, les systèmes interactifs, les capteurs et le traitement du signal.

OPTIQUE

OBSERVER 1 000 CELLULES UNIQUES À LA FOIS

En immunologie, comment étudier précisément des échantillons sanguins grouillant de cellules qui ont développé des mécanismes de sécrétion pour coordonner leur réponse immunitaire ? Grâce aux travaux du CEA-Inac, un nouveau système de microscopie est désormais compatible avec la visualisation simultanée de cellules uniques et de leurs sécrétions moléculaires.

• **Résonance des plasmons de surface** : principalement connu pour mesurer la liaison d'un « ligand » sur un « récepteur » adsorbé à la surface d'une couche métallique, ce système d'imagerie s'appuie sur des ondes de densité d'électron.

• **Aberration géométrique** : écart entre la surface d'onde réelle et la surface d'onde « paraxiale », par exemple l'astigmatisme, la courbure de champ, la distorsion...

• **Cellules circulantes** : véhiculées par le sang, ces cellules sont en perpétuel mouvement.

Visualiser individuellement 1 000 cellules à la fois pour l'analyse et la compréhension fine de mécanismes cellulaires, notamment en immunologie : voici une prouesse réalisée par une équipe du CEA-Inac qui pousse au maximum les capacités de la technologie d'imagerie par **résonance de plasmon de surface** (SPRi). Utilisé pour pouvoir suivre des interactions moléculaires en temps réel et sans marquage¹, le dispositif, bien que précis, présentait une limite de taille : une résolution spatiale insuffisante pour une visualisation simultanée et individuelle de plusieurs milliers de cellules et de leurs sécrétions moléculaires. « Grâce à un développement optique, nous avons pu nous affranchir des **aberrations géométriques** induites par cet outil et résoudre les problèmes de résolution. Pour ce faire, nous avons optimisé l'indice et l'angle des prismes et avons développé un banc de microscopie à grand champ de vision » explique Loïc Leroy, maître de conférences UJF²

au CEA-Inac. Par ailleurs, les chercheurs se sont équipés de dispositifs d'acquisition d'images de qualité pour avoir un rapport signal/bruit optimal.

Un outil efficace pour décrypter les mécanismes immunitaires

« Avec cette nouvelle version SPRi haute résolution et grand champ, nous parviendrons, entre autres, à étudier les différents types de cellules du système immunitaire » précise Yoann Roupioz, chercheur CNRS au CEA-Inac. En effet, ces **cellules circulantes** coordonnent leur réponse immunitaire en sécrétant des molécules, appelées cytokines, pour cibler un autre type de cellule. Des mécanismes d'action très complexes que l'imagerie ne permettait pas, jusqu'alors, d'explorer en routine...

Amélie Lorec

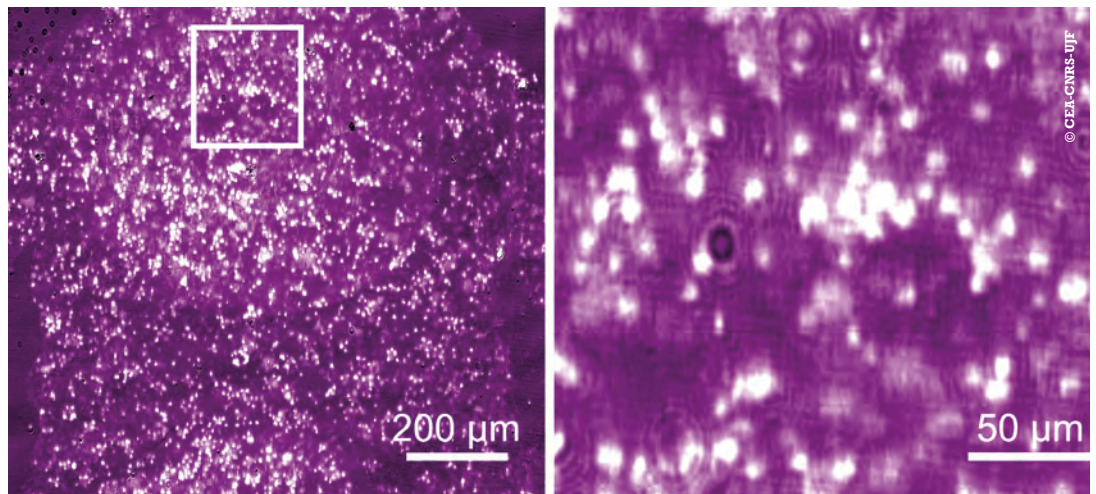
Notes :

1. Comme la reconnaissance d'antigènes par des anticorps.
2. Université Joseph Fourier.



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.

Images SPRi, présentées à différents grossissements, d'une biopuce ayant capturé des cellules.



TEXTO

Microoled franchit le seuil des 100 000 écrans livrés

Depuis 2012, la start-up Microoled du CEA-Leti a livré 100 000 écrans miniaturisés à haute définition et à très faible consommation d'énergie. Quatre fois plus petits qu'un timbre-poste, avec une qualité d'image exceptionnelle, ces écrans ont été développés à partir d'une technologie Oled (LEDs organiques dont les pixels produisent chacun leur propre lumière).

Essaimée il y a sept ans, Microoled a souhaité se positionner en France et à l'international sur les marchés grand public et professionnels, dans des secteurs d'activité très variés : médical, défense et sécurité, viseurs de caméra, lunettes connectées, optique de chasse... 99 % de son chiffre d'affaires est réalisé à l'export. De nouveaux investissements, ainsi qu'un déploiement commercial aux États-Unis et en Asie, sont programmés à l'horizon 2017.

ÉNERGIE BAS CARBONE

PRODUIRE DE L'HYDROGÈNE EFFICACEMENT ET PROPRESMENT

L'intérêt de l'hydrogène comme vecteur énergétique est aujourd'hui limité par ses modes de production, liés en grande majorité aux énergies fossiles. Les chercheurs du CEA-Liten proposent une alternative avec l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température. Plus performante, elle est aussi plus sobre que les techniques de production traditionnelles par reformage du gaz naturel, et surtout non émettrice de CO₂ !

Synthèse d'engrais, raffinage des hydrocarbures, production d'huiles et de graisses, transformation du verre... L'hydrogène est largement utilisé dans l'industrie. Il sera également, à n'en pas douter, l'un des piliers de la transition énergétique : il peut stocker l'énergie issue des sources renouvelables intermittentes (solaire, éolien...) ou servir de carburant. Mais, la très grande majorité de l'hydrogène provient du reformage du gaz naturel qui libère du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Aujourd'hui, une équipe du CEA-Liten propose une alternative grâce à un système, baptisé « Sydney », d'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température. Doté de performances remarquables, il permet de générer de l'hydrogène en consommant moins d'énergie que d'autres systèmes tout en limitant l'émission de gaz à effet de serre – à condition, bien sûr, que sa source électrique soit décarbonée.

À haute température, le rendement est meilleur et la consommation d'énergie moindre

L'électrolyse de l'eau consiste à casser la molécule d'eau pour en séparer l'hydrogène et l'oxygène. « En règle générale, cette réaction se fait à basse température, explique Magali Reyrier, chercheuse au CEA-Liten. La totalité de l'énergie consommée pour produire l'hydrogène est alors apportée sous forme électrique. » À haute température, au contraire, les rendements sont meilleurs et la chaleur,

souvent peu onéreuse, peut remplacer l'électricité. D'où une moindre consommation électrique. « Sydney » tire parti de cet avantage. Autonome, il est constitué d'un cœur – un empilement de cellules où se déroule l'électrolyse – et de composants auxiliaires au premier rang desquels figurent des échangeurs thermiques d'une redoutable efficacité. Le cœur est chauffé à 800 °C à l'aide d'un four, uniquement au démarrage car la chaleur est ensuite recyclée en continu grâce aux échangeurs thermiques pour porter la vapeur d'eau de 150 °C à 800 °C sans aucun autre apport extérieur. Sydney permet ainsi de produire entre 1 et 2,5 Nm³/h d'hydrogène en consommant 3,9 kWh/Nm³. « Et son rendement est aujourd'hui de 92 % ! » rapporte André Chatroux, chercheur de l'équipe. Ses atouts ne s'arrêtent pas là car cette technologie est également réversible, permettant aussi de générer de l'électricité à partir d'hydrogène et d'oxygène.

Fabrice Demarthon

CEA-Liten

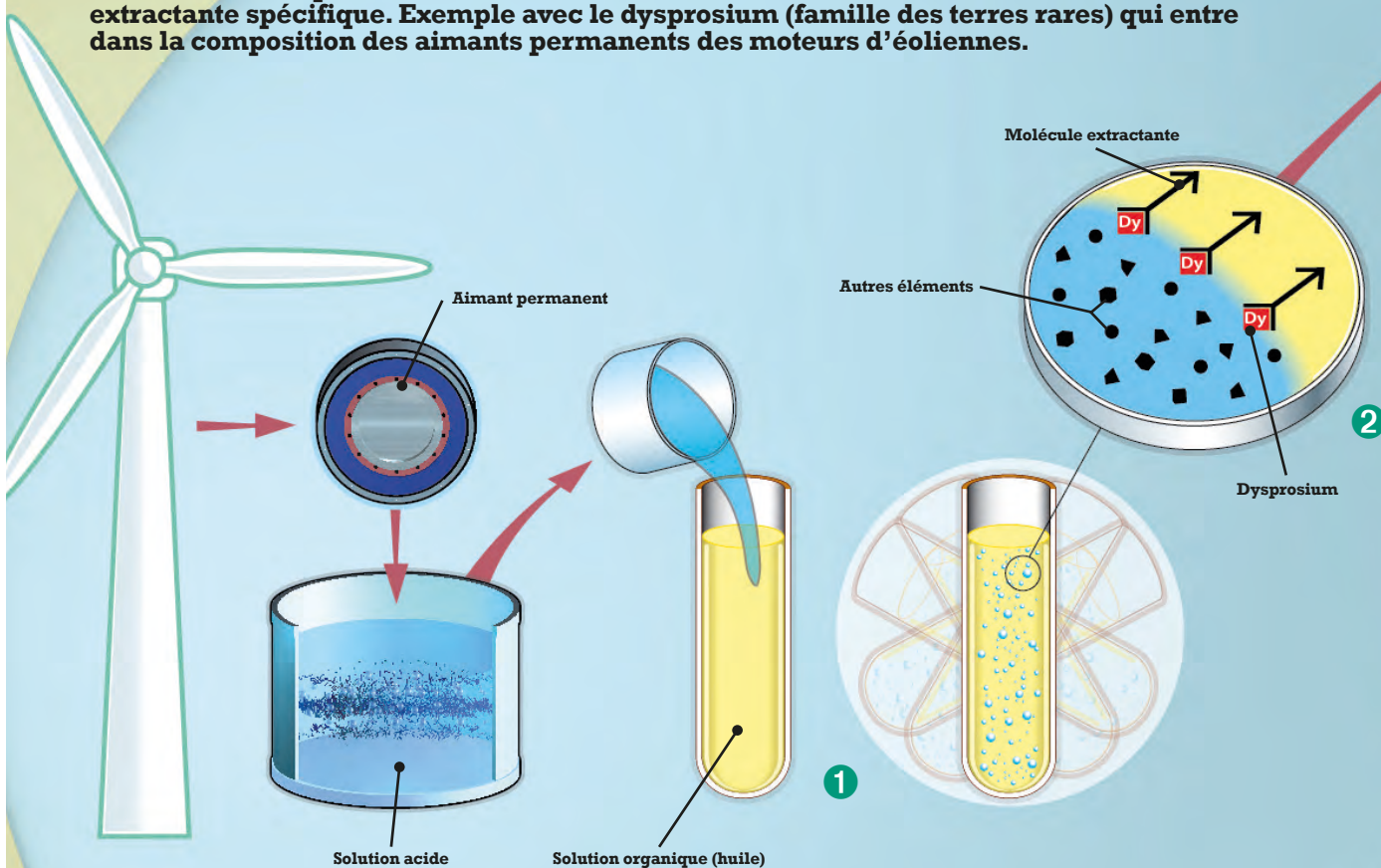
Le Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles se positionne sur quatre axes : énergie solaire, développement d'une filière hydrogène pour les transports, production d'hydrogène et, innovations technologiques sur les matériaux et les procédés.

• **Nm³ (normaux mètres-cubes)**: unité de volume normalisée selon laquelle 10 Nm³ correspondent à 10 m³ de gaz à 0 °C et à pression atmosphérique.



L'EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE

L'extraction liquide-liquide est un procédé de chimie séparative. Elle permet de récupérer, avec une grande sélectivité, un élément chimique présent dans un mélange complexe ou un matériau, afin de le recycler. Après une dissolution préalable du matériau, elle consiste à séparer l'élément d'intérêt en le mettant en contact avec une molécule extractante spécifique. Exemple avec le dysprosium (famille des terres rares) qui entre dans la composition des aimants permanents des moteurs d'éoliennes.



DISSOLUTION

L'aimant est broyé, démagnétisé, puis dissous dans de l'acide. Pour aboutir à sa dissolution complète, la réaction est optimisée et accélérée en jouant sur plusieurs paramètres : concentration et excès d'acide, température, agents catalyseurs. La solution acide obtenue contient l'ensemble des éléments chimiques de l'aimant, y compris le dysprosium à extraire.

SÉPARATION

1 Agitation

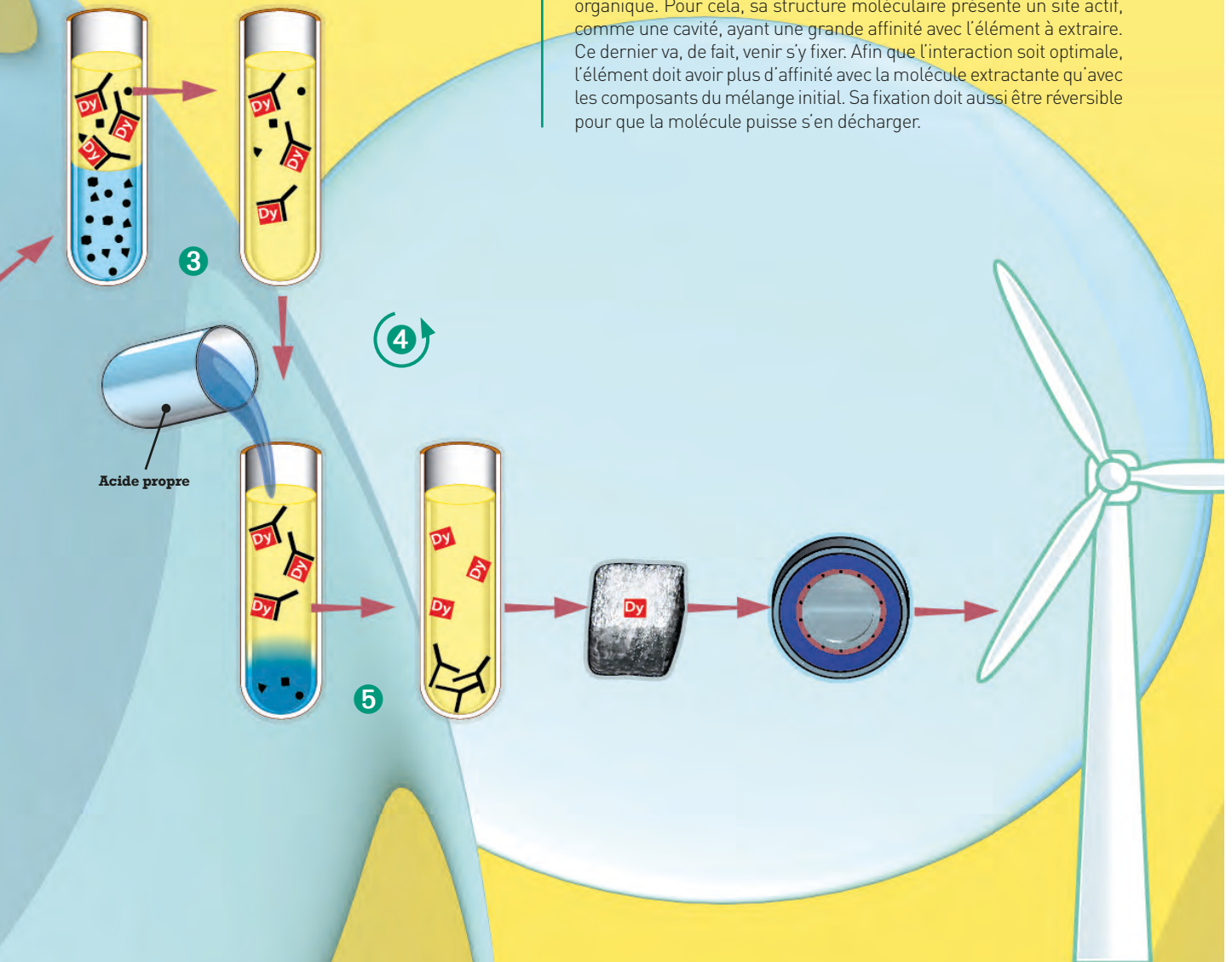
La solution acide est mise en contact avec une solution organique qui contient des molécules extractantes. Comme ces deux solutions sont « non miscibles » (ne se mélangent pas naturellement, comme l'huile et le vinaigre), elles sont agitées pour obtenir une émulsion (vinaigrette). Plus l'agitation est forte, plus les bulles de l'émulsion sont de petite taille, ce qui multiplie les zones de contact entre les deux solutions.

2 Extraction

Au niveau de chaque bulle, les molécules extractantes de la solution organique sont en contact avec la solution acide et vont sélectivement piéger et extraire le dysprosium. Celui-ci est ainsi transféré de la solution acide (qui s'appauvrit) à l'huile (qui s'enrichit). Les autres éléments, eux, restent dans la solution acide.

Qu'est-ce qu'une molécule extractante ?

Son rôle est d'interagir de façon très spécifique avec un élément chimique d'intérêt pour, par exemple, l'entraîner vers une solution organique. Pour cela, sa structure moléculaire présente un site actif, comme une cavité, ayant une grande affinité avec l'élément à extraire. Ce dernier va, de fait, venir s'y fixer. Afin que l'interaction soit optimale, l'élément doit avoir plus d'affinité avec la molécule extractante qu'avec les composants du mélange initial. Sa fixation doit aussi être réversible pour que la molécule puisse s'en décharger.



3 Décantation

L'émulsion est laissée au repos pour décanter : en l'absence d'agitation, la solution acide appauvrie et l'huile enrichie en dysprosium se séparent de nouveau. Elles peuvent alors être récupérées indépendamment.

4 Répétition

Ce procédé de séparation est répété plusieurs fois pour atteindre le taux de récupération souhaité, jusqu'à 99,99 %. À l'échelle industrielle, cela s'effectue soit en série avec des batteries de mélangeurs-décanteurs, soit en mode continu dans des colonnes pulsées.

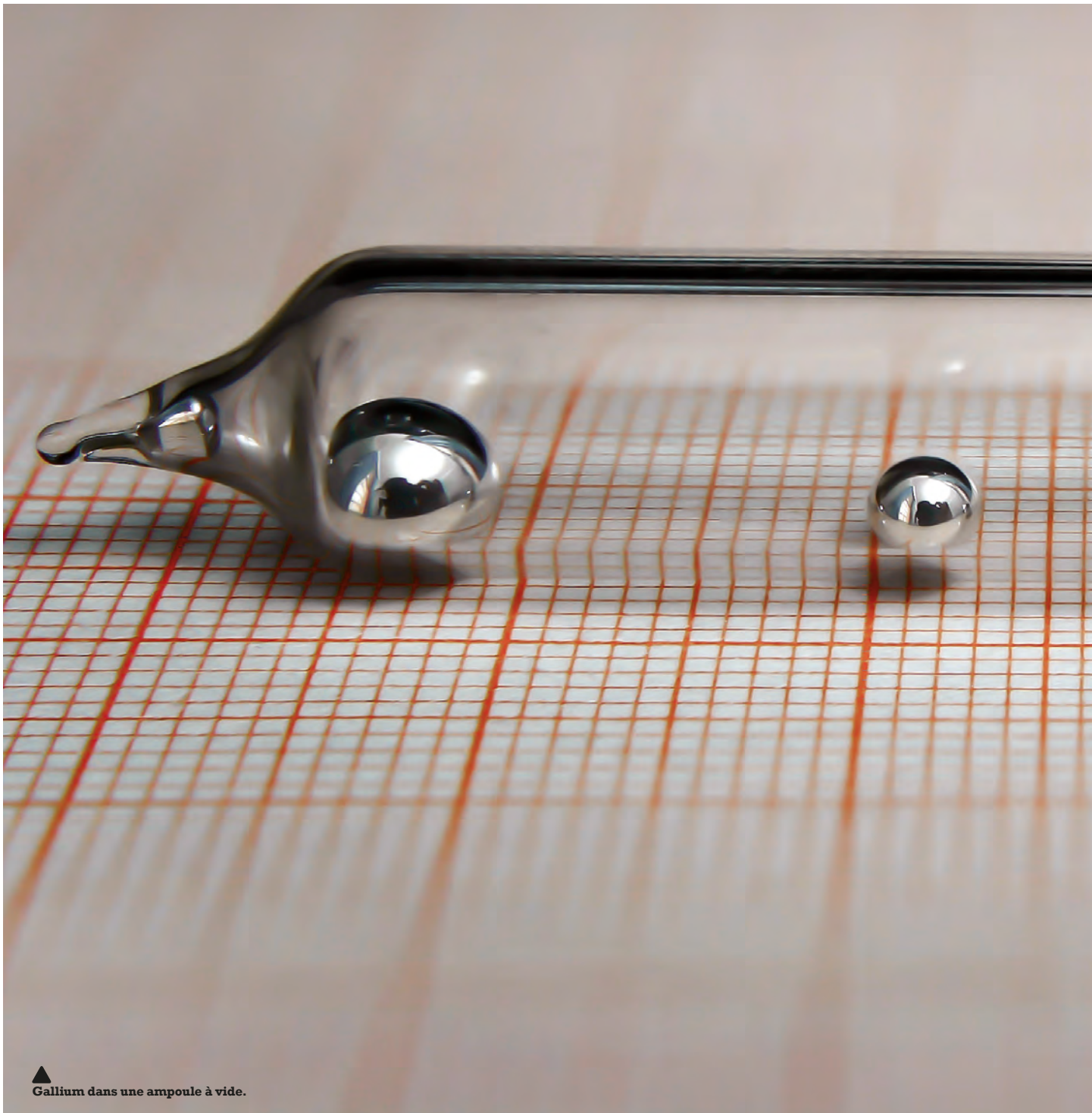
5 Lavage et dés extraction

L'huile enrichie est débarrassée de ses dernières impuretés dans une solution acide propre. Ensuite, elle est placée dans des conditions chimiques particulières pour déstabiliser le complexe formé par la molécule extractante et le dysprosium, et ainsi récupérer cet élément en phase aqueuse.

CONVERSION ET FABRICATION

Une fois séparé et purifié, le dysprosium est converti en solide par des procédés spécifiques de précipitation. Il peut alors être recyclé et utilisé pour fabriquer un nouvel aimant, dans une éolienne, ou une autre technologie.

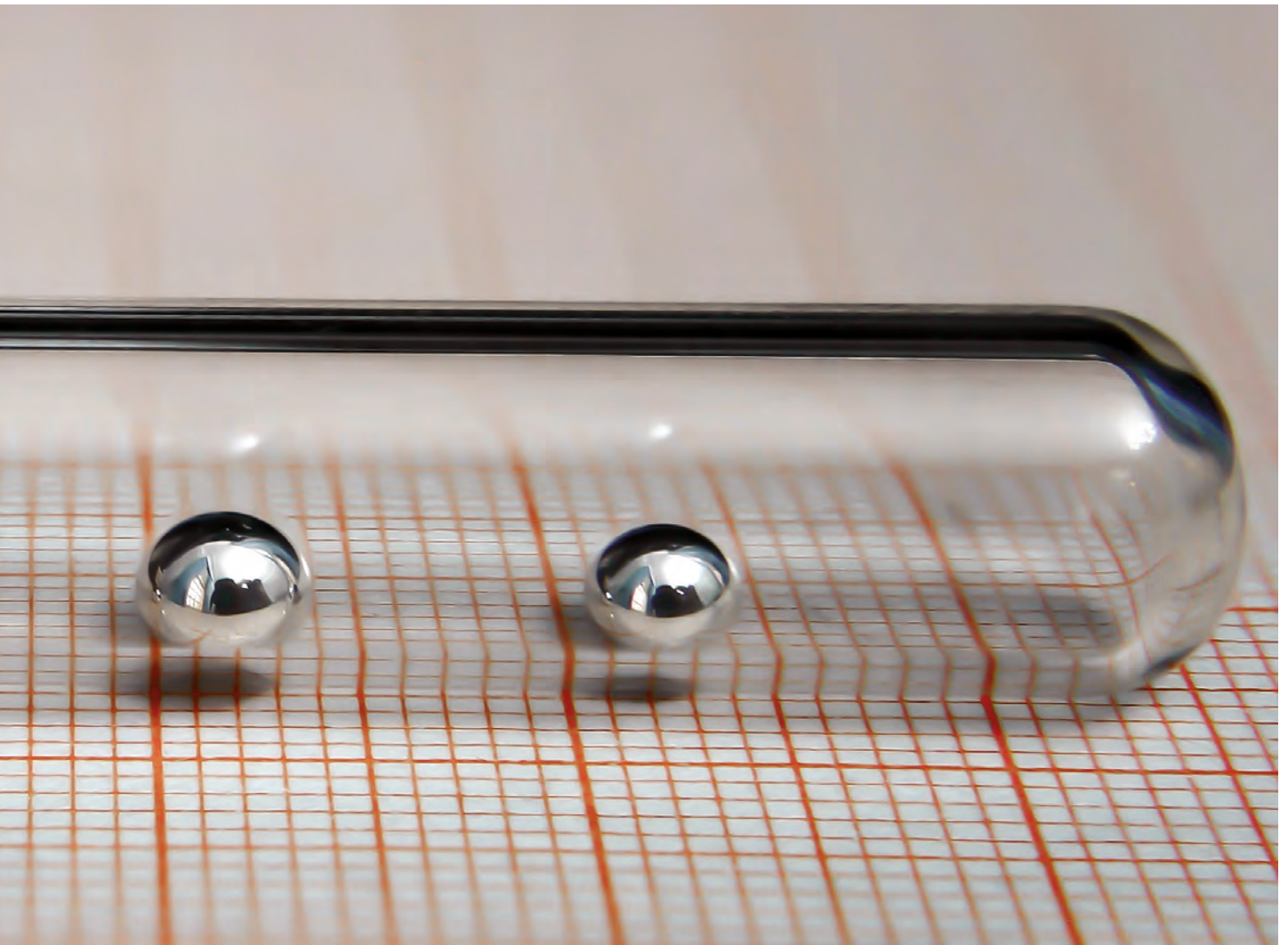
LES MATÉRIAUX CRITIQUES DÉFIENT LA R&D



▲ Gallium dans une ampoule à vide.



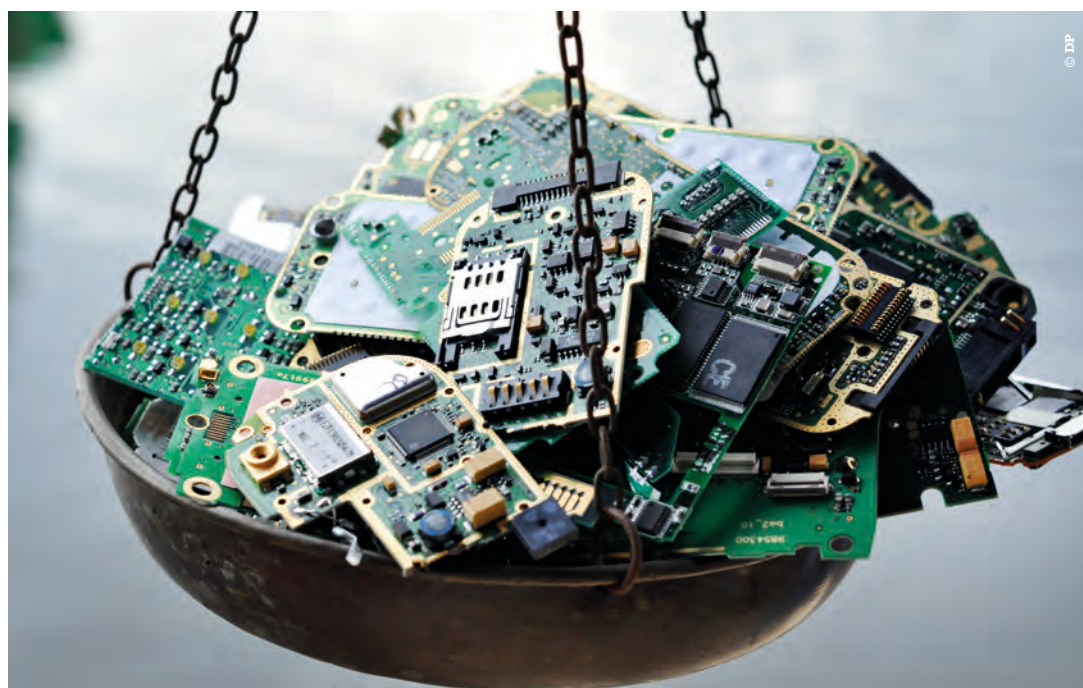
Terres rares, platine, tungstène, silicium... Ils sont une vingtaine de composés désormais identifiés comme « critiques » par la communauté européenne. Pourquoi « critiques » ? Parce que ces matières premières sont essentielles au développement de bon nombre de filières industrielles d'avenir et que l'Europe, et donc la France, sont tributaires, pour leur approvisionnement, du bon vouloir des quelques pays producteurs. Un véritable talon d'Achille en matière de compétitivité, qui conduit industriels et chercheurs à se mobiliser autour de trois grands axes : trouver des matériaux de substitution, limiter leur usage et les recycler. Autant de défis pour lesquels les compétences du CEA en chimie séparative et en chimie verte constituent un atout manifeste. *Dossier réalisé par Vahé ter Minassian*



**MATÉRIAUX
CRITIQUES : UN ENJEU
DE COMPÉTITIVITÉ**

**MINIMISER, SUBSTITUER
VOIRE RECYCLER LES
MATÉRIAUX CRITIQUES**

MATÉRIAUX CRITIQUES : UN ENJEU DE COMPÉTITIVITÉ



Le développement des nouvelles technologies repose sur certaines matières premières produites en dehors de la communauté européenne par un nombre restreint de pays. Consciente de cette dépendance et de la vulnérabilité qu'elle engendre pour son industrie, la France, et plus largement l'Europe, ont pris le problème à bras le corps en structurant les programmes de recherche consacrés à ces matériaux dits « critiques ». Des programmes auxquels le CEA, fort de ses compétences en matière d'énergie, de microélectronique, de sciences de la matière et du vivant, participe activement.

Le 7 septembre 2010, non loin des îles Diaoyutai-Senkaku en mer de Chine, un bateau de pêche chinois heurte deux bateaux japonais et se fait interpellé par les garde-côtes nippons : un nouvel incident vient de survenir entre la Chine et le Japon qui, tous deux, revendiquent la propriété de l'archipel. Dans les jours suivants, Pékin impose à Tokyo un embargo sur les **terres rares** puis met en place des quotas à l'exportation de ces métaux pour le reste du monde. L'Europe découvre plus que jamais la vulnérabilité de ses approvisionnements. Du point de vue géologique, les terres rares n'ont rien de très précieux : cette famille de métaux est présente en abondance dans le sous-sol européen, notamment en

France, bien que les gisements soient réputés de faibles teneurs et difficiles à traiter car « polymétalliques ». De plus, les procédés actuels d'extraction sont particulièrement polluants. Conséquence : leur production a été abandonnée en Occident, au profit de la Chine qui se retrouve aujourd'hui en situation de monopole.

Une problématique européenne

Cette dépendance à la Chine existe également vis-à-vis d'autres pays, et pour d'autres matières premières (*voir encadré p.24*). Une première évaluation réalisée en 2010, à la demande de la Commission européenne, a permis d'établir une liste de quatorze groupes de matières premières

• **Terres rares** : famille de métaux aux propriétés voisines comprenant le scandium, l'yttrium et les quinze lanthanides (lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, prométhium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutécium).

dites « critiques » : c'est-à-dire dont la pénurie, la hausse excessive du prix, la situation monopolistique du producteur voire la dépendance de plusieurs filières industrielles, pourraient constituer une entrave au développement de certains secteurs industriels clés. Cette liste a été augmentée en 2014 (voir encadré ci-dessous), tant la problématique des matières critiques est au cœur de l'économie européenne. En effet, les secteurs des nouvelles technologies de l'énergie (NTE), des technologies de l'information et de la communication (TIC) ou de l'automobile étant de gros consommateurs de ces matières premières, qu'advierait-il si les pays producteurs décidaient d'en réduire l'exportation ? À coup sûr, l'ensemble de l'économie s'en trouverait freiné.

La Commission européenne a ainsi lancé, en décembre 2014, la Communauté de la connaissance et de l'innovation (KIC) « Matières Premières ». Pilotée conjointement par le centre Helmholtz de Dresde-Rossendorf et la société Fraunhofer, elle vise à assurer la durabilité et la compétitivité des matières premières en Europe en fédérant pas moins de 116 acteurs du monde académique, de l'industrie et de la recherche (dont le CEA), issus de 22 pays. Enjeu : mutualiser les recherches, sur le développement des ressources de substitution, et des procédés d'exploration, d'extraction et de recyclage des matériaux critiques, et leur garantir rapidement un avenir industriel.

Sur la piste de la substitution et du recyclage

En France, au sein du COMES¹, structure chargée depuis 2011 d'assister les ministères de l'Industrie et de la Recherche et de l'Écologie sur ce thème, des parades ont été identifiées par les industriels et les organismes de recherches dont le CEA, le CNRS et le BRGM. Sans écarter la possibilité de voir un jour se rouvrir des mines, ces experts ont préconisé divers axes de recherche afin de réduire les risques à court et moyen terme pesant sur l'économie française. Il s'agit notamment de substituer à ces métaux critiques, partiellement ou totalement, d'autres composés plus abondants et moins dépendants des fluctuations du marché. Ou, encore, d'améliorer les techniques de façonnage des matériaux pour les rendre moins gourmandes en matières premières, voire d'optimiser les dispositifs pour augmenter leur durée de vie. « Enfin, une des alternatives repose sur de nouveaux procédés à même d'extraire les éléments chimiques des produits finis hors d'usage ou des déchets industriels », explique Etienne Bouyer, adjoint au directeur du programme transversal « NTE »² et représentant du CEA au sein de la KIC Matières Premières et du COMES. Chaque année, deux milliards de téléphones portables³, contenant des milliers de tonnes de matériaux précieux, sont vendus dans le monde. Mais bien peu sont recyclés (seuls 7,5 millions

l'ont été en Europe, soit à peine 5 %), la majorité (quelque 500 millions d'unités) dormant toujours dans les tiroirs⁴ ! Et que dire de tous les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)... La porte s'ouvre alors sur le recyclage de leurs métaux pour exploiter les richesses de cette « poubelle urbaine » qui s'avère être une mine d'or !

L'expertise historique du CEA, de la recherche à l'industrie

Fort de ses compétences dans les secteurs de l'énergie (nucléaire et renouvelables), de la microélectronique, des sciences de la matière ou même des sciences du vivant, le CEA peut contribuer à relever ces défis industriels. Concernant la voie de la substitution des matières premières, il travaille depuis des années à des solutions originales. Par exemple, à Saclay et à Grenoble, où il cherche à remplacer le platine des électrodes des piles à combustibles par d'autres composés à bas coût. De même, il travaille à réaliser des aimants permanents sans terres rares grâce à des nanofils magnétiques. ►►



Notes :

1. Comité pour les Métaux Stratégiques.
2. Programme Nouvelles technologies de l'énergie du CEA.
3. Source : ADEME.
4. Source : Programme des Nations Unies pour l'environnement.

► Plateforme de mélangeurs-décanteurs pour valider les performances des procédés d'extraction sélective au CEA de Marcoule.

LES VINGT MATÉRIAUX CRITIQUES IDENTIFIÉS PAR L'EUROPE

Le 26 mai 2014, la Commission européenne publie sa nouvelle liste de matières premières critiques. Elle comprend quatorze composés répertoriés en 2011 : antimoine, béryllium, cobalt, spath fluor, gallium, germanium, indium, magnésium, graphite naturel, niobium, métaux du groupe platine, terres rares lourdes, terres rares légères, et tungstène ; auxquels s'ajoutent six nouveaux : borate, chrome, charbon à coke, magnésite, roche phosphatée et silicium.

Ces métaux constituent un réel enjeu industriel. La fabrication des panneaux solaires repose sur le germanium, l'indium et le gallium. L'antimoine et l'indium sont indispensables au fonctionnement des smartphones et des tablettes. On retrouve également les terres rares dans les aimants permanents, les lasers, les ampoules, ou dans différents modules d'un véhicule (notamment hybrides et électriques). Quant au silicium : il est partout !

• **Cycle fermé** : concept consistant à recycler les matières utilisées pour la réalisation et le fonctionnement d'un dispositif. Dans le nucléaire, il permet de récupérer les matières valorisables du combustible usé (uranium et plutonium).

Son savoir-faire sur les techniques de couches minces et les méthodes de fabrication dites « additives », comme l'impression 3D, en font également un acteur incontournable dans le domaine des procédés.

Tout cela, sans même évoquer ce qu'il pourrait apporter à la branche encore en devenir du recyclage des terres rares. Développés depuis un demi-siècle pour mettre en œuvre le **cycle fermé** du combustible de l'industrie nucléaire, les procédés d'hydrométallurgie du CEA-DEN s'avèrent à ce jour les techniques d'extraction les plus prometteuses pour être employées à grande échelle. Elles sont en effet les plus performantes et les moins polluantes. Encore faut-il les adapter aux matériaux critiques. Ce que s'efforcent de faire, notamment à Marcoule, les chercheurs du CEA-DEN, par exemple pour récupérer le dysprosium des aimants permanents (voir p.p 12-13).

Mais quelles que soient les avancées de la recherche, elles ne suffiront pas à garantir la diffusion de ces technologies. Surtout dans un secteur où la filière pâtit d'un manque de structuration et de plateformes technologiques de démonstration. D'où l'initiative du CEA, en décembre 2014, de créer l'Institut européen d'hydrométallurgie (IEH), plateforme technologique qui sortira de terre à Marcoule en 2016. « Les industriels auront la possibilité de tester et de valider, sur des lignes pilotes, leurs nouveaux procédés d'hydrométallurgie » explique Frédéric Goettman, directeur de l'IEH. L'association PROMETIA, que coordonne Christophe Poinssot, chef de département au CEA-DEN, a également été mise en place pour favoriser les échanges entre la recherche et les industriels et soutenir le développement de procédés innovants et propres.

Vers une économie circulaire

« Il n'y a pas que dans l'électronucléaire qu'il faille fermer les cycles » indique le Professeur Thomas Zemb de l'Institut de chimie séparative de Marcoule (ICSM)⁵. Le CEA l'a bien compris, fort de toutes ses compétences, notamment celles, uniques au monde, en chimie du recyclage et en chimie verte que le CEA-DEN a su développer. Il peut alors poser les premières pierres d'un cycle vertueux d'exploitation des matières premières. Un cycle d'écoconception sur l'ensemble de la chaîne de valeur qui intégrerait, dès l'amont, les modalités de démantèlement et qui assurerait une meilleure longévité des technologies. « Dans ce contexte, notre approche va désormais à l'encontre de l'obsolescence programmée des produits » conclut Etienne Bouyer. ●

Note :

5. Unité mixte de recherche CEA-CNRS-UM-ENSCM.

Note :

1. Tous les chiffres sont fournis par l'USGS (US Geological Survey), organisme de référence dans le monde.

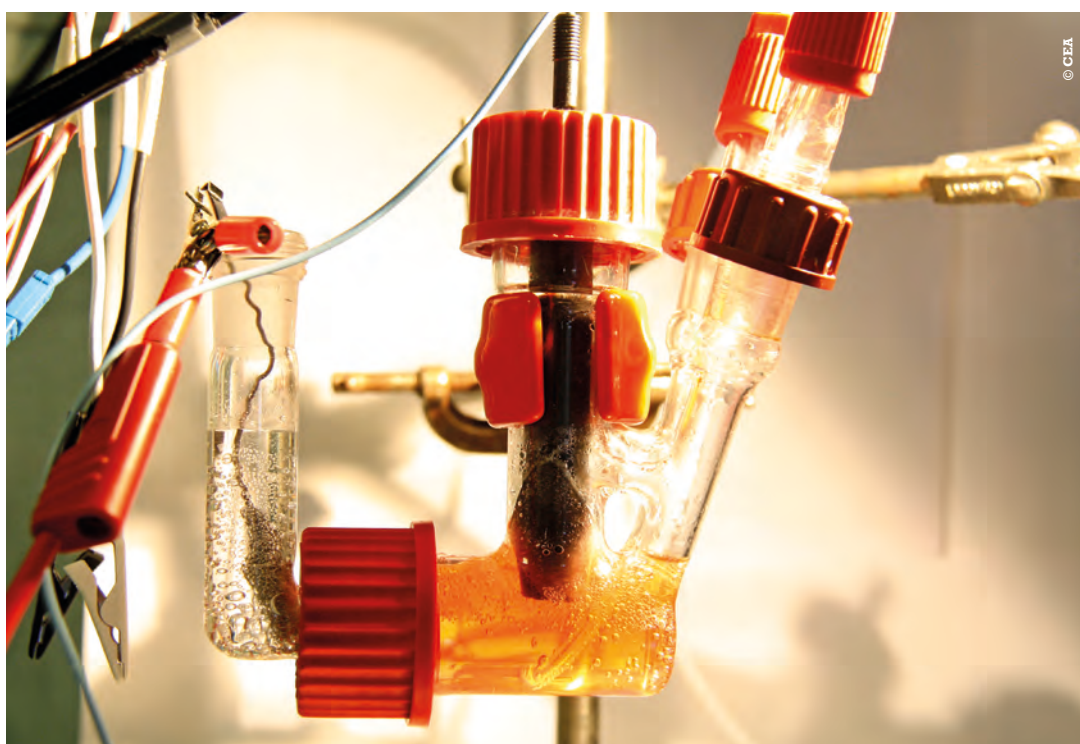
LES GRANDS PAYS PRODUCTEURS



Mines de terre rares en Australie (Mount Weld).

Si le marché des métaux critiques suscite autant d'inquiétude, c'est qu'il est hautement instable et stratégique. Suite à l'arrêt de l'exploitation des terres rares aux États-Unis et en Australie, la Chine assure 95 % de la production du globe. Elle pèse aussi sur le cours d'autres métaux : antimoine (80 % de la production mondiale), gallium (84 %), germanium (79 %) et indium (60 %). D'autres pays sont également en situation de quasi-monopole, tels le Brésil qui livre 88 % du niobium et l'Afrique du Sud, incontournable dans la production de rhodium (79 %) et de platine (73 %). Les inquiétudes européennes portent aussi sur les approvisionnements en cuivre (32 % de la production au Chili) et en lithium (13 % pour la Chine, 38 % pour le Chili et 36 % en Australie)¹.





© CEA

◀ Cellule électrochimique de test de catalyseurs bio-inspirés du CEA pour la substitution du platine dans les technologies hydrogène.

MINIMISER, SUBSTITUER VOIRE RECYCLER LES MATÉRIAUX CRITIQUES

Cruciale pour le développement des nouvelles technologies de l'énergie, la problématique des matériaux critiques est au cœur des préoccupations du CEA. Celui-ci combine trois approches. La première consiste à trouver des matériaux de substitution. Ses équipes étudient ainsi les moyens de remplacer le platine des piles à combustible ou l'indium des cellules photovoltaïques. Autre piste explorée : la mise au point de nouveaux procédés de fabrication permettant de les consommer avec parcimonie. Enfin, le dernier axe est celui du recyclage, en particulier celui des terres rares, pour lequel il s'appuie sur son savoir-faire en chimie séparative.

Véhicules électriques, smartphones, panneaux solaires, éoliennes : nombreux sont les dispositifs qui n'existeraient pas sans matériaux critiques ! Comment assurer leur développement et leur compétitivité ? « Leur prix dépend parfois beaucoup de celui des matières premières utilisées », constate Frédéric Schuster, responsable du programme transversal « Matériaux » du CEA. Cet enjeu est notamment déterminant pour les nouvelles technologies de l'énergie (NTE), secteur dans lequel le CEA s'investit depuis des années. Plusieurs de ses équipes s'efforcent ainsi de supprimer ou de réduire l'emploi de certains métaux ; d'autres s'engagent sur la voie très prometteuse du recyclage, notamment des terres rares.

Deux alternatives pour remplacer le platine des piles à combustible

À Saclay et Grenoble, le CEA travaille à remplacer, par des composés à prix réduit, le platine nécessaire au fonctionnement des piles à combustible à membrane d'échange de protons (PEMFC). Constitutif des électrodes, le platine sert de catalyseur aux réactions chimiques d'oxydation de l'hydrogène et de réduction de l'oxygène. Or, explique Serge Palacin du CEA-Iramis : « ce minerai représente à l'achat pas moins de 20 à 30 % du coût total de fabrication des PEMFC ». Pour s'en passer, son équipe met au point un nouveau type de catalyseur à base de nanotubes de carbone dopés à l'azote, à même d'accélérer, au niveau ►►

• **Wp** (Watt-peak, watt-crête) : unité de mesure représentant la puissance maximale d'un dispositif.

de la cathode, la réduction de l'oxygène en eau. Une autre voie est explorée, celle de Vincent Artero du CEA-IRTSV, en s'inspirant du vivant : « au fond des lacs ou au cœur des sources hydrothermales jaillissant du plancher océanique, certaines bactéries tirent leur énergie de l'oxydation de l'hydrogène en eau. Pour cela, elles font appel à une enzyme, l'hydrogénase, qui renferme des sites actifs à base de fer et de nickel. » Intrigué par ce phénomène, le chercheur a eu l'idée de synthétiser des molécules de même type. Et il est parvenu à en identifier une, à base de nickel, susceptible de se substituer au platine de l'anode des PEMFC, même si elle est pour l'instant cinq à dix fois moins active que le précieux métal !

Débarrasser les cellules photovoltaïques de l'indium

Le platine n'est pas le seul minerai dont le remplacement est envisagé. À l'Institut national de l'énergie solaire (INES), Solenn Berson du CEA-Liten cherche à supprimer l'indium des cellules photovoltaïques organiques. Entrant dans la composition de l'électrode transparente en ITO (oxyde d'indium dopé à l'étain), le métal pèse lourd dans l'addition. « Son coût représente de nos jours jusqu'à 50 % du prix

global de fabrication des modules qui est compris entre 40 et 150 euros le m² » ! D'où l'idée, retenue avec des partenaires industriels, d'élaborer de nouvelles électrodes. Faites de nano-fils d'argent, elles affichent des performances en termes de résistance électrique et de conductivité équivalentes à celles de l'ITO, tout en conférant au module une meilleure résistance mécanique. « Cela nous permet non seulement de gagner sur le coût des approvisionnements en matières premières mais aussi sur celui des procédés. » Résultat : en poursuivant les recherches sur les matériaux actifs et les matériaux d'encapsulation, ces cellules pourraient être produites à 0,1 €/Wp•.

En attendant, minimiser la part des métaux critiques dans les dispositifs

La voie de la substitution reste une solution sur le long terme, aussi les chercheurs développent-ils des technologies permettant d'utiliser avec parcimonie ces matières premières, tout en maximisant leur efficacité et en limitant les pertes. Une stratégie, fréquemment évoquée, est de recourir à des procédés de traitement de surfaces économes comme les techniques de couches minces maîtrisées par le CEA-Leti, couramment employées dans



▶ **Étude, à l'ICSM, des mécanismes chimiques qui se déroulent à l'interface solide-liquide.**

POUR UNE ÉCOCONCEPTION DES NTE

Un procédé global pour recycler à la fois les batteries usagées et leurs rebuts de production : voici l'enjeu d'un programme conduit à Grenoble par le CEA-Liten sur sa plateforme technologique. Objectif : couvrir l'ensemble de la filière de fabrication des batteries Li-ion, des matières premières jusqu'au traitement du produit en fin de vie, afin de déployer une démarche d'éco-conception. Cette approche intéresse notamment la société SNAM¹ qui a engagé en mars 2014 un partenariat avec le CEA-Liten pour améliorer ses procédés de recyclage, à un coût maîtrisé. Il s'agira aussi de développer des procédés non émetteurs de substance nocive et fournissant des matériaux de haute pureté. La vocation du CEA-Liten est en effet de transférer des solutions complètes sur les objets des nouvelles technologies de l'énergie (NTE). Il étend ainsi sa démarche de R&D aux métaux nobles contenus dans les piles à combustible et au recyclage des panneaux solaires en fin de vie et de leurs rebuts de production.



Note :

1. Leader européen dans la collecte et le recyclage de batteries de nouvelle génération.

l'industrie de la microélectronique. D'autres idées originales circulent pour concevoir de nouvelles méthodes de fabrication dites « additives », en opposition à celles « par enlèvement de matière » (comme la gravure) qui engendrent des déchets. Sur le principe de l'imprimante 3D, elles permettraient de n'utiliser que la quantité de matériau nécessaire pour façonner les objets. Et donc de réduire leurs parts dans les rejets d'usine.

Vers une industrie naissante du recyclage des terres rares...

Bien que de nombreux matériaux stratégiques soient critiques, ils n'en demeurent pas moins abondants dans les milliers de tonnes de téléphones portables, d'équipements électriques, d'aimants d'éoliennes, qui sont mis à la décharge chaque année. Leur recyclage, certes complexe, apparaît comme une opportunité pour assurer l'indépendance et la compétitivité de l'économie européenne, dans une optique d'écoconception (voir encadré p. 26).

Par exemple, en Europe, seule l'usine Rhodia du groupe Solvay à La Rochelle se consacre actuellement à la récupération des terres rares¹. Mais la France bénéficie d'un grand potentiel, notamment grâce au CEA-DEN qui a développé des compétences et des procédés d'hydrométallurgie permettant, avec une très grande efficacité, de séparer des métaux en les solubilisant puis en les mettant en contact avec des molécules « extractantes ». Depuis des années, ces procédés sont mis en œuvre à l'usine de La Hague pour recycler le plutonium et l'uranium du combustible usé des centrales EDF. Ils ont aussi été adaptés à l'extraction et à la séparation des « actinides mineurs », éléments chimiques hautement radioactifs qui constituent une part des déchets ultimes de l'industrie nucléaire. « Les terres rares ayant des propriétés proches de celles des actinides mineurs, nous sommes en train d'adapter nos procédés pour séparer efficacement et proprement les terres rares », indique Christophe Poinssot, chef de département du CEA-DEN. Des méthodes en rupture, sans extractant ni solvant ou exploitant des synergies bio-inspirées, sont également à l'étude à l'Institut de chimie séparative de Marcoule (ICSM). Des pistes si prometteuses que le Conseil européen de la recherche a alloué une bourse ERC au Professeur Thomas Zemb de l'ICSM, pour son projet REE-CYCLE² qui associe des chercheurs du CEA de Marcoule et de Grenoble : « les avancées actuelles de la science des fluides complexes ne nous permettent pas de les développer de manière non empirique. Chaque solution doit être expérimentée, ce qui prend jusqu'à cinq ans pour chaque terre rare. Avec le projet REE-CYCLE, nous travaillons sur des dispositifs micro-fluidiques capables de mimer à petite échelle les phénomènes survenant dans les pilotes industriels, afin de réduire considérablement les temps d'expérience. » La récupération d'autres métaux est également d'actualité, tel que le rappelle Stéphane Pellet-Rostaing, directeur de l'ICSM : « par exemple, avec l'industriel Veolia, une équipe a mis au point un procédé solide-liquide d'extraction du lithium contenu dans les batteries ; et, dans le cadre du projet ANR Silixe, une équipe s'est intéressée au recyclage, en milieu liquide ionique, des condensateurs et des composants des cartes électroniques contenant du tantale, de l'or et du palladium. »

Qu'elles soient à un stade amont ou plus avancé (voir encadré ci-contre), ces solutions pourront compter sur l'Institut européen d'hydrométallurgie (IEH) pour tester leur faisabilité à un niveau industriel et sur l'association PROMETIA pour identifier des partenaires intéressés. Et ainsi voir naître une solide industrie du recyclage en France. ●

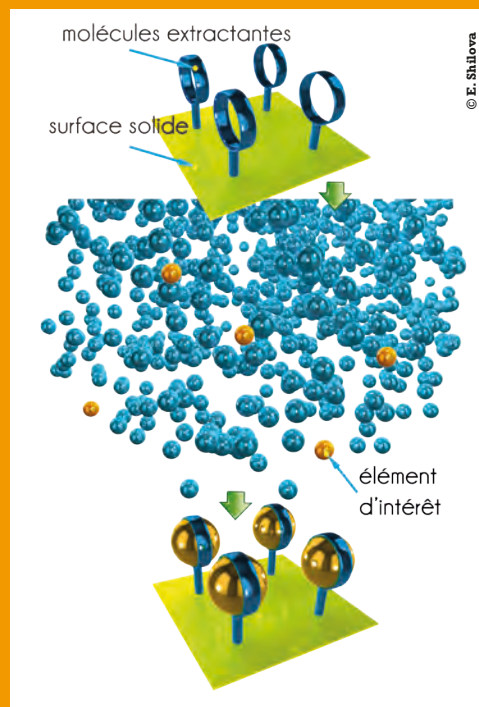


© S. Le Couster / CEA

Expérience d'extraction sélective en colonne pulsée au CEA de Marcoule.

L'ALTERNATIVE DE CYTER

Lauréate en juillet 2014 du Concours Mondial de l'Innovation 2030, la start-up AJELIS, issue du projet Cyter du CEA-Iramis et de l'Université d'Orsay, développe une nouvelle technique de récupération et de séparation des terres rares. La méthode habituelle d'extraction liquide-liquide (voir pp. 12-13) consiste à faire effectuer ce travail à des molécules extractantes en solution organique. Là, la start-up d'Eka-terina Shilova a recours à des solides : des feutres de carbone non tissés sur lesquels sont accrochées des molécules en forme de cage pouvant capter spécifiquement et individuellement les terres rares. « En faisant circuler la solution riche en métaux dans ce matériau, il est possible de les récupérer sans produire d'autres effluents », explique Pascal Viel, ingénieur au CEA-Iramis. Autre avantage : étant conducteurs électriques, ces feutres s'avèrent régénérables.



© E. Shilova

Notes :

1. Récupération des terres rares des lampes fluo-compactes hors d'usage.
2. Projet REECYCLE co-dirigé par Tomas Zemb de l'ICSM et Jean-Christophe Gabriel du CEA-Inac.

Matériau extractant mis en œuvre par la société AJELIS.

LE CEA DANS LES MÉDIAS

2015, LE TRAITEMENT DES BIG DATA SERA PLUS FIABLE, PLUS PRÉCIS ET PLUS SÉCURISÉ

INDUSTRIE & TECHNOLOGIES / 13 JANVIER 2015

Dans le cadre du développement rapide de l'Internet des Objets, le site rapporte que le marché du Big Data à l'international est estimé, par Data Corporation, à 125 milliards de dollars en 2015. Mais quels en seront les leviers d'innovation ? Selon Karine Goss, chef du CEA-List, fiabilité, capacité de traitement et cybersécurité sont parmi les enjeux technologiques majeurs dans ce domaine. Des enjeux sur lesquels le CEA mène déjà de nombreuses recherches.

Data center.



LES SCIENTIFIQUES NE PEUVENT PAS ÊTRE PLUS ALARMISTES

LA TRIBUNE / 23 JANVIER 2015

Jean Jouzel, climatologue au CEA et vice-président du Giec, revient sur trente ans d'études du changement climatique. L'occasion de rappeler la nécessité de plafonner la hausse des températures moyennes à 2 °C d'ici 2100. Un objectif auquel tous les pays ont adhéré et qui est techniquement possible et économiquement viable. « Mais le passage aux actes est très décevant et la hausse des émissions de CO₂ n'a jamais été aussi rapide que ces dernières années... » a confié le chercheur au quotidien.

UNE PISTE POUR CONTRER L'ANTIBIORÉSISTANCE

LA CROIX / 13 JANVIER 2015

Le journal présente les travaux de chercheurs du CEA-IBS qui sont parvenus, pour la première fois, à décrire avec précision les mécanismes de synthèse d'une paroi bactérienne. En utilisant la spectroscopie RMN du solide, ils ont mis en évidence les interactions entre le peptidoglycane (élément de base de la paroi) et une « enzyme trico-teuse ». Cette description devrait conduire, d'ici cinq à dix ans, à la mise au point de nouveaux antibiotiques aptes à contourner les résistances actuelles.

ATTENTION AUX SUBSTITUTS DU BISPHÉNOL A

QUEST FRANCE / 16 JANVIER 2015

Le bisphénol S et le bisphénol ont des effets tout aussi dangereux sur la santé humaine que le bisphénol A. En effet, le quotidien régional précise que, selon une étude menée par des chercheurs de l'Inserm, du CEA et de l'Université Paris-Diderot, ces produits réduisent aussi la production d'hormone mâle (testostérone) par les testicules du fœtus mâle. Conséquences : des défauts de masculinisation, voire la stérilité. Les scientifiques demandent une évaluation des risques de ces produits.



Le bisphénol A se trouvait notamment dans les bouteilles et les biberons en plastique.

ISKN LÈVE 1,6 MILLION D'EUROS POUR SON « ARDOISE MAGIQUE »

INFO-ECONOMIQUE.COM / 13 JANVIER 2015

1,6 million d'euros ! Tel est le montant de la deuxième levée de fonds de la société ISKN, essaimée du CEA-Leti. Le site précise que les fonds proviennent de Partech Ventures, de CEA investissement, ou encore de Pascal Cagni, ancien directeur général Europe d'Apple. Un abondement qui permettra de financer la croissance de la start-up et le développement de son produit « Isketchnote », solution pour tablettes numériques capable de numériser les notes de l'utilisateur en temps réel, grâce à un stylo aimanté.



KIOSQUE



Il était une fois les microbes...

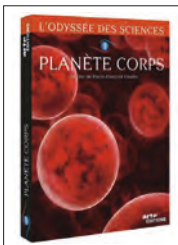
Tadayasu Sawaki possède un don étrange : il peut voir les micro-organismes à l'œil nu ! Un don qui lui permet d'apprendre à connaître l'infiniment petit via plusieurs mésaventures avec des microbes, des virus, des bactéries... Ce sont ces histoires que la série japonaise de manga « Moyasimon » raconte dans ses 13 tomes, dont les 3 premiers sont aujourd'hui disponibles en français ! Des ouvrages qui permettent d'en apprendre beaucoup sur ce qu'on ne peut voir et ce, de façon didactique et fantastique.

Moyasimon. Masayuki Ishikawa. Éditions Glénat. 9,15 €

Les sixties racontées par la science !

Comment est né le concept d'Internet ? Comment la pilule contraceptive s'est-elle imposée en France ? Cet ouvrage avance pas à pas dans les années soixante à travers plus de quarante histoires scientifiques, ou techniques, plus remarquables les unes que les autres ! Le lecteur découvre ainsi l'origine, l'audace et les conséquences durables d'un certain nombre de nouveautés. Il apparaît notamment que les découvertes et les innovations sont rarement réductibles à des « éclairs de génie » et souvent inséparables de leur contexte économique et culturel.

La science des sixties. Dir. par Olivier Néron de Surgy et Stéphane Tirard. Éditions Belin. 22,90 €



Exploration corporelle

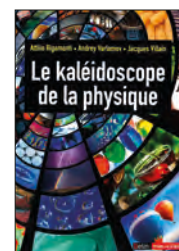
Comme la Terre, le corps humain est le théâtre d'une vie sauvage surprenante, dans des paysages fascinants. Le DVD « Planète Corps » propose un safari microscopique à la rencontre des créatures qui y vivent, s'affrontent, se nourrissent, se reproduisent, naissent ou meurent. Un surprenant voyage des savanes de la peau aux jungles des chevelures, des lacs acides de l'estomac aux cavernes humides des intestins... qui fait prendre conscience que la biodiversité de notre corps est essentielle à son équilibre.

Planète corps. Pierre-François Gaudry. Arte Éditions. 19,99 €

Le monde à travers le prisme de la physique

La physique sous-tend un grand nombre d'observations de notre quotidien... Ici, les trois auteurs, qui sont professeur, directeur de recherche et académicien, mettent ces phénomènes à la portée de tous en expliquant des résultats fondamentaux et des expériences. Aussi, couleurs de la mer et du ciel, verres chanteurs, ou encore boules de neige dans l'hélium sont expliqués dans l'une des quatre parties qui composent le livre : physique en plein air ; la physique de tous les jours ; le cuisinier savant et l'étrange monde quantique...

Le kaléidoscope de la physique. A. Rigamonti, A. Varlamov, J. Villain. Éditions Belin/Pour la science. 27 €



SUR LE WEB

SIMULER EN 3D L'ÉVOLUTION DE L'UNIVERS

Notre Univers contient des objets célestes très différents comme des nuages de gaz, des étoiles, ou des galaxies. Dans cette vidéo, découvrez comment les astrophysiciens du centre CEA de Saclay les simulent en 3D pour mieux les appréhender.

www.cea.fr/jeunes/meditaheque/video



FUN : FRANCE UNIVERSITÉ NUMÉRIQUE

Afin de faire évoluer la pédagogie sur des outils numériques, cette plateforme du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche propose une soixantaine de MOOC (des enseignements en ligne gratuits), dont Explor'Univers du CEA-Irfu...

<http://www.france-universite-numerique.fr/>

TRANSMISSION DE DONNÉES : LES PHOTONS EN RENFORT DES ÉLECTRONS

Miniaturiser et intégrer les composants optiques sur des puces en silicium pour augmenter le débit des communications : c'est l'enjeu de la photonique intégrée sur silicium. Une activité du CEA-Leti ici présentée en vidéo.

www.cea.fr/jeunes/meditaheque/video



universcience présente

QU'AVONS-NOUS
DANS LA TÊTE ?

Photo - Thus Lacoste - réalisation papier - m.v.factory / figure.fr

C3RV34U

L'EXPO NEUROLUDIQUE
M Porte de la Villette / cite-sciences.fr

À PARTIR DU
16
SEPTEMBRE
2014

cité
des sciences &
de l'industrie

On en parle #Cerveau



Le Parisien

L'EXPRESS

SCIENCE&VIE

Cerveau & Psycho

FUTURA SCIENCES

Syfy



Une affiche créée de la tête de
BROCA & WERNICKE
L'agence partenaire de
C3RV34U l'expo neuro ludique

C3RV34U, L'EXPO NEUROLUDIQUE

Paris. Cité des sciences et de l'industrie. Depuis septembre 2014

Dans une ambiance inspirée du mouvement surréaliste, la nouvelle exposition permanente de la Cité des sciences et de l'industrie est consacrée au cerveau humain. « Qu'avons-nous dans la tête ? », « le cerveau toujours actif », et « le cerveau social » sont les trois grands axes proposés pour découvrir le fonctionnement de cet organe et en tester les capacités à travers des jeux, des épreuves et des expériences. Un travail rendu possible grâce, notamment, à la caution scientifique de chercheurs CEA du centre Neurospin.