

# les défis du cea

204

Février 2016

Le magazine de la recherche et de ses applications



02

## L'INTERVIEW

- ◆ Marie-Noëlle Sémeria fait le point sur la présence du Leti, institut de CEA Tech au CES 2016 ◆

04

## ACTUALITÉ

- ◆ Le CEA et Cirtes dans la stratosphère de l'usine du futur ◆ Innovations en vue dans l'industrie maritime ◆ Le cycle du carbone vu de l'espace ◆

06

## SUR LE VIF

- ◆ OLED ultra-performante dans le viseur ◆ Le haut-débit, sans fil à la patte ◆ Du super wifi contre la fracture numérique ◆

09

## LE POINT SUR

- ◆ La vénomique ◆

19

## SCIENCES EN BREF

- ◆ PROK1 « booste » la FIV ◆ Rendre à César ce qui appartient à César ◆ Fonction boussole à tous les étages ◆ XXL amasse les galaxies ◆ Des nanovecteurs pour circuler incognito ◆ Toujours plus de souplesse pour les composants électroniques ◆ Les capteurs chimiques vont se faire mousser ◆ Stopper le zèle des sentinelles immunitaires ◆ Quand le répulsif dope l'insecticide ◆ Protons à toute vitesse ! ◆

23

## KIOSQUE



12

## DOSSIER

# Cybersécurité: le CEA aux avant-postes

**MARIE-NOËLLE SÉMÉRIA,**

directrice du Leti,  
institut de CEA Tech



## Les premières du Leti au CES 2016 à Las Vegas

Du 6 au 9 janvier derniers, les acteurs mondiaux de l'électronique grand public se donnaient rendez-vous au CES. Parmi eux, le Leti, institut de CEA Tech accompagné de trois de ses start-up. À la clé, des centaines de contacts initiés avec des industriels de secteurs et nationalités variés.

Propos recueillis par Aude Ganier

**La présence de l'Institut Leti / CEA Tech au Consumer electronic show (CES) 2016 est une première...**

C'est assez inédit pour un organisme de recherche technologique de participer au plus grand salon mondial des produits high-tech grand public qui seront commercialisés dans les 12 ou 18 mois à venir. L'objectif de notre présence à ce salon, une première pour le CEA, était de développer notre notoriété à l'international en présentant notre

capacité d'innovation, notre savoir-faire, ainsi que notre contribution à l'émergence de start-up.

Désormais, la promotion de cette expertise s'effectue au-delà de la France et de l'Europe, notamment aux États-Unis. Nous organisons depuis quelques années des rencontres professionnelles à San Francisco. Cependant, elles ciblent principalement les acteurs de la micro et nanoélectronique, notre cœur de métier. Or, notre maîtrise de plusieurs technologies clés génériques permet de cibler des secteurs applicatifs plus larges dans lesquels nous ne sommes pas encore clairement identifiés à l'international. D'où notre présence au CES qui nous a également permis de confronter notre offre aux grandes tendances du marché de l'électronique grand public.

**Justement, vous avez présenté des premières mondiales et trois start-up pour qui c'était également une grande première !**

L'offre du Leti est constituée de briques technologiques dont un grand nombre a vocation à intégrer de futurs produits grand public. Pour cela, nous avons présenté trois démonstrateurs en première mondiale : DiamonDisplay,

20 000

PRODUITS DÉVOILÉS.

micro-écran ultra-lumineux fonctionnant en plein jour pour des applications de réalité augmentée (superposition d'informations à la vision en temps réel) ; G-Link permettant le transfert sans fil très rapide de gigabits de données en consommant très peu d'énergie, par exemple entre deux appareils mobiles ; TV White Space, première implémentation d'un nouveau standard d'accès haut débit à Internet en réseau, sans fil, sur une large étendue et avec un faible coût d'infrastructure (voir pages 7 à 9). Nous avons également accompagné trois de nos start-up, témoignant de la diversité de notre offre, pour qu'elles puissent initier des contacts indispensables à leur développement. Elles étaient présentes, à nos côtés, dans l'Eureka Park, espace du CES dédié aux start-up, c'est-à-dire à l'innovation et aux futurs produits de notre quotidien. Aryballe Technologies présentait un nez électronique ultra-sensible de détection des odeurs ; eLichens, ses capteurs de mesure de

170 000

VISITEURS AU CES 2016 DE LAS VEGAS.

la qualité de l'air ; et The Airboard, un kit de prototypage rapide, dans le contexte du *Do it Yourself*, pour l'Internet des objets. Par ailleurs, trois autres de nos start-up matures, voire déjà intégrées dans d'autres entreprises, exposaient également. Il s'agit de BeSpoon, Moovea et Enerbee (qui était à l'origine un laboratoire commun avec INP Grenoble).

**Les efforts que vous déployez pour favoriser l'émergence des start-up et accompagner leur déploiement constituent un axe fort de votre stratégie...**

En effet, nous mettons en œuvre de nombreux dispositifs pour identifier les technologies à fort potentiel de nos laboratoires et pour les transférer auprès d'entrepreneurs qui ont déjà une expérience des problématiques d'industrialisation et d'accès au marché. Cet enjeu s'inscrit au cœur de notre mission : contribuer à la ré-industrialisation de la France en créant de la valeur ajoutée et des emplois. Ainsi, fort d'un portefeuille de plus de 3 000 brevets, à raison de 300 par an, le Leti a essaimé

190

START-UP 190 FRANÇAISES,  
(3<sup>e</sup> CONTINGENT APRÈS  
LES ÉTATS-UNIS ET LA CHINE)

plus de cinquante start-up dont certaines sont à l'origine de grands groupes (STMicroelectronics, Sofradir, Soitec...). Nous visons à présent l'essaimage de cinq start-up par an dans différents secteurs (instrumentation médicale, *cleantech*, réalités virtuelle & augmentée, usine du futur, applications grand public). Pour cela, nous identifions et accompagnons plusieurs projets par an, sachant que tous n'iront pas au bout...

Cet objectif ambitieux est crucial à bien des égards. Notamment parce que les start-up sont des interfaces naturelles avec des acteurs qui ne sont pas les interlocuteurs traditionnels d'un organisme de recherche, comme les équipes marketing des entreprises. De plus, comme elles pénètrent rapidement les marchés, l'analyse de leurs besoins renseigne précisément sur les tendances de ces marchés. Leur accompagnement nous permet ainsi de nous positionner de manière pertinente pour valoriser nos technologies en adéquation avec les attentes des marchés.

**Quel est le bilan de votre participation au CES ?**

De nombreux contacts ont été pris à l'Eureka Park du CES, tant pour le Leti que pour nos start-up. Par exemple, eLichens a intéressé plus de 200 interlocuteurs industriels américains, européens et asiatiques ; au cours d'entretiens menés en grande partie avec plusieurs *top managers* de différentes entreprises voire grands groupes. Nous avons également eu beaucoup de retombées dans la presse (huit interviews et une cinquantaine d'articles). Et ce n'est pas rien lorsque l'on sait que les journalistes ont reçu en moyenne 1 000 sollicitations de la part des nombreux exposants dont des groupes à forte notoriété. Nous avons tenu notre pari ! Cela nous conforte dans notre stratégie de développement à l'international vers des secteurs industriels qui ne sont pas nos cœurs de cible. Nous pensons exposer en 2017, pour les 50 ans de ce salon sans équivalent au monde.

**WWW**  
[www.cea-tech.fr](http://www.cea-tech.fr)  
[www.leti.cea.fr](http://www.leti.cea.fr)  
<http://aryballe-technologies.com>  
[www.theairboard.cc](http://www.theairboard.cc)  
[www.elichens.com](http://www.elichens.com)

3 800

EXPOSANTS.

223 000 m<sup>2</sup>

D'ESPACES D'EXPOSITION POUR CETTE ÉDITION 2016 DU CES.



**LE 11 FÉVRIER****TECH INNOV (PARIS-ORLY)**

Depuis 10 ans, le plus grand événement dédié à l'innovation en Europe organise en une journée des milliers de rendez-vous d'affaires entre des centaines de participants (grands groupes, PME, TPE, organismes de recherche) porteurs de projets de recherche ou d'offres innovantes. Les chercheurs de CEA Tech seront au rendez-vous de l'édition 2016. Au programme : des conférences dédiées aux innovations de rupture, et quatre villages thématiques (grands donneurs d'ordres, connectivité dans l'industrie, compétitivité, et compétences high-tech).

**DU 14 AU 17 FÉVRIER****PIME (BUCAREST - ROUMANIE)**

La conférence annuelle des communicants du domaine nucléaire convie les professionnels du domaine à des sessions de réflexion. Plusieurs thèmes sont abordés : stratégies mises en œuvre sur les réseaux sociaux, communication de crise, implication de la société civile, communication sur le démantèlement (via une intervention du responsable de la communication du centre CEA de Cadarache)...

**DU 23 AU 25 FÉVRIER****EMBEDDED WORLD CONFERENCE (NUREMBERG - ALLEMAGNE)**

Le salon du « monde embarqué » propose cette année de réunir les acteurs majeurs du secteur pour une exposition et des conférences sur la thématique de l'Internet des objets (IoT). Cette manifestation comptera sur la présence des ingénieurs de l'Institut List / CEA Tech et de certains de leurs partenaires industriels.

**Alliance technologique****Le CEA et Cirtes dans la stratosphère de l'usine du futur**

PRTT CEA Tech de Lorraine.

Note :  
1. Plateforme régionale de transfert technologique (PRTT).

D'un côté, des experts des capteurs et de l'instrumentation ; de l'autre, des spécialistes de la fabrication additive et du développement rapide de produits. À l'arrivée, l'avènement de l'usine du futur grâce à l'alliance technologique de CEA Tech et du Cirtes. Enjeu : œuvrer aux transferts technologiques de conception mécanique et électronique d'outils, d'outillages et de pièces intelligentes. Le partenariat repose sur la stratoconception, procédé inventé en 1991 par le Cirtes, par lequel la fabrication d'une pièce consiste en l'empilement de feuilles de matériaux, prédécoupées aux formes des sections évolutives de la pièce suivant un sens de déplacement. Une technique douce qui permet d'inclure

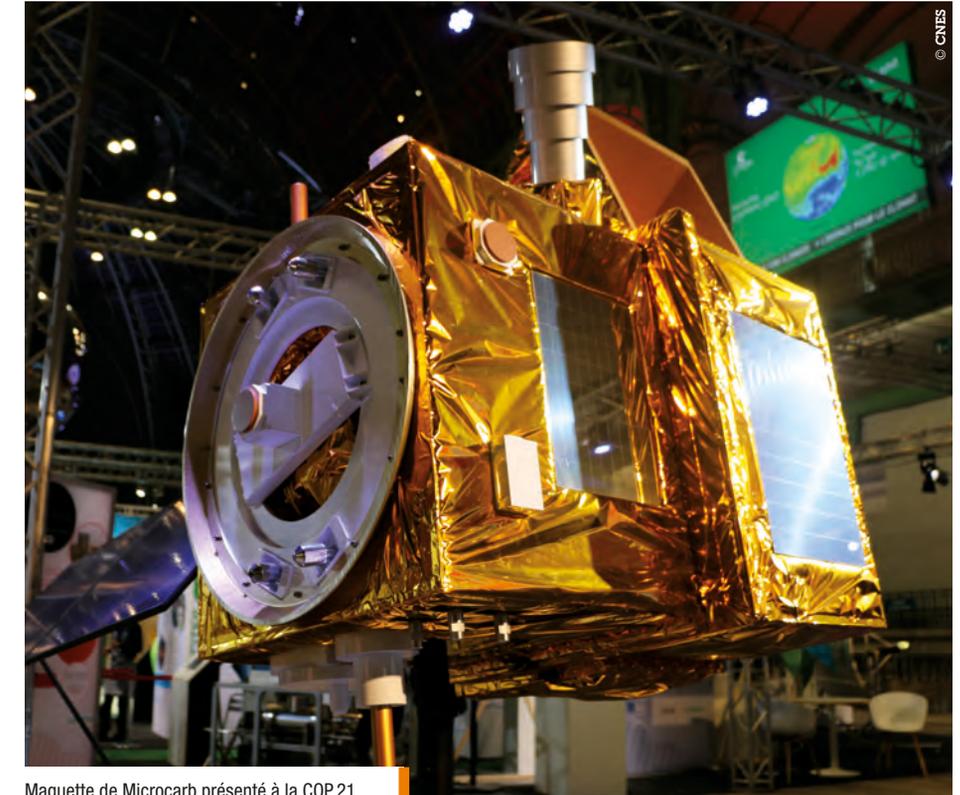
des capteurs et des systèmes électroniques embarqués, en l'état ceux de CEA Tech, au cœur même de la pièce lors de sa construction. L'alliance, qui intervient dans le cadre de l'implantation de CEA Tech en région Lorraine<sup>1</sup>, bénéficiera d'un réseau d'infrastructures : plateforme Cirtes pour l'optimisation topologique en fabrication additive par stratoconception ; plateforme Inori pour la fabrication et la qualification industrielle sur pilote, à Saint-Dié-des-Vosges ; plateforme CEA Tech de mécatronique pour l'amélioration des produits et procédés (assurant la conception ainsi que le packaging avancé des capteurs dans les systèmes mécaniques), à Metz.

Accord stratégique

## Innovations en vue dans l'industrie maritime

STX France et CEA Tech s'engagent à relever le défi de la croissance et de l'emploi dans l'industrie maritime par la performance et la différenciation des produits grâce à l'innovation technologique. « CEA Tech dispose de formidables technologies et des moyens de les rendre industrielles et applicables à nos problématiques. Nul doute que cet accord va nous permettre de gagner quelques longueurs d'avance dans les domaines sur lesquels nous allons travailler dans un premier temps, puis à tous ceux que notre collaboration développera au fil du temps » a ainsi déclaré le directeur général de STX France lors de la signature de l'accord.

La collaboration portera, au démarrage, sur quatre axes principaux : le dialogue des données en environnement difficile dans l'ensemble du navire, de la construction à la livraison, voire en phase d'exploitation ; l'identification et la géolocalisation des pièces et colis en temps réel à l'intérieur d'un navire en construction ; la caractérisation de l'état d'intégrité de structures ou de matériaux sans les dégrader (contrôle non destructif) ; la conception de systèmes cobotiques pour faciliter la manutention de charges lourdes et encombrantes adaptée aux contraintes de mise en œuvre à bord.



Maquette de Microcarb présentée à la COP 21.

Programme scientifique

## Le cycle du carbone vu de l'espace

La COP 21 fut le théâtre de nombreuses initiatives, comme le lancement franco-américain de la Mission Innovation relative aux investissements publics-privés pour les énergies propres. Dans ce cadre, la France s'engage à soutenir<sup>1</sup> le projet MicroCarb pour déterminer comment agissent les principaux puits de carbone de la planète et les cartographier. Développé par le Cnes avec de nombreux laboratoires dont le LSCE, ce microsatellite permettra ainsi de quantifier les volumes de CO<sub>2</sub> émis ou absorbés par la végétation et les océans.

« Balayant la surface du globe en deux semaines, MicroCarb dressera des cartes de concentration de CO<sub>2</sub> dans les 10 premiers kilomètres de l'atmosphère avec une grande précision (de l'ordre de 1 ppm) et sur un pixel de base rectangulaire de 5 km par 6 km. Il suivra aussi l'évolution de ces concentrations à l'échelle locale en couplant les données avec les modèles météorologiques » indique François-Marie Bréon, climatologue du CEA et président du groupe de mission MicroCarb. Ce projet, basé sur un spectromètre à réseau, pourra ainsi prendre la relève du satellite OCO-2 de la Nasa (lancé en 2014) dont il sera une version beaucoup plus compacte et performante.

Note :  
1. À hauteur de 25 M € en première phase, au travers des budgets dédiés à la transition énergétique du programme Investissements d'avenir.

2

C'EST LE NOMBRE DE SEMAINES QU'IL FAUDRA À MICROCARB POUR BALAYER LA SURFACE DU GLOBE

## Réalités virtuelle &amp; augmentée

# OLED ultra-performante dans le viseur

DiamonDisplay, micro-écran le plus lumineux au monde, pourra afficher des informations sur n'importe quel support de réalité virtuelle ou augmentée. Et ce, en plein jour et en consommant peu d'énergie. Une première signée Leti/CEA Tech présentée au *Consumer electronic show* (CES) 2016.

par Fabrice Demarthon

**Nous achevons le développement d'un écran de 500 x 873 pixels qui affichera de vraies vidéos**

Francois Templier, Leti / CEA Tech

“



Dispositif DiamondDisplay.

**A**u CES 2016, grand-messe annuelle de l'électronique aux États-Unis, réalités virtuelle et augmentée étaient les reines. On ne comptait plus les dispositifs – casques, lunettes, afficheurs « tête haute » – qui permettent soit de plonger l'utilisateur dans un univers entièrement artificiel, soit d'incruster des informations virtuelles dans des scènes de la vie réelle. Parmi eux, DiamonDisplay, présenté par l'institut Leti/CEA Tech, a encore fait sensation. Déjà, le micro-écran « le plus lumineux au monde » avait reçu un *innovation award* au Salon TechConnect en 2015, à Washington. Cent à mille fois plus performant que les meilleurs écrans OLED du marché, DiamonDisplay, une fois intégré à des dispositifs de réalité augmentée, pourra afficher plus facilement des informations en plein jour en consommant peu d'énergie.

L'écran est développé depuis 2013, en collaboration avec le III-V Lab (Thales/Alcatel-Lucent/CEA) dans le cadre du projet Carnot Ioda (Interface avec l'œil de demain). Il est composé d'une matrice de micro-LED réalisée en nitrure de gallium (GaN) sur un substrat de saphir.

### Une technologie en évolution constante

Chaque pixel, constitué d'une micro-LED de 6 micromètres, est connecté au circuit silicium par une technique dite d'hybridation mise au point au Leti/CEA Tech. « Le nitrure de gallium est un composé inorganique qui supporte de très fortes densités de courant, de l'ordre de 10 000 ampères par centimètre carré, explique François Templier, du Leti. Il possède un bon rendement, c'est-à-dire qu'un nombre donné d'électrons produit beaucoup de photons. » Et même à une intensité électrique assez faible, le GaN peut émettre beaucoup de lumière, un avantage pour les applications nomades. DiamonDisplay affiche ainsi une luminosité de 1 million de **candelas par mètre carré** (cd/m<sup>2</sup>) dans le bleu et 10 millions de cd/m<sup>2</sup> dans le vert, pour un encombrement et une consommation énergétique minimales.

« Le démonstrateur présenté au CES 2016 était un circuit très simple, seulement capable d'afficher le logo du Leti en vert ou en bleu, indique François Templier. Nous achevons maintenant le développement d'un écran à matrice active de 500 par 873 pixels pour l'affichage de vraies vidéos. L'écran couleur devrait naître d'ici 2 ans. » Une quinzaine de brevets a déjà été déposée et l'équipe réfléchit dès maintenant à la meilleure manière de valoriser cet écran exceptionnel, par la création d'une start-up et/ou le transfert de licences auprès d'un grand industriel. ♦

### Candela par mètre carré

Unité de mesure de la luminance (sensation visuelle de luminosité d'une surface).



Internet des objets

## Le haut-débit, sans fil à la patte

Grande première au *Consumer Electric Show (CES) 2016* : le démonstrateur G-Link du Leti / CEA Tech dope le haut-débit sans fil. Bienvenue dans les gigabits par seconde!

par Mathieu Grousson

L'ensemble de nos appareils électroniques est équipé du wifi ou autre Bluetooth depuis au moins 10 ans mais, dans le meilleur des cas, le « sans fil » ne permet pas d'envisager le téléchargement d'informations au-delà de quelques mégabits par seconde. Pour cause, cela impliquerait de travailler à haute fréquence, précisément dans le domaine radio. Or, les composants CMOS sur lesquels est fondée la totalité de l'électronique actuelle bas coût sont *a priori* incompatibles avec cette partie du spectre électromagnétique. « Plus on monte en fréquence, plus le gain des transistors diminue. Si bien qu'espérer tirer parti de composants CMOS à haute fréquence reviendrait à atteindre les performances d'une Ferrari à partir d'un moteur de mobylette » image Alexandre Siligaris, ingénieur à l'institut Leti / CEA Tech. C'est pourtant exactement ce défi qui vient d'être relevé. Comment ? En repensant de A à Z la

conception d'un système de communication sans fil, de l'architecture de la puce à l'intégration de l'ensemble des composants dans un boîtier bas coût, en passant par l'antenne dont la taille, eu égard à la plage de fréquences utilisées, ne dépasse pas 600 micromètres de large !

### Haut débit et économie d'énergie

« Les performances que nous avons obtenues sur nos antennes constituent une véritable rupture et une première mondiale », s'enthousiasme le chercheur. À la clé, un démonstrateur qui s'est récemment illustré en transmettant, sans contact et en temps réel, de la vidéo vers un écran avec un débit de 1 gigabit par seconde (Gb/s) pour une consommation réduite à 100 milliwatts (mW). « Cet exemple est très parlant », continue Alexandre Siligaris. Mais les débits autorisés par la technologie G-Link laissent également envisager des applications industrielles. » Par exemple dans l'aéronautique et le domaine ferroviaire où les gros connecteurs filaires souffrent des vibrations, voire dans les centres de données où la densité du câblage est une contrainte redoutable. Un important fondeur s'est ainsi rapproché du Leti / CEA Tech en vue du développement conjoint d'une première série de prototypes, d'un débit jusqu'à 5 Gb/s. pour seulement 50 MW, envisagée cette année pour les clients industriels. Quant aux premières puces de série pour les applications grand public, elles devraient sortir des chaînes de production en 2017 ou 2018, mettant le haut débit sans fil définitivement à portée de tous! ♦

Télécommunications

# Du super wifi contre la fracture numérique

Un accès haut-débit à Internet sur de larges étendues à partir d'un seul point d'accès et avec un simple modem sans fil ? Le tout, labellisé du standard IEEE 1900.7 dernier cri, et pour un coût réduit ? Voici le Tv White Space du Leti / CEA Tech, dévoilé au *Consumer Electric Show* (CES) édition 2016.

par Aude Ganier

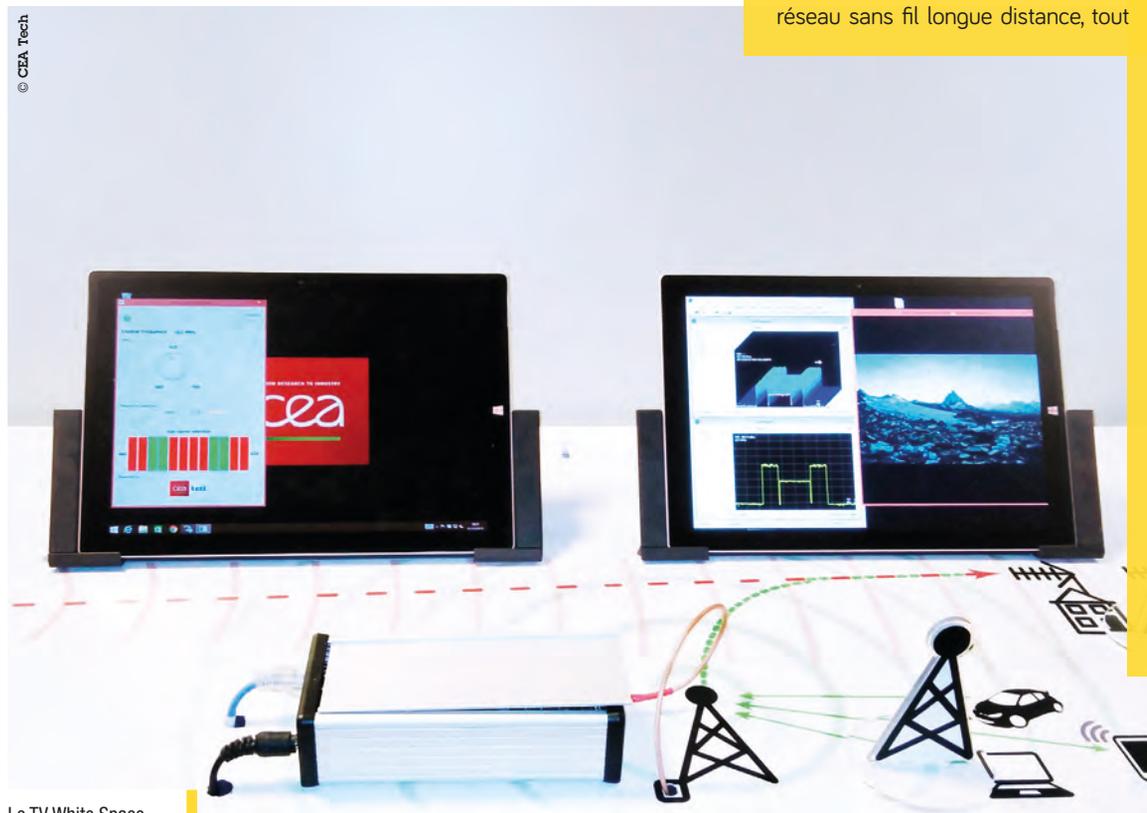
- Notes :
1. Modulation multiporteuse de signaux à bancs de filtres.
  2. Codage de signaux par répartition en fréquences orthogonales.

Ce modem sans fil devrait révolutionner l'accès aux services Internet pour les zones encore mal desservies ! Le TV White Space développé à l'Institut Leti / CEA Tech permet en effet, à partir d'un seul point d'accès, de fournir une excellente couverture à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, avec une étendue de 1 km en milieu urbain, 5 à 6 km en espace ouvert (et jusqu'à une limite théorique de 64 km en espaces libres). Il concerne alors autant les zones rurales, campus universitaires, grands sites industriels, que des entreprises ou maisons particulières désireuses d'étendre leur réseau interne. Et la prouesse des ingénieurs ne s'arrête pas là : leur démonstrateur devient le premier au monde à mettre en œuvre le standard IEEE 1900.7 de réseau sans fil longue distance, tout

récemment entré en vigueur. « En réalité, nous travaillons depuis 2010 à la création de cette norme au sein d'un consortium international de 50 membres présidé par un organisme japonais, précisément pour promouvoir nos technologies. Nous pouvons ainsi garantir aux industriels, outre la fiabilité du TV White Space, sa compatibilité avec les futurs produits » précise Dominique Noguét du Leti/CEA Tech.

## Un émetteur-récepteur qui utilise les canaux TV vacants

La technologie en question est basée sur celle de « l'accès dynamique au spectre ». « Il s'agit d'une forme de communication sans fil dans laquelle un émetteur-récepteur peut utiliser intelligemment les canaux de communication disponibles sans gêner ceux déjà utilisés. Cela permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio (RF) disponibles du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs. La ressource spectrale, de plus en plus rare à l'heure du web et de l'Internet des objets » explique l'ingénieur. Le TV White Space peut ainsi utiliser les canaux TV vacants (les *white spaces*), entre ceux de la diffusion de la TV, en se positionnant sur des bandes de largeur variable (par exemple entre 2 et 40 MHz). Adapté à de nombreuses applications (Internet des objets, super wifi), son innovation repose sur un prototype d'émetteur-récepteur générant des formes d'ondes dites FBMC<sup>1</sup>. Ce prototype permet ainsi une utilisation des RF beaucoup plus efficaces qu'avec le système de transmission OFDM<sup>2</sup> actuel. Autre avantage du TV White Space : son installation est très simple et très compétitive vu le nombre réduit de points d'accès nécessaires pour couvrir de larges étendues, à la différence du wifi ! ♦



Le TV White Space.

Mettre au service de la médecine, des substances pourtant destinées à tétaniser, paralyser voire tuer... Tel est l'objectif paradoxal d'une équipe de l'Ibitec-s / CEA, dont les travaux sont au cœur de plusieurs partenariats industriels. L'enjeu est en effet d'étudier les venins afin d'y découvrir des protéines d'intérêt thérapeutique!

par Vahé Ter Minassian



Cobra cracheur à cou noir.

## La **vénomique**

**S**erpents, araignées, scorpions, guêpes, cônes marins... plus de 173 000 espèces d'animaux disposent de la capacité de se défendre contre un prédateur ou d'attaquer une proie en sécrétant, au niveau de leurs crochets, dards et autres harpons, de redoutables cocktails aux effets neurotoxiques, cardiotoxiques ou hémotoxiques. « *Ces mélanges, sélectionnés tout au long de l'Évolution, agissent en s'attaquant à des cibles moléculaires bien précises des organismes vivants* » introduit Denis Servent de l'institut Ibitec-s / CEA. Et l'idée des chercheurs est de tirer parti de leurs mécanismes d'action, très sélectifs et ciblés, pour les proposer à l'industrie pharmaceutique en vue de développer des médicaments plus efficaces et aux effets secondaires réduits. Leur spécialisation, dans cette discipline de toxicologie également appelée « vénomique », concerne les molécules les moins connues des venins neurotoxiques qui pourraient être employées pour le traitement de la douleur

ou de certaines pathologies comme l'obésité, le diabète, les maladies cardio-vasculaires ou rénales.

### Cap sur les venins neurotoxiques

Créé voici quinze ans, le groupe « Toxines, récepteurs et canaux ioniques » de l'Ibitec-s / CEA n'est pas parti de rien. Dans les années 1970, sous l'impulsion d'André Menez, pionnier de la vénomique dont le nom fut donné à un cône marin (*Conus andremenezi*), le CEA avait déjà commencé à s'intéresser aux toxines animales. En partenariat avec l'équipe du professeur Jean-Pierre Changeux de l'institut Pasteur, d'importants travaux avaient été conduits à l'époque sur un **peptide** issu du venin du cobra cracheur à cou noir (*Naja nigricollis*). En se fixant et en bloquant les récepteurs nicotiques de l'**acétylcholine** au niveau de la jonction neuromusculaire, la toxine alpha est susceptible de provoquer une paralysie musculaire allant jusqu'à l'arrêt respiratoire d'une proie. Il s'agissait alors de trouver le moyen de ♦♦♦

#### Peptide

Mini-protéine constituée de dix à cent acides aminés.

#### Acétylcholine

Neurotransmetteur.



Mygale bleue.

marquer radioactivement (avec du tritium) cette molécule, afin de s'en servir comme un marqueur du récepteur nicotinique de l'acétylcholine au niveau du système nerveux périphérique. Par la suite, la mise en place d'un département dédié à l'ingénierie des protéines et le lancement en 1989 du programme « Protéine 2000 », n'a fait que renforcer la discipline au sein du CEA. En 2000, les chercheurs ont pu se doter d'une nouvelle structure pour élargir leurs travaux à d'autres venins neurotoxiques que ceux généralement étudiés. De quoi s'agissait-il ? Pour tuer, paralyser ou tétaniser, les araignées, scorpions, cônes marins et plusieurs espèces de serpents, font appel à des peptides à même de bloquer ou de modifier le fonctionnement de nombreux récepteurs et canaux ioniques présents au niveau du système nerveux central et périphérique.



Cônnes marines *Conus andremenezi*.

« (...) Seules 7 500 toxines animales sont connues sur un potentiel estimé à plus de 43 millions »

Nicolas Gilles, chercheur Ibitec-s / CEA

### Le mamba vert contre la polykystose rénale, les araignées contre la douleur...

Ces neurotoxines ne constituent qu'une partie de ces cocktails infernaux. Il en existe d'autres, peu connues car souvent non-létales, et donc très intéressantes sur le plan thérapeutique. Tel est le cas de l'ensemble des peptides agissant sur les « récepteurs couplés aux protéines G » (RCPG). Une « superfamille » dont les défaillances sont souvent montrées du doigt pour expliquer de nombreux désordres physiologiques. Au sein de l'équipe, Nicolas Gilles est l'un de ceux qui s'est intéressé avec succès à ce problème. En faisant appel à des procédés de **criblage** adaptés à la complexité des venins, il a réussi à identifier plusieurs peptides issus du venin d'un redoutable serpent africain : le mamba vert. Il a ainsi mis à jour une demi-douzaine de mini-protéines dont il a pu préciser, pour chacune, l'affinité, la sélectivité et le mode d'action. L'une d'entre elles, après tests sur rongeur, s'est avérée prometteuse.

« Nous avons constaté que la mambaquarétine a la propriété de bloquer le fonctionnement d'un seul type de récepteurs des cellules principales rénales : les récepteurs à la **vasopressine** de type 2 (V2R), explique le chercheur. Or, la mise hors circuit des "V2R" se trouve être l'une des stratégies préconisées pour ralentir la progression d'une maladie génétique, la polykystose rénale ». Cette grave pathologie, qui se manifeste par le développement de kystes au niveau des reins, peut nécessiter dans les cas extrêmes de placer le patient sous dialyse voire de pratiquer sur lui une greffe. En agissant spécifiquement sur les V2R, la mambaquarétine pourrait ralentir considérablement l'apparition des kystes et permettre de retarder le recours à ces traitements très lourds. Du moins si les études précliniques qui viennent de démarrer, dans le cadre d'un partenariat entre le CEA et le laboratoire Aguetant Pharma, sont concluantes. Comme on s'en doute, la polykystose rénale n'est qu'une des maladies sur laquelle le groupe travaille. En collaboration avec Sanofi qui finance une thèse au sein de l'Ibitec-s / CEA, les chercheurs vont par exemple étudier cette année des toxines issues majoritairement de venins d'araignée et dont les propriétés antidouleurs sont recherchées. Il s'agira alors d'établir précisément leurs propriétés pharmacologiques et leurs modes d'action par des approches *in vitro* et *in vivo*.

#### Criblage

Technique d'étude et d'identification de molécules aux propriétés nouvelles, biologiquement actives.

#### Vasopressine

Hormone peptidique au rôle anti-diurétique au niveau du rein.



Mamba vert.



**POURQUOI LE CEA est un expert en ingénierie des protéines ?**

Dès sa création, le CEA s'est adjoint les services de biologistes pour étudier les effets des rayonnements sur le vivant. Ces chercheurs ont parallèlement utilisé les isotopes radioactifs, fabriqués dans les réacteurs du CEA, comme traceurs pour investiguer l'intérieur des organismes. Ils se sont alors spécialisés dans l'ingénierie des protéines dont celles des toxines animales. Les biologistes sont aujourd'hui en mesure de proposer des innovations thérapeutiques.

© CEA



Modélisation de l'interaction d'une toxine sur un récepteur nicotinique.

**Venomics, ou le séquençage des peptides de venin de 201 animaux différents**

Dans le domaine de l'exploitation des venins à des fins thérapeutiques, découvrir la bonne toxine ne suffit toutefois pas. Encore faut-il réussir à intéresser l'industrie pharmaceutique ! Ce qui n'est pas si évident vu le coût élevé et la complexité des procédés de fabrication des médicaments peptidiques. Pour autant, l'un d'entre eux prescrit pour le traitement du diabète de type II, le Byetta, tiré de la salive du monstre de Gila, un saurien mexicain, figure parmi les *blockbusters* avec des ventes dépassant le milliard de dollars. Mais, constate Denis Servent : « ce médicament constitue une exception ». D'où la coordination en 2011 par l'Ibitec-s / CEA d'un ambitieux projet européen impliquant sept partenaires de cinq pays, Venomics. « *Achevé en octobre dernier, ce projet visait à doper la recherche sur les toxines animales dont seules 7 500 sont connues sur un potentiel estimé à plus de 43 millions ; et de démontrer aux industriels que les progrès récents des biotechnologies vont permettre de les exploiter* » indique Nicolas Gilles.

**Transcriptomique**

Étude des ARN messagers produits lors de la transcription d'un génome.

**Protéomique**

Étude de l'ensemble des protéines d'une cellule, d'un tissu, d'un organe...

**Une banque de peptides prêts à l'emploi... pré-clinique**

Avant d'y parvenir, les chercheurs auront vécu une véritable aventure. Il leur a fallu, d'abord, se procurer la matière première nécessaire à leurs travaux : des venins et des glandes à venins provenant d'animaux exotiques. Pour les serpents, scorpions, araignées, lézards, abeilles, scolopendres, fourmis, anémones de mer, poissons-pierres

et raies, une solution a pu être trouvée en se fournissant auprès de la société spécialisée Alphabiotoxine, basée en Belgique. « *Pour d'autres espèces, il a fallu se résoudre à aller sur le terrain* », raconte Frédéric Ducancel du CEA. Deux expéditions en Guyane, une autre à Mayotte et une dernière en Polynésie française ont ainsi été consacrées à la récolte d'insectes, de myriapodes, de cônes et de mollusques *Terebridae*. Puis, les scientifiques ont dû procéder à l'analyse de ce matériel en mettant en œuvre, dans deux laboratoires espagnol et belge, des procédés complexes de **transcriptomique** et de **protéomique**. Cela, afin de constituer une banque virtuelle de 25 000 peptides dont 4 000 ont ensuite été synthétisés, au CEA, par voie chimique et, à l'université d'Aix-Marseille, par des techniques « d'expression recombinante », consistant à les faire produire par des bactéries. Cette première banque synthétique de toxines a ensuite été criblée par le groupe « Toxines, Récepteurs et Canaux Ioniques » et la société danoise Zealand Pharma. Les deux partenaires ont déjà pu identifier qu'une trentaine de ces mini-protéines présentent des affinités intéressantes vis-à-vis de certains récepteurs cellulaires. Et ainsi valider que la stratégie développée par Venomics était appropriée. ♦

**WWW**  
www.venomics-projet.eu

**La plus importante banque de toxines**

Le projet européen Venomics, coordonné par l'Ibitec-s / CEA, s'est fixé l'objectif ambitieux de séquencer les peptides contenus dans les venins de 201 animaux différents, selon une stratégie d'exploration et d'exploitation des venins qui est *a priori* la plus efficace actuellement. Il a ainsi pu générer la plus importante banque de toxines. Presque 4000 d'entre elles ont été produites puis criblées contre des cibles d'intérêt. Cette banque a permis d'identifier très rapidement des toxines aux activités pharmacologiques tout à fait originales. Première du genre, elle intéresse de fait plusieurs industriels pour pouvoir la cribler sur leurs propres cibles thérapeutiques.



Monstre de Gila.



© L. Zilberman - 57A

# Cybersécurité : le CEA aux avant-postes

par Mathieu Grousson

**P.15**  
Sécuriser  
les systèmes  
industriels

**P.16**  
Le numérique  
en première  
ligne

**P.17**  
Cyberattaques :  
la protection  
au cœur du  
silicium

**P.18**  
Des solutions pour  
les réseaux électriques  
intelligents

# Mobilisé contre les menaces cybercriminelles

Juin 2010 : centrifugeuses iraniennes d'enrichissement d'uranium mises hors d'usage par un ver informatique ; fin 2014 : fours industriels endommagés dans une aciérie allemande. De même, août 2011 : démonstration par un expert en sécurité qu'il est possible de manipuler à distance des dispositifs médicaux tels qu'une pompe à insuline, un pacemaker ; juillet 2015 : prise de contrôle d'une voiture connectée sans chauffeur, depuis l'extérieur, par des chercheurs en sécurité informatique.

Désormais, dans un univers « ultra-connecté » (industries, réseaux vitaux, entreprises, particuliers...), plus rien ni personne n'est à l'abri d'un acte de piraterie informatique. Rendu public le 29 avril 2013, le *Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale* n'y va pas par quatre chemins : ces nouvelles menaces « imposent d'augmenter de manière très substantielle le niveau de sécurité et les moyens de défense de nos systèmes d'information. »

Dans ce but, le CEA s'est lancé dans un vaste programme transversal de lutte contre la cybercriminalité qui apparaît comme « le second pilier naturel de notre effort global en sécurité, effort initié en 2005 à la demande des pouvoirs publics avec une priorité donnée alors aux

menaces dites **NRBC-E** » indique Laurent Olmedo, directeur du programme Sécurité globale de la Direction des applications militaires du CEA (CEA-DAM). « *En tant qu'opérateur d'installations nucléaires, il appartient en premier lieu au CEA de démontrer et de garantir sa propre sécurité* » poursuit le spécialiste. D'où une légitimité forte sur les problématiques de cybersécurité industrielle. Par ailleurs, les compétences reconnues du CEA en électronique le positionnent naturellement sur les questions de sécurité des composants des systèmes d'information. L'institut Leti / CEA Tech figure ainsi parmi les trois laboratoires français de référence pour les tests de sécurité des cartes à puce ; parallèlement, l'institut List / CEA Tech développe depuis des années une expertise sur les logiciels et la manipulation de données numériques.

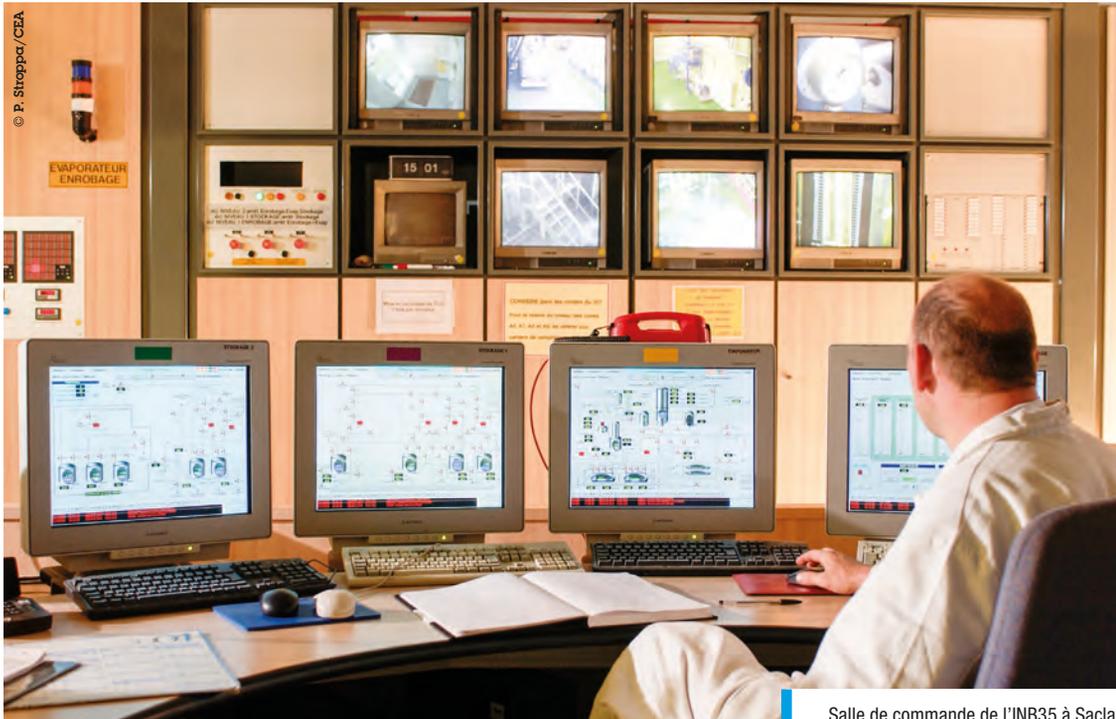
« *Nous ne prétendons pas être exhaustifs, note Laurent Olmedo. Mais nous nous sommes positionnés efficacement dans nos propres domaines d'excellence.* » L'ensemble des forces du CEA se mobilise alors pour répondre à des problématiques de cybersécurité allant du monde des cartes bancaires aux réseaux d'énergie, en passant par l'Internet des objets ou l'industrie nucléaire.

**NRBC-E**  
Nucléaire,  
radiologique,  
biologique,  
chimique  
et explosif.

## Transferts de technologies en vue

En 2015, le CEA a signé un partenariat avec Sopra Steria, leader européen du numérique. « *Cet accord porte sur deux thèmes principaux : la détection de bruits numériques faibles à partir de technologies de traitement du signal, et la création d'une nouvelle génération de war room digitale, dynamique et multisupports, adaptée à la gestion de crise de cybersécurité* » explique Nicolas Sillon, de CEA Tech Midi-Pyrénées. Sur le premier thème, les scientifiques du CEA vont passer au crible les masses de données fournies par la société afin de déterminer la meilleure façon d'y déceler la plus petite anomalie de sécurité. Concernant le second, ils mettront en place un prototype basé sur des technologies en interface tactile, réalité augmentée et 3D. Par ailleurs, dans le cadre du projet Box@pme, le CEA et Sopra Steria collaborent pour la définition d'une box qui centralise analyse et sécurisation des flux de données de l'ensemble d'une chaîne de sous-traitance.

**war room**  
Salle de gestion  
de crise.



Salle de commande de l'INB35 à Saclay.

# Sécuriser les systèmes industriels

Les procédés industriels ne sont plus à l'abri d'attaques informatiques. Opérateur d'installations nucléaires, le CEA organise la défense.

**A**vec une expérience historique sur les questions de sûreté et de sécurité de ses installations nucléaires, le CEA est en première ligne en matière de cybersécurité des systèmes industriels. Comme le résume Patrick Baldit, chef du Service des technologies de l'information et de la communication du centre de Cadarache, « le concept clé est ici celui de défense en profondeur ». Jusqu'à la fin des années 2000, la sécurité des systèmes industriels était assurée par un ensemble de barrières, portiques, contrôle d'accès et autres sas... Mais en 2010, le monde de la sécurité a pu mesurer les ravages du ver informatique Stuxnet qui a pris le contrôle d'installations du programme nucléaire d'enrichissement iranien pour le mettre hors d'usage. Le CEA a pris

en compte cet événement en examinant en profondeur la défense de ses installations industrielles critiques avec, comme tête de pont, le site de Cadarache qui compte à lui seul 21 installations nucléaires de base. Objectif : mettre en place un centre opérationnel de sécurité informatique dédié à l'ensemble des systèmes de contrôle industriel du site.

## Surveiller les échanges d'information et le pilotage des systèmes

« Ce centre bénéficie de l'intégration d'une double expertise, d'une part en surveillance des réseaux d'information du monde bureautique, et d'autre part en contrôle-commande des systèmes d'infrastructures industrielles », explique Patrick Baldit. Avec un maître

mot : supervision, c'est-à-dire la capacité de visualiser la totalité des interactions et des échanges de l'ensemble des composants du site, ainsi que du contrôle-commande de tous les automates et terminaux informatiques. Pour y parvenir, les experts ont développé en 2014 et 2015 une plateforme de test et de qualification « cybersécurité des systèmes industriels » pour simuler à l'identique l'ensemble des dispositifs matériels et logiciels mis en œuvre sur les infrastructures de la Direction de l'énergie nucléaire du CEA (CEA-DEN) à Cadarache. « Les programmes des automates de la plateforme virtuels sont ceux utilisés réellement, ce qui nous permet de disposer des flux réels », explique l'expert. Dans ce cadre, un partenariat important a été mis en place avec la startup lyonnaise Sentryo, lauréate du prix de l'innovation de l'édition 2015 des Assises de la sécurité des Systèmes d'information. Celle-ci propose des sondes qui, placées en différents points du réseau formé par les éléments d'un système industriel, permettent d'établir une cartographie des interactions qui y ont cours. « Afin de détecter d'éventuelles intrusions, à partir de la connaissance des configurations considérées comme normales, Sentryo a fait le développement et nous sommes intervenus pour une mise en œuvre en situation sur notre plateforme. Une première version de la technologie est déjà prête », explique Patrick Baldit. Et un nouveau projet financé par la DGA a été mis en place fin 2015 pour munir les sondes de Sentryo de capacités d'analyse comportementale dans une optique big data. « À terme, ces développements s'intégreront dans un socle incluant la détection des anomalies en temps réel et des réponses de défense, afin de garantir la continuité et l'intégrité de l'activité du site », ajoute Patrick Baldit. De quoi faire des installations nucléaires du CEA un modèle de résistance aux attaques numériques, alors que des obligations réglementaires en matière de cyber-surveillance s'imposeront prochainement à l'ensemble des infrastructures vitales ! ♦

# Le numérique en première ligne

L'information c'est d'abord des données, des logiciels et beaucoup de communication. Autant de segments pouvant devenir la cible de hackers, et pour lesquels les informaticiens du CEA proposent des solutions désormais incontournables.

## Code source

Instructions d'un programme informatique écrites sous la forme d'un fichier texte dans un langage de programmation qui permet de générer une représentation binaire de séquences d'instructions exécutables par un processeur.

« Nous faisons la chasse aux bugs! » résume Florent Kirchner, de l'institut List / CEA Tech. Comprenez : face aux moyens colossaux mobilisables par des pirates à la solde de mafias, voire de puissants États, une des stratégies développée par le List / CEA Tech consiste à garantir qu'un **code source** ne contient aucune erreur de conception pouvant constituer une vulnérabilité de sécurité. Comment ? En le transformant en un ensemble de propositions mathématiques à partir desquelles il est possible de démontrer que le programme dont elles constituent une image miroir est, ou n'est pas, sensible à une famille d'attaques. Et cette prouesse n'a rien d'une abstraction académique. Elle est concrètement mise en œuvre sur la plateforme Frama-C, initialement développée par le List / CEA Tech pour la vérification de codes

critiques embarqués pour l'aéronautique (Airbus) et le nucléaire (EDF) notamment. Une version spécialisée est désormais mise à disposition de tous par la start-up TrustInSoft pour des analyses de sécurité. Preuve de son niveau d'excellence ? Les outils fondés sur la technologie Frama-C que propose la jeune société essayée par le CEA sont les seuls à avoir passé avec succès des tests réalisés par le Nist<sup>1</sup> en 2014 aux États-Unis, dans le cadre d'une campagne d'expérimentation des outils d'analyse statique de code. « Actuellement nous travaillons à étendre cette approche à la vérification des codes en cours d'exécution. En effet, certaines propriétés importantes pour la résistance aux intrusions malveillantes dépendent non seulement de son code source en tant que tel, mais aussi de la manière dont il est exécuté par un ordinateur, ajoute Florent

Kirchner. Dans ce cadre, nous avons noué des partenariats en France et à l'international, qui restent pour l'heure confidentiels. »

## Sécuriser les portes d'accès au réseau

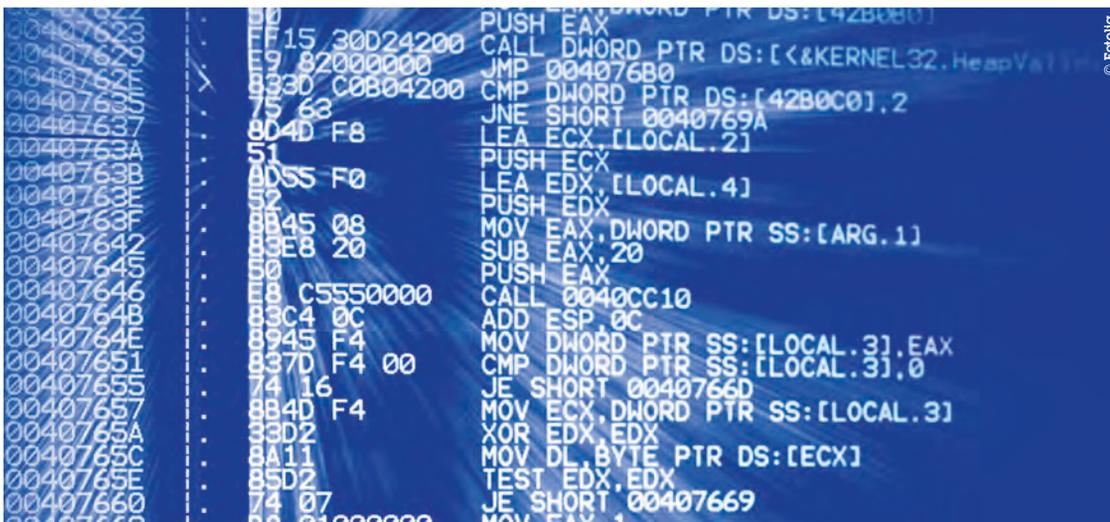
Une autre équipe du List / CEA Tech s'intéresse à la sécurité des communications machine to machine (M2M). « S'agissant des capteurs, actionneurs, smartphones (qui constituent autant de portes d'entrées sur des réseaux plus vastes, la problématique est celle de composants particulièrement vulnérables aux attaques par manque de puissance et de mémoire », explique Alexis Olivereau, du List. Parades proposées : la mise au point de protocoles peu gourmands en ressources permettant par exemple un renouvellement dynamique de clés de cryptage utilisées dans le réseau ou encore la réalisation d'un mécanisme de détection d'intrusions léger mais robuste adapté à ces réseaux contraints. « Dans le cadre d'un projet européen, nous avons récemment testé avec succès ces technologies dans un réseau de capteurs peu puissants et de faible mémoire », s'enthousiasme le chercheur.

## Préserver la confidentialité des données

Il se pourrait aussi que l'échange de clés ne soit plus nécessaire, à l'avenir, pour exploiter des données cryptées. Comment ? Grâce aux travaux d'un autre laboratoire du List / CEA Tech qui vient de montrer comment manipuler ces données sans avoir à les déchiffrer au préalable. « Nous utilisons des techniques cryptographiques à sécurité prouvée qui permettent de réaliser n'importe quelle opération directement sur des données chiffrées ; et nous avons franchi cette année le seuil au-delà duquel l'implémentation de ces techniques lourdes en calculs, devient possible dans des cas concrets », explique Renaud Sirdey, du List. Avec, à la clé, des collaborations avec le groupe Atos pour le traitement de données de santé, et Thales pour des sondes réseau. Comme le résume l'expert, « avec cette approche, la question de la confidentialité est réglée de manière intrinsèque » ; et donc définitive ! ♦

### Note :

1. Nist : National Institute of Standard and Technology



# Cyberattaques : la protection au cœur du silicium

Implémentés sur des supports physiques, les données et algorithmes cryptés – pourtant inviolables – sont la proie d'attaques en tous genres. Fort de l'expérience acquise dans le domaine des cartes à puce, des laboratoires du CEA sont aujourd'hui passés maîtres dans l'art d'analyser et de circonscrire ces attaques dites physiques.

**T**raditionnellement, la sécurité des composants est la spécialité de l'institut Leti / CEA Tech, l'un des trois laboratoires habilités en France à réaliser des évaluations sécuritaires des cartes à puce. « Nous sommes de très bons hackers, ironise Alain Merle, responsable des programmes sécurité et défense du Leti / CEA Tech. Nous comptons parmi nos partenaires la quasi-totalité des fabricants de cartes à puce: Samsung, Gemalto, MORPHO, Oberthur, ST Microelectronics, NXP... plus d'autres que je ne peux pas citer... »

## Scruter les composants pour déterminer leurs failles

Aux côtés du Leti, les chercheurs de CEA Tech PACA disposent d'importants moyens de rétro-ingénierie. « Rien qu'en écoutant le murmure des composants, nous pouvons en déterminer le fonctionnement ou l'architecture », explique Jacques Fournier. Ainsi, son laboratoire a par exemple été sollicité pour aider la justice à mettre au jour le *modus operandi* dans une affaire de détournement de cartes bancaires sur lesquelles des malfaiteurs avaient placé un dispositif permettant de les utiliser sans recourir au code PIN. « Nous avons également de nombreux contrats avec des entreprises qui nous consultent sur la vulnérabilité et la sécurisation de leurs composants », ajoute le chercheur.



Par exemple, plusieurs thèses en collaboration avec ST Microelectronics, cherchent à déterminer la vulnérabilité de certains composants aux attaques dites par faute qui provoquent un comportement inhabituel dans l'exécution des protocoles cryptographiques dans le but d'en extraire des informations secrètes. « Une partie très fondamentale vise à étudier la physique de l'interaction laser/composant qui permet l'introduction des fautes, une autre à imaginer des contre-mesures », détaille Jacques Fournier. Les solutions proposées par les spécialistes du CEA font appel à l'ensemble des savoir-faire de l'organisme en matière de composants : architectures de puce interdisant d'y lire des informations de l'extérieur ; capteurs insérés sur un composant lui permettant de repérer une situation d'attaque ; circuits vierges de rayonnement électromagnétique ou présentant une consommation constante quel que soit son niveau d'activité ; logiciels embarqués résistants à l'injection de fautes... Comme le résume Alain Merle : « nous sommes des fournisseurs de briques de base technologiques à nos partenaires. »

## Tous les secteurs sont concernés

L'activité « sécurité des composants » est en effet en très forte croissance. « Initiée il y a 15 ans au CEA avec l'évaluation de la sécurité des cartes à puce, elle se décline désormais sur les composants pour l'automobile, les systèmes industriels ou les objets connectés, impliquant des collaborations entre les différents instituts du CEA... » rappelle Alain Merle. Et avec la montée en puissance de l'**Internet des objets** (IoT), la tendance devrait se poursuivre. « L'avènement de l'IoT induit une jungle d'objets connectés pour lesquels les standards de sécurité sont très balbutiants. À la première faille, des millions d'utilisateurs seront impactés. Ainsi, aux risques de préjudice pour les personnes (vol de données, usurpation d'identité...) s'ajoute un risque économique si jamais ces technologies devaient alors être boudées par les consommateurs. L'enjeu est très important », analyse Jacques Fournier. Et les réponses à y apporter sont parfaitement bien cernées par les spécialistes du CEA ! ♦

### Internet des objets

(Internet of Things) Scénarios dans lesquels la connectivité réseau et les capacités de calcul s'étendent à des capteurs ou objets du quotidien (non considérés comme des ordinateurs) leur permettant de générer, échanger et consommer des données avec une intervention humaine minimale.

# Des solutions pour les réseaux électriques intelligents

Intégration des énergies renouvelables sur le réseau électrique, optimisation de la distribution et de la consommation : à n'en pas douter, l'époque est aux réseaux électriques intelligents! Mais ils ne le seront réellement que lorsque leur cybersécurité sera garantie.

**D**ans les réseaux électriques, circule bien sûr de l'électricité. Mais également de multiples informations confidentielles pour les clients et/ou les opérateurs. Ils s'exposent alors aux cyberattaques qui visent à dérober des données privées, frauder à la consommation, ou bien utiliser les « compteurs intelligents » comme porte d'entrée pour déstabiliser tout ou partie du réseau. À la croisée des problématiques de cybersécurité industrielle, des composants et des logiciels, le CEA ne manque pas de projets pour contourner ces pièges. « CEA Tech fait partie des porteurs de la réponse de la région PACA à l'appel à projet Réseaux électriques intelligents (REI) », détaille Jacques Fournier. Si notre candidature est retenue, le CEA coordonnera la thématique "cybersécurité" transversale à tous les projets de ce REI. »

**Note :**  
1. Appel à projet conjoint du ministère de l'Écologie et du ministère des Finances.

## Le compteur intelligent, source de vulnérabilité ?

Alors que la France commence le déploiement de sa première génération de compteurs intelligents et que le Royaume-Uni attaque la deuxième, « on sait que des failles de sécurité existent » lâche l'expert. D'où la candidature du CEA dans le cadre des appels à projets H2020 de la Commission européenne sur la sécurité de ces dispositifs, en collaboration avec des équipes anglaises et autrichiennes. Premier volet de la réponse : faire un état de l'art de la robustesse des matériels déjà déployés en Allemagne, Autriche, Belgique et France. « Il s'agira d'une phase d'analyse physique, détaille Jacques Fournier. Comment les protocoles de sécurité sont-ils implantés au niveau des composants ? Est-il possible d'espionner

ces derniers ? » Lors d'une seconde étape, les chercheurs viseront l'amélioration de l'existant, avec une proposition à trois étages : optimiser les algorithmes cryptographiques pour protéger les données privées ; développer des implémentations améliorées des protocoles de sécurité au sein des composants contre les attaques physiques ; assurer la montée en gamme des protocoles agissant à l'échelle du réseau afin de garantir une continuité de service, y compris en cas d'attaque. Plusieurs équipes du CEA sont concernées : CEA Tech en PACA sur la sécurité physique des composants des compteurs ; List / CEA Tech pour la partie monitoring intelligent des données du réseau et la capacité à réagir en cas d'anomalie de sécurité ; et CEA-DEN pour les aspects de supervision de réseaux. « Le réseau électrique constitue une infrastructure critique. L'idée est donc d'empêcher toute rupture de service », précise Jacques Fournier.

Par ailleurs, les spécialistes du CEA travaillent sur des aspects de normalisation. « C'est ce qui a permis d'atteindre le niveau de sécurité très élevé des cartes à puce, indique Alain Merle du Leti / CEA Tech. Dans le domaine des compteurs intelligents, beaucoup de progrès restent à faire. » Sur la question, le CEA a notamment participé de près à l'élaboration d'un Livre blanc sur la cybersécurité des réseaux électriques intelligents, paru en juin 2015 et issu des travaux du groupe de travail « REI-cyber » constitué au sein du cercle des entreprises de la SEE (Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication). De quoi, en donnant aux réseaux électriques la capacité de se défendre contre les cyberattaques, encore accroître leur intelligence ! ♦



Smart-grid de l'INES.

Liten / CEA Tech

Laboratoire des nouvelles technologies  
de l'énergie et des nanomatériaux

IRCM / CEA

Institut de radiobiologie cellulaire et moléculaire

Leti/CEA Tech

Laboratoire des micro & nanotechnologies  
et leur intégration dans les systèmes



### Microélectronique

## Toujours plus de souplesse pour les composants électroniques

Après les transistors et les capteurs de pression, au tour des **jauges de déformation** d'être produites par impression sur substrat souple ! Cette prouesse technique, réalisée au sein de l'institut **Liten/CEA Tech**, offre des circuits aux performances équivalentes à ceux fabriqués par lithographie. Avec un procédé pourtant plus simple, utilisant moins de matériaux et coûtant moins cher. « *Il est possible d'imprimer jusqu'à 10 000 capteurs par mètre carré, pour une dizaine d'euros seulement* » s'enthousiasme Romain Coppard, ingénieur au Liten. Autres avantages : la technique permet d'imprimer les jauges sur de très grandes surfaces et avec d'autres types de capteurs. « *On peut ainsi adapter le design et la répartition des capteurs pour différentes applications* » précise le scientifique. Un premier démonstrateur a été validé pour le contrôle d'un réseau de distribution d'eau. Par ailleurs, la technologie intéresse l'industrie aéronautique pour les tests des ailes d'avion. AL

### Jauge de déformation

Capteur traduisant la déformation d'une pièce en variation de résistance électrique.

### Procédés & matériaux

## Les capteurs chimiques vont se faire mousser

Comment améliorer la porosité des couches sensibles des capteurs chimiques ou biochimiques ? La réponse, éprouvée avec succès à l'institut **Leti/CEA Tech**, réside dans le « moussage » : « *ce concept consiste à recuire la couche sensible (recouverte d'une couche sacrificielle) car les gaz générés par la montée en température y sont confinés, la faisant gonfler et créant davantage de porosité* » explique Vincent Jousseau. Appliquée à des couches minces d'organo-silicés, cette approche a permis d'atteindre un record de 70 % de porosité, contre 50 % pour les techniques usuelles. De plus, ces couches sensibles sont compatibles avec les procédés CMOS. AG

### Biologie moléculaire

## Stopper le zèle des sentinelles immunitaires

L'interféron bêta (Ifnb) est une glycoprotéine jouant un rôle majeur dans la réponse immunitaire. Cependant, son expression doit être très contrôlée car, produit en excès, l'Ifnb peut entraîner l'apparition de maladies auto-immunes. Une collaboration internationale, initiée par une équipe de l'institut **IRCM/CEA**, élucide les mécanismes de synthèse de l'Ifnb par les macrophages. « *Dans ces cellules sentinelles qui initient la réponse immunitaire, la production d'Ifnb est régulée par le facteur de transcription TRIM33. Celui-ci n'a pas de rôle dans le déclenchement de l'expression du gène de l'Ifnb, mais il permet de l'éteindre à la fin de la réponse inflammatoire. Et cet arrêt de la production par TRIM33 est primordial!* » précise Paul-Henri Roméo, biologiste de l'IRCM. Ces résultats ouvrent la voie de développements pharmacologiques visant à moduler l'expression de l'Ifnb dans les macrophages lors d'infections, de maladies auto-immunes, ou de cancers. AL





Embryon de 5 jours.

### Biomarqueur

## PROK1 « booste » la FIV

PROK1, voilà un biomarqueur prometteur dans le pronostic de réussite de la fécondation *in vitro* (FIV). En collaboration avec le CHU de Grenoble, des chercheurs de l'institut Big / CEA ont étudié la présence de cette protéine dans l'environnement ovarien de plusieurs femmes avant une FIV. « Lors du prélèvement des ovocytes, nous avons récupéré le liquide folliculaire, c'est-à-dire le liquide contenu dans les capsules qui entourent les ovocytes, pour y mesurer le taux de PROK1. Mesures également effectuées dans le milieu de fécondation, » explique Sophie Brouillet, chercheuse à l'institut Big. Résultat : un lien est apparu entre des quantités élevées de PROK1 et la réussite de la FIV.

La prochaine étape consistera à mesurer le taux contenu dans l'environnement de chaque embryon. Ainsi, à terme, une application clinique de ce biomarqueur pourrait permettre de sélectionner directement ceux qui auront le plus de chance de s'implanter dans l'utérus. AL

### Datation au carbone

## Rendre à César ce qui appartient à César

Inédit : en datant des agrafes de fer par le carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ), deux équipes de recherche du CEA déterminent l'âge absolu de la construction du temple Baphuon d'Angkor, au Cambodge. Alors que la datation au  $^{14}\text{C}$  se fait habituellement sur des matières organiques ou carbonatées, les scientifiques sont parvenus à mesurer l'isotope présent dans le métal de ces agrafes en raison de l'utilisation, à l'époque, de charbon de bois comme source d'énergie pour la production du fer. « Nous avons tout d'abord localisé dans l'objet les endroits susceptibles de contenir le plus de  $^{14}\text{C}$ , bien que les quantités restent infimes. Puis, nous avons prélevé et préparé les échantillons pour effectuer les mesures par spectrométrie de masse » expliquent Stéphanie Leroy de l'Institut Iramis / CEA et Emmanuelle Delque-Kolic du LSCE.

Combinées avec les connaissances historiques, les données ont permis d'identifier le roi Khmer Suryavarman I<sup>er</sup> (1010-1050) comme étant à l'origine de la construction de ce temple, et non pas son fils ! Prochaine étape de ce projet ANR : la datation du temple Angkor Vat. AL



### Capteurs & instrumentation

## Fonction boussole à tous les étages

On connaissait les accéléromètres, gyromètres et autres magnétomètres réalisés dans la technologie M&NEMS de l'institut Leti / CEA Tech. Voici à présent des capteurs de pression, aussi précis que les meilleurs capteurs capacitifs, qui détectent des variations d'altitude de 10 cm. Associés sur une puce unique aux autres capteurs M&NEMS<sup>1</sup>, ils permettent de proposer un service de navigation pedestre à l'intérieur des bâtiments, là où les systèmes de géolocalisation ne passent pas toujours. « Indispensable pour se repérer dans le dédale des aéroports ou des centres commerciaux ! » indique Patrice Rey. AG

Note :  
1. Accéléromètres, gyromètres, magnétomètres.

**Irfu / CEA**  
Institut de recherche sur les lois fondamentales  
de l'Univers

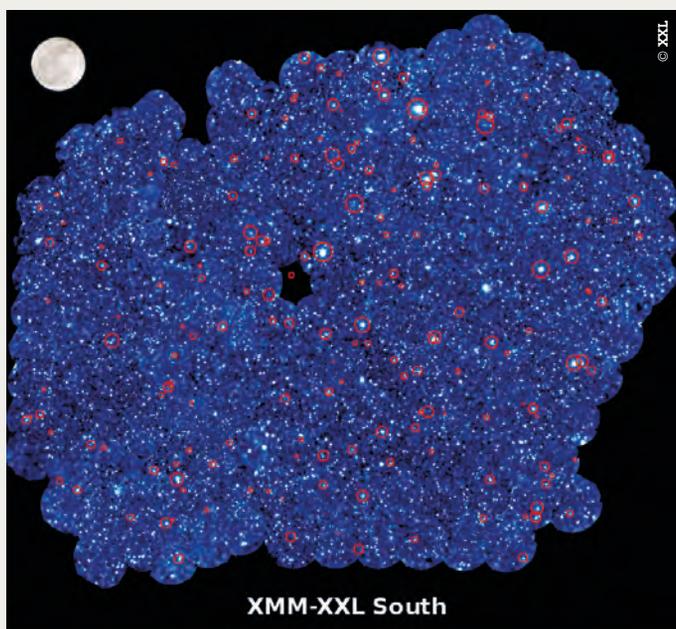
**Ibitec-s / CEA**  
Institut de biologie et de technologie

**I<sup>2</sup>BM / CEA**  
Institut d'imagerie biomédicale

**Astrophysique**

## XXL amasse les galaxies

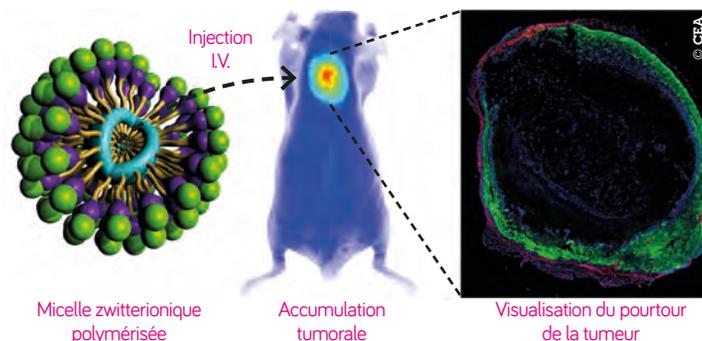
450 amas de galaxies, dont 5 nouveaux super-amas, et 22 000 **galaxies actives** : voici la moisson d'objets localisés et identifiés par le projet XXL, collaboration internationale menée par l'Institut **Irfu / CEA**. Ce vaste sondage de l'Univers, réalisé à l'issue d'observations inédites<sup>1</sup> du satellite XMM-Newton de l'Es<sup>2</sup> et des télescopes de l'Es<sup>3</sup>, doit former un catalogue d'amas de galaxies situés à des distances si lointaines qu'ils peuvent être observés tels qu'ils étaient lorsque l'Univers avait la moitié de son âge actuel. « *L'enjeu est de reconstituer l'évolution et la répartition spatiale de ces structures, jusqu'à plus de 11 milliards d'années-lumière. Pour cela, nous observons des régions du ciel dites "vides", où se trouvent très peu de sources brillantes afin de pouvoir détecter les amas lointains qui sont des sources très faibles* » détaille Marguerite Pierre, responsable du projet à l'Irfu / CEA. Il s'agit ainsi pour les chercheurs de tester différents scénarios cosmologiques. En effet, les premiers résultats, portant sur l'analyse de 100 amas de galaxies, vont leur donner du grain à moudre. La densité d'amas apparaît sensiblement moins élevée que prévue, tout comme la quantité de gaz dans ces amas qui est plus faible qu'attendue. « *Cela suggère, soit que certains paramètres de la physique des amas doivent être revus, soit que le modèle cosmologique est plus complexe ou différent de ce qui est envisagé actuellement* » confie l'astrophysicienne, confiante dans l'analyse à venir des 450 amas de galaxies pour préciser cette conclusion. AG



Détection de près de 200 amas de galaxies (cercles rouges) et plus de 10 000 noyaux de galaxies actives (points blancs) par le satellite XMM-Newton.

**Nanomédecine**

## Des nanovecteurs pour circuler incognito



**Galaxie active**

Galaxie possédant un trou noir en son centre.

**Notes :**

1. 543 observations menées entre 2011 et 2013 ont nécessité plus de 6 millions de secondes d'exposition, soit le plus grand programme alloué à XMM-Newton.
2. www.esa.int
3. www.eso.org

**Amphiphile**

Se dit d'une espèce chimique composée d'une partie hydrophobe et d'une partie hydrophile.

**Polymérisation**

Réaction chimique, fonction du temps et de la température, conduisant la matrice à se solidifier de manière irréversible.

**Zwitterions**

Espèce chimique moléculaire possédant des charges électriques de signes opposés et situées en général sur des atomes non adjacents.

« Nos micelles sont stabilisées et furtives vis-à-vis du système immunitaire ce qui leur permet de circuler de façon prolongée dans le sang pour atteindre leur cible » : voici comment Eric Doris, chercheur à l'institut **Ibitec-s / CEA**, décrit les vecteurs nanométriques développés par son équipe, en collaboration avec l'institut **I<sup>2</sup>BM / CEA Sciences**. Les micelles sont des assemblages sphériques **amphiphiles** dont le cœur peut servir de réservoir pour un agent thérapeutique ou d'imagerie. Mais cette structure est normalement instable. C'est en utilisant la **polymérisation** que les chercheurs sont parvenus à renforcer les micelles. Par ailleurs, ils ont incorporé des **zwitterions** à leur surface pour leurrer le système immunitaire et éviter leur destruction. « *Nous avons ensuite injecté des micelles chargées avec un agent d'imagerie à des souris porteuses de tumeurs cancéreuses. Après 48 h, environ 5 % se sont accumulés autour de la masse tumorale. Cette accumulation, qui se fait via les vaisseaux poreux qui irriguent la tumeur, permet alors d'en visualiser la taille et la forme* » explique le chercheur. Ce résultat pourrait trouver son utilité dans la chirurgie assistée par imagerie, rendant possible l'exérèse des tumeurs tout en préservant les tissus sains. AL

**Toxicologie**

## Quand le répulsif dope l'insecticide

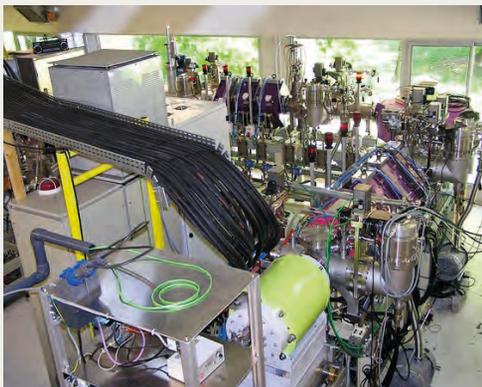
Les insecticides dits pyréthrinoïdes se heurtent à une résistance croissante des moustiques vecteurs de maladies. Une nouvelle stratégie de lutte contre ces animaux consiste à combiner un insecticide non pyréthrinoïde (le carbamate) et un répulsif (le DEET). Et le mode d'action de ce produit a été révélé par une étude associant l'institut **Ibitec-s/CEA**.

Le carbamate bloque l'enzyme acétylcholinestérase, ce qui dérègle le taux du **neurotransmetteur** acétylcholine et entraîne la mort du moustique. En travaillant sur des neurones de blattes, les scientifiques ont constaté qu'en faible quantité, le DEET augmente cette sensibilité de l'acétylcholinestérase au carbamate. « *Le DEET se fixe sur les récepteurs muscariniques de l'acétylcholine, provoquant une cascade d'événements qui accroît la toxicité de l'insecticide* » explique Denis Servent, chercheur à l'Ibitec-s / CEA. *In vivo*, les scientifiques ont démontré que la combinaison DEET + carbamate était effectivement plus létale que l'insecticide seul chez un moustique vecteur de la dengue, de la fièvre jaune et du chikungunya. Tout en restant inoffensif pour l'homme. AL

**Neuro-transmetteur**  
Molécule qui assure le transfert du signal nerveux.

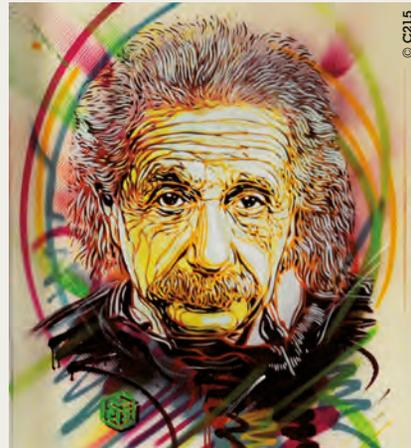
**Récepteur muscarinique**  
Une des familles de récepteurs qui lie spécifiquement l'acétylcholine libérée dans la fente synaptique.

**Physique nucléaire**



## Protons à toute vitesse!

L'injecteur de Spiral 2 accélère son premier faisceau de protons, à une énergie nominale proche de 0,75 MeV. L'étape est cruciale pour cet accélérateur linéaire de particules du Ganil, unique au monde, auquel contribuent des équipes de l'institut **Irfu** du CEA. Les expériences de Spiral 2 débuteront fin 2016 pour produire des noyaux exotiques légers et lourds à des intensités extrêmement élevées. Enjeu: découvrir de nouvelles propriétés de la matière. AG



## EN GÉNÉRAL, TOUT EST RELATIF!

La vidéo du CEA qui revient sur la genèse de la théorie de la relativité générale.

À travers de nombreuses anecdotes, Étienne Klein, directeur de recherche au CEA, conte les « étapes qui ont conduit Albert Einstein à publier sa théorie de la relativité générale... ». Une façon de découvrir la réflexion et la créativité scientifique du physicien qui, dès 1907, s'attache à décrire la gravitation. Et ce, à partir de l'intuition simple selon laquelle une personne en chute libre ne sent plus son poids. Par la suite, il publiera les célèbres équations définitives de la théorie de la relativité générale, en 1915. Un siècle plus tard, la physique quantique et la relativité sont-elles toujours incompatibles ?

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



## Abonnement gratuit

Vous pouvez vous abonner sur : <http://cea.fr/defis> 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.**

## FAIRE DES SCIENCES AVEC STAR WARS

**En ligne**

Une nouvelle version de l'ouvrage « Faire des sciences avec Star Wars » de Roland Lehoucq est disponible en téléchargement gratuit sur le site Internet des éditions Le Béliat.

[www.belial.fr/roland-lehoucq/faire-des-sciences-avec-star-wars\\_numerique](http://www.belial.fr/roland-lehoucq/faire-des-sciences-avec-star-wars_numerique)

**Pourquoi associer les sciences à Star Wars?**

Il ne s'agit aucunement de détruire la part de rêve inhérente à Star Wars mais plutôt de s'en servir comme un prétexte, un support pédagogique, pour développer un raisonnement, construire une démarche scientifique. En s'appuyant sur un univers cinématographique et des personnages populaires, connus de tous, on peut ainsi éveiller la curiosité, capter plus facilement l'attention des jeunes.

Grâce à Star Wars, il est possible de mener de véritables enquêtes scientifiques sur des sujets incontournables tels que la Force et le sabre laser, ou encore l'Étoile de la mort, archétype de l'arme absolue dont rêvent tous les super-méchants d'envergure galactique. Les véhicules sont également très intéressants car il y en a de toutes tailles et pour tous les usages, du landspeeder au vaisseau interstellaire. Et bien sûr les planètes, dont la célèbre Tatooine et son soleil double, font aussi l'objet d'enquêtes très poussées.

## TROIS QUESTIONS À ROLAND LEHOUCQ, ASTROPHYSICIEEN AU CEA

**Quelles sont les nouveautés de la version numérique de votre ouvrage ?**

Cette version propose de nouvelles enquêtes scientifiques, comme la détermination de la puissance des Jedis et du sabre laser, ainsi que l'analyse des planètes emblématiques de la saga. Certaines de ces nouveautés sont issues des questions que m'ont posées les nombreuses personnes ayant assisté aux conférences que je donne depuis 10 ans sur les rapports entre science et fiction en général, et sur la physique de Star Wars en particulier.

© Jocelyne Marrel

**À partir de quel âge peut-on faire des sciences avec Star Wars ?**

La comparaison entre les planètes de la saga et les différents écosystèmes terrestres ou les différentes phases de l'évolution de la Terre sont accessibles dès le collège. Des enquêtes scientifiques plus poussées, par exemple sur la puissance du sabre laser ou les taille et puissance de l'Étoile de la Mort, nécessitent d'avoir abordé des notions au programme de première ou de terminale scientifique. Parmi elles, les forces de gravitation et électrostatiques, l'équilibre, l'énergie, la puissance... Sans oublier la biologie lorsque j'aborde le cas des midi-chloriens ! Ces micro-organismes appartiennent à Star Wars qui déterminent la réceptivité de l'individu à la Force, et donc sa capacité à devenir un Jedi...

Propos recueillis par Céline Lipari

« Grâce à Star Wars, il est possible de mener de véritables enquêtes scientifiques. »

Roland Lehoucq



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 Garnier | **Rédactrice en chef adjointe** Amélie Lorec | **Ont contribué à ce numéro**: Fabrice Demarthon, Vohé Ter Minassian, Mathieu Grousson, Céline Lipari et Anna Lassissi | **Comité éditorial** Stéphanie Delage, Alexandra Bender, Hélène Burlet, Elizabeth Lefevre-Remy, Sophie Martin, Brigitte Raffray, Françoise Poggi et Isabelle Dellis | **Iconographie** Micheline Bayard | **Infographie** Fabrice Mathé | **Photo de couverture** Fotolia | **Diffusion** Lucia Le Clech | **Conception et réalisation** www.grouperougevf.fr | N°ISSN 1163-619X | Tous droits de reproduction réservés. Ce magazine est imprimé sur du papier Satimat, issu de forêts gérées durablement. Korus Imprimerie.

À l'occasion  
du centenaire  
de la relativité générale,  
le Palais de la découverte  
propose une exposition  
sur cette théorie d'Albert  
Einstein, à l'origine d'une  
nouvelle conception  
de l'espace et  
du temps.

# 100 ANS

de la théorie  
de la

# Relativité générale

**Palais**

**DÉCOUVERTE**

**15 sept. 2015 > 3 avril 2016**

Ⓜ Champs-Élysées Clemenceau

Ⓜ Franklin Roosevelt

[palais-decouverte.fr](http://palais-decouverte.fr)