les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

230
Septembre 2018

TOUT S'EXPLIQUE

Supplément détachable sur la **diffusion aux petits angles**

02
L'INTERVIEW
◆ Peut-on utiliser les données génomiques du plancton pour enrichir le modèle numérique océanique ? Réponses avec Marion Gehlen et Olivier Jaillon ◆

04
ACTUALITÉ
◆ Concours I-Lab : 5 start-up du CEA primées ! ◆ Un astrophysicien au Festival d'Avignon ◆ Idmit lutte contre les maladies infectieuses ◆ Tera 1000, 14e supercalculateur le plus puissant au monde ◆ Année record pour Nano@School ◆ Union franco-singapourienne pour le recyclage des déchets électroniques ◆

07
SUR LE VIF
◆ La pensée cartographiée ◆ Premier indice multimessager d'une source de rayons cosmiques ◆ Les tribulations du carbone dans les sols ◆

19
SCIENCES EN BREF
◆ Expert en certification ◆ 6 000 ans de climat simulés ! ◆ L'épilepsie bientôt traitée par le froid ? ◆ Optimiser le stockage d'énergie ◆ Les fards chimiques de l'Égypte ancienne ◆ Une voie de régénération du cerveau identifiée ◆ La promesse des polymères hybrides ◆ Des nanofeuillets qui s'auto-organisent en lamelles ◆ Échanges sécurisés de données ◆ Pour une photosynthèse moins toxique et plus compétitive ◆

23
KIOSQUE

Dossier P.12

Le véhicule roule vers son **autonomie**

MARION GEHLEN,
Directrice de recherche CEA au LSCE

OLIVIER JAILLON,
Chercheur CEA au Genoscope

© CEA

Enrichir les modèles climatiques par la génomique

Les projections du changement climatique établies par le Giec[1] utilisent des modèles numériques du système climatique terrestre. Dans cet ensemble, peut-on améliorer la représentation du monde vivant océanique en y intégrant des données génomiques relatives au plancton marin ? C'est la piste qu'explorent Marion Gehlen et Olivier Jaillon, au sein du projet Neogen du programme DRF Impulsion.

Propos recueillis par Sylvie Rivière

En quoi consiste le projet Neogen ?

Marion Gehlen : Pour étudier les changements climatiques passés et futurs, nous utilisons un modèle numérique global, appelé « système Terre ». Celui-ci intègre différentes composantes, comme l'océan, qui est un contributeur majeur de la régulation du climat. Ces modèles sont notamment utilisés pour établir les rapports du Giec. Nous nous intéressons de plus en plus aux impacts sur les écosystèmes marins, affectés par les changements observés dans les océans : augmentation de la température et de l'acidité, diminution de la teneur en O_2… Mais nous travaillons à biologie constante, c'est-à-dire sans tenir compte de l'adaptation des micro-organismes au changement climatique, notamment des modifications de leurs génomes par des processus évolutifs. C'est un élément limitatif. Avec Neogen, nous explorons une voie nouvelle, qui consiste à intégrer dans nos modèles des données biologiques issues de la génomique, pour les améliorer.

Olivier Jaillon : La question du changement climatique étant globale, son approche scientifique doit l'être également. Avec Neogen, nous sommes en train de faire converger deux domaines scientifiques : la génomique environnementale et la modélisation numérique de l'océan. Objectif : mieux comprendre, puis prédire, l'impact du changement climatique sur les écosystèmes marins, en tenant compte du potentiel d'adaptation des organismes. C'est une première. Personne pour le moment n'a essayé, à ces échelles génomiques et géographiques, de faire le pont entre ces deux disciplines.

Quel est l'état de l'art sur ces sujets ?

O.J. : Le point de départ de Neogen est venu de l'expédition *Tara Oceans*[2], qui a récemment fourni d'impressionnantes quantités de données génomiques sur les micro-organismes du plancton, et ce à l'échelle de l'océan global.

M.G. : Par ailleurs, les modèles numériques des cycles biogéochimiques dans l'océan ont désormais atteint un niveau de maturité tel qu'ils deviennent des outils de choix pour l'étude des écosystèmes marins et de leurs réponses au changement climatique.

C'est-à-dire ?

M.G. : Le « système Terre » représente les surfaces continentales (avec un modèle de végétation), l'atmosphère (avec ses composants comme les gaz à effet de serre, les aérosols et leur transport), l'océan (courants, biogéochimie marine impliquant les espèces vivantes planctoniques), etc. Dans la partie océanique, nous modélisons le plancton végétal et animal, organismes à la base de la chaîne alimentaire. Nous nous intéressons aux fluctuations de biomasse exprimées en carbone, mais aussi en azote, phosphate, fer, silicium. Notre

Notes :
1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
2. Voir *Les défis du CEA* n° 225.
3. Ensemble d'espèces planctoniques, représentées par leurs gènes.

© CEA

attention se porte sur les flux de matière échangés entre le vivant et son environnement, notamment les flux de carbone, avec une attention particulière portée à leur évolution en fonction du climat. Lorsque les conditions physico-chimiques des océans sont modifiées, ce que nous projetons, notre modèle répercute ces changements sur les distributions d'organismes planctoniques. Certains micro-organismes, s'ils sont fortement impactés, peuvent par exemple disparaître de telle zone océanique, ou bien trouver refuge dans des zones qui leur sont plus favorables. Tout cela à génome constant.

Comment parvenez-vous à intégrer la génomique aux modèles climatiques ?

O.J. : Nous procédons par étapes, la première étant de nous assurer que nous sommes bien capables d'utiliser nos données de génomique dans les modèles qu'utilise Marion. Et nous avons obtenu des résultats plus que prometteurs ! Notre démarche a été la suivante : avec les données de biogéographie obtenues grâce à *Tara Oceans* (elles nous renseignent sur la distribution spatiale des espèces planctoniques *via* leur ADN), nous avons défini des niches écologiques, c'est-à-dire établi la correspondance entre la localisation géographique des communautés planctoniques[3] et les conditions physico-chimiques qui règnent dans ces lieux. Puis, nous avons projeté ces niches écologiques à 100 ans à l'aide des modèles climatiques. Cette étude nous a permis de faire un premier pont entre les deux disciplines et de vérifier que nous étions capables d'utiliser les données d'une discipline vers l'autre. Ce qui n'était pas gagné ! Nous avons dû surmonter toute une série de petits verrous techniques, concernant par exemple les formats de données et les outils, parfois très différents… et à acquérir une sémantique commune !

Quelle sera l'étape suivante ?

O.J. : Pour le moment, nous avons travaillé sans tenir compte des propriétés évolutives des ADN. L'étape suivante sera d'analyser et d'intégrer des informations sur le potentiel adaptatif des organismes. L'idée est de déterminer si les projections d'impact que nous faisons à état constant de l'ADN ont une certaine fiabilité ou pas. Pour cela, les données de *Tara Oceans* représentent une mine d'informations considérable, puisqu'elles peuvent nous renseigner sur les capacités d'adaptation, au niveau génomique, des micro-organismes marins. Nous allons dès lors essayer de définir, au sein des modèles numériques climatiques, des sortes de voyants, des scores de fiabilité, région par région, qui en indiqueront les zones d'incertitude. Par exemple, peut-être que dans tel ou tel écosystème, les projections ont plus de risque d'être erronées parce qu'elles ne prennent pas en compte une capacité importante d'adaptation des organismes. Nous souhaitons surtout travailler en considérant les écosystèmes dans leur ensemble sans nécessairement passer par une approche organisme par organisme. Ce travail déjà initié sera très prochainement confié à un thésard.

M.G. : L'étape ultime sera éventuellement de modifier nos modèles numériques des cycles biogéochimiques dans les océans. Mais nous n'en sommes pas encore là… ◆

DRF IMPULSION

Depuis 2016, la recherche fondamentale du CEA réunit, au sein d'une même direction (DRF), les sciences de la matière et les sciences du vivant. L'occasion d'encourager les transversalités entre les chercheurs, au sein de projets baptisés DRF Impulsion.

Notions clés

Écosystème
Ensemble formé par une communauté d'organismes vivants en interrelation avec son environnement.

Plancton
Écosystème constitué de millions d'espèces marines différentes, végétales et animales, dont la taille varie de moins de un micron à plusieurs centimètres.

Cycle biogéochimique
Processus de transport et de transformation cyclique d'un élément ou composé chimique entre les grands réservoirs que sont l'écorce terrestre, l'air, l'eau, les glaciers, les sols et la biosphère.

© J.Dolan / CNRS Photothèque

Spécimens issus d'un échantillon prélevé en Antarctique par l'expédition *Tara Oceans*.

Innovation

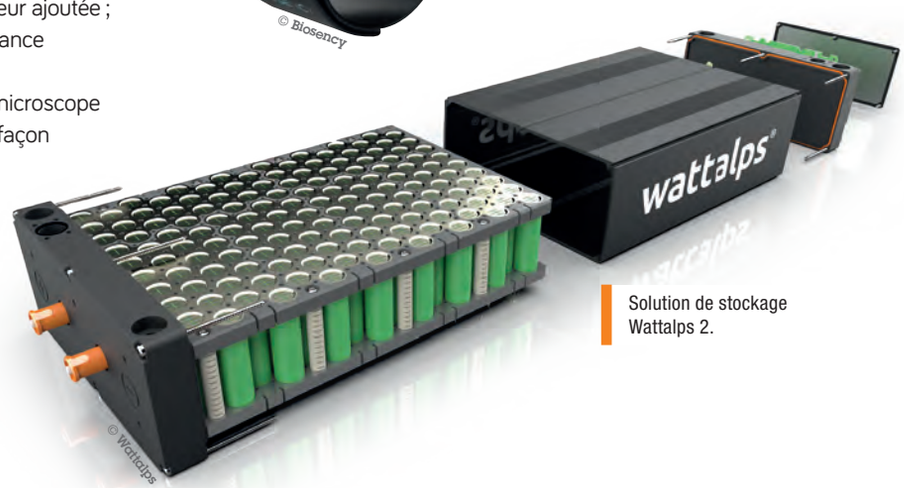
Concours I-Lab : **5 start-up du CEA primées !**

© MESRI/XR Pictures

Lauréats de la 20e édition du I-Lab

© Biosency

Bracelet Biosency pour le télésuivi des insuffisants respiratoires.



© Wattalps

Solution de stockage Wattalps 2.

La 20e édition du concours national I-Lab a dévoilé ses lauréats le 5 juillet 2018 : 5 start-up du CEA figurent parmi les 64 primés :

- **I-MC** (en incubation) : solution de contrôle en temps réel et de correction sur les lignes de fabrication de pièces mécaniques à haute valeur ajoutée ;
- **Scintil** (en incubation) : solution de transmission optique à distance de haute performance ;
- **Figaro** (en incubation) : ensemble de détection monté sur un microscope de fluorescence, permettant de faire de la haute résolution de façon simple et à moindre coût ;
- **Wattalps :** solutions de stockage à base de batteries haute performance pour des marchés spécifiques ;
- **Biosency :** dispositif médical de télé-suivi et de prévention dédié aux insuffisants respiratoires chroniques.

Point commun des lauréats : ils ont tous établi une preuve de concept de leur projet et sont proches de la création ou viennent de créer leur entreprise. Grâce à I-Lab, ils se voient attribuer une subvention pouvant atteindre 450 000 €. *SR*

UNE INITIATIVE DU MESRI

I-Lab est le nouveau nom du Concours d'aide à la création d'entreprises innovantes. Porté par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (Mesri), son objectif est de favoriser l'émergence d'entreprises de technologies innovantes.
En vingt ans d'existence, le concours a permis la création de 1 914 entreprises, dont 70 % sont toujours en activité.

108

PROJETS DU CEA ONT ÉTÉ PRIMÉS DEPUIS LA CRÉATION DU CONCOURS

64

START-UP ONT ÉTÉ CRÉÉES, PARMI LES 108 LAURÉATS, DONT 80% SONT TOUJOURS EN ACTIVITÉ.

Pierre-Olivier Lagage, entouré de l'auteure Solenn Denis et des comédiens.

Science & société

Un astrophysicien au **Festival d'Avignon**

Astrophysicien au CEA-Irfu et très investi dans la future mission internationale JWST, Pierre-Olivier Lagage a participé à une expérience théâtrale le 17 juillet au Festival d'Avignon. Y était présentée « *Effleurer l'Abysse* », une création inédite coproduite par la compagnie Le sens des mots et le CEA, dans le cadre du concept Binôme qui, depuis quelques années, permet d'offrir un regard inhabituel sur la science et sur ceux qui la font.
Le spectacle a ainsi consisté en une série de séquences, toutes accompagnées d'une création musicale originale : une courte vidéo relatant la rencontre unique entre l'auteure Solenn Denis et le chercheur Pierre-Olivier Lagage ; la mise en lecture par trois comédiens de la pièce écrite à l'issue de cette rencontre ; des extraits vidéo présentant la réaction de l'astrophysicien à sa première lecture du texte. La parole a ensuite été donnée, conformément à l'esprit Binôme, aux personnes du public qui ont échangé une bonne partie de la soirée, tant l'univers des exoplanètes est fascinant et tant le chercheur a révélé son grand art de la vulgarisation scientifique. *AG*

Inauguration

Idmit lutte contre **les maladies infectieuses**

La France dispose désormais d'une infrastructure nationale d'excellence entièrement dédiée à la recherche préclinique sur les maladies infectieuses humaines. Idmit[1], hébergé sur le site de Fontenay-aux-Roses du centre CEA Paris-Saclay, a ainsi été inauguré le 26 juin en présence de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et de ses six membres fondateurs : CEA, Institut Pasteur, Université Paris-Sud, Inserm, ANRS et Oncodesign.
Au sein de cette plateforme unique en Europe, 130 scientifiques se consacrent à l'étude d'un large panel de maladies infectieuses (sida, chikungunya, grippe, fièvre jaune, dengue, Zika, tuberculose, coqueluche, paludisme…). Objectifs : développer des vaccins, des outils thérapeutiques et des moyens de prévention, *via* la mise au point de modèles animaux et de méthodes de suivi (comme l'imagerie *in vivo*) conçues pour être aisément transposables en recherche clinique, chez l'Homme. *SR*

Note :
1. *Infectious diseases models for innovative therapies.*

Analyseur de cellules par cytométrie de masse à Idmit.

Équipement

Tera 1000, **14e supercalculateur le plus puissant au monde**

Atos et le CEA placent Tera 1000, supercalculateur le plus gros d'Europe, à la 14e position du Top 500 des machines les plus puissantes au monde. Codéveloppé pour les applications de Défense, essentiellement pour la dissuasion nucléaire, il affiche une puissance de 25 petaflops (25 millions de milliards d'opérations par seconde) pour une consommation énergétique extrêmement compétitive de 4 megawatts.
Cette prouesse illustre le savoir-faire en calcul haute performance des équipes de la Direction des applications militaires (DAM) du CEA et d'Atos qui ont engagé depuis près de vingt ans une stratégie de codesign de supercalculateurs pour répondre aux besoins des programmes du CEA-DAM. Ces derniers nécessitent la mise en œuvre d'un supercalculateur de classe exaflopique[1] à l'horizon 2020. Pour y parvenir, plusieurs ruptures technologiques sont nécessaires notamment pour maîtriser la consommation énergétique, réguler les flux d'informations et faire face au volume considérable de données produites par les simulations de plus en plus précises de phénomènes multiphysiques et multidimensionnels. L'architecture de Tera 1000, de technologie Bull, préfigure les architectures qui seront mises en œuvre dans le prochain calculateur du CEA-DAM à l'horizon 2020. *AG*

Note :
1. 1 exaflop = 1 milliard de milliards d'opérations par seconde.

LE CCRT EXPLORE L'INFORMATIQUE QUANTIQUE

Atos Quantum Learning Machine est le nouveau simulateur quantique installé au CCRT (Centre de calcul recherche et technologie), sur le centre CEA de Bruyères-le-Châtel. Cet outil, construit par Atos, est l'un des plus performants au monde. Il permettra aux partenaires du CCRT, comme EDF, Safran, l'IFPEN ou encore le CEA, d'évaluer les potentialités des technologies quantiques pour leurs besoins et de relever les défis associés à la simulation numérique, au *big data*, à l'intelligence artificielle et au *machine learning*. *SR*

CEA TECH S'IMPLANTE EN BRETAGNE

La Direction de la recherche technologique du CEA lance sa septième implantation en région, à Quimper, avec le soutien de la Région Bretagne, du Département du Finistère et de Quimper Bretagne Occidentale. Sa mission ? Contribuer au renforcement de la compétitivité des entreprises agricoles et agroalimentaires implantées dans la région. Avant tout dédiée aux procédés de cette filière, CEA Tech en Bretagne favorisera également l'émergence d'activités industrielles d'avenir et accompagnera les transformations. Exemples : amélioration de l'efficacité énergétique pour les producteurs et les transformateurs, développement d'outils numériques pour améliorer la réactivité lors de crises sanitaires, mise en œuvre de capteurs dédiés, agriculture et élevage de précision avec une gestion au « juste besoin » de l'eau, de l'énergie, etc. *SR*

PROTAVIC AMÉLIORE SES PRODUITS GRÂCE AU CEA

Suite à un transfert industriel avec le CEA-Liten, Protavic International lance des produits à base de nanofils d'argents. Une opportunité dans les marchés émergents des dispositifs optoélectroniques (cellules photovoltaïques, afficheurs souples, écrans tactiles…). À la place des matériaux conducteurs transparents traditionnels (couches minces d'oxydes métalliques), l'utilisation de nanofils d'argent permet de proposer et de personnaliser des produits pour la fabrication d'électrodes transparentes, chauffantes et flexibles. *AG*

Signature de l'accord par M. San Ling (Provost NTU) et Mme Maria Faury (Directrice International et Grandes Infrastructures de recherche au CEA).

© MESRI

Accord international

Union franco-singapourienne pour le **recyclage des déchets électroniques**

La *Nanyang Technological University de Singapour* (NTU) s'associe au CEA autour du recyclage et de la récupération des déchets électriques et électroniques (e-déchets). L'accord signé le 14 juillet dernier officialise la création d'un laboratoire conjoint NTU-CEA qui s'intéressera notamment aux problématiques d'extraction des métaux précieux et de recyclage de différents dispositifs (batteries lithium-ion, panneaux solaires en silicium, cartes à circuits imprimés, plastiques toxiques des e-déchets). Ce laboratoire fonctionnera sous les auspices du projet commun SCARCE[1] qui implique également la *National Environment Agency* (NEA) en vue de développer des technologies innovantes pour trier, démonter et récupérer les matières qui peuvent être réutilisées de manière à économiser de l'énergie et à protéger l'environnement. *« Plus de quinze des meilleurs chercheurs du CEA séjourneront à Singapour pour renforcer cette collaboration et améliorer les technologies et l'expertise du CEA, reconnues mondialement dans le recyclage des matières et la gestion des déchets »*, a annoncé l'administrateur général du CEA à cette occasion. *AG*

Note :
1. *Singapore CEA Alliance for Research in Circular Economy.*

Actions pédagogiques

Année record pour **Nano@School**

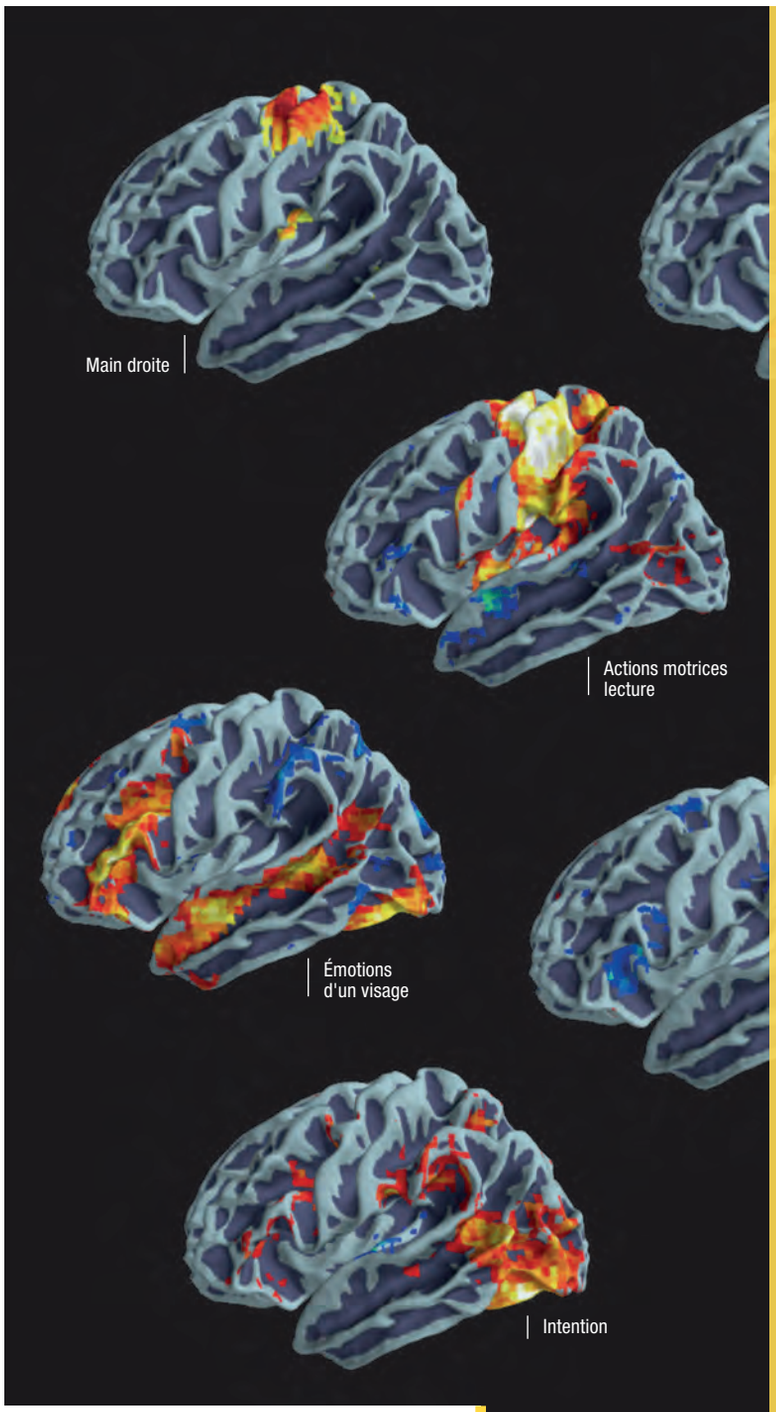
À sa création en 2010, Nano@school était un programme-test proposé à deux classes de lycées grenoblois ; dès 2012, il accueillait 450 élèves venus de 15 établissements ; les années suivantes, il s'élargissait à la France et à l'étranger… En 2018, ce sont près de 800 élèves de 1re S de 25 lycées qui auront vécu une expérience hors du commun.
Leur visite d'une journée, organisée par le CIME (Centre interuniversitaire de microélectronique et nanotechnologies) au cœur du campus Minatec, s'inscrit dans un projet pédagogique conçu par leur enseignant. Ainsi préparés, attentifs et curieux, les lycéens profitent pleinement des ateliers animés par une quarantaine de chercheurs, ingénieurs et retraités du CEA, du CNRS, de l'Université Grenoble-Alpes, et (depuis 2017) d'étudiants du MIT (Boston) en stage à Grenoble. Au programme des découvertes cette année : microscopie en champ proche, microsystèmes, microfabrication en salle blanche, nanosécurité… *AG*

Institut des sciences du vivant
Frédéric Joliot - CEA
Recherche fondamentale, technologique, méthodologique et appliquée en biologie, santé et bioénergie

Neurosciences

La pensée **cartographiée**

Dans le cadre du grand projet *Human Brain Project*[1], NeuroSpin développe un atlas fonctionnel macroscopique du cerveau humain incluant une cartographie cognitive. *par Stéphanie Delage*



Vue par IRM fonctionnelle des régions du cerveau activées lors d'une tâche donnée.

© B.Thirion/CEA

« *Les tâches de bas niveau sont relatives à des occupations simples, comme regarder une image ou taper trois fois avec un doigt. Les tâches de haut niveau concernent, par exemple, le calcul mental, la lecture de phrases ou l'interprétation d'une histoire impliquant les croyances de quelqu'un* », détaille Bertrand Thirion, chercheur au CEA-Joliot, en présentant la première version de la cartographie fonctionnelle du cerveau du projet *Individual Brain Charting* (IBC), financé par le *Human Brain Project* et incluant plusieurs équipes du centre NeuroSpin du CEA-Joliot. Certes, il existe une littérature abondante sur les mécanismes neurocognitifs sous-jacents à l'exécution de tâches spécifiques, mais l'organisation fonctionnelle globale du cerveau et sa façon d'induire la cognition reste encore mal connue. Si des techniques comme l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) ont contribué à caractériser des liens entre activité cérébrale régionale et cognition, aucune collecte de données n'a systématiquement abordé la cartographie fonctionnelle des processus cognitifs impliqués dans l'accomplissement d'un grand éventail de catégories de tâches à une échelle spatiale fine.

Des données en libre accès

C'est tout l'enjeu du projet IBC dont une étape a consisté à acquérir un ensemble de cartes IRMf à haute résolution du cerveau humain (1,5 mm) au cours de l'exécution d'une douzaine de tâches comportementales par une cohorte de douze participants. Les données brutes sont publiquement disponibles sur le site OpenNeuro (ds000244) et les données post-traitées dans NeuroVault (id2138), respectivement. « *Le manuscrit fournit également des estimations de la qualité des données ainsi qu'une évaluation statistique des réseaux cognitifs déterminés par les effets liés au sujet, à la tâche et aux paramètres d'acquisition. Les développements à venir incluent d'autres données correspondant à de nouvelles tâches ainsi que le développement d'un atlas neurocognitif dérivé de l'ensemble de données* », conclut Bertrand Thirion. ◆

Note :
1. Collaboration internationale dédiée à la modélisation du cerveau humain à laquelle l'Institut Frédéric-Joliot du CEA participe.

Astroparticules

Premier indice multimessager d'une source de rayons cosmiques

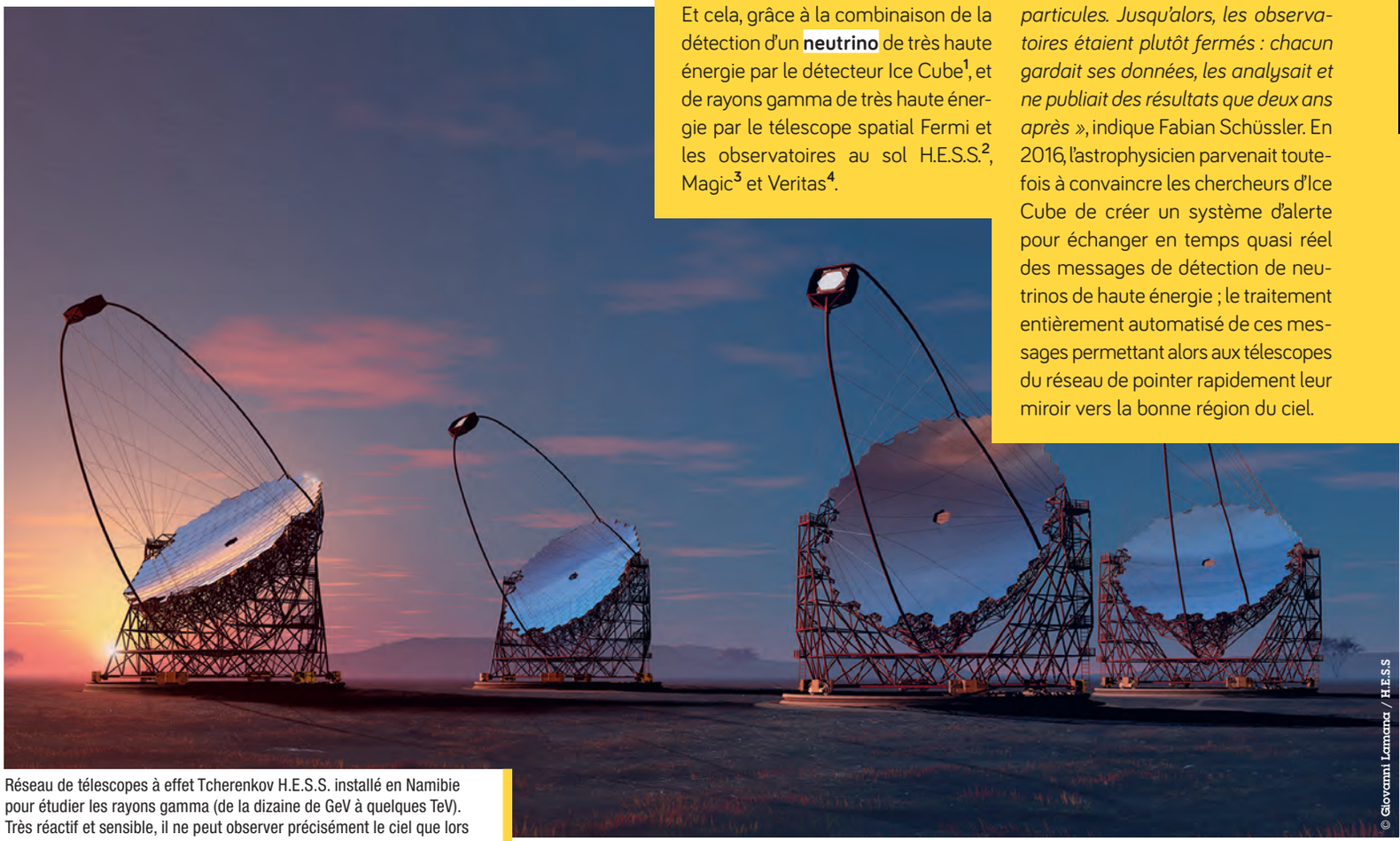
Le résultat fait la couverture du numéro de juillet 2018 de *Science* : la première observation d'un blazar à rayons gamma particulièrement actif comme source potentielle de rayons cosmiques de très haute énergie. Et cela, grâce à une collaboration internationale emmenée par le CEA, impliquant autant la détection de neutrinos que celle de rayons gamma. Bienvenue dans l'astronomie multimessager.

par Aude Ganier

La quête de l'origine des **rayons cosmiques** de très haute énergie est en cours depuis plusieurs décennies. Or, il est quasiment impossible de remonter à leur source, car ils arrivent sur Terre après avoir été déviés par les champs magnétiques de l'Univers. À ce jour, aucune origine n'a pu être formellement déterminée. C'était sans compter sur une collaboration internationale d'astrophysiciens, emmenée par Fabian Schüssler du **CEA-Irfu,** qui présente un résultat en passe d'inverser la tendance : l'identification du **blazar** TXS 05006+056 comme générateur potentiel de rayons cosmiques. Et cela, grâce à la combinaison de la détection d'un **neutrino** de très haute énergie par le détecteur Ice Cube[1], et de rayons gamma de très haute énergie par le télescope spatial Fermi et les observatoires au sol H.E.S.S.[2], Magic[3] et Veritas[4].

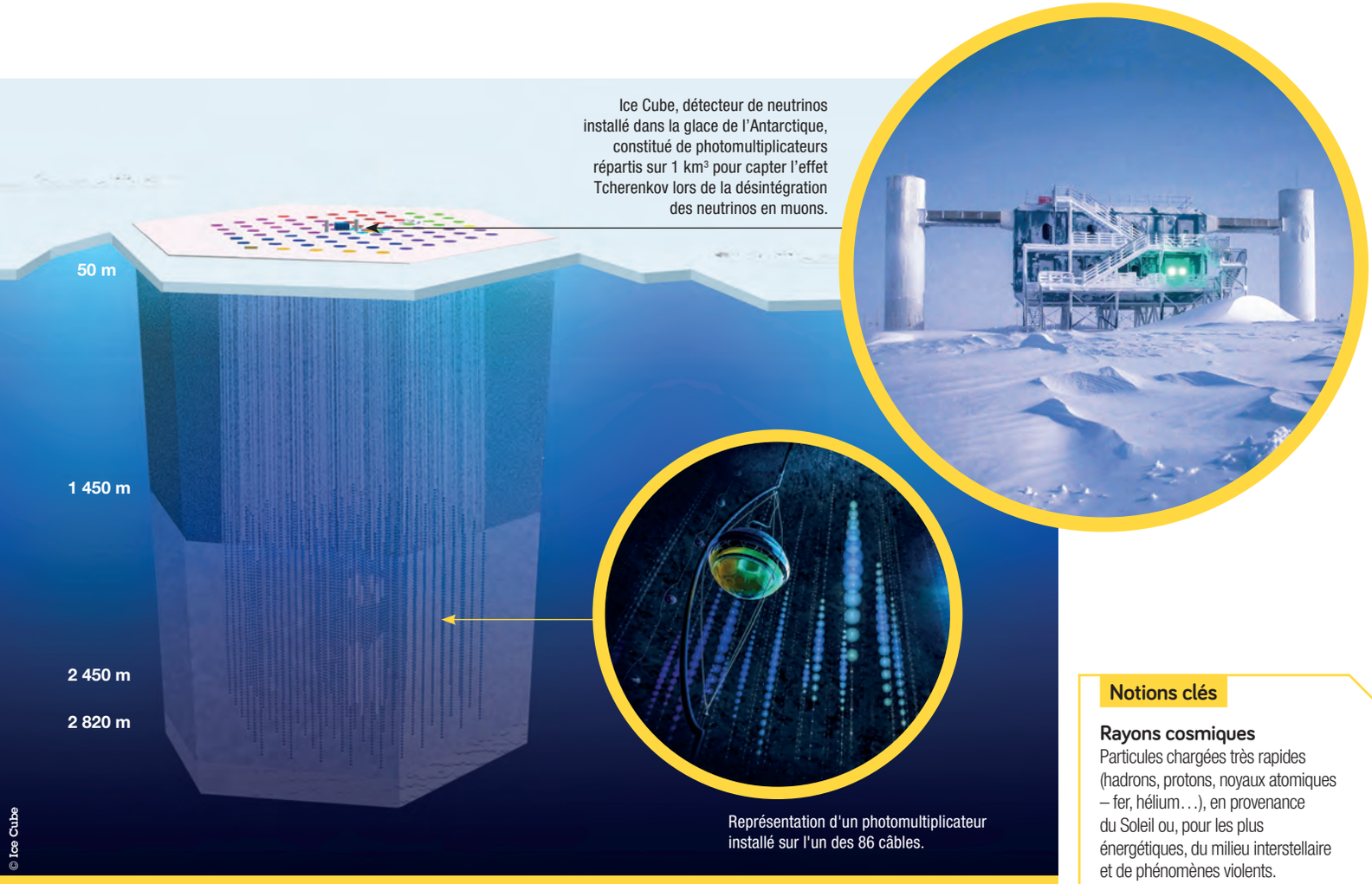
L'émergence de l'astronomie multimessager

L'idée de faire le lien entre plusieurs « messagers » (particules de matière, de lumière, sonores…) pour remonter à des événements extrêmement violents de l'Univers n'est pas nouvelle. Elle fut d'ailleurs validée en 2017 lors de la découverte par la collaboration Ligo Virgo des ondes gravitationnelles, dont la signature « lumineuse » avait été observée simultanément par des satellites et des observatoires au sol[5]. *« Déjà en 2012, au sein de la collaboration H.E.S.S., j'avais lancé un projet multimessager qui bousculait un peu la culture de la physique des astroparticules. Jusqu'alors, les observatoires étaient plutôt fermés : chacun gardait ses données, les analysait et ne publiait des résultats que deux ans après »*, indique Fabian Schüssler. En 2016, l'astrophysicien parvenait toutefois à convaincre les chercheurs d'Ice Cube de créer un système d'alerte pour échanger en temps quasi réel des messages de détection de neutrinos de haute énergie ; le traitement entièrement automatisé de ces messages permettant alors aux télescopes du réseau de pointer rapidement leur miroir vers la bonne région du ciel.



Réseau de télescopes à effet Tcherenkov H.E.S.S. installé en Namibie pour étudier les rayons gamma (de la dizaine de GeV à quelques TeV). Très réactif et sensible, il ne peut observer précisément le ciel que lors de nuits noires sans lune.

© Giovanni Lamanna / H.E.S.S



Ice Cube, détecteur de neutrinos installé dans la glace de l'Antarctique, constitué de photomultiplicateurs répartis sur 1 km³ pour capter l'effet Tcherenkov lors de la désintégration des neutrinos en muons.

Représentation d'un photomultiplicateur installé sur l'un des 86 câbles.

© Ice Cube

Le messager neutrino

Certes, les neutrinos sont omniprésents dans l'Univers et des millions nous traversent chaque seconde, mais ils interagissent très faiblement avec la matière et donc avec les détecteurs. Pour espérer en voir un, les physiciens cherchent leur désintégration en muon. *« Lorsqu'un "petit neutre"*[6] *frappe un noyau de matière, il se transforme en muon ; et cet électron lourd, quand il traverse un milieu transparent (glace ou eau), émet par* ***effet Tcherenkov*** *une lumière bleue qui peut être observée »*, explique le spécialiste. Chaque année, seule une dizaine de neutrinos de hautes énergies sont détectés par Ice Cube, sans toutefois que leur origine puisse être déterminée.

L'alerte du 22 septembre 2017

Certaines théories postulent qu'ils acquièrent leur folle énergie dans des blazars… Et c'est ce que semble confirmer la détection, le 22 septembre 2017 à 20 h 54 m 30 s, d'un neutrino d'environ 290 TeV dont la direction pointait vers l'emplacement d'un blazar à rayons gamma connu, le TXS 0506+056. À réception du message d'alerte 43 secondes plus tard, et quasi simultanément, le satellite Fermi observait que ce corps céleste n'était pas dans son état normal, et cela, depuis la détection en avril 2017 de fortes variations de flux. L'observatoire H.E.S.S., qui dut attendre 4 h que la Terre tourne pour pointer la bonne région du ciel, ne détectait pas d'activité gamma particulière – une information en soi quant à la variabilité du blazar. Ces résultats déclenchèrent une vaste campagne d'observations, dont celles de l'expérience Magic qui mit en évidence une émission de rayons gamma de haute énergie quelques journées plus tard. Tout comme Ice Cube qui en poursuivant les analyses détaillées autour du TXS 0506+056 trouvait également une autre fluctuation dans le flux de neutrinos de haute énergie.

« L'observation d'un neutrino pointant vers un blazar émettant des rayons gamma au cours d'une phase active suggère que les blazars peuvent être une source de rayons cosmiques de haute énergie », analyse Fabian Schlüssler. Pour l'heure, les analyses n'indiquent qu'une probabilité de 3 sigmas (soit 1 chance sur 1 000 qu'il s'agisse d'une simple coïncidence), contre les 5 sigmas (3 chances sur 10 millions) exigés pour annoncer une découverte. *« Les observations se poursuivent et nous sommes sur la bonne voie… pour valider par l'observation une théorie vieille de plus de 100 ans »*, conclut l'astrophysicien. ◆

Notions clés

Rayons cosmiques
Particules chargées très rapides (hadrons, protons, noyaux atomiques – fer, hélium…), en provenance du Soleil ou, pour les plus énergétiques, du milieu interstellaire et de phénomènes violents.

Blazar
Trou noir massif et rotatif au centre d'une galaxie colossale émettant des jets de particules et de lumière en direction de la Terre.

Neutrinos
Particules élémentaires de masse quasi nulle engendrées par des réactions nucléaires à l'œuvre dans le Soleil, pour ceux de basse énergie, et par des phénomènes violents et lointains dans l'Univers pour ceux de très haute énergie.

Effet Tcherenkov
Rayonnement bleu émis lors de l'entrée d'une particule chargée dans un milieu transparent, à une vitesse supérieure à celle de la lumière dans ce même milieu.

Notes :
1. Antarctique.
2. Namibie.
3. Espagne.
4. États-Unis.
5. voir *Les défis du CEA* n° 206. Avril 2016.
6. Traduction de l'italien.

Climatologie

Les tribulations **du carbone dans les sols**

Le carbone dans les sols se renouvelle constamment, *via* les racines des végétaux et la faune souterraine. Une vaste étude portant sur plus de cent sols différents à l'échelle de la planète vient d'apporter un éclairage nouveau sur la cinétique de cet élément, en fonction de la profondeur et de l'usage des terres.

par Sylvie Rivière

© Jérôme Balesdent, Inra.

Réservoir majeur du carbone de la planète, avec plus de 1 500 milliards de tonnes contre seulement la moitié pour l'atmosphère ou les végétaux, les sols sont au cœur des flux de carbone du système terrestre : les végétaux fixent le carbone du CO_2 de l'atmosphère grâce à la photosynthèse, l'incorporent au sol sous forme d'**exsudats racinaires** et de résidus (*via* les feuilles qui tombent des arbres). Le carbone y séjourne ensuite pendant des durées variables, allant du mois à plusieurs milliers d'années, avant d'être en très grande partie converti à nouveau en CO_2, grâce à la respiration des organismes décomposeurs.

Mieux comprendre la dynamique du carbone

Ces échanges continus entre sol et atmosphère contribuent à réguler la teneur en CO_2 de l'atmosphère, et donc le climat, et sont susceptibles d'affecter les stocks de carbone **pédologique**, et par là même la productivité des agro-écosystèmes. Cette dynamique d'incorporation du carbone de l'atmosphère dans les différentes couches des sols (flux, vitesses de renouvellement, évolution des stocks) est cependant encore mal comprise et quantifiée. Mieux la connaître permettrait d'améliorer sa modélisation, afin d'enrichir à la fois les modèles de prévision du climat à long terme et de réponse des sols au changement climatique.

112 sols différents étudiés

Pour y remédier, des chercheurs de l'Inra, du CEA et du CNRS ont exploité les données de quelque 50 études scientifiques, collectées dans 112 sols de prairies, forêts ou cultures, situés sur l'ensemble du globe. Objectif : déterminer la distribution verticale du carbone issu de la végétation dans les sols et sa durée de résidence.

Ils ont ainsi montré qu'au cours des 50 dernières années, environ 25 % du carbone du premier mètre des sols de la planète a été renouvelé (on parle de carbone jeune datant de moins de

LSCE
Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement

Coupe de sol pour une étude dans une prairie permanente (Puy-de-Dôme).

50 ans). 80 % de ce carbone jeune se trouve dans les couches superficielles du sol (entre 0 et 30 cm de profondeur) ; 20 % sont dans les couches plus profondes (de 30 cm à 1 m). La dynamique du carbone dans les couches superficielles (0 -30 cm) est d'ailleurs sept fois plus rapide que dans les couches plus profondes (30 cm – 1 m). *« Le renouvellement du carbone dans les sols résulte de la savante contribution de la faune, qui mélange les sols jusqu'à quelque 70 cm de profondeur en moyenne, des racines qui apportent du carbone jusqu'à environ 2 m, et des décomposeurs, qui dégradent les matières organiques. Un processus qui s'estompe progressivement en profondeur »*, commente Christine Hatté, chercheuse au **LSCE**. Il en découle un fort gradient vertical de la dynamique du carbone : dans l'ensemble des zones tropicales, l'âge médian du carbone s'échelonne de 7 ans, en surface, à 1 250 ans, à 1 m de profondeur.

> ***30 % du carbone jeune contenu dans les sols cultivés se trouve en deçà de 30 cm, une proportion à laquelle on ne s'attendait pas.***
>
> *Christine Hatté, chercheuse au LSCE*

L'impact des pratiques agricoles

On le savait déjà, l'usage des terres, et en particulier l'agriculture, modifie la dynamique de renouvellement du carbone : la culture, par rapport aux prairies et forêts, réduit sévèrement la teneur en carbone des couches superficielles (entre 0 et 30 cm), principalement du fait des récoltes de végétaux. Les scientifiques ont cependant montré que le carbone des couches profondes est malgré tout en partie renouvelé. *« 30 % du carbone jeune contenu dans ces sols se trouve en deçà de 30 cm, une proportion à laquelle on ne s'attendait pas »*, confie Christine Hatté.

L'âge du carbone organique dans la partie superficielle des terres est un autre indicateur. Dans les sols tempérés cultivés, il est élevé, de l'ordre de 75 ans, *« peu renouvelé du fait de la récolte des végétaux et de l'appauvrissement des sols en micro-organismes, lié aux pratiques agricoles cumulées par plusieurs générations d'agriculteurs »*, poursuit la spécialiste, alors qu'il est de moins de 10 ans dans les sols tropicaux de forêts et prairies non cultivées.

De façon globale, 50 % du carbone renouvelé est incorporé entre 0 et 10 cm de profondeur et l'autre moitié au-delà. Là aussi, l'usage agricole des sols entraîne une variation notable sur le renouvellement du carbone, puisque cette profondeur médiane passe de 9 cm en forêt à 17,5 cm dans des terres cultivées.

Immanquablement, ces résultats, et notamment la prise en compte dans les modèles de la contribution du carbone des couches profondes, permettront de mieux prévoir l'évolution du cycle de cet élément majeur. Des informations essentielles pour réussir à allier productivité et durabilité des agrosystèmes, en envisageant par exemple une évolution des pratiques agricoles. ◆

Exsudat racinaire
Produit par les racines ; contient de l'eau, des sels minéraux, des glucides, des acides organiques, des acides aminés, des enzymes, des vitamines...

Pédologie
Science ayant pour objets d'étude la formation et l'évolution des sols.

Les pratiques agricoles, cumulées par plusieurs générations d'agriculteurs, affectent la dynamique du carbone dans les sols.

© L. Guichardon/ Master Films

Démonstration par le CEA-List, lors du DigiHall Day 2018 à Nano'Innov, des mécanismes de sécurité à implémenter dans les véhicules autonomes et connectés pour parer aux cyberattaques.

Le véhicule roule vers son **autonomie**

C'est la prochaine grande révolution du secteur de l'automobile.

Depuis près de 20 ans, les acteurs de l'industrie automobile et les organismes de recherche planchent sur la voiture autonome. Les prototypes se sont multipliés ces dernières années, avec en ligne de mire, une première commercialisation à horizon 2020.

Dans leurs laboratoires, les équipes du CEA-List travaillent main dans la main avec les grands constructeurs, notamment Renault, pour lever les différents verrous technologiques qui subsistent encore. Ils s'appuient sur de nouvelles méthodes d'apprentissage comme le *deep learning* pour doter les véhicules de l'intelligence nécessaire à leur autonomie.

Un autre enjeu sera d'adapter l'architecture électronique et électrique des véhicules afin de simplifier l'intégration de ces nouvelles fonctionnalités.

par Vahé Ter Minassian

P.14
Dernière ligne droite vers l'autonomie

P.16
Conduite accompagnée

P.18
Ergonomie électronique

© L. Guichardon/ Master Films

Présentation de pistes de recherche du CEA-List pour concilier intelligence artificielle et cybersécurité.

Dernière ligne droite **vers l'autonomie**

Constructeurs automobiles et équipementiers en tête, la course à l'autonomie entraîne dans son sillage de nombreux autres acteurs tels les géants du numérique, les spécialistes de la mobilité, et bien sûr les centres de recherche, comme le CEA-List. Une course d'obstacles, en plusieurs étapes, tant les verrous à lever – technologiques, réglementaires, sécuritaires – restent nombreux.

Que l'on imagine un véhicule à même de rallier n'importe quelle destination sans que le passager n'ait besoin de toucher le volant ni de jeter un coup d'œil sur la route ; et l'on aura une idée de la technologie qui sera au cœur de la prochaine grande révolution du secteur de l'automobile. La « voiture autonome » sur laquelle travaille le CEA-List est au cœur d'une course que se livrent les grands constructeurs. Aux États-Unis, en Asie, en Europe et aussi en France où des tests sont conduits en particulier par Renault, PSA ou Valeo, des dizaines de flottes de prototypes sillonnent les routes, avalant chaque année les kilomètres par milliers. Une première version commerciale de ces engins est même annoncée pour 2020. L'enjeu est énorme. Selon les études du cabinet Mc Kinsey, jusqu'à 15 % des véhicules neufs qui seront vendus en 2030 pourraient être entièrement autonomes. Pour l'heure, les obstacles techniques et réglementaires restent conséquents.

Une autonomie progressive

« Une "voiture 100 % autonome" désigne un moyen de transport entièrement piloté par une intelligence artificielle, explique Patrick Sayd, chef du Laboratoire vision et ingénierie des contenus au CEA List. *C'est-à-dire un véhicule capable de définir lui-même son trajet et d'interagir avec son environnement afin d'adapter sa conduite en fonction de la signalisation, du comportement des autres usagers de la route (y compris piétons) et d'événements inattendus comme la présence de travaux ou d'obstacles inhabituels. »* Même les prototypes les plus avancés ne sont pas encore en mesure de mener à bien une telle mission dans toutes les situations de conduite. Et, s'il existait, ce véhicule ne serait pas autorisé à circuler, pour des raisons réglementaires, hors des zones dévolues à l'expérimentation. C'est pourquoi, les industriels – constructeurs, équipementiers, géants du numérique et sociétés spécialisées dans la mobilité type « Uber » – envisagent une introduction de la technologie en cinq étapes successives correspondant chacune à un degré croissant d'autonomie (*voir encadré*).

Aujourd'hui, les constructeurs proposent des systèmes d'aide à la conduite dits ADAS *(Advanced Driving Assist System)* : asservissement de la vitesse sur les véhicules suivis, sur autoroute ou en situation d'embouteillage ; maintien dans les voies de circulation ; détection de signalisations et de piétons… Ces systèmes vont se complexifier jusqu'au moment où l'utilisateur pourra déléguer l'ensemble de ses fonctions de conduite à l'intelligence artificielle. À ce niveau de complexité, le conducteur sera toujours

> ***Une "voiture 100 % autonome" désigne un moyen de transport entièrement piloté par une intelligence artificielle. C'est-à-dire un véhicule capable de définir lui-même son trajet et d'interagir avec son environnement afin d'adapter sa conduite en fonction de la signalisation, du comportement des autres usagers de la route (y compris piétons) et d'événements inattendus comme la présence de travaux ou d'obstacles inhabituels.***
>
> *Patrick Sayd, chef du Laboratoire vision et ingénierie des contenus au CEA List.*

juridiquement responsable de son véhicule et sera tenu, en cas de nécessité, de reprendre la main. *« C'est seulement au cours de la quatrième phase ultérieure que l'usager pourra consacrer l'ensemble de son trajet à d'autres activités sans plus se préoccuper du volant »*, indique Jean Noël Patillon, directeur du CEA-List. Le cinquième et ultime stade verra la voiture prête à effectuer n'importe quel trajet, en ville, à la campagne et même hors route, en mode autonome.

Lever les verrous technologiques grâce au *deep learning*

Les verrous technologiques pour atteindre un tel objectif sont nombreux et variés. Pour être levés, ils nécessitent de préparer le parc automobile. Par exemple, au niveau de l'architecture électronique et électrique des véhicules qu'il convient de simplifier (*voir article p. 18*). Concernant l'autonomie proprement dite du véhicule – lequel ne sera pas forcément au départ une voiture de tourisme mais plutôt un moyen de transport type bus ou robot-taxi – l'un des défis concerne la perception de l'environnement. La plupart des industriels travaillent à des systèmes faisant appel à des intelligences artificielles pour extraire en temps réel de l'information à partir des enregistrements réalisés par une ou plusieurs caméras embarquées. Pour cela, ils explorent le ***deep learning***, méthode d'apprentissage dont le CEA-List s'est peu à peu fait une spécialité (*voir article p. 16*).

Autre défi : la navigation en mode autonome. Pour être économiquement rentables, les futures voitures devront s'insérer sur les infrastructures routières existantes ; elles devront alors manœuvrer avec précision et cela n'importe où, fusse dans un tunnel. L'ambitieux projet Garage intelligent, auquel a participé le CEA-List aux côtés de la RATP et d'Iveco bus, est une première piste concluante (*voir article p. 16*).

La question de la sécurité et de la sûreté

Malgré les progrès, une chose est sûre : ces automobiles intelligentes ne seront pas mises sur le marché sans garantie sérieuse de sécurité et de sûreté. L'accident survenu le 18 mars 2018 à Tempe aux États-Unis, lors duquel un robot-taxi d'Uber en phase de test renversait mortellement une piétonne, est venu le rappeler. *« Sur ce point,* indique François Terrier, chef du Département ingénierie des logiciels et des systèmes au CEA List, *le problème posé de l'intelligence artificielle à bord des voitures autonomes est inédit. »* En effet, jamais jusqu'à présent aucun de ces dispositifs, utilisant des algorithmes habituellement employés pour des applications non critiques comme la diffusion de la publicité sur Internet, ne s'était vu confier la responsabilité d'une vie humaine. Selon François Terrier, le recours à de bonnes pratiques ne suffira pas, il faudra inventer : *« le fonctionnement de ces cerveaux est unique et même mystérieux. Il dépend d'un apprentissage de type* deep Learning *assez empirique consistant à les alimenter à l'aide de banque de données. Contrairement à d'autres types de machines, il est impossible de reconstituer la chaîne de leurs raisonnements. La certification de ces produits nécessite donc le recours à de nouvelles solutions. D'autant qu'il est envisagé que ces intelligences artificielles puissent un jour bénéficier d'un apprentissage en continu, encore après leur sortie d'usine ! »*

Le domaine académique commence à peine à identifier la problématique, comme l'illustre un premier workshop (Waise[1]) co-organisé par le CEA-List et associant les communautés de la sûreté de fonctionnement et de l'intelligence artificielle. Au List, les équipes s'intéressent aux approches des disciplines de la logique et des **méthodes formelles** ainsi qu'aux outils de physique théorique à même de construire et d'évaluer la robustesse et la stabilité de ces systèmes. Condition *sine qua non* pour que la voiture autonome sorte un jour du garage. ◆

Deep learning
Méthode d'apprentissage automatique profond utilisée pour la reconnaissance d'objets, textes, visages…

Méthodes formelles
Techniques mathématiques permettant de démontrer qu'un système se conforme aux propriétés qui en sont attendues.

Note :
1. Le 18 septembre 2018 en Suède.

5 NIVEAUX D'AUTONOMIE

0 / Conduite manuelle.

1 / Conduite assistée : freinage ABS, régulateur de vitesse, le conducteur peut être dispensé de la commande par les pédales.

2 / Conduite partiellement automatisée : centrage automatique sur la voie, assistance à la trajectoire, le conducteur peut ponctuellement lever ses mains du volant.

3 / Conduite conditionnellement automatisée : trajectoires et manœuvres automatisées avec système d'alerte, le conducteur peut ponctuellement ne pas regarder la route.

4 / Conduite hautement automatisée : conduite et surveillance de l'environnement automatisée, le conducteur n'a plus à intervenir sur autoroute.

5 / Conduite totalement automatisée : ce véhicule autonome peut circuler sur tout type de routes.

Conduite **accompagnée**

Pour se passer de conducteur, la voiture autonome doit pouvoir percevoir et réagir à son environnement immédiat, qu'il s'agisse des autres usagers de la route (véhicules, piétons, cyclistes) mais aussi de la chaussée et de ses aménagements, ou d'éventuels obstacles à éviter… Un défi en passe d'être relevé grâce à des méthodes d'apprentissage profond, ou *deep learning*, dont les équipes CEA-List se sont fait une spécialité.

© RATP/Denis Sutton

Démonstration en mars 2018 de Garage autonome d'un bus RATP dans le cadre d'une collaboration avec le CEA-List et Iveco Bus.

Ce sont deux des challenges de l'autonomie des véhicules : leur donner la perception de leur environnement et leur permettre de naviguer sans intervention humaine. Des équipes du CEA-List y travaillent. Celle de Patrick Sayd au Laboratoire vision et ingénierie des contenus développe des technologies pour donner au « cerveau » de ces véhicules la capacité de reconnaître et de localiser les autres usagers de la route, à partir d'images délivrées par les caméras embarquées. Pour cela, elle en réfère au *deep learning*, une méthode d'apprentissage profond qui utilise des millions d'images de scènes routières pour entraîner les logiciels de reconnaissance.

Reconnaître une automobile dans n'importe quelle image

En plein essor depuis 2010, bien qu'imaginée dans les années 1950, cette méthode d'apprentissage est employée par les géants du numérique comme Google, Amazon ou Facebook dans le cadre de certaines applications commerciales, telles que la diffusion personnalisée de la publicité sur Internet ou les systèmes de traduction automatique. Elle consiste à commencer par concevoir un programme informatique dont l'architecture mime un réseau de neurones, c'est-à-dire un ensemble de cellules de calcul reliées entre elles et empilées en couches successives (jusqu'à cent). Puis, dans le cas d'une intelligence artificielle destinée à être embarquée à bord d'une voiture, à soumettre ce programme informatique à un entraînement intensif consistant à l'alimenter de millions de clichés de circulation routière, en lui demandant à chaque fois de décider si un véhicule est présent sur la scène. En tenant compte de ses erreurs, le cerveau devient alors capable de reconnaître une automobile dans toutes les situations de conduite !

En pratique, ce dernier n'identifie pas le véhicule proprement dit mais son gabarit en recherchant des points d'intérêt comme la présence d'un phare, de roues ou d'un toit. Et tout le jeu de la compétition que se livrent les différentes équipes à travers le monde, parmi lesquelles celles de Google, NVIDIA ou Alibaba, est de déterminer la méthode la plus rapide et la plus efficace pour parvenir à ce résultat en s'appuyant sur d'énormes banques de données d'images de circulation routière publiques ou privées.

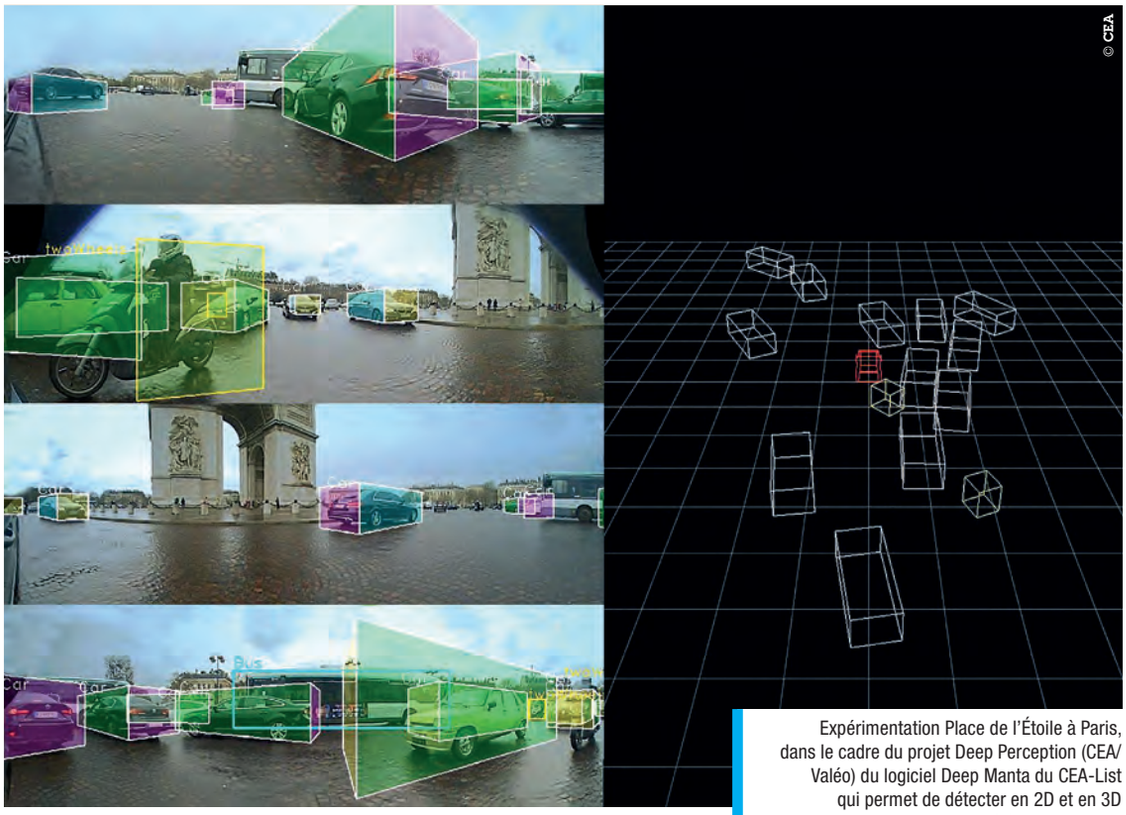
Le CEA-List participe à cette course et figure même dans le peloton de tête grâce à son logiciel Deep Manta. Il a été conçu en 2016 afin d'identifier et de différencier les gabarits des véhicules, berlines comme camions, présents dans une scène. Il permet de connaître leur orientation et même leur distance. Et a comme principal atout d'être rapide et efficace. *« Dans le concours Kitti Benchmark qui classe les équipes en fonction de leur capacité à détecter et localiser des voitures dans des vidéos,* explique Patrick Sayd, *notre*

système se distingue par le meilleur taux de détection (plus de 97 % et un temps de calcul de 0,7 seconde seulement) dans la catégorie regroupant les cas où les véhicules présents sur les scènes sont proches, c'est-à-dire ceux où les risques de collision sont les plus élevés, et également par une plus grande précision de localisation des véhicules. » Cette performance a attiré l'attention de l'équipementier Valeo qui a demandé l'année dernière au CEA-List d'adapter son logiciel à la reconnaissance de l'ensemble des usagers de la route : motos, cyclistes et piétons. À en juger par la vidéo de la place de l'Étoile que présente Patrick Sayd, les premiers résultats sont plus qu'encourageants.

Navigation à vue !

Autre piste de recherche du CEA List : la mobilité. Il s'agit de permettre à un véhicule, non seulement de se localiser mais, également, de se déplacer avec précision de manière totalement autonome dans un environnement non sécurisé, en évitant les collisions. Le projet de Garage Intelligent auquel ont participé François-Xavier Rusotto, chef de projet au CEA-List, et ses collègues entre 2015 et 2018, a exploré cette voie jusqu'à son point le plus extrême. Associant le CEA-List à la RATP et au constructeur Iveco Bus, il avait pour but de trouver une solution au problème de congestion des dépôts souterrains d'autobus. Un centre RATP, comme celui de Lagny à Paris, connaît un trafic perpétuel. En début de matinée, une majorité de ses 200 bus doivent partir rejoindre le terminus des lignes et une partie de la soirée est consacrée à leur rapatriement. Conséquence : des embouteillages, des manœuvres rendues difficiles, des risques de collision et, au bout du compte, une perte de temps et d'argent. D'où l'idée, d'un bus autonome capable d'effectuer sans chauffeur, des allers-retours entre l'entrée du parking et la place qui lui a été assignée.

C'est cette performance qui a été réalisée en équipant l'un de ces véhicules de plusieurs technologies innovantes dont la plupart ont été conçues au CEA List. Outre un contrôleur de navigation intelligent, l'autobus était muni sur sa partie arrière de quatre caméras couplées à une centrale inertielle. Celles-ci lui permettaient de se localiser en continu sans recourir au GPS et sans aménagement préalable du site, grâce à des technologies de vision par ordinateur de type SLAM visuel. À cela s'ajoutaient un ensemble de quatre lidars chargé de détecter la présence d'un éventuel obstacle et de stopper automatiquement l'engin en cas de risque de collision. *« Lors des phases de manœuvre, la localisation est renforcée par des technologies de* deep learning *appliquées à la reconnaissance des marquages au sol, permettant ainsi de réaliser la trajectoire avec une grande précision »*, explique François-Xavier Rusotto.



© CEA

Expérimentation Place de l'Étoile à Paris, dans le cadre du projet Deep Perception (CEA/Valéo) du logiciel Deep Manta du CEA-List qui permet de détecter en 2D et en 3D les objets d'intérêts sur la route.

> ***Notre système se distingue par le meilleur taux de détection dans sa catégorie***
>
> *Patrick Sayd, chef du Laboratoire vision et ingénierie des contenus au CEA List*

Le résultat ? Il a été présenté lors d'une démonstration organisée le 30 mars 2018, dans le centre RATP de Lagny (Paris). Ce jour-là, un prototype de bus autonome de douze mètres de long ; embarquant des journalistes, a descendu, sans chauffeur la rampe d'accès qui conduisait au sous-sol du dépôt. Arrivé au niveau -3, il a parcouru les allées à une vitesse de 8 km/h. Avant de se garer avec une précision centimétrique, à la place 443 qui lui avait été assignée. Ouvrant par cette manœuvre réussie, un nouveau chapitre dans l'histoire de l'autonomie des véhicules… ◆

© P. Dureuil/ CEA

Plateforme robotique d'exploration de systèmes de navigation autonome.

Ergonomie **électronique**

La multiplication des fonctionnalités dans les véhicules entraîne la prolifération de capteurs et de calculateurs, souvent non interopérables, sans compter la forêt de câbles qui envahissent littéralement l'espace disponible. Un constat qui conduit une équipe du CEA-List à réfléchir à une plateforme plus modulable et évolutive pour accueillir l'existant tout en facilitant l'intégration de nouveaux services, notamment en matière de connectivité et d'autonomie.

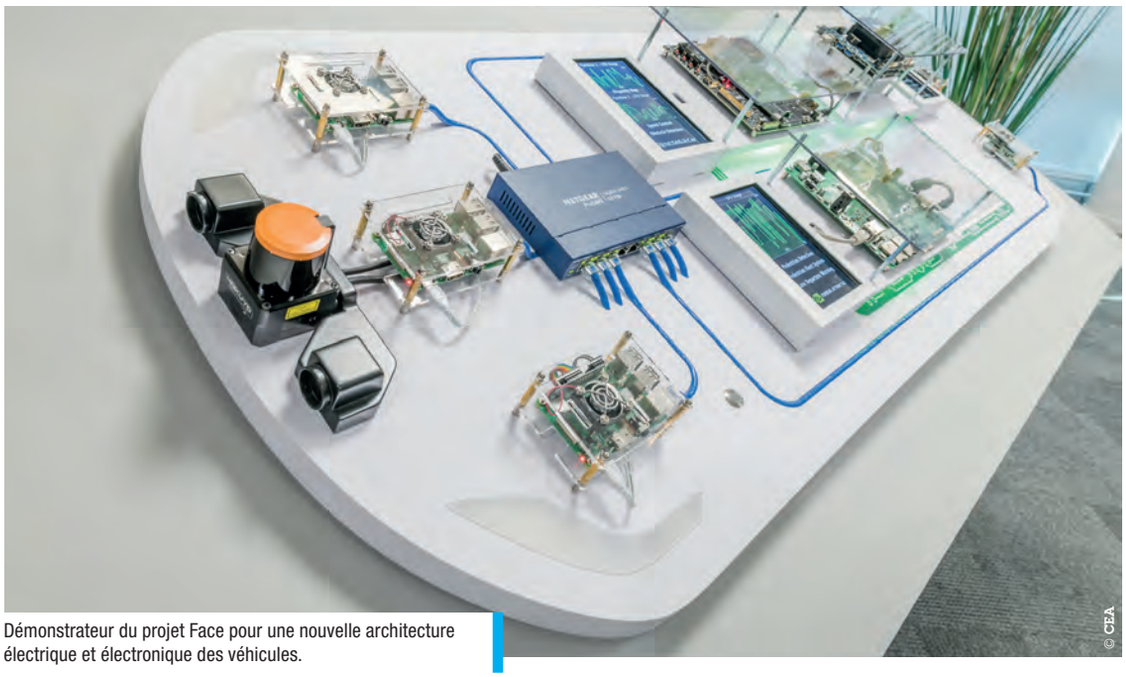
« *Avez-vous déjà ouvert le coffre d'un prototype de voiture autonome ? Il est rempli à craquer de calculateurs. Implanter un tel système sur les véhicules de tourisme actuel ne sera pas possible sans aménagement* », Maroun Ojail sait de quoi il parle. Ingénieur-chercheur au CEA-List et spécialiste de l'architecture-système, il est impliqué depuis l'année dernière dans un ambitieux projet associant trois départements et sept laboratoires du List à Renault-Nissan-Mitsubishi. Baptisé « Face » et mobilisant pas moins de 120 personnes, en bonne partie dans les locaux du CEA à NanoInnov' sur le plateau de Saclay, ce dernier vise à concevoir d'ici 2020 une nouvelle architecture électronique et électrique pour l'ensemble de la gamme de véhicules du constructeur.

De quoi s'agit-il ? « *L'idée est de préparer l'arrivée de la voiture connectée qui précédera celle la voiture autonome* », explique Maroun Ojail. Actuellement, l'électronique embarquée à bord des automobiles est systématiquement dépassée au regard de celle employée dans des produits de consommation courante comme les smartphones. La raison de cette anomalie tient à la façon dont cette technologie a été historiquement implantée depuis les années 1950 dans les véhicules. D'années en années, afin d'offrir au conducteur toujours plus de fonctionnalités, on a ajouté les calculateurs les uns aux autres : jusqu'à plus de 70, sur une simple Renault Clio dont nombre fonctionnent avec des protocoles de communication différents. Résultat, explique Laurent Le Gaff, ingénieur chez Renault : « *on se retrouve avec un manque de place à bord des véhicules, plus de 2 000 câbles et un réseau électronique et électrique complexe et rigide qui constitue un frein à l'adoption de nouvelles fonctionnalités.* » Alors que dans le secteur du numérique quelques semaines suffisent pour implémenter un produit, dans le monde de l'automobile, la mise en place d'une nouvelle fonction peut prendre jusqu'à deux ans !

Concevoir une nouvelle architecture élctronique

D'où l'idée de simplifier le système en créant une nouvelle plateforme non seulement compatible avec l'infrastructure existante mais également modulable afin d'ouvrir la voie à un nouveau marché de services à la carte proposé à l'utilisateur et à l'introduction de nouvelles fonctionnalités telle que l'autonomie. Tel est l'objectif de Face. « *Ce projet a pour but de tirer parti du savoir-faire du CEA en matière de logiciel critique ainsi que des progrès réalisés dans les domaines des processeurs, des réseaux et des outils pour faire opérer à l'industrie automobile, la mutation qu'a connue l'aéronautique, il y a vingt ans* », indique Laurent Le Gaff. Plus précisément, il vise à concevoir une nouvelle architecture électronique et électrique des véhicules. Celle-ci serait basée sur un seul calculateur central auquel seraient reliés, par un réseau Ethernet, des calculateurs secondaires par lesquels transiteraient les informations envoyées par les capteurs (caméras, lidars, radars…) et par les actionneurs (moteur, airbag, freins, feux de signalisation…).

Avec, au bout de la route, une division par deux de la place consacrée aux calculateurs à bord des automobiles ; et des voitures préparées à leur évolution future vers l'autonomie. ◆

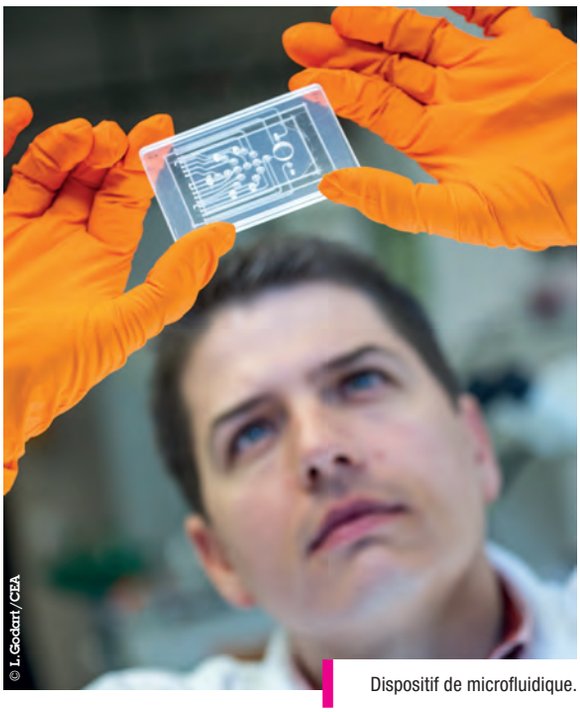

© CEA

Démonstrateur du projet Face pour une nouvelle architecture électrique et électronique des véhicules.

CEA - Leti
Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information

Clinatec
Centre de recherche biomédicale CEA-Leti / Université Grenoble-Alpes / Inserm / CHU de Grenoble

LSCE
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement


© L. Godart / CEA

Dispositif de microfluidique.

Microfluidique

Expert en certification

À terme, la standardisation de la **microfluidique** offrira aux industriels les clés pour mettre à disposition des équipes de R&D des produits de série fiables et à bas coût ; ils pourront alors se concentrer sur les fonctions cœur, à forte valeur ajoutée, que l'on retrouve notamment dans les laboratoires sur puces, les organes sur puces, les dispositifs médicaux de diagnostic, mais aussi dans les domaines de l'environnement et de la sécurité.
Dans ce contexte, et afin de réduire les temps de développement, le **CEA-Leti** porte une démarche de certification ISO de la microfluidique.
Nicolas Verplanck, chef de projet au Leti et récent membre Afnor[1] a ainsi été élu en mai 2018 pour conduire les démarches de normalisation au niveau européen (CEN) et international (ISO). *AG*

Microfluidique
Discipline consistant à faire circuler et manipuler de très faibles volumes de fluides dans des systèmes miniaturisés.

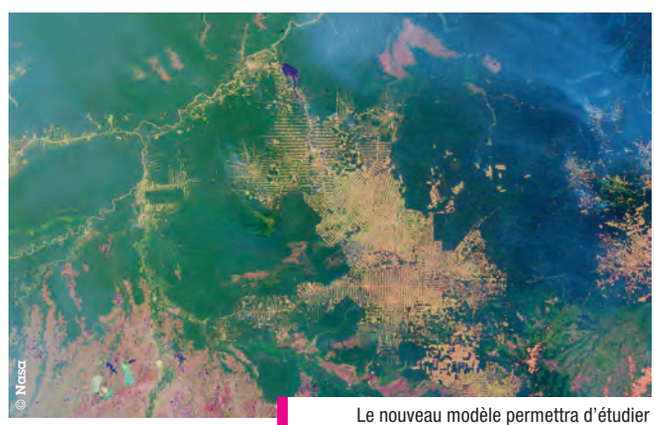
Note :
1. Association française de normalisation.

Modèle climatique

6 000 ans de climat simulés !

Au terme de trois années de calculs, le modèle climatique de l'IPSL[1] a produit la première simulation numérique des six mille dernières années ! Cette nouvelle version décrit cycle du carbone et végétation avec une résolution spatiale pour l'atmosphère de 2,5°x 1,25° (sur 39 niveaux verticaux), et pour l'océan, de 2° (sur 31 niveaux).
Elle retrace les grands phénomènes climatiques de nos 6 000 dernières années : refroidissement et assèchement dans l'hémisphère nord entre -4 000 et -1 000 av. J.C. cohérents avec le rayonnement solaire reçu, diminution de l'amplitude du cycle saisonnier dans l'hémisphère nord, affaiblissement des pluies de mousson en Afrique et en Asie, etc. Ce modèle, plus complet, va permettre d'étudier dans le détail le retrait de la forêt dans l'hémisphère nord et la disparition de la période humide dans les tropiques. Il a en outre aidé à développer l'outil de comparaison des modèles climatiques qui servira à l'élaboration du 6e rapport du Giec, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *SR*

Note :
1. Institut Pierre-Simon Laplace, qui regroupe 9 laboratoires, dont le **LSCE**.


© Nasa

Le nouveau modèle permettra d'étudier le retrait de la forêt dans l'hémisphère nord.

Technologies pour la santé

L'épilepsie bientôt traitée par le froid ?

Refroidir les zones cérébrales à l'origine de crises d'épilepsie et ainsi remplacer les traitements médicamenteux classiques ? C'est l'objectif du projet Epicool, initié par **Clinatec**.
Ses chercheurs s'intéressent de près à l'utilisation du froid, connu pour entraver de façon réversible l'activité des neurones. Mais, confrontés au problème de l'évacuation de la chaleur dans ces zones épileptogènes souvent fonctionnelles et profondes, ils ont opté pour un dispositif médical implantable. Après avoir identifié les composants critiques, ils ont mis au point à l'échelle du laboratoire un banc de refroidissement. Ils travaillent à présent à la miniaturisation du système et à son adaptation aux conditions de l'environnement cérébral (pression, température, etc.). De premiers essais précliniques sont prévus fin 2018. *AG*

© Fotolia

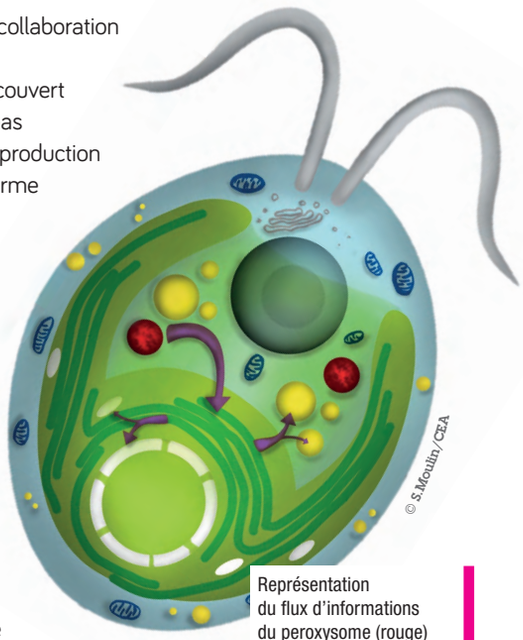
CEA - Biam
Institut de biosciences et de biotechnologies d'Aix-Marseille

Laboratoire de mesure du carbone 14
Plateforme nationale regroupant cinq organismes : CEA, CNRS, IRD, IRSN, ministère de la Culture et de la communication

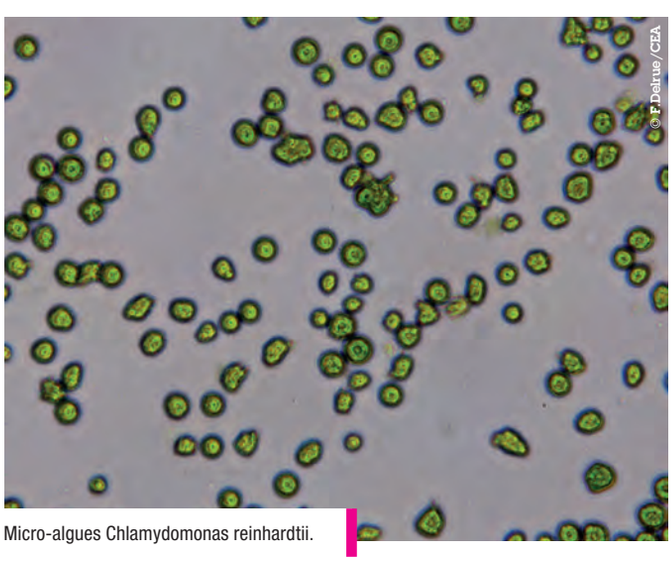
Biochimie végétale

Optimiser le stockage d'énergie !

Des chercheurs du **CEA-Biam**, en collaboration avec des scientifiques de l'Institut Max-Planck en Allemagne, ont découvert chez la microalgue Chlamydomonas une voie qui lui permet d'ajuster la production et le stockage de l'énergie (sous forme de métabolites) aux conditions environnementales.
L'existence d'une communication entre le chloroplaste, siège de la photosynthèse, et le peroxysome, organite relativement peu étudié chez les algues, vient d'être révélée.
Elle implique un acide organique, le malate, ainsi que le peroxyde d'hydrogène, une molécule de signalisation cellulaire produite dans le peroxysome. En l'absence de cette communication, les cellules maintiennent une activité de photosynthèse plus élevée et accumulent des quantités plus importantes d'huile et d'amidon, composants cellulaires importants pour le stockage de l'énergie. L'interaction entre chloroplaste et peroxysome joue donc un rôle essentiel dans la régulation de la photosynthèse et l'atténuation du stress oxydatif lors de l'adaptation à des conditions environnementales difficiles, comme une carence en nutriments et une forte exposition à la lumière. Ces travaux offrent des perspectives prometteuses en vue de l'optimisation du stockage de l'énergie par les microalgues, une étape essentielle pour le développement de biocarburants de 3e génération. *SR*



Représentation du flux d'informations du peroxysome (rouge) au chloroplaste (vert) dans une cellule de Chlamydomonas. Le signal redox généré par le peroxysome participe au contrôle de la photosynthèse et de l'accumulation d'huile (jaune) et d'amidon (blanc).



Micro-algues Chlamydomonas reinhardtii.

Sarcophage intermédiaire de l'épouse d'Aper-El, Taouret.

Datation

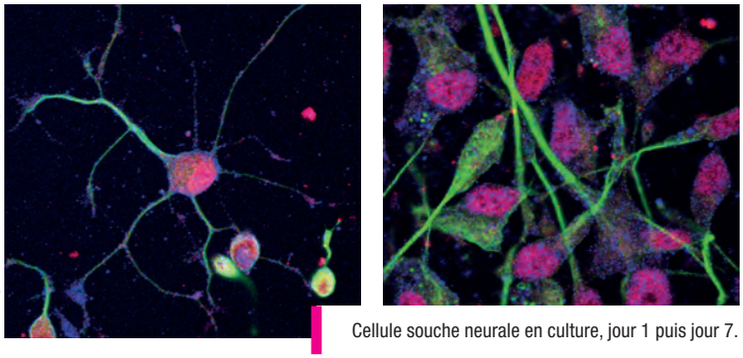
Les fards chimiques de l'Égypte ancienne

Le **Laboratoire de mesure du carbone 14** annonce une double découverte, en association avec le Musée du Louvre : la toute première datation par le carbone 14 des carbonates de plomb, l'un des principaux composés de l'art et de l'archéologie, utilisé comme ingrédient dans la peinture et les cosmétiques depuis l'Antiquité ; et la preuve directe de synthèses chimiques de carbonates dans des fards égyptiens et grecs. La méthode a permis de distinguer les produits d'origine naturelle de ceux obtenus par voie chimique (*via* l'incorporation de CO_2). De nouvelles possibilités pour la datation et la connaissance du patrimoine culturel, archéologique et artistique s'ouvrent ainsi aux chercheurs et historiens, puisque jusque-là, la datation au carbone 14 n'était principalement utilisée que sur des objets organiques (bois, charbon, os…). Ces travaux ont été salués par Françoise Nyssen, la ministre de la Culture. *SR*

CEA - Liten
Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux

CEA - Inac
Institut nanosciences et cryogénie

ICSM
Institut de chimie séparative de Marcoule (CEA-CNRS-Université Montpellier-École nationale supérieure de chimie Montpellier)



© Ping Hu/Université de Syndney

Cellule souche neurale en culture, jour 1 puis jour 7.

Neurosciences

Une voie de régénération du cerveau identifiée

Une équipe du CEA de Fontenay-aux-Roses a mis au jour le rôle d'une molécule clé dans le processus de régénération du cerveau : le Syndécan-1.
Cette molécule, présente dans la membrane des **cellules-souches neurales**, permet leur prolifération, un phénomène observé dans le cerveau murin adulte. Cette découverte fait du Syndécan-1 un possible traceur de la régénération cérébrale, et ouvre de nouvelles perspectives en médecine régénérative pour des pathologies cérébrales. Les chercheurs tentent désormais d'identifier des médicaments qui pourraient, *via* le Syndécan-1, stimuler la multiplication des cellules-souches neurales et ainsi activer la production de nouveaux neurones. Ces travaux font l'objet d'un dépôt de brevet. *SR*

Cellules-souches neurales
Cellules du cerveau capables de générer l'ensemble des types cellulaires nécessaires au système nerveux central.

Batteries

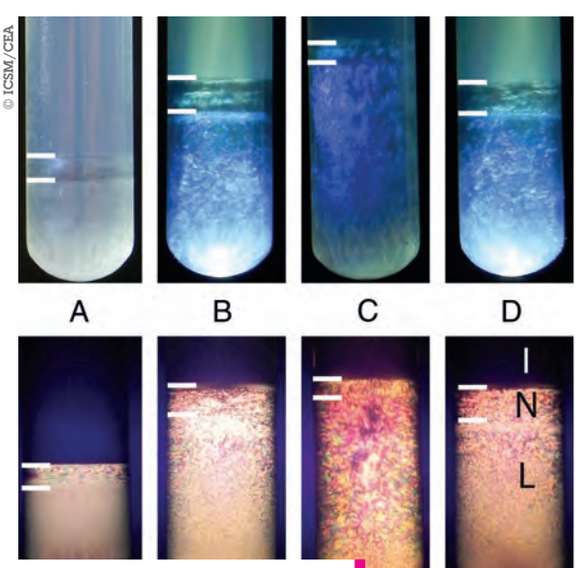
La promesse des polymères hybrides

La demande croissante de batteries plus sûres pour les marchés de l'automobile et de l'électronique pousse les industriels à se pencher sur les systèmes polymères hybrides, moins volatils que leurs homologues liquides. Dans ce contexte, une équipe du **CEA-Liten** développe pour Solvay une nouvelle technologie basée sur un **électrolyte** polymère hybride.
Après de premiers tests réussis sur des piles bouton, les chercheurs ont amélioré les matériaux et ont réalisé, sur leur ligne pré-pilote, des électrodes de plus grandes dimensions contenant l'électrolyte ainsi qu'une membrane polymère hybride.
À partir de ces composants, le Liten a assemblé plusieurs cellules de 500 mAh qui ont été fournies à Solvay, en vue de présenter la nouvelle technologie aux fabricants de batteries. *AG*

Électrolyte
Substance, liquide ou solide, qui permet le passage du courant électrique par déplacement d'ions.

Chimie

Des nanofeuillets qui s'auto-organisent en lamelles



© ICSM/CEA

Observation des trois phases isotrope (I), nématique (N) et lamellaire (L)

Pour la première fois, une équipe française impliquant le **CEA-Inac** et l'**ICSM** met en évidence la coexistence de trois phases dans une **suspension colloïdale** de nanofeuillets inorganiques. De telles phases sont très utilisées dans l'électronique, l'agroalimentaire, l'industrie pétrolière, l'architecture, ou encore la catalyse et la lubrification. Une question demeurait toutefois en suspens : la phase lamellaire existe-t-elle ?
En étudiant des nanofeuillets d'acide phosphatoatimonique ($H_3Sb_3P_2O_{14}$), les chercheurs ont pu observer trois phases bien distinctes : une, isotrope, sans ordre particulier ; une, **nématique**, dans laquelle tous les nanofeuillets sont approximativement parallèles ; et une dernière, lamellaire, où ils s'auto-assemblent en formant des couches équidistantes.
Cette phase lamellaire est importante car elle se prête à la compartimentation de liquides, comme les membranes du vivant, formées par auto-assemblage de molécules en couches. Or il était jusqu'à présent très difficile de distinguer expérimentalement les phases nématique et lamellaire pour des nanofeuillets de diamètre supérieur à cent nanomètres. Ce que sont parvenus à faire les chimistes, grâce notamment aux nouveaux instruments de diffusion de rayons X aux petits angles (voir *Tout s'explique*), des synchrotrons ESRF à Grenoble, et Soleil à Paris-Saclay. *AG*

Solution colloïdale
Mélange (liquide, gel) contenant des particules en suspension.

Nématique
État de la matière intermédiaire entre les phases solide, cristalline et liquide.

CEA - Leti
Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information

CEA - Inac
Institut nanosciences et cryogénie

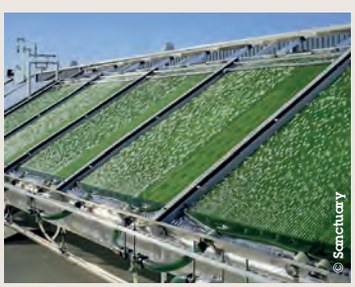
Internet des objets

Échanges sécurisés de données

Comment améliorer la protection des données échangées *via* smartphones ou tablettes ? Dans le cadre du projet Mobitrust, une équipe du **CEA-Leti** s'est attelée à automatiser les processus d'analyse des vulnérabilités des environnements sécurisés dédiés à l'exécution des applications critiques sur les plateformes mobiles. L'automatisation de ces essais permet de les rendre reproductibles, d'augmenter la couverture de test et de limiter les interventions faisant appel à des compétences rares. De plus, le nombre de tests effectués peut facilement être augmenté en enrichissant la bibliothèque utilisée par la plateforme de référence. Les chercheurs ont également planché sur la sécurisation de la fonction de « démarrage sécurisé », et ont ajouté des vérifications pour garantir que les préconisations de mise en œuvre sont respectées par les développeurs des services de confiance. Terminé en 2017, Mobitrust a livré un démonstrateur, validé depuis sur des cibles de référence. *AG*

Vecteur hydrogène

Pour une photosynthèse moins toxique et plus compétitive


© Sanctuary

Des chercheurs du **CEA-Inac** et de l'Université Grenoble-Alpes démontrent qu'il est possible de produire efficacement de l'hydrogène par photosynthèse artificielle en solution. Et ce, sans recourir à des photo-sensibilisateurs à base de métaux toxiques et coûteux. Leur astuce : associer à un catalyseur moléculaire à base de cobalt des nanocristaux constitués d'un coeur de sulfure de cuivre et d'indium, protégé par une coquille de zinc et de soufre.
La production d'hydrogène devient alors plus efficace qu'avec des photo-sensibilisateurs à base de ruthénium, la référence dans ce domaine. De plus, les matériaux inorganiques utilisés peuvent être recyclés plusieurs fois sans perte notable d'activité. Ces travaux se poursuivent ; l'objectif est d'obtenir la même réaction avec des matériaux encore moins onéreux. *AG*

LAISSEZ-VOUS CONDUIRE !

La voiture autonome / L'Esprit Sorcier https://bit.ly/2AoKl94

L'association aux célèbres programmes audiovisuels de vulgarisation scientifique, l'Esprit Sorcier, s'intéresse au véhicule autonome. En partenariat avec des équipes du CEA-List (*celles citées dans le dossier en pages 12 à 19*) et orchestrée par l'animateur Frédéric Courant, elle propose plusieurs contenus multimédias (interview, vidéos, webdocumentaires) : Comment ça marche ? (de l'automobile à la voiture autonome) ; Au fil du temps (l'automatisation des transports) ; La voiture autonome au banc d'essai ; Vers un nouveau Code de la route ? Découvrez ainsi les principes, technologies et enjeux de ce qui se présente comme l'avenir de l'automobile.

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.***

DES MICROBES PAR MILLIARDS

Savez-vous que nous portons dans notre corps environ 2 kg de microbes ? Et que les bactéries et virus qui nous colonisent sont aussi nombreux que nos cellules humaines ? Et que dire de tous les autres microbes avec qui nous cohabitons : dans nos cuisines, nos lits, nos assiettes… Pour nous faire découvrir cette abondante microfaune, tour à tour bénéfique ou pathogène, l'auteur a choisi de nous faire partager le quotidien de 10 membres d'une même famille.

Que serions-nous sans eux ? Les microbes de notre quotidien - Murielle Naïtali - ***Éditions Quae. 15 €***

UNIVERS MYSTÉRIEUX

Non content d'exposer avec la plus grande clarté le peu que nous savons déjà sur l'infiniment petit et l'infiniment grand, cet ouvrage expose – avec humour et précision – tout ce que nous ne savons pas de l'Univers ; et pourquoi ces questions restent des énigmes. Exemples ? quelle est la composition de 95 % de l'Univers, inconnue à ce jour ? Quelle est l'origine des rayons cosmiques qui bombardent la Terre en permanence ? Pourquoi est-il impossible d'aller plus vite que la lumière ? Il reste tant à découvrir…

Tout ce que nous ne savons pas encore, le guide de l'Univers inconnu. Jorge Cham & Daniel Whiteson - ***Éditions Flammarion. 21,90 €***

CONQUÊTE SPATIALE 2.0

Chargé des questions éthiques au CNES, Jacques Arnould s'interroge dans cet essai sur les motivations de la conquête spatiale des géants américains. Pourquoi l'humanité entreprendrait-elle la conquête, la colonisation et l'exploitation d'une autre planète ? S'agit-il de développer un nouveau business ou de sauver l'espèce humaine ? La Terre est-elle si mal en point qu'il faudrait purement et simplement la quitter ? Autant de questions ici abordées pour s'interroger sur cet « impératif catégorique » de Kant qui pousse l'homme à toujours dépasser ses propres limites.

Oublier la Terre ? Jacques Arnould - ***Éditions Le Pommier. 17 €***

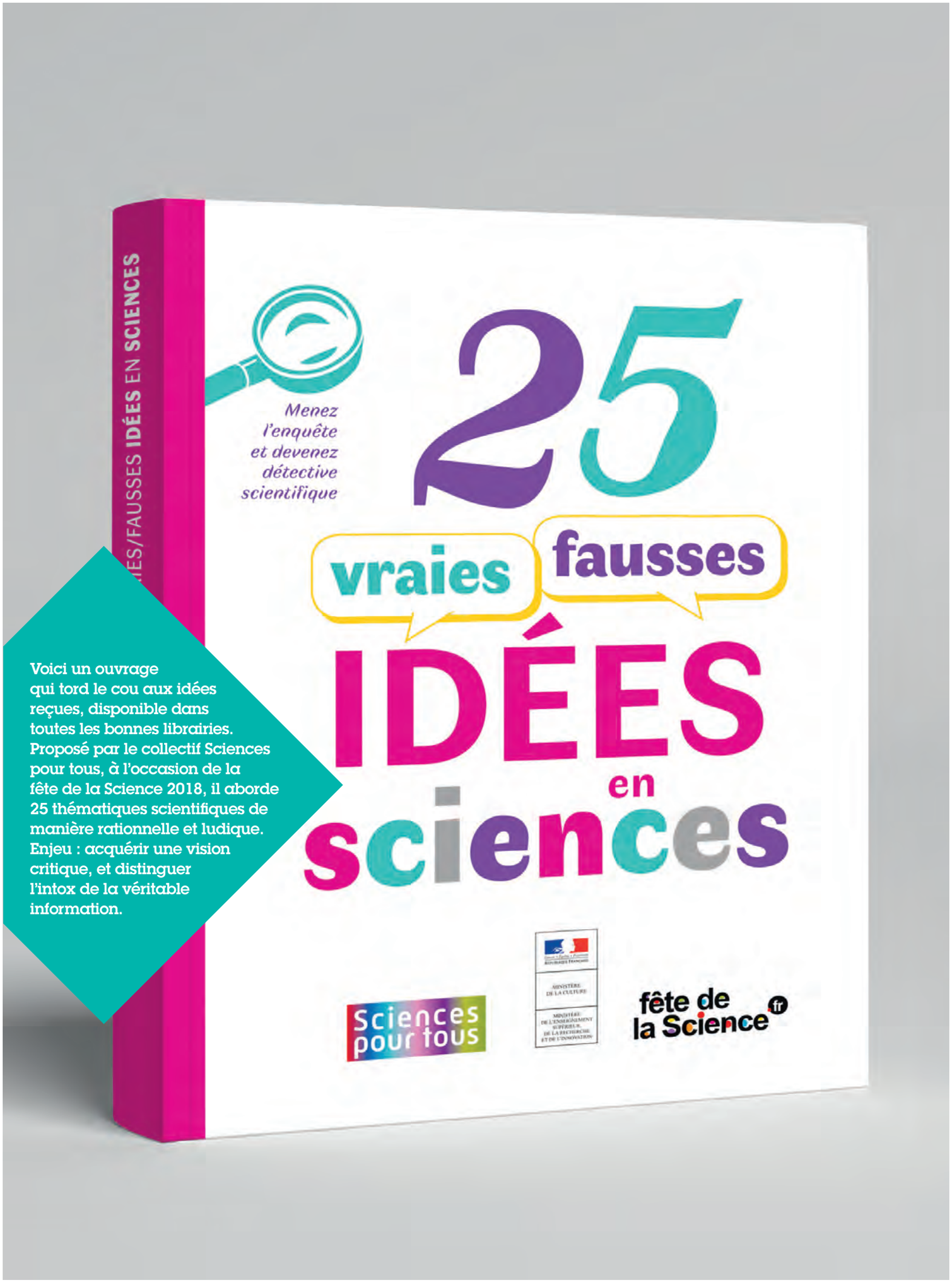
Parution

3 minutes pour comprendre

L'excellente collection d'ouvrages didactiques, proposant de découvrir en trente secondes chacune des cinquante notions clés d'une thématique, revient avec deux nouvelles éditions.
Au-delà des traditionnels sujets sur les ressources en énergie (solaire, nucléaire, biomasse, hydraulique…) ici expliqués, l'énergie est abordée de différents points de vue, allant du « cycle de vie de l'univers », à « l'entropie », en passant par « l'énergie du point zéro », « l'électrodynamique quantique », ou le « système fermé ». Quant à l'anthropologie, elle est également présentée à l'aulne de ses ressorts « éthiques », « politiques », « guerriers »… L'occasion de comprendre l'évolution de l'Homme depuis le « développement du cerveau », la « maîtrise de l'argile », la « navigation », jusqu'à « l'intelligence artificielle ».

50 thèmes majeurs de l'anthropologie.
50 notions fondamentales dans le domaine de l'énergie.
Brian Clegg. Éditions Le courrier du livre. 18 €

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 en chef adjointe** Sylvie Rivière | **Comité éditorial** Stéphanie Delage, Alexandra Bender, Hélène Burlet, Elizabeth Lefevre-Remy, Sophie Martin, Brigitte Raffray, Françoise Poggi, Camille Giroud et Sophie Kerhoas-Cavata | **Ont participé à ce numéro** Vahé Ter Minassian | **Iconographie** Micheline Bayard | **Infographie** Aurelien Boudault | **Photo de couverture** Deep Manta/CEA | **Diffusion** Lucia Le Clech | **Conception et réalisation** www.grouperougevif.fr | N°ISSN 1163-619X | Tous droits de reproduction réservés. Ce magazine est imprimé sur du papier Satimat, issu de forêts gérées durablement. Galaxy Imprimeurs.



Voici un ouvrage qui tord le cou aux idées reçues, disponible dans toutes les bonnes librairies. Proposé par le collectif Sciences pour tous, à l'occasion de la fête de la Science 2018, il aborde 25 thématiques scientifiques de manière rationnelle et ludique. Enjeu : acquérir une vision critique, et distinguer l'intox de la véritable information.