les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

192

Septembre 2014

GRAND ANGLE

L'ÉLECTRIQUE, TOUT VÉHICULE !

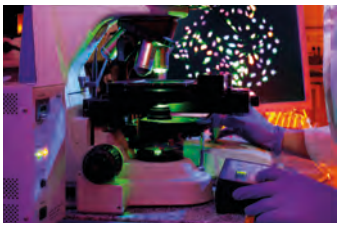
COUP DE PROJECTEUR

TRAQUE AUX COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DANS LA CANOPÉE PROVENÇALE

TOUT S'EXPLIQUE

LA DATATION PAR LE CARBONE 14

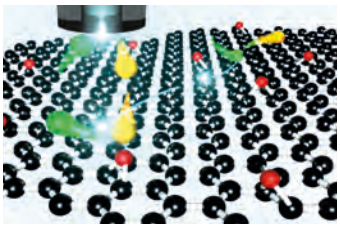
SOMMAIRE défis du cea 192



03 ACTUALITÉ

06 COUP DE PROJECTEUR
Traque aux composés organiques volatils dans la canopée provençale

08 À LA POINTE
Le graphène sur la bonne piste 08
L'ADN du blé décrypté 09
Le cœur d'Astrid entièrement modélisé 10
Détection ultrasensible de nanotubes *in vivo* 10
Le bestiaire intestinal se dévoile… 11



12 TOUT S'EXPLIQUE
La datation par le carbone 14

14 GRAND ANGLE
L'électrique, tout véhicule !
Limiter les gaz à effet de serre et les pollutions urbaines… la mobilité électrique devient impérative. Et elle peut compter sur CEA Tech pour accompagner les constructeurs à la pointe de l'innovation sur les matériaux, les systèmes, l'intelligence embarquée, les essais en situations réelles…

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, Nicolas Tilly et Vahé Ter Minassian | **Comité éditorial** Françoise Charbit, Alexandra Bender, Vincent Coronini, Claire Abou, Elizabeth Lefevre-Remy, Sophie Martin, Brigitte Raffray, Emanuelle Volant, Pierre-Damien Berger | **Iconographie** Micheline Bayard | **Infographie** David Torondel - COM Ci COM CA | **Photo de couverture** A.Chilton/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.

VOTRE AVIS NOUS INTÉRESSE

Chères lectrices, chers lecteurs,
Afin d'améliorer *Les Défis du CEA*, nous avons imaginé un questionnaire auquel nous vous remercions de répondre. Envoyé en version papier dans le précédent numéro (191), il est également disponible à l'adresse suivante : www.seprem-etudes.net/lesdefis.
Vos retours sont espérés au plus tard le 20 septembre.
La rédaction

ASSOCIATION

RÉDUIRE LE TRAFIC AUTOMOBILE ET LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Favoriser les modes de transports alternatifs plutôt que l'usage individuel de la voiture pour réduire le trafic et la pollution atmosphérique induite : voici l'enjeu de « PDIE Grenoble Presqu'île/GIANT »[1], association loi 1901 créée par 15 établissements[2] sous la présidence du CEA. Agissant sur un périmètre commun le long d'un axe routier stratégique pour l'agglomération grenobloise, ces acteurs s'unissent pour atteindre une cible ambitieuse : diviser par deux le nombre d'« autosolistes » sur les trajets domicile-travail en moins de dix ans, alors que la population de la presqu'île devrait doubler sur la même période (de 16 000 à 30 000 personnes).

Les PDE, leviers d'actions

Cette démarche poursuit celle initiée dans les années 2000 par Patrice Chastagner pour STMicroélectronics et par Jean Therme pour le CEA. À cette époque, conscients de la perspective de développement important de leurs activités, ils avaient lancé un Plan de déplacement d'entreprise (PDE). L'association « PDIE Grenoble Presqu'île/GIANT » regroupe ainsi les organisations qui ont déjà un PDE au sein de leur structure. Elle représente actuellement 16 000 usagers dont 5 000 disposent déjà d'un abonnement aux transports en commun avec des abondements qui peuvent aller jusqu'à 85 % de la facture au lieu des 50 % légalement prévus.

Véhicules électriques mis à la disposition des salariés du CEA pour leurs déplacements sur le centre de Grenoble.

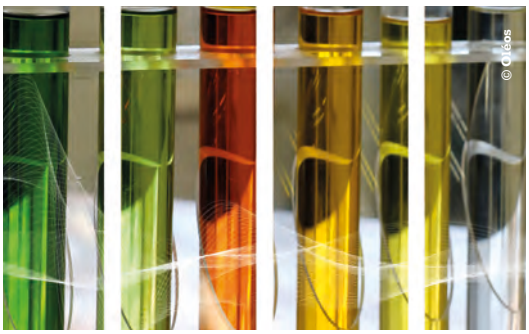
L'association organisera notamment un village de la mobilité alternative, le 18 septembre prochain, lors de la journée de la mobilité durable pilotée par le CEA[3]. Une importante flotte de véhicules électriques (2, 3 et 4 roues) ainsi que des systèmes hybrides ou à hydrogène y seront exposés...

Notes :

1. *Plan de déplacement interétablissements Grenoble Presqu'île/Giant. www.pdiegrenoblepresquile.fret*
2. *ARM, bioMérieux, CEA, CNRS, CORYS, ERDF, ESRF, GEG, Grenoble École de Management, Grenoble INP, ILL, Schneider Electric, Siemens, STMicroelectronics, UJF.*
3. *www.journee-mobilite-durable.fr/*

RECHERCHE COLLABORATIVE

UN LABORATOIRE COMMUN POUR LES COSMÉTIQUES DE DEMAIN



L'Institut de chimie séparative[1] **(ICSM) de Marcoule et la société Oléos créent le laboratoire commun VECT'OLEO,** grâce au soutien de l'ANR. Ce laboratoire exploitera le concept technologique développé et breveté par Oléos qui permet l'extraction des principes actifs des végétaux par un corps gras naturel (huile, beurre ou cire végétale). Objectif : développer une nouvelle génération de substances cosmétiques de conception écologique, les Oléoactifs®. Il s'agira notamment d'optimiser les systèmes ternaires huile végétale/agent complexant naturel/composé bioactif, pour offrir des performances accrues en termes de concentration et de stabilité.

Note :

1. *Unité mixte de recherche CEA/CNS/Université Montpellier 2/ENSCM.*

CONCOURS

I-LAB : 11 LAURÉATS ET UN PRIX SPÉCIAL POUR LE CEA

Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a annoncé les lauréats de la 16e édition de son concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes, rebaptisé i-LAB. Parmi eux, onze projets portés par, ou avec, le CEA ont été primés, dont EnerBee qui a obtenu le prix spécial du jury dans la catégorie « création-développement ».

© Enerbee

Générateur d'énergie autonome de la société EnerBee.

Cette année encore, le CEA a su démontrer le dynamisme de ses laboratoires et de ses chercheurs dans l'innovation, le transfert technologique et l'entrepreneuriat. Huit start-up ont été distinguées dans la catégorie « création-développement » pour financer une partie de leur programme d'innovation, grâce à une subvention pouvant atteindre 450 000 euros.
Les porteurs des trois projets primés dans la catégorie « Émergence » se verront, eux, dotés à titre personnel de 45 000 euros maximum pour valider le projet et sa preuve de concept.

Catégorie « création-développement »

EnerBee, société, lauréate du « prix spécial du jury », industrialisant un générateur d'énergie issue du mouvement, à partir de capteurs autonomes et sans fil issus de travaux du CEA-Leti et du laboratoire G2Elab.
eVaderis, société s'appuyant sur des technologies du laboratoire Spintec (CEA-Inac, CNRS, UJF) dans le domaine des semi-conducteurs « fabless ».
EXAGAN, société basée sur une technologie développée par la société Soitec et le CEA-Leti pour réaliser des transistors de puissance en nitrure de gallium sur des plaquettes de silicium.
GENEL, société visant des développements dans le domaine du criblage des molécules pour le secteur du médicament, à partir de travaux du CEA-IRTSV et du laboratoire Biomics.
ISKN, société commercialisant une technologie du CEA-Leti et de l'IRT Nanoelec adaptée à l'iPad qui permet de numériser croquis, notes et dessins, tout en conservant le plaisir de l'écriture.
POSITHÔT, société s'appuyant sur des développements réalisés par le CEA-Irfu pour fabriquer des technologies non radioactives d'analyse des défauts par positons, pour le contrôle non destructif.
HemoPrestodiag, société issue des technologies du CEA-Inac dans le domaine de la détection rapide de bactéries présentes dans le sang.
SuriCog, société fabricant des systèmes d'analyse et de connexion temps réel du regard avec tout environnement numérique ou virtualisé, à partir des compétences algorithmiques du CEA-List.

© P. Avavian/CEA

Le laboratoire Biomics met son matériel à disposition de la société GENEL, notamment son microscope à épifluorescence automatisé.

Catégorie « émergence »

STIMFLEX, projet issu de technologies du CEA-Liten visant à développer un patch d'électrostimulation pour le traitement des douleurs chroniques de type neuropathique.
SYLFEN, projet basé sur des développements du CEA-Liten pour industrialiser et commercialiser des systèmes à haut rendement de production d'électricité et de chaleur à partir de gaz naturel ou biogaz.
THERMADIAG, projet s'appuyant sur des systèmes logiciels, mis au point au CEA-IRFM, pour l'exploitation de diagnostics de thermographie infrarouge appliqués aux procédés industriels haute température.

Plus d'informations sur www.cea.fr

CONTRIBUTION

BIEN DATÉE, LA GROTTE CHAUVET EST CLASSÉE PAR L'UNESCO

Peinture d'un rhinocéros à corne dans la grotte Chauvet, rarement figuré dans les autres grottes ornées européennes.

Le 22 juin dernier, l'Unesco annonçait le classement de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc parmi les biens culturels du patrimoine mondial. **Les datations par le carbone 14 réalisées par le LSCE, révélant l'âge des œuvres pariétales, ont constitué un élément important dans cette décision.** Découverte en 1994, la grotte est devenue un site majeur de la Préhistoire tant ses 435 peintures, représentant plus de 14 espèces animales, sont exceptionnelles. Le LSCE a été sollicité pour dater ces œuvres par la méthode du carbone 14. Pendant vingt ans, il a assuré la sélection et le traitement de plus d'une centaine d'échantillons qui ont ensuite été mesurés en spectrométrie de masse par accélérateur sur le Tandétron du LSCE puis Artemis (LMC14)[1]. Ces datations ont révélé que la grotte avait été occupée au cours de deux périodes, entre 35000 et 32000 ans av. J.-C. et entre 29000 et 27000 ans av. J.-C. C'est au cours de la première période que se placent les peintures étudiées, les plus anciennes de l'art pariétal paléolithique.

Note :
1. *Laboratoire de mesure du carbone 14 (unité mixte de recherche CEA/CNRS/IRSN/IRD/ministère de la Culture).*

COLLABORATION EUROPÉENNE

LE CEA S'ALLIE AUX GRANDS ACTEURS EUROPÉENS DU CALCUL HAUTE PERFORMANCE

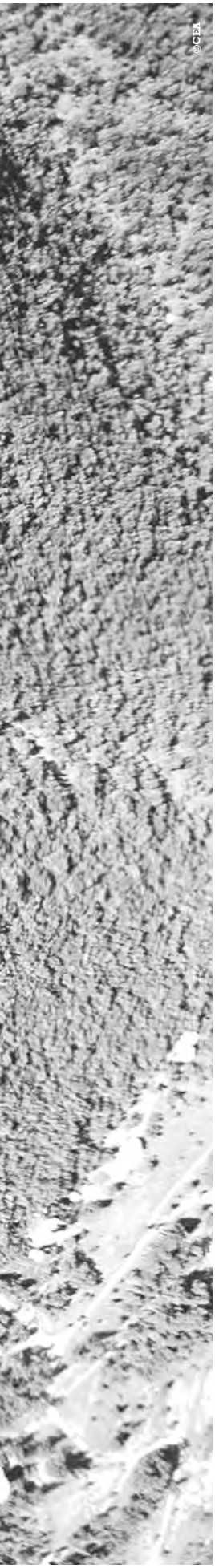
Dans le cadre de la stratégie européenne pour le Calcul Haute Performance (HPC) définie dans le programme Horizon 2020, **le CEA signe un accord avec le BSC[1], le CINECA[2] et le centre de recherche de Jülich.** Objectifs : coordonner leurs efforts de R&D et d'innovation dans le domaine HPC ; contribuer à la construction d'une industrie d'excellence et compétitive, couvrant la chaîne de valeur depuis le matériel jusqu'aux applications ; soutenir la stratégie en HPC de l'Union européenne.
L'ensemble des compétences des partenaires actifs de la Plateforme Technologique Européenne pour le Calcul Haute Performance (ETP4PHC), aux côtés d'industriels, constitue un atout majeur pour le co-design de systèmes de calcul de pointe, efficaces et utiles à la science, comme à l'industrie. Par ailleurs, cette alliance sera favorable au développement de plateformes collaboratives pour tester les prototypes matériels et logiciels, et facilitera des déploiements pilotes à grande échelle de systèmes. Ces derniers porteront les promesses d'une profonde mutation dans les approches de la simulation intensive, pour répondre à des défis sociétaux et renforcer la primauté industrielle et la position scientifique de l'Europe.

Notes :
1. Barcelona Supercomputing Center, *Espagne.*
2. Cineca Consorzio interuniversitario, *Italie.*

TEXTO

Dans le giron d'Athena
Le CEA rejoint l'Alliance thématique nationale des sciences humaines et sociales, Athena. Philosophes, économistes ou sociologues : le CEA compte aujourd'hui une cinquantaine de chercheurs travaillant dans le domaine des sciences humaines et sociales, notamment au sein de laboratoires tels que le Larsim, I-tese ou ideas lab. Cette adhésion du CEA est porteuse de la volonté de l'organisme de conduire une recherche scientifique exigeante, prenant en compte la forte dimension humaine et sociétale de ses activités, tel que l'a signifié l'Administrateur général du CEA, Bernard Bigot : *« Par les échanges et le croisement de culture qu'elle suscite, Athena est un moyen de nourrir notre vision stratégique largement fondée sur la prise en compte de notre environnement et de son évolution, ainsi que des enjeux sociétaux et des attentes de nos concitoyens. »*

À l'Observatoire de Haute Provence, les chercheurs du LSCE ont installé un mât pour des relevés de COV à 2 et 10 m (1) et une chambre dynamique pour connaître l'émission d'isoprène d'une branche (2). Le site était par ailleurs équipé d'un toit ouvrable (3) pour étudier l'influence d'un stress hydrique sur les résultats. L'ensemble des données est extrapolé à l'échelle du site entier grâce à une cartographie réalisée avec le système Lidar du CEA embarqué sur un ULM (4).



TRAQUE AUX COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DANS LA CANOPÉE PROVENÇALE

Au sein de la forêt de chênes blancs de l'Observatoire de Haute Provence, des chercheurs du LSCE étudient les flux de composés organiques volatils, dans le cadre du projet CANOPEE[1]. Leurs résultats contribueront à affiner les modèles climatiques actuels, dans lesquels ces molécules, précurseurs de l'ozone, jouent un rôle important.

La forêt est un vaste écosystème jouant un rôle primordial dans la composition chimique de l'atmosphère : elle émet des **composés organiques volatils**•[2] (COV). Synthétisés par les végétaux pour interagir avec leur environnement, comme en cas de stress hydrique, ces COV sont des précurseurs de l'ozone. À ce titre, ils constituent un paramètre important des **modèles de chimie-transport** • et de climat. *« Or, ces modèles considèrent que l'ensemble des COV émis par les feuilles atteint l'atmosphère. Avec le projet CANOPEE, nous souhaitons savoir si ces derniers, avant d'y parvenir, peuvent éventuellement être modifiés par des processus chimiques se déroulant au sein de la* ***canopée***•*. Les résultats permettront ensuite d'affiner les modèles »* explique Juliette Lathière, chercheuse au LSCE et coordinatrice du projet.

Des mesures au niveau de la branche, extrapolées à l'échelle de la forêt

Les recherches sur cette chimie intra-canopée ont été menées à l'Observatoire de Haute Provence, dont la forêt est composée à 90 % de chênes blancs. Objet de la traque : l'isoprène, représentant 50 % des COV biogéniques. *« Durant une campagne de mesures[3], nous avons étudié son émission à l'échelle d'une branche enfermée dans une* ***chambre dynamique***•*, laquelle prend également en compte les données environnementales »* précise Christophe Boissard du LSCE. Grâce à une cartographie préalable du site, réalisée avec le système Lidar du CEA embarqué sur un ULM, ces résultats d'émission dans la chambre seront extrapolés à l'échelle du site entier.

La clé du mystère de la diminution de l'isoprène : une dilution dans l'air

En parallèle, des mesures de flux ont été réalisées à 4 m au-dessus de la forêt pour évaluer les échanges entre la biosphère et l'atmosphère : *« en constatant une diminution de l'isoprène en sortie de forêt, nous avons pensé que ce composé avait été transformé dans la canopée. Mais ne relevant que très peu de flux d'éléments secondaires qui auraient pu en témoigner, nous avons finalement conclu que l'isoprène était peu réactif au sein de cette canopée basse et qu'il subissait principalement des processus de dilution dans l'air »* commente Valérie Gros, chercheuse au LSCE.
Le modèle CACHE de simulation de flux d'émission biogéniques dans la canopée sera évalué à la lumière de ces premières mesures. *« L'utilisation des paramètres environnementaux et chimiques caractéristiques du site étudié (hauteur de la canopée, surface foliaire, facteur d'émission, concentration initiale d'ozone…) a déjà permis la réalisation de simulations à comparer aux données récoltées »* confirme Juliette Lathière. Quant aux autres COV, ils font l'objet d'une seconde campagne dont les données sont en cours de dépouillement.

Amélie Lorec

• **COV, composés organiques volatils :** composés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène pouvant facilement se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère.

• **Modèle de chimie-transport :** modèle qui représente le transport et la chimie d'espèces chimiques pour quantifier l'évolution d'un panache de polluants en fonction du temps et du domaine.

• **Canopée :** espace de la forêt compris entre le sol et la couche supérieure de la couverture végétale.

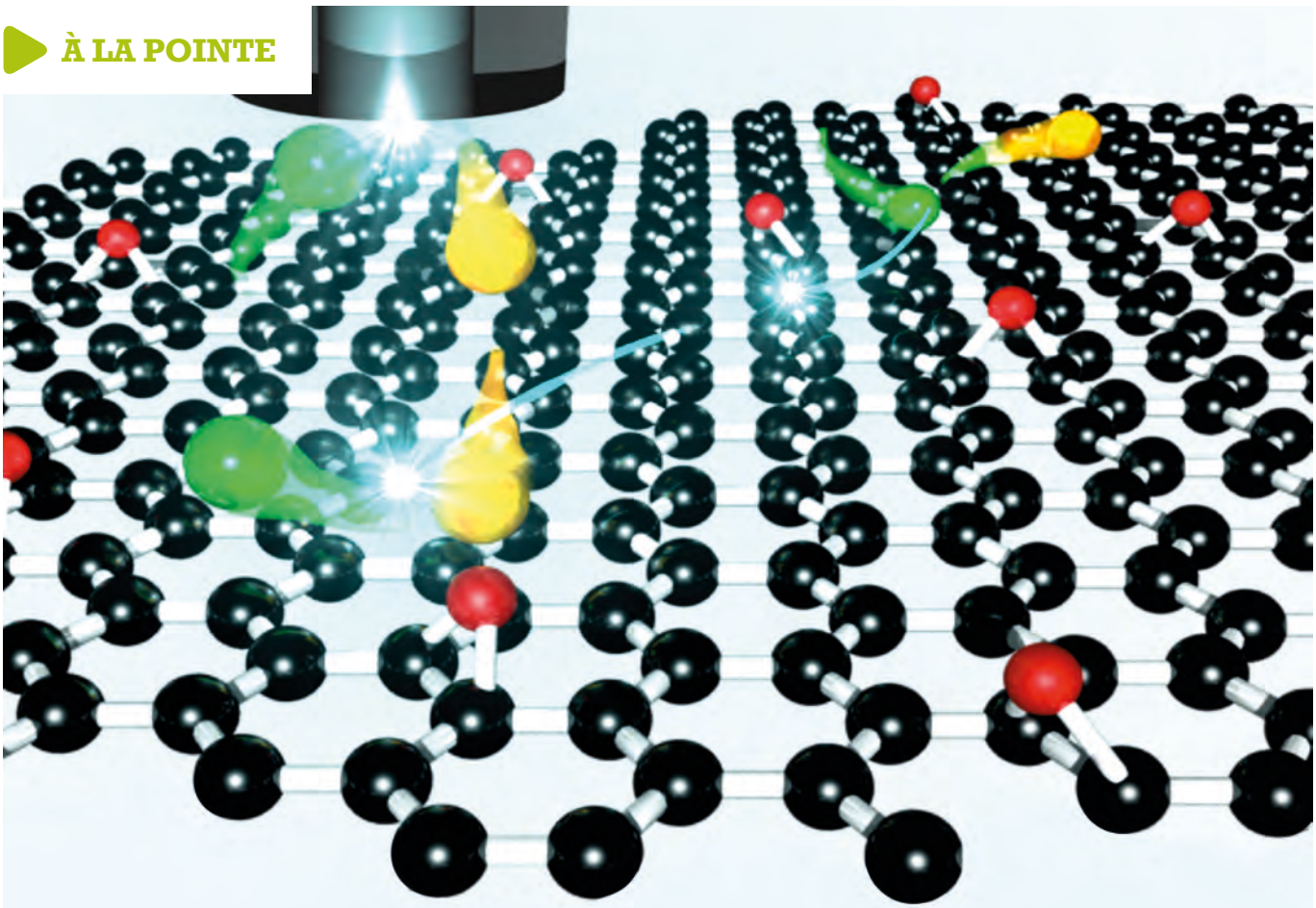
• **Chambre dynamique :** chambre de 60 L d'air positionnée autour d'une biomasse (branche) et d'un environnement connu (T°C, lumière, eau, CO_2…).

Notes :

1. *Lancé dans le cadre du projet Charmex (*Chemistry-Aerosol Medierranean Experiment*).*

2. *Au niveau global, 90 % des COV sont biogéniques, c'est-à-dire de source liée au développement de la vie (forêt, herbacés, cultures). Contre 10 % de source anthropique.*

3. *De mai à juin 2012.*



Vue d'artiste de la réduction locale de l'oxyde de graphène (noir) au contact du naphtalène (jaune puis vert), avec circulation des électrons (traînées bleues). Les boules rouges représentent l'oxygène qui diminue après le passage de la sonde.

NANOMATÉRIAUX

LE GRAPHÈNE SUR LA BONNE PISTE

L'oxyde de graphène présente de nombreux intérêts : facile à obtenir et à manipuler, il peut être déposé en couches très minces sur n'importe quel support. Une équipe du CEA-Iramis vient d'ajouter une nouvelle corde à son arc en développant une solution originale pour le rendre localement conducteur, ouvrant ainsi la porte à de nombreuses applications.

Les propriétés de conduction électronique du graphène en font un matériau de choix. Il est ainsi très prisé pour réaliser de nouveaux composants pour la nanoélectronique, la bio-analyse ou le stockage électrochimique de l'énergie. Mais la conception de ces composants passe par la manipulation délicate des feuillets de graphite d'une finesse extrême, de l'épaisseur d'un atome. Une voie originale, qui fait l'objet d'une attention croissante de la part de la communauté scientifique, est d'utiliser l'oxyde de graphène (facile à obtenir à partir de graphite). Ses feuillets sont en effet aisément manipulables car ils forment des suspensions stables dans de nombreux solvants (à la différence du graphène) et peuvent se déposer sur n'importe quelle surface.

De l'oxyde de graphène réduit pour conduire les électrons

À partir de ce dépôt de graphène oxydé, une équipe du CEA-Iramis, en collaboration avec l'ESPCI Paris Tech[1], a récemment proposé une solution inédite pour obtenir des pistes conductrices[2]. Cette méthode s'avère suffisamment performante pour permettre ultérieurement de fixer différents groupes chimiques sur les zones réduites de l'oxyde afin de le fonctionnaliser à façon. Pour la réduction, les scientifiques utilisent une microélectrode plongée dans une solution contenant du naphtalène, placée à proximité de la zone à modifier pour générer des espèces chimiques fortement réactives. Celles-ci vont diffuser vers la surface et réduire le graphène oxydé qu'elles rencontrent. « *Cette étape permet ainsi de créer localement un oxyde de graphène réduit qu'on peut alors utiliser comme une piste conductrice d'électrons* » explique Renaud Cornut, chercheur au CEA-Iramis. Par des techniques courantes d'électro-greffage de surfaces conductrices, l'équipe peut ensuite coller sur la surface modifiée toute sorte de groupements chimiques, eux-mêmes porteurs d'autres fonctions, comme des **amines**• par exemple. Ces fonctions peuvent alors être utilisées pour fixer des nanoparticules d'or ou des biomolécules sur une surface, ce qui ouvre la voie à de nombreuses perspectives, notamment en bioanalyse.

Vahé ter Minassian

• **Amine :** composé organique dérivé de l'ammoniac dont certains hydrogènes ont été remplacés par un groupement carboné.

Notes :

1. *École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris.*
2. Journal of American Chemical Society, *14 mars 2014.*

CEA - Iramis

L'Institut rayonnement et matière de Saclay rassemble sept laboratoires du CEA, en partenariat avec l'École Polytechnique, le CNRS et l'ENSICAEN. Il mène des recherches fondamentales en nanosciences et systèmes complexes pour les énergies et les technologies pour l'information et la santé.

GÉNOMIQUE

L'ADN DU BLÉ DÉCRYPTÉ

Une collaboration internationale, impliquant le Genoscope du CEA-IG, livre la première séquence de référence du plus grand des chromosomes du blé ! Des résultats prometteurs pour l'amélioration future de la production de cette plante au cœur de notre alimentation.

Doté d'un génome **polyploïde**• cinq fois plus grand que celui de l'homme, le blé tendre ne se laisse pas si simplement séquencer ! C'est à ce défi de taille que le projet 3BSEQ, piloté par l'Inra, s'est attaqué. *« Notre stratégie a été de fragmenter ce génome pour en isoler le chromosome 3B, le plus grand et le plus répété des 21chromosomes répertoriés »* précise Patrick Wincker, chercheur CEA au Genoscope. Grâce au développement d'outils bio-informatiques et à l'identification de plusieurs dizaines de milliers de marqueurs moléculaires, les scientifiques l'ont ensuite séquencé et assemblé.

Une répartition inégale des gènes sur le chromosome

Avec 7 700 gènes identifiés, ce travail a mis en évidence l'organisation structurale et fonctionnelle très marquée du chromosome 3B : une région centrale constituée de gènes anciens participant au métabolisme de base de la plante ; deux extrémités significativement plus riches en gènes. *« Cette plus forte densité est une marque évolutive naturelle du blé qui s'explique par des duplications récentes liées à des phénomènes d'adaptation à l'environnement, comme la résistance à des pathogènes et la tolérance à la sécheresse »* expose Patrick Wincker. Aussi, cette nouvelle **séquence de référence**• du chromosome 3B va permettre de repérer des gènes d'intérêt agronomique pour faire émerger des variétés plus résistantes et offrant un meilleur rendement. Une nécessité car le blé tendre constitue l'aliment de base de plus d'un tiers de la population mondiale, alors que sa production est en passe de devenir insuffisante d'ici 2050… Toujours dans un souci d'amélioration variétale, les mêmes chercheurs viennent de publier la séquence de référence du **génome**• complet du colza, également polyploïde.

Amélie Lorec

CEA - IG

L'Institut de génomique du CEA dynamise et fédère les efforts de recherche en génomique, en partenariat avec notamment le CNRS, l'Inserm, l'Inra et l'Inria. Ses laboratoires d'informatique et de bio-informatique, tels que ceux du Génoscope, interviennent tout au long des processus de génération de données et de leurs traitements.

• **Polyploïde :** qui associe plusieurs sous-génomes issus de plantes ancestrales.

• **Séquence de référence :** séquence assemblée et ordonnée de tous les gènes d'un chromosome.

• **Génome :** ensemble des chromosomes, et donc des gènes, portant le patrimoine génétique d'un individu.

TEXTO

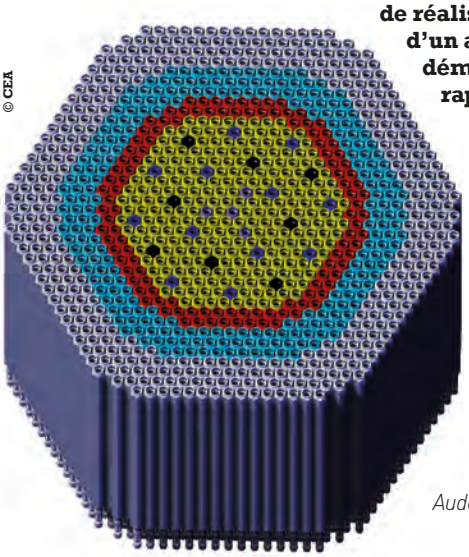
Les coups de pédales des cyclistes mesurés par tous les temps

Le CEA-Leti et CORIMA annoncent le développement d'un système de capteurs intégrés pour mesurer la puissance des cyclistes pendant le pédalage. Plus léger, plus précis et plus facile à intégrer sur la roue arrière que les capteurs existants, il fournira, en outre, des données fiables quel que soit le temps ou le type de route. C'est *via* la plateforme de développement et de prototypage du CEA-Leti destinée à aider les PME, que CORIMA a pu bénéficier de l'expertise de l'institut en électronique, en traitement des signaux et en communication sans fil. De son côté, la société, leader dans la fourniture de roues carbone, connaissait parfaitement la modélisation de la distribution des efforts dans la roue. Le capteur finalement développé rehausse la norme de mesure de la puissance sur pédale.

NUCLÉAIRE DU FUTUR

LE CŒUR D'ASTRID ENTIÈREMENT MODÉLISÉ

Le nouveau code de neutronique multi-filière APPOLO3®, développé par des équipes du CEA-DEN, prouve ses excellentes performances. Pour la première fois, il a permis de réaliser la modélisation et la simulation neutronique d'un assemblage complet du cœur d'Astrid, projet de démonstrateur technologique de réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium (RNR-Na).



© CEA

Modélisation de l'ensemble du cœur d'Astrid.

Les équipes du CEA-DEN ont implémenté de nouveaux développements dans APOLLO3® pour mettre au point, vérifier et valider un premier modèle de calcul d'un assemblage de combustible fissile du cœur aux géométries hétérogènes d'Astrid. Objectif ? Générer des données d'entrée plus précises et réalistes que celles obtenues avec les codes de 2e génération, pour le calcul de cœur. Ces calculs d'assemblage aux gains de précision accrus serviront de base solide à l'élaboration de schémas de calcul en soutien à la phase de définition détaillée du cœur d'Astrid, et offriront ainsi une plus grande flexibilité au niveau de sa conception. Prochaine étape : la réalisation de calculs 3D du cœur complet grâce à une prise en compte plus précise de la physique des RNR-Na.

Aude Ganier

CEA - DEN

La Direction de l'Énergie Nucléaire est en charge de la R&D consacrée à l'industrie nucléaire. Ses programmes sont faits à la demande de l'État ou des industriels et sont liés aux grands enjeux du développement de l'Énergie Nucléaire, *via* notamment les recherches sur la 4e génération de réacteurs.

NANOSCIENCE

DÉTECTION ULTRASENSIBLE DE NANOTUBES *IN VIVO*

Les nanotubes de carbone sont porteurs de forts enjeux dans divers secteurs industriels, comme l'électronique. Dans le cadre des programmes transversaux Toxicologie et Nanoscience, les chercheurs du CEA développent une méthode pour étudier les effets potentiels de ces nanoparticules sur le vivant.

Déterminer, chez la souris, la distribution de nanotubes de carbone au cours du temps, suite à une inhalation : voici la prouesse de chercheurs du CEA et du CNRS qui ont mis au point une méthode de détection ultrasensible de ces nanoparticules *in vivo*. Tout repose sur leur marquage radioactif : pendant la fabrication des nanotubes, des scientifiques du CEA-IBITECS et du CEA-Iramis sont parvenus à incorporer un isotope radioactif (^{14}C) tous les dix atomes de carbone. Ainsi, par radio-imagerie, il est possible de repérer cette radioactivité au sein d'un organisme vivant, même en très petite proportion. *« Une fois le procédé mis au point, nous avons administré, par voie respiratoire, 20 microgrammes de nanotubes de carbone radiomarqués à une centaine de souris »* explique Vincent Dive, chercheur au CEA-IBITECS. Celles-ci ont ensuite fait l'objet d'un suivi régulier par imagerie pendant un an. *« Nous avons détecté jusqu'à une vingtaine de nanotubes de carbone sur une coupe de tissus de l'animal, ce qui témoigne de la grande sensibilité de la méthode. Nous avons ainsi pu observer qu'une faible fraction (0,75 %) de la quantité initialement inhalée franchissait la barrière pulmonaire pour se localiser dans le foie, la rate et la moelle osseuse »* indique Vincent Dive. Bien que ces résultats ne soient pas extrapolables à l'homme, des études ultérieures devraient préciser si ce constat perdure au-delà d'une année et déterminer l'impact des caractéristiques des nanotubes (longueur, diamètre, état de surface…).

Amélie Lorec

CEA - IBITECS

L'Institut de biologie et de technologie de Saclay mène des projets de recherche fondamentale et de recherche finalisée dans des domaines très variés des sciences du vivant dont la pharmacocinétique de médicaments ou de molécules biologiques.

GENOMIQUE

LE BESTIAIRE INTESTINAL SE DÉVOILE…

Les bactéries intestinales intéressent les chercheurs dans la compréhension de certaines maladies telles que l'obésité, le diabète de type 2, la maladie de Crohn… L'intestin de chaque individu en contient 100 000 milliards, mais seulement 15 % des espèces qui le composent sont connues. Un *consortium* international, comprenant le CEA, permet une avancée spectaculaire dans la connaissance de nouvelles espèces grâce à ses travaux sur le métagénome• **des bactéries intestinales…**

Développer une nouvelle méthode pour l'analyse du métagénome du **microbiote intestinal**• ? C'est chose faite grâce aux efforts d'une collaboration internationale[1] pilotée par l'Inra et impliquant une équipe du CEA-IG. En effet, les chercheurs sont parvenus à faciliter l'étude de celui-ci, tout en améliorant la qualité, la précision et la rapidité des données obtenues. Pour cela, ils sont partis d'une hypothèse simple, exposée par Éric Pelletier, chercheur au CEA : *« Dans le tube digestif d'un individu, le contenu en gènes est globalement constant pour chaque espèce bactérienne. En revanche, l'abondance relative des différentes espèces bactériennes varie fortement d'un individu à l'autre, d'un facteur 10 à 1 000. Par conséquent, la quantité de gènes de chacune des espèces varie d'autant. »* En mesurant chez différents individus l'abondance des gènes répertoriés dans un catalogue en contenant 3,9 millions, il est alors possible de regrouper ceux appartenant aux mêmes espèces bactériennes.

Près de 7 400 groupes de gènes identifiés

Les scientifiques se sont prêtés à l'exercice sur près de 400 échantillons de selles d'individus danois et espagnols. Ils ont réparti la majorité des gènes du catalogue dans 7 381 groupes de co-abondance. Résultats : environ 10 % de ces groupes correspondent à des équivalents métagénomiques d'espèces bactériennes, dont la majeure partie était inconnue ! Les 90 % restant représentent des groupes de virus bactériens, de **plasmides**• ou encore de gènes protégeant les bactéries d'attaques virales. Des données qui ont ensuite permis aux chercheurs de reconstituer le génome complet de 238 nouvelles espèces métagénomiques MGS, sans culture préalable des bactéries. Une approche révolutionnaire puisque, vivant sans oxygène, dans un environnement difficile à caractériser et à reproduire, la plupart des bactéries intestinales ne peuvent pas être cultivées en laboratoire. Enfin, plus de 800 relations de dépendance au sein des 7 381 groupes de gènes ont été démontrées, comme le cas des bactériophages nécessitant la présence de bactéries pour survivre.
L'étude de cette cohorte d'individus permet en outre de définir des relations d'association (ou d'exclusion) de ces MGS, apportant beaucoup à la compréhension du fonctionnement global de la population microbienne intestinale, et donc de certaines maladies.

Amélie Lorec

• **Métagénome :** ensemble des séquences ADN récupérées depuis un environnement donné plus ou moins complexe, sans étape de culture préalable.

• **Microbiote intestinal :** ensemble des bactéries du tube digestif.

• **Plasmide :** fragment d'ADN de certains microorganismes (notamment de bactéries), séparé et indépendant du fragment principal (chromosome).

Note :

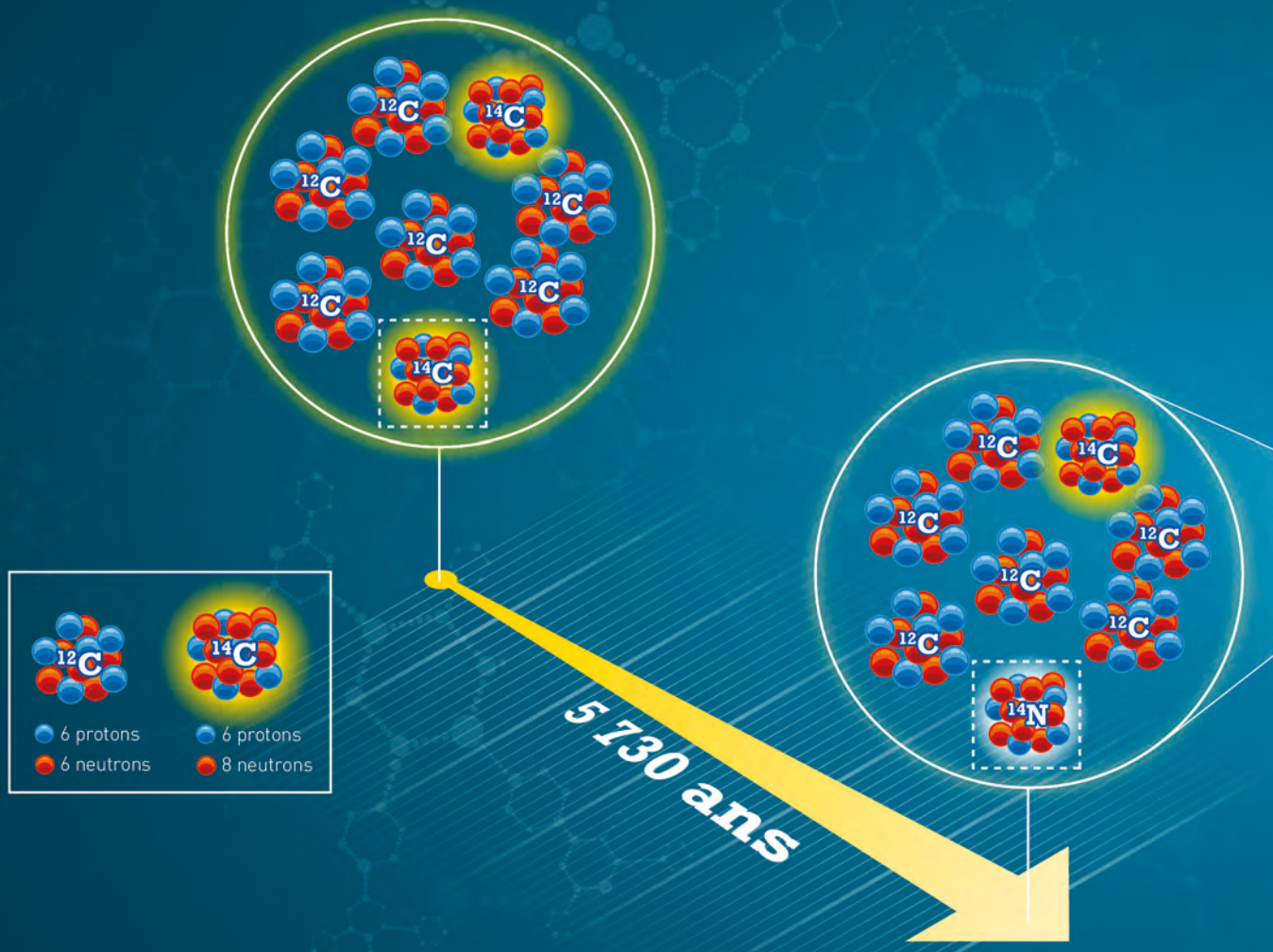
1. *Au sein du consortium MetaHIT.*

Bactérie intestinale *Escherichia coli* en grossissement x 10 000.

© Eric Erbe

LA DATATION PAR LE CARBONE 14

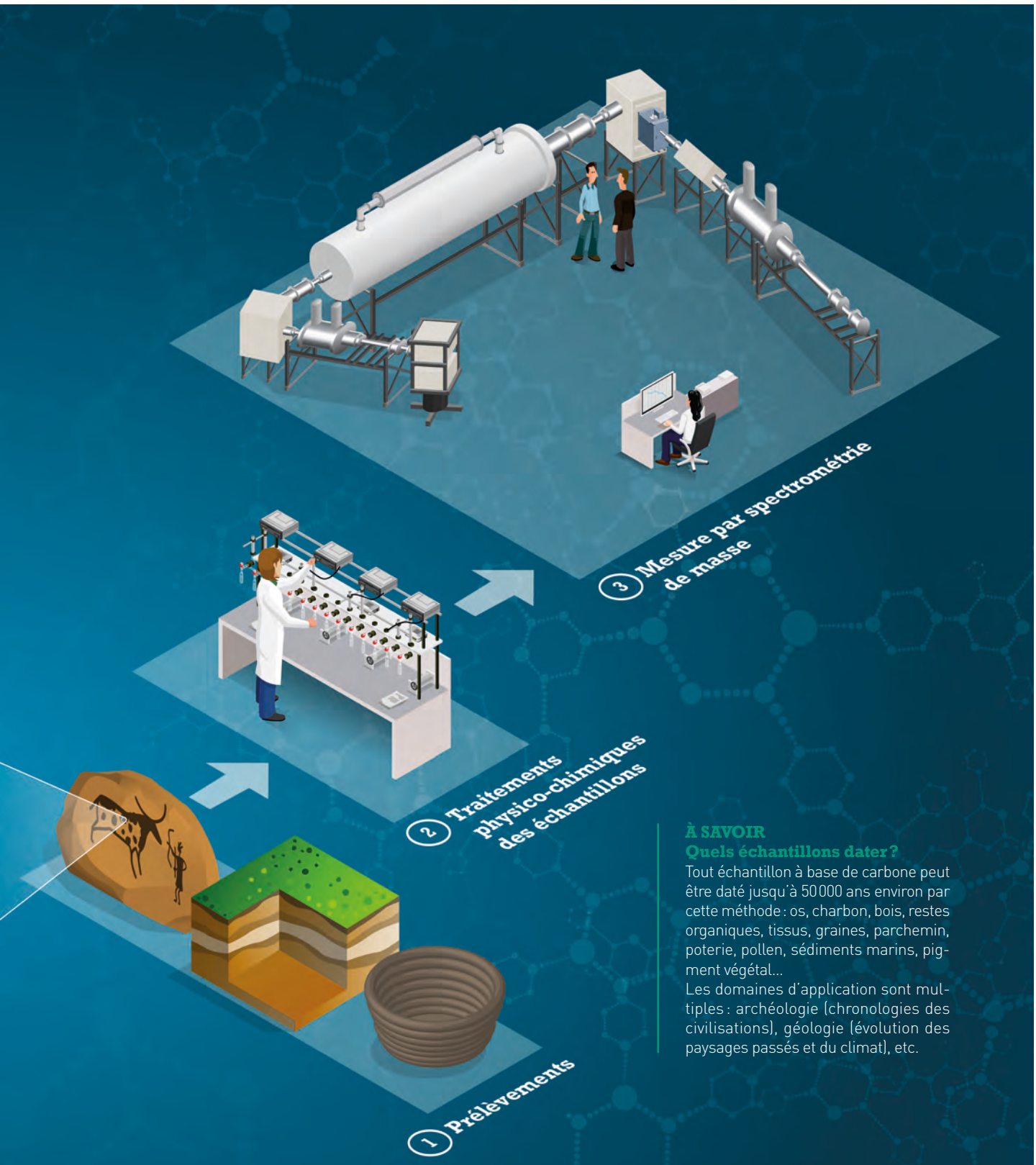
La datation par le carbone 14 permet d'estimer l'âge de vestiges archéologiques, peintures rupestres, sédiments… Son principe : utiliser les propriétés de décroissance radioactive de l'isotope ^{14}C, atome présent dans toute matière organique et dans les carbonates. Cette technique est utilisée pour dater des objets de quelques centaines d'années à 50 000 ans environ.



Le carbone 14
Le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone. Sur Terre, il y a un atome de ^{14}C pour mille milliards de ^{12}C (non radioactif). Les isotopes du carbone sont assimilés par les organismes vivants tout au long de leur vie (photosynthèse, alimentation, cycle du carbone…).

La décroissance du ^{14}C
L'assimilation du carbone s'arrête lorsque l'organisme meurt. La quantité de ^{12}C (non radioactif) qu'il contient reste stable, alors que celle de ^{14}C (radioactif) diminue dans une proportion déterminée par sa période de décroissance radioactive, également appelée demi-vie. Celle du ^{14}C est de 5 730 ans : au bout de cette période, la moitié des atomes de ^{14}C se sont désintégrés pour devenir de l'azote (^{14}N) non radioactif.

Infographie : David Torondel com ci com ça **- Textes : Nicolas Tilly et Céline Lipari**



À SAVOIR
Quels échantillons dater ?
Tout échantillon à base de carbone peut être daté jusqu'à 50 000 ans environ par cette méthode : os, charbon, bois, restes organiques, tissus, graines, parchemin, poterie, pollen, sédiments marins, pigment végétal…
Les domaines d'application sont multiples : archéologie (chronologies des civilisations), géologie (évolution des paysages passés et du climat), etc.

La datation
La datation repose sur la mesure du rapport $^{14}C/^{12}C$ dans l'échantillon, normalisée à la mesure du même rapport d'un échantillon connu : cela permet de déduire l'« âge carbone 14 ».
La production de carbone 14 étant variable au cours du temps, on déduit « l'âge réel » de l'échantillon par comparaison avec une courbe de calibration, établie à partir de nombreuses références d'âge connu.

Les techniques de datation
Au préalable, l'échantillon prélevé est traité (réactions physico-chimiques) pour en extraire le carbone. Il est alors introduit dans un détecteur à scintillation pour mesurer sa radioactivité en ^{14}C, ou dans un spectromètre de masse par accélérateur pour compter directement ses atomes de ^{14}C. Cette dernière technique permet d'utiliser des quantités de carbone beaucoup plus petites, qui peuvent désormais atteindre quelques microgrammes seulement.

L'ÉLECTRIQUE, TOUT VÉHICULE !

Installé sur le *showroom* de Minatec sur le centre CEA de Grenoble, ce véhicule électrique permet de présenter aux industriels l'offre CEA Tech sur les transports électriques et leur gestion énergétique intelligente.

Plus d'informations sur www.cea.fr

© A. Chilton/CEA

Stabiliser les émissions de gaz à effet de serre, lutter contre les pollutions urbaines, réduire le déficit commercial lié aux importations en carburants fossiles de la France. Tous ces éléments stratégiques font de la mobilité électrique un impératif. Certes, la voiture électrique n'a pas encore envahi les marchés et les industriels cherchent encore le bon modèle pour des usages qui restent à inventer. Il n'empêche, sur route, sur mer ou dans les airs, l'électricité trace son chemin. Et elle peut compter sur les spécialistes de CEA Tech pour accompagner les constructeurs à la pointe de l'innovation sur les matériaux, les systèmes, l'intelligence embarquée, les essais en situations réelles…
Dossier réalisé par Matthieu Grousson

LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE CLÉS EN MAIN

INTERVIEW LAURENT ANTONI

La mobilité électrique concerne tous les modes de transport

DE L'INTELLIGENCE SOUS LE CAPOT

LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE CLÉS EN MAIN

Des innovations à tous les niveaux et une infrastructure de recherche au plus près des besoins des constructeurs. Telle est l'équation gagnante de l'institut Liten de CEA Tech, devenu un acteur incontournable du développement de la mobilité électrique.

Émissions carbonées, pollution de l'air urbain, dépendance aux carburants fossiles de la France… et en même temps, besoins croissants de mobilité. À n'en pas douter, après un siècle de domination sans partage des hydrocarbures, la revanche de la fée Électricité a enfin sonné ! Une preuve ? L'objectif fixé par le gouvernement en 2009 d'atteindre deux millions de véhicules électriques à l'horizon 2020. Le développement de la « mobilité électrique » est désormais un enjeu global allant de l'automobile au spatial, en passant par le transport maritime et l'aéronautique. Bien sûr, cette révolution ne sera effective qu'au prix d'innovations à tous les niveaux, couplées à la démonstration de la viabilité industrielle et économique des technologies imaginées dans les laboratoires.

Pour ce faire, le CEA-Liten dispose d'une force de frappe unique en Europe, à savoir une recherche de pointe et des infrastructures à même de répondre aux besoins des constructeurs. *« Historiquement, c'est lié aux compétences du CEA sur les matériaux »*, explique Florence Fusalba, ingénieur-chercheuse au CEA-Liten à Grenoble.

Une compétence historique sur les matériaux

« Nous sommes en particulier à l'origine d'importants développements sur les batteries lithium fer phosphate. » Plusieurs brevets ont ainsi été déposés au début des années 2000 et des licences transférées en 2008 à la société belge Prayon, leader mondial du phosphate, qui a désormais la capacité de produire 100 tonnes par an de

DES LIGNES PILOTES POUR L'ENSEMBLE DES ÉTAPES DE FABRICATION…

© D.Guillaudin/CEA

Matériau du CEA pour les batteries lithium fer phosphate.

© P.Avavian/CEA

Préparation d'une encre pour les électrodes de la batterie.

© P.Avavian/CEA

Réalisation des feuillets des électrodes.

© 2013 Amsterdam rail

Bus 100% électrique IVECO Ellisup dont la conception a associé le CEA.

phosphate de fer lithié. Autre exemple, les cellules électrochimiques de batteries développées pour l'aéronautique. Présentées mi-2013 au Salon du Bourget, elles affichent une densité d'énergie de 300 watts-heure par kilo ! Pour parvenir à cette prouesse, les scientifiques grenoblois ont proposé un matériau d'électrode négative à base de silicium.

Pour mémoire, le principe d'une batterie est fondé sur la circulation d'ions entre deux électrodes et celle d'un courant électrique dans un circuit extérieur. Lors de la charge d'une batterie lithium-ion, l'électrode positive libère des ions lithium qui, *via* un électrolyte liquide, sont incorporés à l'électrode négative en consommant des électrons. Lors de la décharge, ces derniers sont rendus sous la forme d'un courant tandis que les ions lithium sont réinsérés dans l'électrode positive. Or, comme l'explique Florence Fusalba, *« si le silicium permet d'emmagasiner une importante densité d'énergie lorsqu'il intègre des ions lithium, c'est au prix d'une importante expansion volumique à l'origine d'une durée de vie en cyclage limitée… »* À moins de l'associer à du carbone dans un composite tel que l'ont proposé, et breveté, les spécialistes du Liten ! Une innovation synonyme de nouveau matériau composite et aussi d'une nouvelle formulation de l'encre servant au dépôt du carbone, et de l'électrolyte associé. Sans oublier la conception et le design de la cellule incorporant cette technologie électrochimique, le tout compatible avec les contraintes d'une production industrielle.

La maîtrise de l'ensemble de la chaîne de valeur

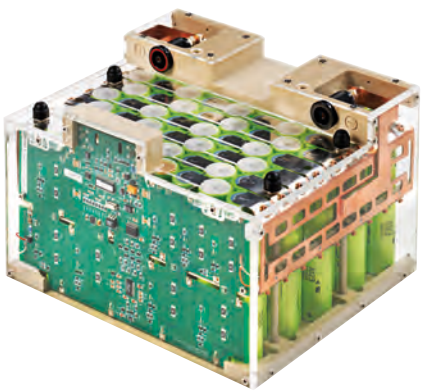
Les compétences du Liten sur la mobilité électrique couvrent toute la chaîne, en collaboration avec les autres instituts de CEA Tech (*voir article suivant*) : conception des matériaux, intégration des batteries dans des systèmes, suivi de leurs performances en situation réelle et de leurs interactions avec les infrastructures de recharge, gestion du couplage transport-habitat… *« La montée en puissance remonte à 2010, suite à la signature d'importants contrats notamment avec Renault,* explique Florence Fusalba. *Nous sommes alors passés de la preuve de concept en laboratoire au système complet. »* Pour cela, le Liten s'est doté d'importantes plateformes pour la fabrication de cellules et l'assemblage des batteries et pour leur intégration dans des véhicules terrestres, aériens ou marins. *« Nos installations, couplées à nos moyens de nanocaractérisation et de modélisation, sont à l'état de l'art mondial et probablement uniques en Europe dans un centre de recherche »*, indique Christophe Lefebvre, également ingénieur-chercheur au Liten.

© P.Avavian/CEA

Inspection d'un bobineau.

© P.Avavian/CEA

Connexion des modules de la batterie.



© D.Guillaudin/CEA

Prototype RC1 d'une batterie lithium.

Meilleur exemple de ce savoir-faire multicarte ? Le projet Forewheel piloté par Michelin visant la réalisation d'un démonstrateur de voiture électrique s'appuyant sur l'*Active Wheel*, roue intégrant l'ensemble de la motorisation électrique et des systèmes connexes. Pour ce projet abouti en 2012, le CEA a réalisé les cellules électrochimiques et leur intégration en modules et packs, l'intégration des batteries sur le véhicule et les essais sur piste sur plus de 10 000 kilomètres. *« C'est une démonstration à l'échelle 1, représentative de notre savoir-faire »* insiste

Avion électrique du projet EFAN d'Airbus impliquant le CEA.

Florence Fusalba. Ce qu'illustre également le projet Ellisup, développé pour Irisbus, avec ce bus tout électrique dont la batterie se recharge en quelques minutes, quand il faut plusieurs heures pour celle des voitures disponibles sur le marché ! *« Nous avons utilisé un couple électrochimique original comprenant notamment une électrode en titanate capable de tenir la puissance nécessaire. Nous avons également réalisé toute la conception électrique, mécanique et thermique de la batterie, pour tenir ces régimes, ainsi que le système de recharge, avec des caténaires, en collaboration avec Schneider Electric »*, détaille Florence Fusalba.

Les piles à combustible en renfort

Ce modèle de R&D vaut également pour les piles à combustible (PAC). Leur principe : deux électrodes séparées par un électrolyte (également appelé membrane) dont l'une, l'anode, est alimentée par de l'hydrogène provenant d'un réservoir, quand la cathode est, elle, consommatrice en oxygène de l'air. Au niveau de l'anode, des protons passent en solution, libérant des électrons qui alimentent un circuit. À la cathode, ces derniers associent les protons avec l'oxygène de l'air pour former des molécules d'eau, seul rejet de ce type de pile par conséquent non polluante. Pour l'heure, la PAC n'a pas la faveur des industriels français de l'automobile alors que des usines de production de véhicules à hydrogène se préparent en Corée, en Allemagne, au Royaume-Uni et au Japon. Pour y remédier, 27 partenaires de l'énergie et des transports se sont regroupés dans le consortium Mobilité hydrogène France afin de déployer massivement cette forme d'énergie électrique à l'horizon 2030, avec de premiers déploiements dès 2014 ! Dans cette perspective, le CEA est en première ligne. Dès 2005, il a conçu en partenariat avec PSA Peugeot Citroën, un premier modèle de pile, GENEPAC, parmi les plus performantes au monde. Cela a conduit à la présentation du véhicule 100 % électrique FiSyPAC sur un concept dit ***Range Extender*** • en 2009 puis au développement d'une version industrielle avec la société Symbio FCell.

• ***Range Extender*** : véhicule équipé d'une batterie lithium-ion et d'une pile à hydrogène permettant d'en augmenter l'autonomie et/ou de recharger la batterie sans prise électrique.

Un savoir-faire couvrant les besoins industriels

Là encore, la R&D du CEA couvre toute la chaîne de compétences : des matériaux des PAC jusqu'à leur assemblage, intégration et tests en conditions réelles, en passant par la production, le stockage et la distribution de l'hydrogène. En témoigne, au Liten, une plateforme mise en place en 2012 à laquelle participent une dizaine d'industriels. En particulier Symbio FCell, première entreprise française à se lancer dans la production de PAC pour le transport. *« Sur un concept* Range Extender, *un véhicule Renault Kangoo électrique est équipé d'une PAC standardisée et assemblée au Liten »*, détaille Jean Oriol, ingénieur-chercheur au CEA-Liten. L'Institut, qui se dotera courant 2015 d'une chaîne de fabrication unique en France, peut désormais fabriquer de manière automatisée des électrodes et, sur le site CEA Le Ripault, des assemblages membranes-électrodes (AME), éléments cruciaux pour la performance d'une pile. D'ici un an, il pourra également assembler automatiquement les AME aux plaques bipolaires qui servent à distribuer les gaz, collecter le courant électrique et assurer la gestion thermique de la pile. Toujours avec Symbio FCell, le Liten a présenté fin 2013 un nouveau design de PAC pour l'équipement de véhicules de plus grosse capacité. Précisément une PAC aux performances intrinsèques augmentées, au volume réduit de près de moitié par rapport à la version standard, plus simple à assembler et incorporant moins de métaux rares. *« Nous sommes parvenus à réduire la quantité de platine utilisé comme catalyseur des réactions grâce à une nouvelle formulation des encres catalytiques et une optimisation du procédé de dépôt. »* Quant aux performances, multipliées par 1,5, elles résultent d'un nouveau design de plaques bipolaires permettant une distribution optimisée des gaz et du fluide de refroidissement. À l'autre bout de la chaîne, le Liten est également impliqué dans un projet de déploiement de flottes captives de véhicules équipés d'une PAC, pour différents acteurs économiques et institutionnels entre Lyon et Grenoble. Sa contribution : analyser en conditions réelles d'utilisation les performances et l'évolution de ses systèmes.

Le CEA s'est ainsi doté des meilleures expertises et infrastructures pour anticiper les besoins des industriels de la mobilité électrique, notamment en accordant une attention particulière au maintien d'un haut niveau de ressourcement, tant au niveau amont que *via* les retours d'expérience. Il s'agit en effet de rester sur la bonne route et d'en trouver de nouvelles ! ●

Système hybride Pile à combustible/batterie de PSA Peugeot Citroën, développé avec le CEA, présenté en 2009 lors de l'exposition Mobilis.

Plus d'informations sur www.cea.fr

INTERVIEW
Laurent Antoni,
chef du Département Electricité et hydrogène pour les transports du CEA-Liten

LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE CONCERNE TOUS LES MODES DE TRANSPORT

L'automobile ne sera pas la seule bénéficiaire de l'alternative électrique. Telle est la vision du CEA qui poursuit ses développements pour les industriels, notamment en proposant des solutions d'hybridation, tant sur les marchés de niche que de « masse ».

Quelle est votre vision du développement de la mobilité électrique ?

Au CEA, nous savons clairement que le 100 % électrique ne concernera pas 100 % du marché véhicule. Mais les marchés de niche nous intéressent car ils drainent le plus les développements technologiques. Il y a en effet moins de contraintes économiques, il est donc plus facile de pousser les technologies afin d'avoir un maximum de retour d'expériences.

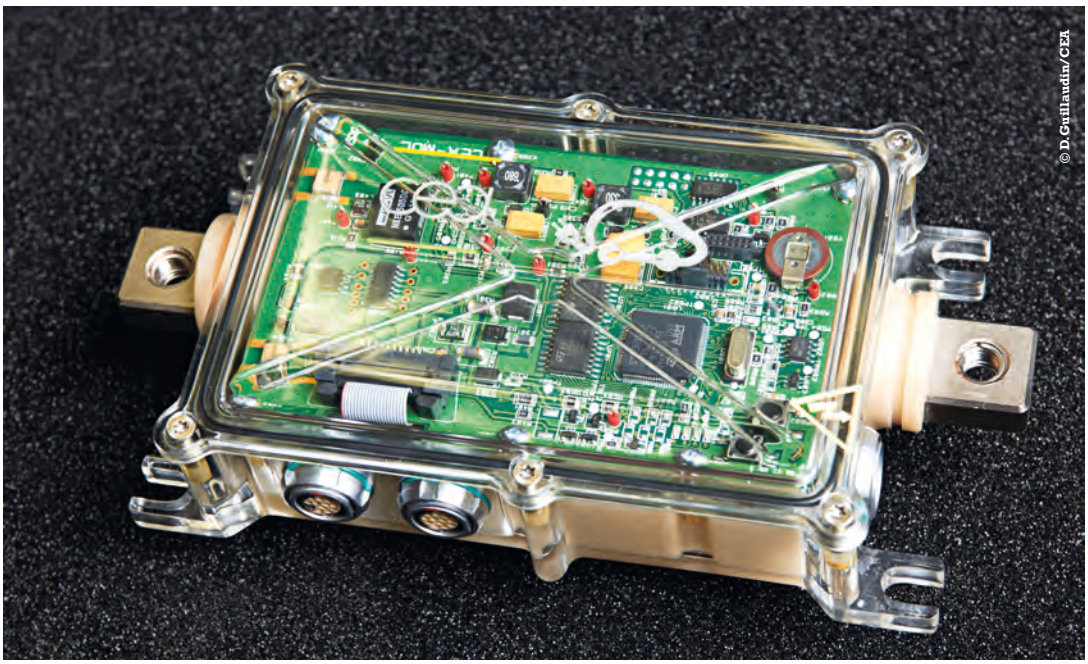
Pour les marchés de masse actuels, la solution est l'hybridation et particulièrement l'hybride rechargeable, dit *plug-in*, qui est un véhicule équipé d'une batterie rechargeable pour un roulage urbain et d'un moteur thermique pour les longues distances. L'hybridation concerne également l'hydrogène qui s'adresse autant aux gros volumes qu'aux marchés de niche. Soit à travers la voie du *Range Extender* (batterie lithium-ion qui se recharge *via* une pile à combustible), soit avec un autre type d'hybridation qui repose sur un pack batterie assurant la propulsion, associé à une PAC qui charge la batterie et se couple à elle pour fournir des pics de puissance. Nous avons exploré cette solution dans le cadre d'un projet avec la société Gaussin pour un véhicule « *off-road* », par exemple pour le transport de containers sur des docks.

Est-elle une problématique exclusivement automobile ?

Bien au contraire, la mobilité électrique s'adresse à tous les modes de transport. Elle concerne aussi bien les deux-roues (vélo, moto) que les poids lourds et devient une tendance dans l'aéronautique et l'espace (lanceurs d'Ariane), par exemple pour remplacer des commandes pneumatiques et hydrauliques par de l'électrique. À terme, on peut imaginer des moteurs d'avion hybrides voire, pour de petits aéronefs, une propulsion 100 % électrique. Cette solution intéresse les aérodromes pour la formation des pilotes sur des avions non bruyants. L'électrification de petits avions est ainsi clairement envisagée, par exemple au sein du projet E-FAN d'Airbus dans lequel le CEA est impliqué. Le recours à l'électrique permet également d'alimenter toutes les servitudes à bord d'un avion, c'est ce que nous avons visé avec la réalisation du premier démonstrateur d'un système de pile à combustible (PAC) pour Zodiac Space. Idem pour le transport maritime, à l'instar du voilier Zéro CO_2 équipé d'une batterie et d'une pile à combustible conçues par le Liten. Enfin, nous avons plusieurs projets de R&D pour le spatial où les besoins électriques vont également croissant.

Le CEA se situe donc sur tous les fronts de la mobilité électrique ?

Les compétences multidisciplinaires de CEA Tech ainsi que ses plateformes lui permettent en effet de répondre à tous types de demandes, quel que soit le mode de transport ou la solution électrique envisagée. Notre objectif est en effet d'accompagner les industriels grâce à des transferts technologiques tant au niveau des composants que des lignes de fabrication ou d'assemblage. Ainsi, nous montons de nombreux partenariats industriels avec des acteurs nationaux, régionaux voire internationaux (américains, japonais...), en parfaite cohérence avec les développements européens. ●


© D.Gaillaudin/CEA

Carte électronique de *Battery managment system* (BMS) développée au CEA.

DE L'INTELLIGENCE SOUS LE CAPOT

Aux côtés du Liten, spécialisé en propulsion électrique, les instituts Leti et List de CEA Tech apportent leurs savoir-faire en électronique, informatique et mathématiques pour optimiser la génération et l'utilisation de la ressource électricité.

Autonomie, fiabilité, sécurité, au meilleur coût possible : l'essor de la mobilité électrique repose sur cette incontournable équation qui implique de concevoir de l'intelligence à tous les étages. Pour cause, la maîtrise de la ressource électrique n'a rien d'une évidence. Par exemple, alors qu'il est aisé de connaître le niveau d'un réservoir d'essence, l'état de charge d'une batterie (ou SOC pour *State Of Charge*) ne se laisse pas si facilement compter. *« De fait, entre 10 et 90 % de charge, la tension aux bornes d'une batterie est relativement constante »*, explique Vincent Roger, ingénieur-chercheur au CEA-Leti. Pour y parvenir, l'utilisation de capteurs complexes et coûteux est possible mais incompatible avec les contraintes industrielles. Une équipe commune Leti-Liten a d'ailleurs été créée en 2010 pour travailler spécifiquement sur ces problématiques dites de *Battery managment system* (BMS).

Une question de charge…

En support des ingénieurs du CEA-Liten à l'INES[1], les mathématiciens du CEA-List proposent une alternative : soumettre une cellule, élément de base d'une batterie, à une série de tests dans différentes conditions d'utilisation et d'environnement afin d'en déduire un modèle comportemental du composant. De quoi, une fois ce dernier implémenté dans un algorithme de contrôle, déterminer l'état de charge de n'importe quelle batterie en conditions réelles d'utilisation. *« Depuis la montée en puissance du CEA-Liten sur la mobilité électrique en 2010, nous avons démontré la pertinence de nos méthodes algorithmiques et déposé un brevet sur cette approche d'estimation de l'état de charge »*, indique Jean-Marc Alexandre, directeur des programmes du CEA-List.
Autre solution prospective proposée par l'équipe Leti-Liten : déterminer l'état de charge à travers des mesures magnétiques. *« Nous avons en effet établi des corrélations entre l'état de charge d'une batterie et les champs magnétiques issus des déplacements des charges dans une cellule électrochimique*, explique Vincent Roger. *Nous avons fait une preuve de concept en laboratoire avec un dépôt de brevet. Une telle solution si pertinente pourrait être déclinée de manière fiable et peu coûteuse sur la base de* ***MEMS****. »*

• **MEMS :** (*Microelectromechanical systems*) Systèmes électromécaniques dont la taille varie de quelques microns à quelques dizaines de nanomètres.

Plus d'informations sur www.cea.fr

… de santé…

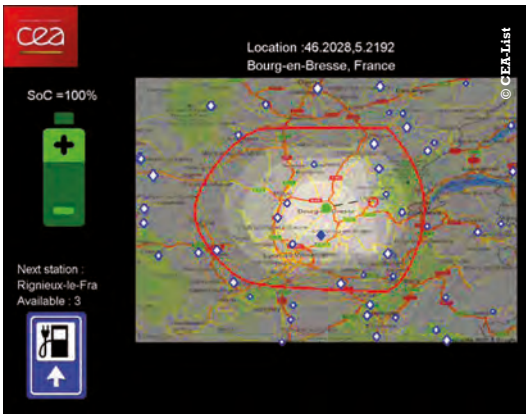
L'état de santé (SOH pour *State Of Health*) ou le vieillissement d'une batterie est un autre élément à considérer : *« Le volume d'un réservoir d'essence ne varie pas au cours du temps. À l'inverse, la capacité d'une batterie diminue… »*, explique Jean-Marc Alexandre. Ainsi, toujours en support de l'INES, le List développe des méthodes de modélisation similaires à celles mises en œuvre pour le SOC avec un algorithme permettant également de comprendre et d'analyser les variables explicatives qui interagissent conjointement sur le vieillissement en usage et en stockage.

De son côté, l'équipe Leti-Liten a élaboré une méthode originale pour traquer les arcs électriques, l'une des défaillances potentielles des systèmes batterie. Elle repose sur des capteurs acoustiques et des algorithmes capables de distinguer le son caractéristique émis par un arc électrique, y compris dans un environnement très bruité, et même, à terme, de localiser précisément le défaut. *« Fondée sur l'utilisation de MEMS, peu encombrants et bon marché, cette méthode est d'intégration aisée »*, argumente Vincent Roger. Or moins d'encombrement, c'est moins de masse et donc plus d'autonomie : tout est lié !

Aujourd'hui, en cas de dysfonctionnement d'une batterie, le module incriminé peut être isolé électroniquement du reste du système afin d'assurer son fonctionnement. Les scientifiques du Leti planchent désormais sur l'étape suivante qui consiste à isoler une unique cellule au sein d'un module. Une telle gestion dynamique des cellules pose plusieurs challenges mais ouvre l'opportunité de jouer à l'infini sur les architectures au gré des besoins en alimentation d'un véhicule. Cette possibilité offre une alternative à l'emploi de convertisseurs en particulier pour les applications moyennes et basses tensions. Or là encore, moins de composants équivaut à plus d'intégration, etc.

… de puissance…

Le Leti explore un autre champ d'innovations dans le domaine de la conversion électrique : les composants de puissance et leurs applications. *« Nous développons des composants de puissance en nitrure de gallium (GaN),* explique Vincent Roger, *et explorons des ruptures systèmes pour tirer profit de leurs avantages spécifiques. Alors que les composants classiques à base de silicium ou de carbure de silicium sont en général unidirectionnels en tension et/ou en courant, le GaN offre la possibilité de réaliser des composants bidirectionnels monolithiques*[2]*. Nous pouvons alors envisager de nouvelles topologies de convertisseurs et de nouvelles fonctions beaucoup plus performantes telles que des convertisseurs matriciels qui vont réduire le coût des onduleurs classiques et permettre des gains en rendement et encombrement. C'est ce que nous visons au sein du projet collaboratif Megan. Une start-up a d'ailleurs été créée, Exagan, pour fabriquer et vendre ces composants. »*



Logiciel d'éco-conduite du CEA.

Contrôle de l'électronique des batteries, sur la ligne pilote du CEA, lors de leur assemblage en pack.

… et de bonne conduite !

L'optimisation de l'usage d'un véhicule équipé d'une batterie passe également par son environnement. Aussi les chercheurs du List ont-ils mis au point un puissant algorithme, testé sur des prototypes du Liten, qui tient compte de l'état de la batterie, de l'environnement (température, humidité…), de la façon de conduire et des informations routières (distances, dénivelés…) afin de calculer l'autonomie et l'ensemble des destinations atteignables. Surcouche supplémentaire : un logiciel qui, intégrant l'ensemble des informations relatives à la batterie et au véhicule, propose à chaque instant une stratégie de conduite optimale en termes de trajet, de vitesse et d'accélération. *« Ce concept d'éco-conduite permet de réduire la consommation électrique jusqu'à 30 %, d'où une autonomie augmentée d'autant »*, insiste Jean-Marc Alexandre. Le List a également développé, dans le cadre de projets européens de démonstrateurs impliquant Volkswagen et Renault, des solutions pour la gestion optimisée d'un parc de véhicules électriques… Preuve que l'essor de la mobilité électrique repose sur un seul mot d'ordre : intelligence !

Notes :

1. *Institut national de l'énergie solaire à Chambéry.*
2. *Les ingénieurs peuvent ainsi piloter un courant dans les deux directions tout en présentant des caractéristiques en tension identiques quel que soit le sens du courant.*

LE CEA DANS LES MÉDIAS

YODA ET MARIE CURIE ENTRENT AU CEA DE SACLAY

LE PARISIEN / 16 JUILLET 2014

Au détour d'un coin de rue, à l'entrée de laboratoires, se cachent de curieux portraits… Pendant six mois le street artiste Christian Guémy, alias C215, a laissé son empreinte dans l'enceinte du centre CEA de Saclay. Une exposition sur site convie le public à découvrir une vingtaine de « fantômes » parmi lesquels Georges Charpak, Henri Becquerel, Marie Curie, et même Yoda de Star Wars. *« Que les curieux se rassurent, le CEA prépare des sessions supplémentaires pour la rentrée ! »* annonce le quotidien.

Quelque part sur le centre CEA de Saclay, Pierre et Marie Curie, co-lauréats du Nobel de physique 1903, regardent George Charpak, lauréat du Nobel de physique 1992, se faire tirer le portrait par C215, avec la bénédiction de Maître Yoda !

DEUX MONSTRES COSMIQUES ANNIHILÉS

SCIENCES ET AVENIR / 1er SEPTEMBRE 2014

Les cartes de l'Univers fournies par les satellites Planck et WMAP présentaient deux bizarreries : une zone où la température était anormalement faible, la « tache froide » ; un axe privilégié dans l'Univers, « l'axe du mal ». De quoi interroger les spécialistes… *« Nous avons tenté une nouvelle méthode statistique pour soustraire les émissions parasites, ce qui a apporté les corrections numériques nécessaires »* explique Jean-Luc Starck, du service d'astrophysique du CEA, au mensuel scientifique. *« Les cosmologistes peuvent à présent respirer ! »*

HUIT NOUVELLES CENTRALES SOLAIRES

ENERZINE.COM / 20 AOÛT 2014

Le centre CEA de Grenoble accueillera une centrale solaire sur son site ; tout comme les sept autres sites lauréats de l'appel d'offres lancé en 2013 par la Commission de régulation de l'énergie pour les installations solaires. Chacune des huit centrales, dont la construction débutera en octobre 2014, *« fournira 22 000 MWh par an (soit la consommation électrique moyenne, hors chauffage, de 16 000 habitants) »* indique le site d'information en précisant que certaines centrales seront équipées de bornes de recharge pour les véhicules électriques.

UN PROJET FRANÇAIS DE DIRIGEABLE STRATOSPHÉRIQUE

LE FIGARO / 20 AOÛT 2014

« L'engin automatisé sera à mi-chemin entre le drone et le satellite, capable de rester en vol stationnaire à 20 km du sol », c'est ainsi que le quotidien présente un projet français de dirigeable stratosphérique destiné à concurrencer certains satellites. *« C'est une technologie qui devrait coûter au moins dix fois moins que les satellites »*, précise Jean-Philippe Chessel, chef du projet chez Thales Alenia Space. Ce projet, auquel le CEA est associé, est porté par un consortium d'entreprises françaises et italiennes.

UNE MÉTHODE ÉLÉGANTE POUR RECYCLER LES TERRES RARES

LE FIGARO / 8 AOÛT 2014

Le quotidien s'intéresse à une méthode innovante pour recycler les terres rares, *« métaux nécessaires pour de nombreuses industries dont la production mondiale est assurée à 95 % par la Chine »*. Une molécule-piège a été mise au point par Ekaterina Sholova qui s'apprête à ouvrir sa start-up (Verseau) pour piloter Cyter, projet élaboré avec Vincent Huc de l'université Paris-Sud XI et Pascal Viel du CEA. Ce projet, hautement stratégique, a été distingué lors du Concours mondial de l'innovation organisé par le gouvernement.

KIOSQUE

La valse tectonique

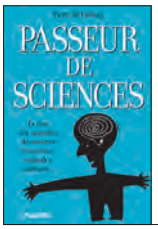
Depuis sa formation, il y a 4,6 milliards d'années, la Terre est soumise à des forces d'une incroyable puissance faisant perpétuellement évoluer la croûte terrestre et redessinant ainsi la carte du monde. Après avoir traité l'Europe, l'Asie et l'Océanie dans une première saison de « La Valse des continents », cette nouvelle série documentaire de cinq épisodes est consacrée à l'histoire tumultueuse de l'Afrique et des Amériques. Une véritable épopée géologique racontée par des scientifiques passionnés et passionnants.

La valse des continents Volume 2. Alexis de Favitski. ARTE Éditions. 24,95 €

Dis, maman ?

Pourquoi tombe-t-on amoureux ? Pourquoi la plus grande partie des enfants n'aime pas les épinards ? Qui est l'inventeur du foot ? Depuis quinze ans, les deux auteures invitent les plus grands spécialistes à monter à bord des « p'tits bateaux », le dimanche soir sur *France inter*, pour répondre aux questions les plus étonnantes de vos enfants. Afin de prolonger le voyage, elles ont réuni dans ce livre 100 questions et leurs réponses instructives, amusantes et insolites…

Les P'tits bateaux. Noëlle Breham et Marjorie Devoucoux. Éditions Pocket. 15 €



La science et la technologie sous un autre angle…

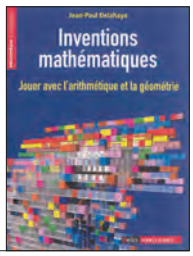
À travers cet ouvrage, l'auteur évoque les à-côtés de la science, ses aspects comiques et étonnants, pour montrer que sous la blouse blanche du chercheur se cache aussi parfois un clown ou un aventurier. Une façon de démontrer que toutes les questions, même celles qui paraissent saugrenues, sont bonnes à poser ! Ce dico des découvertes et des questions bizarres de la science se lit comme un vrai feuilleton, une vraie réussite de vulgarisation dans le bon sens du terme.

Passeur de sciences. Pierre Barthélémy. Éditions Hugo Doc. 17,50 €

Jouer avec l'arithmétique et la géométrie

Les mathématiques sont vivantes et l'imagination des chercheurs et des amateurs n'est jamais au repos. Que ce soit dans le domaine de la géométrie, ou à propos des nombres, l'introduction de nouvelles idées et la mise au jour de merveilles cachées se poursuivent sans relâche. Dans ce livre : des figures paradoxales, des jeux classiques comme le Tangram et le cube de Rubik, des problèmes du quotidien tels le découpage d'une pizza ou l'accrochage d'un tableau… Un voyage dans un univers que chaque génération réinvente en s'amusant.

Inventions mathématiques. Jean-Paul Delahaye. Éditions Belin / Pour la science. 25 €



SUR LE WEB

TOUT, TOUT, TOUT SUR… LA CHIMIE

Qui a inventé la chimie ? De quoi est constituée la matière ? Le CEA apporte les réponses à travers une activité artistique et scientifique développée pour les classes de collège. Au programme : créer un livre de toutes pièces, monter des maquettes… pour devenir un apprenti chimiste.

http://www.cea.fr/jeunes/espace-enseignants/activites/tout-tout-tout-sur-la-chimie

DES DESSINS VIEUX DE 36 000 ANS…

La grotte Chauvet-Pont-d'Arc, en Ardèche, a été classée parmi les biens culturels du patrimoine mondial grâce, entre autres, aux datations au carbone 14 réalisées par des chercheurs du CEA. Ce reportage explique pourquoi les dessins qui s'y trouvent sont hors du commun.

http://videos.tf1.fr/infos/2014/grotte-de-chauvet-pourquoi-ces-dessins-vieux-de-36-000-ans-sont-8412090.html#

WEST PRÉPARE ITER À DOMESTIQUER LA FUSION NUCLÉAIRE

Des scientifiques du monde entier, dont ceux du CEA, cherchent à reproduire sur Terre la réaction de fusion nucléaire. Destination Cadarache où les chercheurs travaillent sur le projet West pour préparer les futures expérimentations du réacteur Iter.

http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/video

LE GRAND COLLISIONNEUR – LHC

Paris. Le Palais de la découverte. Du 17 octobre 2014 au 19 juillet 2015

Cette exposition propose une plongée au cœur du plus puissant accélérateur de particules au monde, le *Large Hadron Collider* (LHC), pour partager l'incroyable aventure humaine autour de la découverte du boson de Higgs en 2012. Initialement conçue par le Science Museum de Londres, à l'occasion des 60 ans du CERN, l'exposition a été adaptée et enrichie, grâce notamment au CEA, de 60 portraits de Français impliqués dans le succès du CERN. Le visiteur découvre alors l'intimité de scientifiques s'investissant avec passion dans la recherche en physique des particules...