

les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

231

Octobre 2018

TOUT
S'EXPLIQUE

Supplément
détachable sur l'élaboration
type d'un rapport
du Giec

02

L'INTERVIEW

◆ Grâce à leurs huiles au fort potentiel énergétique, les microalgues pourraient bien produire les biocarburants de demain. Rencontre avec Marina Gromova et Éric Maréchal, porteurs du projet RMN-Biocar ◆

04

ACTUALITÉ

◆ Doseo renforce son offre de formation ◆ 62^e conférence générale de l'AIEA ◆ Intelligence et connectivité pour les industriels du Grand Est ◆ Le pari du GaN/Si pour l'électronique de puissance ◆ Urbasolar se raccorde au CEA ◆ Les réactions chimiques suivies en direct ◆ Le premier hackathon du démantèlement ◆ En accord sur la cryogénie ◆

07

SUR LE VIF

◆ De la courbure d'un micro-écran ◆ Adénovirus : le 3 en 1 contre les tumeurs ◆

20

SCIENCES EN BREF

◆ L'anesthésie générale mieux comprise ◆ Un protocole pour la mesure des nanomatériaux ◆ Une nouvelle électrode pour les batteries lithium-soufre ? ◆ Foxy trace les colis d'Oscaro.com ◆ Optimisation géométrique du divertor d'ITER ◆ Un diagnostic pour les ions sanguins ◆ Évaluation standard de capteurs Lidar ◆ Récupérer l'énergie des chocs ponctuels ◆

23

KIOSQUE

www.cea.fr



Dossier P.10 : Changement climatique

Un monde à + 1,5 °C

MARINA GROMOVA,

chercheur au CEA/Inac
et enseignante à l'Université
Grenoble-Alpes

ÉRIC MARÉCHAL,

Directeur de recherche
CNRS, CEA/BIG



Microalgues : des huiles aux carburants

Pleines de promesses, les microalgues pourraient bien un jour produire les futurs biocarburants de nos avions et véhicules. Comment ? Grâce à leurs huiles au fort potentiel énergétique. Pour mieux comprendre les processus de fabrication de ces huiles, Marina Gromova et Éric Maréchal scrutent les microalgues via une méthode d'analyse et de suivi par RMN.

Propos recueillis par Sylvie Rivière

celui capturé par l'algue au moment de la photosynthèse pour la production des huiles.

Quels défis restent à relever avant d'envisager une exploitation industrielle des microalgues ?

E.M. : Cette filière souffre encore de coûts de production trop élevés. L'une des contraintes vient de la très grande quantité d'eau à évacuer avant de récupérer les huiles, un processus très coûteux en énergie. Pour le moment, le rendement en huile des microalgues, couplé aux procédés d'extraction de l'eau, ne permet pas de générer plus d'énergie qu'on en fournit. Il nous faut des approches de rupture, soit au niveau biotechnologique, soit au niveau des procédés.

Comment se situe le projet RMN-Biocar au sein de ces enjeux ?

E.M. : En ligne de mire, nous cherchons à optimiser la production d'huile par les microalgues pour les biocarburants de 3^e génération. Mais avant de pouvoir améliorer ces rendements, il est essentiel de mieux comprendre comment fonctionne cette machinerie biologique. Nous nous intéressons aux corps

lipidiques. Ces petits organites, au cœur du processus, stockent les huiles produites par les microalgues. Nous savons aussi que les conditions de stress augmentent la production d'huile. Comment ces gouttelettes sont-elles fabriquées ? Comment grossissent-elles ? Quelle est leur dynamique ? Comment accroître leur production via les conditions de culture ? Pour répondre à ces interrogations, nous avons besoin d'un moyen de mesure dans le temps et l'espace, idéalement sur des cellules vivantes. C'est l'objet du projet RMN-Biocar.

Marina Gromova : Nous avons développé une nouvelle méthode

Quel est le potentiel des microalgues pour les biocarburants ?

Éric Maréchal : Ces micro-organismes produisent de grandes quantités d'huiles, que l'on peut transformer en biocarburants. Contrairement aux hydrocarbures fossiles (pétrole, charbon), l'utilisation de ces biocarburants, dits de **3^e génération**, s'inscrit dans une démarche plus vertueuse, avec un bilan carbone *a priori* neutre pour l'atmosphère : le CO₂ libéré lors de la combustion est contrebalancé par

- Notes :
1. Résonance magnétique nucléaire.
 2. Qui contiennent de l'huile.
 3. Seuls les noyaux présentant un spin non nul sont concernés.

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.

pour le suivi de ces gouttelettes d'huile, basé sur la RMN¹ diffusionnelle (RMNd). Nous avons déjà développé ce savoir-faire pour doser la quantité d'huile dans des graines oléagineuses² et estimer la taille de leurs gouttelettes lipidiques. La nouveauté a été de travailler sur des algues *in vivo*, en contournant la difficulté liée à la présence de très grandes quantités d'eau.

Comment y êtes-vous parvenus ?

M.G. : La RMN permet de sonder la structure des molécules en sollicitant l'aimantation naturelle de leurs noyaux avec un champ magnétique intense³ ; le noyau le plus observé étant celui de l'hydrogène. Notre défi a été de nous affranchir de la réponse de l'eau, très abondante dans les algues, pour ne garder que le signal caractéristique correspondant aux huiles. L'un des avantages de la RMNd est qu'elle est sensible au coefficient de diffusion des molécules, or ceux de l'eau et de l'huile sont très différents. En choisissant bien les conditions de nos expériences de RMN, nous arrivons quasiment à faire disparaître le signal de l'eau.

Que permet votre méthode ?

M.G. : La RMNd permet de suivre l'évolution du signal des huiles en fonction de leurs mouvements dans l'espace. En suivant le déplacement des huiles au sein des corps lipidiques, les organites dans lesquels elles sont confinées, on peut obtenir des informations sur la taille moyenne des corps lipidiques et sur leur évolution au cours du temps. Notre technique, innovante, permet d'étudier les algues *in vivo* en quelques dizaines de minutes, sans étape de préparation de l'échantillon, et donc sans les détruire. En une mesure, nous pouvons connaître la taille moyenne des corps lipidiques dans quelques centaines de millions d'algues. J'ajoute que notre méthode a été corroborée par une étude parallèle par microscopie, grâce aux travaux

d'un étudiant financé par le projet RMN-Biocar. Nous devons en effet convaincre les biologistes que notre méthode par RMN était fiable.

Que vous ont apporté ces résultats ?

E.M. : Nous avons pour la première fois pu observer l'évolution de la taille des corps lipidiques, sur le temps d'une culture et selon différentes conditions de stress (nutritionnel, oxydatif). En combinant RMN et microscopie, nous avons alors identifié un processus dynamique que l'on ne connaissait pas, qui guide la fabrication de la gouttelette d'huile dans la microalgue, et avons construit un modèle mathématique qui le décrit. La publication est en cours de rédaction. Il nous reste maintenant à découvrir la machinerie moléculaire qui gouverne cette dynamique.

Quelle suite envisagez-vous ?

E.M. : D'autres questions nous viennent à l'esprit. À l'intérieur de ce petit sac cellulaire que forme le corps lipidique, quelle est la nature de l'huile ? Est-elle solide, comme le beurre ou l'huile de palme, ou bien très fluide ? Ces propriétés sont liées à la quantité de doubles liaisons : une huile fluide en contient beaucoup, contrairement à une huile plutôt solide. Ces questions sont essentielles vis-à-vis des applications possibles. Pour y répondre, la RMN peut là encore nous aider.

Quel est le lien entre la structure de la molécule d'huile et les applications potentielles ?

E.M. : Aujourd'hui, la cible des biocarburants, ce sont les moteurs d'avion et des gros transporteurs. Pour ces applications, l'électricité, qui sera sans doute une alternative aux carburants fossiles pour les voitures, reste peu envisageable. Dans ces puissants moteurs à très haute température, seule une huile très visqueuse, et donc avec le moins de doubles liaisons possibles, convient.

Cette caractéristique évite par ailleurs les processus d'oxydation du combustible.

M.G. : Au-delà de RMN-Biocar et des biocarburants, il ne faut pas oublier l'utilisation de ces algues pour l'alimentation humaine et les applications biomédicales, avec par exemple la production d'huile de consommation riche en oméga 3. Dans certaines conditions, les algues sont capables de produire des oméga 3 d'excellente qualité, semblables à ceux des poissons gras. La piste des microalgues pourrait être une solution à la surpêche, et garantirait de plus des produits exempts de polluants. ♦

Notions clés

Trois générations de biocarburant

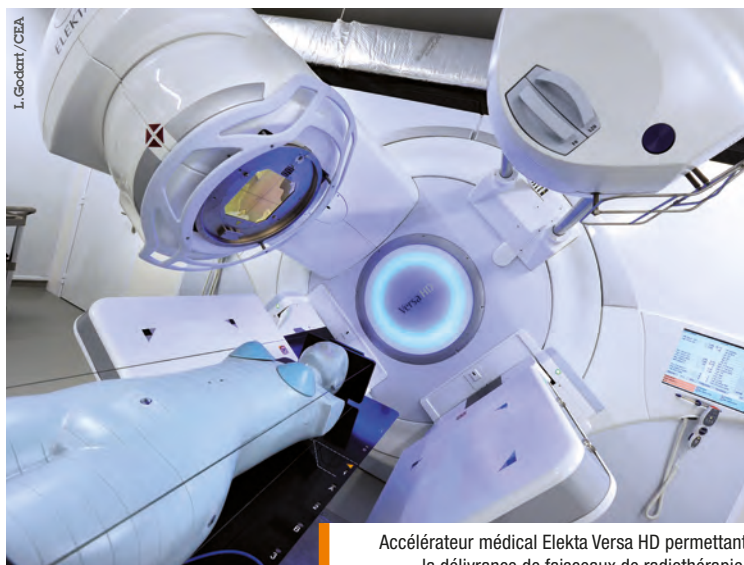
- 1^{re} génération : biocarburants issus de ressources agricoles ; l'inconvénient étant l'utilisation de terres arables, la déforestation...
- 2^e génération : utilise des déchets végétaux et des plantes non-comestibles
- 3^e génération : utilise des microalgues.



Culture de microalgues.

Radiothérapie et imagerie

Doseo renforce son offre de formation



Accélérateur médical Elekta Versa HD permettant la délivrance de faisceaux de radiothérapie.

S'appuyant sur ses compétences et son expertise, la plateforme Doseo¹ propose trois nouvelles formations de deux jours, alternant théorie et pratique : métrologie pour la radiothérapie ; mesure de la dose en conditions stéréotaxiques, c'est-à-dire dans les traitements de radiothérapie utilisant des mini-faisceaux ; mesure de la dose en imagerie, associée à l'utilisation d'un logiciel de calcul 3D des doses délivrées par les dispositifs d'imagerie embarquée, développée par les équipes de la plateforme. Ce logiciel permet de calculer de façon personnalisée la dose reçue par chaque organe du patient en fonction de sa morphologie réelle et des spécificités du traitement suivi. Destinées aux physiciens médicaux, ces trois formations répondent à une forte demande des professionnels. Face au succès rencontré lors des premières sessions, de nouvelles dates sont d'ores et déjà programmées. SR

Note :

1. Plateforme technologique ouverte à tous les acteurs de la filière de la radiothérapie et de l'imagerie, située au CEA Paris-Saclay.

PLATEFORME APPLICATIVE

INTELLIGENCE ET CONNECTIVITÉ POUR LES INDUSTRIELS DU GRAND EST

Implanté depuis 2014 en région Grand Est, le CEA lance la plateforme applicative MAPP¹. Objectif : développer des briques technologiques pour offrir aux entreprises de ce territoire la possibilité d'intégrer des systèmes de capteurs dans leurs outils, outillages et pièces industrielles en vue de gagner en performance, contrôle-qualité et valeur ajoutée des produits. À l'image de la plateforme FFLOR², déployée en janvier 2017, MAPP poursuit l'ambition du CEA d'accompagner les entreprises de la région Grand Est dans son renouveau industriel. Elle bénéficie pour cela d'un investissement initial de plus de 2 millions d'euros provenant de l'État (840 000 €) et de la Région Grand Est (1,2 million d'euros).

« Dans un contexte de transformation digitale, fabricants de capteurs, concepteurs de systèmes électroniques et de machines spéciales, outilleurs et industriels peuvent aujourd'hui rejoindre une dynamique locale offrant des projets locaux efficaces, en circuit court, économiquement optimaux et en rupture pour monter dans la chaîne de la valeur et intégrer les pré-développements sur le site de production », a déclaré le directeur de la recherche technologique du CEA, Stéphane Siebert, lors de l'inauguration de la plateforme le 19 septembre dernier. AG

Notes :

1. Mécatronique pour l'amélioration des produits et des procédés.
2. Future Factory @Lorraine.

Représentation internationale

62^e conférence générale de l'AIEA

Les 170 États membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) se sont réunis en séance plénière des 17 au 21 septembre derniers à Vienne. Conduisant la délégation française, l'administrateur général du CEA, François Jacq, a rappelé l'attachement de la France à l'universalisation et à la mise en œuvre du système de garanties de l'AIEA. « L'accord de Vienne sur le nucléaire iranien constitue un outil essentiel de non-prolifération et de sécurité que la France demeure déterminée à préserver », a-t-il souligné.

Lors de sa première participation à la conférence générale de l'AIEA, François Jacq a rencontré une quinzaine de chefs de délégation et de hauts responsables, dont le ministre américain de l'Énergie, Rick Perry. Ces entretiens bilatéraux ont été ponctués par la signature d'un accord ICERR¹ entre le CEA et le régulateur des Émirats arabes unis, et par celle d'un mémorandum d'entente entre le CEA et l'Agence de l'énergie atomique du Canada. L'administrateur du CEA a également inauguré le stand France qui, depuis huit ans, réunit les partenaires industriels et institutionnels français pour valoriser leur expertise nucléaire à l'échelle internationale. AG

Note :

1. International Centers based on research reactors.





© P. Berthault-CEA

Laboratoire commun

Les réactions chimiques suivies en direct

Le CEA et le CNRS, et la Société CortecNet, avec l'appui de l'Agence nationale de la recherche, lancent leur laboratoire commun Desir¹. L'objectif est de développer les sondes permettant le suivi *in situ* de synthèses chimiques par RMN (Résonance magnétique nucléaire). La RMN est en effet une technique d'analyse puissante et non destructive, très utilisée en chimie, en particulier pour analyser les produits de réactions à chaque étape du procédé. L'innovation a consisté à installer au sein d'un spectromètre RMN un mini-réacteur chimique et un système de flux contrôlé pour analyser en temps réel et de manière simultanée tous les produits de la réaction. Cette idée prend corps aujourd'hui grâce aux avancées récentes de la microfluidique et des techniques d'impression 3D qui permettent la réalisation d'un réacteur chimique miniature, insérable au cœur de l'aimant d'un spectromètre RMN. SR

Projet de sonde RMN microfluidique, élaborée par des procédés d'impression 3D.

Note :
1. Détection efficace et sensible d'intermédiaires réactionnels par RMN.



© V. Gaulty/CEA

Inspection d'un wafer de GaN/Si dans l'une des salles blanches du CEA-Leti.

Collaboration industrielle

Le pari du GaN/Si pour l'électronique de puissance

STMicroelectronics, leader mondial sur le marché des composants électroniques, et le CEA annoncent leur coopération en vue d'industrialiser des technologies « nitrure de gallium sur silicium » pour circuits de commutation de puissance. En tant que matériaux semi-conducteurs à large bande, les composants réalisés en nitrure de gallium permettent en effet de fonctionner à des tensions, des fréquences et des températures nettement supérieures aux semi-conducteurs classiques comme le silicium.

Ce nouveau développement permettra à STMicroelectronics de répondre aux exigences d'applications à haut rendement et de forte puissance, telles que les chargeurs embarqués pour véhicules hybrides et électriques, les chargeurs sans fil et serveurs.

En s'appuyant sur la plateforme générique « 200 mm » du CEA-Leti, l'industriel table sur une validation des échantillons d'ingénierie en 2019 et envisage un premier déploiement de production industrielle sur son site de Tours d'ici 2020. SR

Inauguration

Urbasolar se raccorde au CEA

Urbasolar, premier spécialiste français indépendant de l'énergie solaire photovoltaïque, inaugure une nouvelle centrale au cœur de la cité des énergies du CEA à Cadarache.

Sur plus de 7 hectares, et développant une puissance de 4,34 MWc¹, elle produira chaque année l'équivalent de la consommation d'environ 1 416 foyers. Elle est notamment intégrée à Mégasol, l'une des plateformes technologiques du CEA, elle-même raccordée au réseau local d'électricité. La collaboration permettra à Urbasolar de mener des tests en grandeur réelle. Objectif : accélérer le développement de technologies innovantes de raccordement de la production d'origine solaire aux réseaux électriques locaux et nationaux. SR

Note :
1. Mégawatt-crête.



© Urbasolar

Inauguration de la centrale photovoltaïque d'Urbasolar au CEA.

Rencontres innovantes

Le premier hackathon du démantèlement

C'est à un exercice pratique très stimulant que se sont livrés 90 élèves de terminale scientifique et technique du lycée Albert Einstein de Bagnols-sur-Cèze.

Accueillis sur le centre CEA de Marcoule, ils ont participé le vendredi 21 septembre au premier hackathon numérique du démantèlement.

Il s'agit d'un processus créatif, particulièrement en vogue dans l'univers des nouvelles technologies, où de jeunes chercheurs sont mis en vase clos pour résoudre des problématiques techniques. Répartis en équipe, les élèves se sont confrontés, sur le papier, à des challenges techniques représentatifs de ceux rencontrés au cours des nombreux projets d'assainissement et de démantèlement d'installations nucléaires du CEA. Pour cela, ils ont été accompagnés par cinq start-up de la région Occitanie spécialisées dans le démantèlement : Oreka solutions, Gambi-M, Innowtech, Elements Nuclear, ISYmap. Après une matinée de travaux, les lycéens ont présenté leur proposition devant un jury de professionnels et d'experts dont certains du CEA. Ces derniers ont récompensé les trois innovations les plus convaincantes, en présence du député du Gard, Anthony Cellier, qui a notamment indiqué : « *la filière de formation incarnée par les lycéens bagnolais fait partie intégrante de l'écosystème d'un territoire sachant mettre en cohérence tous ses savoir-faire exceptionnels pour susciter de nouvelles dynamiques économiques* ». L'organisation de cet événement a en effet fortement associé les étudiants de la 3^e promotion du Master 2

« Management de l'assainissement nucléaire et de la valorisation des sites industriels », dans le cadre du projet pédagogique de leur cursus. Cette nouvelle offre de formation a été développée, en 2015, par l'INSTN, le CEA, l'IAE Montpellier, l'Institut Montpellier Management, et Montpellier Recherche en management. AG



Opération sur un démonstrateur de chaîne cryogénique pour missions spatiales au CEA-Inac.

Laboratoire commun

En accord sur la cryogénie

Le 4 septembre, Air Liquide et le CEA ont lancé un laboratoire commun dédié à l'innovation technologique en cryogénie ; un domaine aux nombreuses applications en spatial, fusion nucléaire ou encore physique des particules. Les deux partenaires de longue date s'engagent ainsi sur une innovation conjointe pour les cinq prochaines années.

Au programme : développement de composants technologiques pour optimiser la performance des tubes à gaz pulsé – des petits réfrigérateurs produisant des températures dans la gamme 15-50 Kelvin (de -250 °C à -223 °C) – pour les capteurs de télescopes terrestres ou spatiaux ; conception de modèles numériques de simulation dynamique des grands réfrigérateurs utilisés dans les tokamaks (fonctionnant à 4 K, une température proche du « 0 absolu ») ; amélioration de la prise en compte des systèmes cryogéniques dès les étapes de conception des grands projets. SR

Microélectronique

De la courbure d'un micro-écran

C'est une première mondiale que de pouvoir courber des micro-écrans. Une équipe du **CEA-Leti** y parvient dans le cadre du projet européen Lomid dédié aux outils immersifs de la réalité virtuelle. À la clé, un prototype d'1 pouce avec une très haute résolution de type full HD. *par Aude Ganier*

**Micro-écran**

Dispositif électronique d'affichage constitué d'une matrice CMOS pilotant individuellement les pixels OLED formant une image.

Oled

Architecture de diode électroluminescente composée de semi-conducteurs organiques (carbone).

CMOS

Technologie standard à base de silicium de fabrication des composants microélectroniques de circuits intégrés.

Imageur

Dispositif électronique sensible dont les photodiodes capturent la lumière, qui compose l'essentiel des caméras de *smartphone*.

Prototype de micro-écran développé dans le cadre du projet Lomid.

Toujours plus petit, plus mince, comme perméable au monde virtuel... Avec des applications allant des jeux vidéo aux systèmes de production industrielle, le défi des dispositifs de réalité virtuelle est bien de proposer une immersion la plus réaliste.

Dans ce contexte, le consortium académo-industriel Lomid¹ s'est intéressé au développement de **micro-écrans** intégrant la technologie **Oled** ; les outils de réalité virtuelle (lunettes, casques...) devant voir leur encombrement réduit tout en gagnant en performances optiques, à coût constant. Le projet a consisté à concevoir et fabriquer un nouveau circuit électronique et optique, à base de pixels d'Oled alimentés par une technologie **CMOS**. Une innovation fut confiée au CEA-Leti : fournir une preuve de concept de l'encapsulation et de la courbure de ce micro-écran.

Un vernis à toute épreuve

« Les micro-écrans sont tellement petits qu'il faut une sorte de loupe intégrée pour voir leur contenu. Autant qu'ils soient adaptés à la forme courbée de l'œil, pour gagner en simplicité et en compacité ! », expose Tony Maindron, en charge du projet au Leti.

Pour cela, les spécialistes ont procédé à l'amincissement du substrat CMOS-Oled afin d'obtenir une flexibilité optimale. La difficulté ne fut pas tant d'atteindre des épaisseurs de l'ordre de 100 microns (μm)², que de protéger de ce processus les surfaces actives très fragiles des Oled. Solution : un vernis protecteur de qualité optique (5 μm), dur mais flexible avec des propriétés mécaniques aussi performantes que les traditionnels capots en verre (700 μm). « Cette technologie résulte d'un développement pour la DGA³, avec la société Polyrise, ainsi que du savoir-faire hérité de nos collègues du Leti en courbure d'**imageurs CMOS** », tient à préciser l'ingénieur-chercheur.

Résultat : un prototype de micro-écran d'1 pouce (de diagonale à la résolution 1 920x1 200 pixels), avec une commercialisation par MicroOled prévue courant 2020. ♦

Notes :

1. Projet H2020 porté par Fraunhofer FEP, avec les Universités de Leipzig et d'Oxford, le CEA, et les sociétés MicroOled (essaimée du CEA-Leti en 2007), Limabk et X-Fab.

2. Sur un substrat silicium de 750 μm .

3. Direction générale de l'armement.

Biotechnologies

Adénovirus : le 3 en 1 contre les tumeurs

Une équipe de l'IBS vient de préciser la structure moléculaire de la liaison entre un adénovirus humain, le HAd3, et son récepteur cellulaire. Une exploration qui laisse entrevoir l'utilisation de ce virus en tant que vecteur, voire médicament, anticancéreux.

par Patrick Philippon

Note :

1. E. Vassal-Stermann et al.
Scientific Reports (2018)
8:8381 | DOI:10.1038/
s41598-018-26871-x

Notions clés

Adénovirus

Virus constitués d'un double brin d'ADN entouré d'une capsid.

Capsid

Coque protéique qui entoure le matériel génétique d'un virus.

Cryomicroscopie électronique

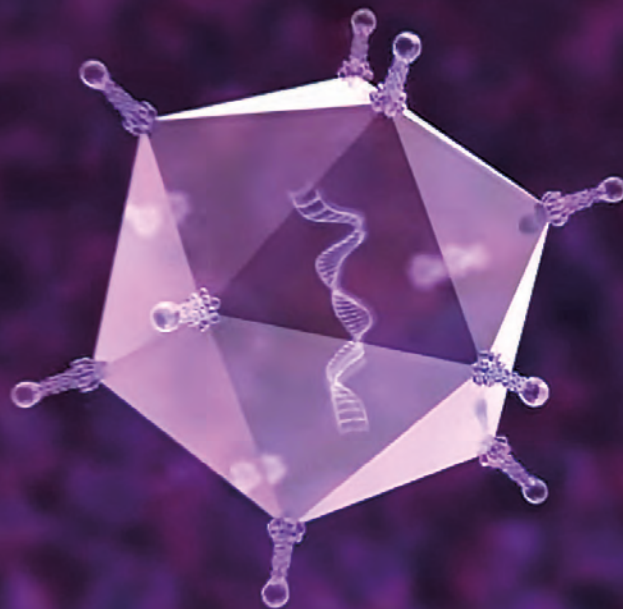
Technique, lauréate en 2017 du Prix Nobel de Chimie, permettant d'étudier les molécules biologiques à l'échelle atomique.

« **L**es **adénovirus**, débarrassés de leur pouvoir pathogène, sont de loin les vecteurs les plus utilisés en thérapie génique », rappelle Pascal Fender, chercheur de l'IBS à Grenoble. Un adénovirus peut en effet pénétrer dans une cellule et y faire exprimer un gène correcteur qu'on aura pris soin d'insérer. L'équipe grenobloise s'intéresse en particulier aux adénovirus humains de type 3 (HAd3) qui, à la différence des autres familles, se lient à un récepteur appelé DSG2. Présent à la surface de la cellule, il se trouve que ce récepteur est, en quelque sorte, la porte d'entrée du virus. En 2011, l'équipe d'André Lieber de l'Université de Washington à Seattle, avec celle de Pascal Fender, avait démontré cette liaison particulière. « *Les Américains ont pu identifier la liaison d'HAd3*

avec DSG2 grâce à un "outil" moléculaire (une fraction de la **capsid** du virus) que nous savons produire en grande quantité, d'où une première publication commune dans la revue *Nature Medicine* », explique Pascal Fender. Une collaboration à long terme s'est instituée : aux Français, la détermination des structures moléculaires ; aux Américains, l'exploration des effets biologiques !

Un vecteur pour les anticancéreux

Outre l'intérêt fondamental de cette liaison, il existe une autre raison d'étudier ce virus particulier : comme l'a montré André Lieber, les cellules de certains cancers sur-expriment DSG2 à leur surface. HAd3 pourrait de ce fait devenir un vecteur pour des produits anticancéreux. Restait toutefois à explorer en détail sa liaison avec le récepteur. C'est aujourd'hui chose faite puisque Pascal Fender et Émilie Stermann ont cartographié¹ par des méthodes biochimiques la partie externe du récepteur, en présence du virus, révélant au passage une surprise dans le mode de fixation. « *Contrairement à ce qu'il se passe chez les autres adénovirus humains décrits à ce jour, la protéine fibre qui permet à HAd3 de se lier à DSG2 n'interagit qu'avec un seul récepteur à la fois* », résume-t-il. Puis, en collaboration avec l'unité de Guy Schoehn (IBS), et notamment Gregory Effantin, qui maîtrise la technique de



Vue d'artiste d'un adénovirus.

cryomicroscopie électronique, les chercheurs ont décrit l'interaction virus-récepteur à l'échelle atomique. Une publication commune est en cours de rédaction. « *Maintenant nous savons exactement quels acides aminés interviennent dans la fixation, et comment nous pouvons envisager de modifier le virus pour augmenter ou au contraire inhiber sa capacité à se lier à DSG2* », précise-t-il.

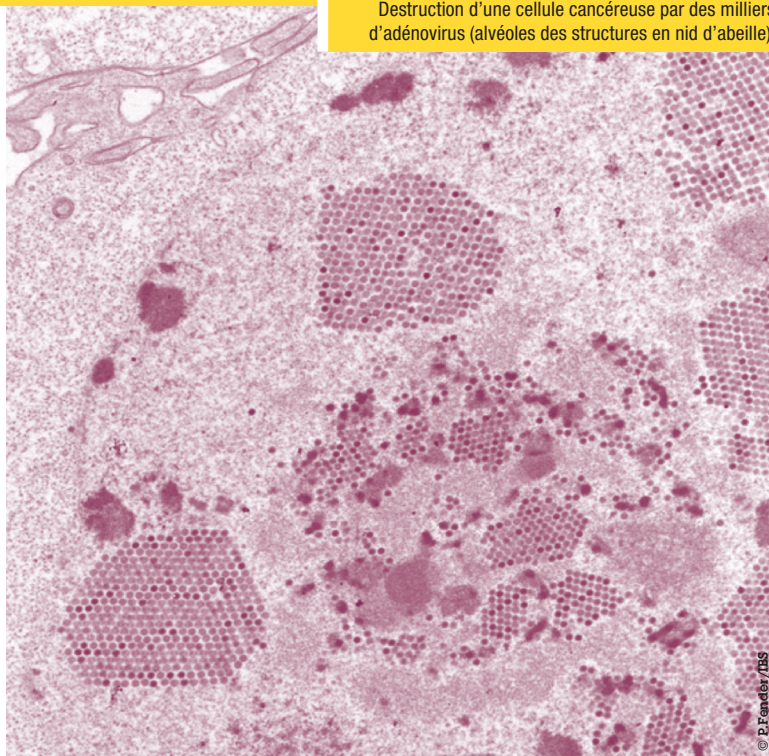
Un adjuvant augmentant l'efficacité des traitements

Une perspective d'autant plus intéressante qu'André Lieber a montré – là encore avec le groupe de Pascal Fender – que la fixation d'HA3 à son récepteur provoque une transformation transitoire de la cellule. Celle-ci se met alors à exposer d'autres types de récepteurs à sa surface. « *Ces récepteurs sont eux-mêmes des cibles connues d'agents anticancéreux autorisés, comme l'Herceptine (un anticorps monoclonal) ou le Doxyl®. HA3 pourrait donc être utilisé comme un adjuvant augmentant l'efficacité de ces médicaments* », souligne Pascal Fender. À Seattle, les Américains s'apprentent d'ailleurs à lancer un essai clinique à ce sujet contre le cancer de l'ovaire.

Un agent oncolytique ?

Mais HA3 pourrait bien agir plus directement. « *Dès les années 1920, des médecins ont rapporté des cas d'infection par des virus ayant fait régresser des tumeurs chez des patients cancéreux* », rapporte en effet Pascal Fender. Autrement dit, ces adénovirus pourraient constituer en eux-mêmes des agents oncolytiques... à condition de pouvoir les diriger correctement. Des sociétés comme PsiOxus Therapeutics (Oxford) ou Targovax (Oslo) y travaillent, cherchant à sélectionner les virus les plus efficaces. Un problème toutefois : les adénovirus de type HA5, les plus utilisés à ce jour, sont peu « attirés » par les tumeurs et se lient à des récepteurs présents sur de nombreuses cellules saines, y compris celles du sang ; cela diminue

Destruction d'une cellule cancéreuse par des milliers d'adénovirus (alvéoles des structures en nid d'abeille).



fortement leurs chances d'arriver à bon port puisqu'ils sont administrés par voie intraveineuse. Or, HA3, de par sa liaison à DSG2, évite ces écueils : il est naturellement plus spécifique des cellules cancéreuses et plus « indifférent » aux globules rouges. Les travaux de l'équipe française sont donc scrutés à la loupe... ♦

Dès les années 1920, des médecins ont rapporté des cas d'infection par des virus ayant fait régresser des tumeurs chez des patients cancéreux.

Pascal Fender, chercheur à l'IBS.



Cryomicroscope électronique à transmission Polara haute résolution de l'IBS.



Évacuation de populations au Texas en septembre 2017, lors de l'ouragan Harvey, le plus violent enregistré depuis quinze ans

Un monde à +1,5 °C

P.12
Le Giec
en bref

P.13
« L'ampleur
de l'effort à faire
et l'ampleur
du risque »

P.15
Stabiliser le climat
à + 1,5 °C

Le Giec publie son « *Rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C* ». Un seuil qui s'avère déjà critique pour une centaine d'États, par rapport à + 2 °C. Et ce, alors que la température de la planète a déjà grimpé de 1 °C par rapport à l'époque préindustrielle.

Une seule option, la réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre, qui conduit à orienter désormais les nations et leur société vers les principes du développement durable.

Le point avec la climatologue du CEA Valérie Masson-Delmotte, coprésidente du Groupe 1 du 6^e cycle d'évaluation du Giec, auparavant auteur-coordonateur du 5^e rapport et auteur du 4^e...

par Aude Ganier et Sylvie Rivière

Le Giec en bref

Le Giec a 30 ans. Trente années depuis lesquelles les communautés scientifique et politique considèrent ensemble, à l'international sous l'égide des Nations Unies, la problématique du réchauffement climatique d'origine anthropique. Enjeu : trouver un consensus mondial pour mettre en œuvre les stratégies à même de contenir ce réchauffement bien en dessous de + 2 °C par rapport à l'époque préindustrielle.

LE GIEC

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) a été créé pour fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade.

Représenté par un Président et 3 vice-Présidents et rassemblant les représentants des gouvernements des 195 États membres, il se compose d'un comité exécutif et d'un bureau. Dans ce dernier, siègent les coprésidents et vice-présidents de trois groupes de travail (fondements scientifiques ; impacts, risques et adaptation ; mécanismes d'atténuation) ainsi que les responsables de l'inventaire mondial des gaz à effet de serre.

LES 6 LANGUES DU GIEC

Il s'agit des 6 langues des Nations Unies :



Français



Anglais



Espagnol



Arabe



Russe



Chinois

Dates clés

1988

Création du Giec par le Programme des Nations Unies pour le développement et l'Organisation météorologique mondiale.

1990

Publication du premier rapport d'évaluation du Giec.

1992

Adoption de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CNUCC) lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro.

1995

Publication du Rapport 2 du Giec.

1997

Adoption du protocole de Kyoto, premier traité mondial de réduction des gaz à effet de serre (GES) lors de la troisième Convention des Parties (COP 3).

2001

Publication du Rapport 3 du Giec.

2007

Publication du Rapport 4 du Giec.

2009

Adoption de l'Accord (non contraignant) de Copenhague, lors de la COP 15, qui formule pour la première fois le seuil à ne pas dépasser d'un réchauffement global de + 2°C.

2010

Adoption de l'Accord de Cancun, lors de la COP 16, instituant notamment le Fonds Vert pour le climat (mécanisme financier pour les pays les plus vulnérables au changement climatique).

2014

Publication du Rapport 5 du Giec, affirmant comme « sans équivoque » le réchauffement climatique d'origine anthropique.

2015

Entrée en vigueur de l'Accord de Paris (contraignant), lors de la COP 21, selon lequel le réchauffement climatique doit être contenu bien en-dessous de +2 ° tout en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C.

2018

Publication du Rapport spécial « + 1,5°C » du Giec en vue de la COP 24 qui doit trouver une méthodologie commune à tous les États pour l'inventaire de leurs émissions de GES.

**VALÉRIE
MASSON-DELMOTTE**

climatologue au CEA
et coprésidente du groupe
de travail I du Giec.



« L'ampleur de l'effort à faire
et l'ampleur du risque »

**Pourquoi ce rapport spécial
sur les impacts d'un
réchauffement global de la
planète de 1,5 °C ?**

Après la publication du 5^e rapport du Giec, le dialogue structuré d'experts¹ a souligné plusieurs points : le fait qu'un réchauffement climatique de 2 °C était associé à des risques élevés ; le manque d'informations précises sur les impacts qui pourraient être évités en stabilisant le réchauffement à 1,5 °C ; et le manque de données consolidées sur les **trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre** (GES) permettant de limiter le réchauffement à 1,5 °C. Lors des négociations de la COP 21 de la CCNUCC, la décision associée à l'approbation de l'Accord de Paris a formulé une invitation au Giec de préparer ce rapport. Cette invitation était en particulier portée par les pays les plus vulnérables aux risques climatiques.

Que retenir de ce rapport ?

Nous voyons d'ores et déjà trois messages clés. Le premier est que le changement climatique est une réalité, avec un réchauffement planétaire de 1 °C au-dessus du niveau préindustriel dû aux activités humaines ; et que ce réchauffement affecte déjà, dans la plupart des régions du monde, les écosystèmes et les sociétés humaines. Ensuite, chaque demi-degré de réchauffement global supplémentaire renforce très significativement les risques associés, en particulier

pour les écosystèmes et les populations les plus vulnérables. L'ambition de stabilisation du réchauffement à 1,5 °C demande ainsi de réduire rapidement et profondément les rejets de dioxyde de carbone (CO₂), et d'agir sur les autres émissions de GES. Il s'agit d'un effort historique, associé à des transitions profondes des systèmes énergétiques, urbains, industriels et de la gestion des terres. L'ambition de contenir le réchauffement à 1,5 °C demanderait d'agir plus tôt et plus rapidement que pour le limiter à 2 °C. ♦♦♦

**Chaque demi-degré de réchauffement
global supplémentaire renforce très
significativement les risques associés,
en particulier pour les écosystèmes et
les populations les plus vulnérables.**

**Trajectoire
d'émissions
de gaz à effet
de serre**

Évolution anticipée des émissions d'un ou plusieurs GES, d'aérosols et de précurseurs de GES.

Note :

1. Organisé par la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC).

Développement durable

Développement qui répond aux besoins de la génération actuelle sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire leurs propres besoins, et qui accorde un même poids aux préoccupations sociales, économiques et environnementales. Les Nations Unies ont formulé en 2015 17 objectifs de développement durable à l'horizon 2030.

Pauvreté

Notion complexe ayant plusieurs définitions selon les écoles de pensée. Les différentes conceptions peuvent faire référence aux conditions matérielles (dénuement, carences, etc.), économiques (niveau de vie, inégalités, etc.) ou sociales (dépendance, exclusion, privation de droits, etc.).

Du strict point de vue du fonctionnement intrinsèque du climat, une stabilisation à +1,5 °C n'est pas impossible. Et il reste une grande marge de manœuvre. Tout dépend de l'action menée aujourd'hui et avant 2030. Tout retard à agir implique un réchauffement supplémentaire dans les prochaines décennies ; revenir ensuite à +1,5 °C demanderait alors d'être capable d'extraire le CO₂ de l'atmosphère. Nous sommes face à deux montagnes : l'ampleur de l'effort à faire et l'ampleur du risque.

Peut-on parler de changement civilisationnel ?

Il s'agit en effet d'un défi de transformation sans précédent. Car le climat exacerbe et/ou révèle d'autres réalités : l'épuisement des ressources, l'érosion de la biodiversité, la croissance des inégalités. C'est la grande problématique des limites planétaires. Et la réponse, planétaire, à ces changements passe par le **développement durable** et l'éradication de la **pauvreté** : lutte contre la faim ; accès à une énergie abordable ; droit à l'air pur ; protection de la biodiversité. Le 6^e cycle d'évaluation du Giec s'inscrit dans ce contexte : les risques du changement climatique et les bénéfices à agir rapidement pour réduire les rejets de GES, et pour s'y adapter, sont ainsi évalués pour chaque option d'action vis-à-vis des synergies et des compromis potentiels avec ces différentes dimensions du développement durable. Cette analyse s'accompagne de celle des barrières et des potentiels de déploiement des différentes options d'adaptation et d'atténuation.

Des éléments d'incertitude persistent-ils ?

Il existe toujours des incertitudes, et nous les exprimons telles quelles dans chacun des rapports. Pour le rapport spécial +1,5 °C, chaque conclusion est exprimée avec un niveau de confiance. Chaque chapitre introduit les méthodes de l'évaluation et les outils utilisés, et conclut par une section portant sur les limites des connaissances disponibles. Nous sommes par exemple encore limités sur la question de l'utilisation des terres. Quelles sont les différentes

pressions sur l'usage des sols pour faire face aux conséquences du changement climatique ? Pour produire la nourriture des animaux et des humains, et les fibres textiles ? Pour produire de l'énergie et stocker du carbone ? C'est pour cela que le Giec prépare pour août 2019 un autre rapport spécial sur cette thématique.

Vous avez réalisé ce rapport en à peine deux ans...

En effet, ce rapport devrait figurer dans le *Guinness World Records* ! Je vois plusieurs indicateurs de succès : le nombre de nominations (plus de 1 000) reçues pour les étapes de cadrage puis de rédaction (voir *Tout s'explique sur l'élaboration type d'un rapport du Giec*) ; le nombre de relecteurs (1 113) et de commentaires (42 001), ce qui permet aux auteurs de bénéficier d'autant de points de vue critiques pour renforcer la rigueur de l'évaluation mais qui correspond aussi à une charge de travail, bénévole, très lourde. De même, l'élaboration d'un glossaire commun à toutes les disciplines des experts a renforcé la rigueur de l'échange d'informations. Le volume des publications nouvelles

sur lesquelles nous avons basé ce rapport est également impressionnant : elles traduisent la réponse dynamique de la communauté scientifique à l'invitation de la COP 21, et ont permis à ce rapport d'apporter des éléments nouveaux. Le Giec incarne un processus remarquable de coconstruction par lequel les questions posées par les gouvernements stimulent la production de connaissances nouvelles, l'intégration entre disciplines ainsi que la maturation de l'état des connaissances. ♦



La réponse, planétaire, à ces changements passe par le développement durable et l'éradication de la pauvreté.



Les coprésidents du Giec lors des négociations pour l'approbation, ligne par ligne (retransmises sur grand écran), du résumé du rapport à l'intention des décideurs.

Stabiliser le climat à +1,5°C



Les négociations autour du résumé du rapport spécial se poursuivent dans les couloirs et jusque tard dans la nuit.

Contenir le réchauffement planétaire sous le seuil des +1,5°C ? Exploré par le Giec, cet objectif ambitieux exige un effort mondial sans précédent...

Incheon, au nord de la Corée du Sud. Il est 10 heures, en ce lundi 8 octobre ; les experts du Giec rendent public le « Rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C ». Pendant plus de deux ans, les auteurs se sont consacrés à d'innombrables débats scientifiques pour

rédigier le document (voir *Tout s'explique sur l'élaboration type d'un rapport du Giec*). Leur restait une dernière semaine d'intenses relectures, délibérations et négociations avec les représentants des États membres du Giec. « À Incheon, nous avons débattu du résumé à l'intention des décideurs. Cette étape de finalisation, sur la base du texte et des figures proposés par les auteurs, concerne un autre champ lexical que celui de la science : les discussions ne portent pas sur les faits scientifiques mais sur leur formulation, elles entrent dans le champ politique, géopolitique. Et c'est souvent un choc culturel pour les auteurs ! Mais, ils ont le dernier mot, car c'est la force des faits scientifiques qui permet d'avoir un rapport approuvé par tous les États », confie Valérie Masson-Delmotte, coprésidente du groupe de travail I du Giec.

Une initiative politique

Le texte, désormais approuvé ligne par ligne, répond à une demande émise trois ans plus tôt dans les tout derniers jours de la COP21. Alors que l'accord de Paris engageait les États à « contenir l'élévation de la **température moyenne globale** nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels (période entre 1850 et 1900)... », une coalition de petits États insulaires et de pays les plus vulnérables ont insisté pour la prise en compte d'un objectif plus ambitieux : « ... et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5°C... » Les délégués des pays, en séance plénière, ont accepté l'invitation à fournir un rapport spécial sur cet enjeu et l'ont inscrite dans le renforcement de la riposte au changement climatique dans le contexte du développement durable et de l'éradication de la pauvreté. « Il s'agit là du rapport le plus important en termes de demande politique », commente Valérie Masson-Delmotte. ♦♦♦

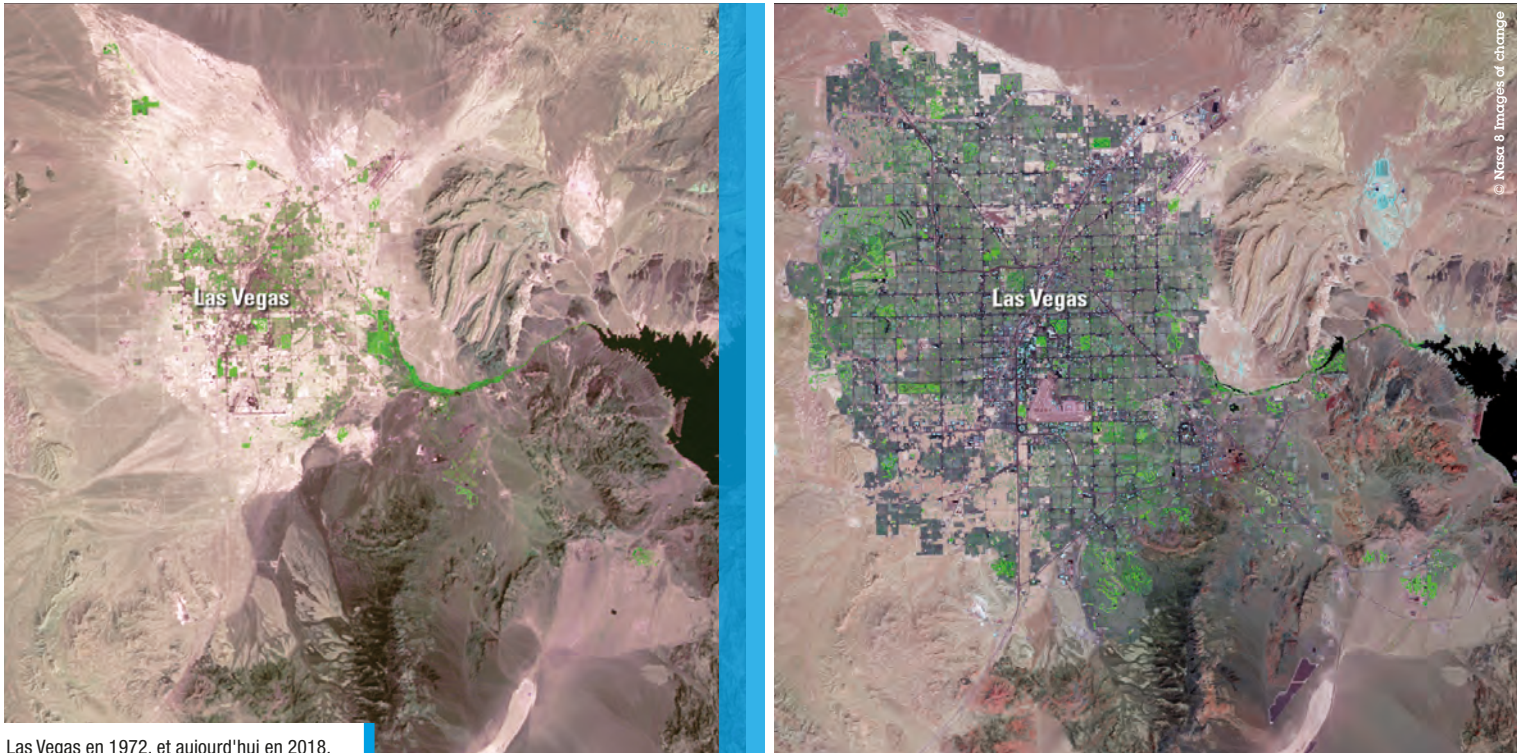
AUTEURS COSMOPOLITES*

- Amérique du Sud 8 %
- Pacifique 9 %
- Afrique 11 %
- Asie 18 %
- Amérique du Nord 19 %
- Europe 35 %

*Pour le rapport +1,5°C

Température moyenne globale (de l'air)

Estimation, sur trente ans, de la température moyenne mondiale de l'air près de la surface (de la terre ferme, des océans et de la glace de mer).



Las Vegas en 1972, et aujourd'hui en 2018.

© Nasa 8 Images of change

- Notes :
1. Due à la dissolution de l'excès de CO₂ dans l'eau.
 2. Calcul basé sur la population mondiale en 2010.

Aujourd'hui, +1 °C de réchauffement climatique

Que gagnerait-on à stabiliser le réchauffement à +1,5 °C contre +2 °C ? Est-ce réalisable et comment ? Quelles seraient les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre correspondantes ? C'est tout l'enjeu de ce rapport spécial qui délivre plusieurs messages. Le premier : la réalité du réchauffement planétaire. En 2017, la hausse de la température moyenne globale a déjà atteint 1 °C (+/- 0,2) depuis l'ère préindustrielle. Et elle continue de croître à raison de 0,2 °C (+/- 0,1) tous les 10 ans... un phénomène directement lié à la continue augmentation des gaz à effet de serre (GES) émis dans l'atmosphère par les activités humaines.

Le phénomène n'est cependant pas homogène : le réchauffement est plus important sur les continents qu'au-dessus de l'océan, avec des amplitudes particulièrement fortes en Arctique. Ce réchauffement s'accompagne également d'une intensification des précipitations extrêmes et des températures extrêmes. « *Au rythme actuel du réchauffement, la barre des 1,5 °C supplémentaires serait franchie autour de 2040. Néanmoins, les émissions*

Les émissions passées de GES, seules, n'impliquent pas inéluctablement de dépasser ce seuil de 1,5 °C : tout dépendra des émissions d'ici à 2030.

passées de GES seules n'impliquent pas inéluctablement de dépasser ce seuil : tout va dépendre des émissions de GES d'ici à 2030 », indique Valérie Masson-Delmotte.

Entre +2 °C et +1,5 °C : une énorme différence

Que les conséquences d'un réchauffement à +2 °C soient plus importantes qu'à +1,5 °C est parfaitement intuitif, reste à évaluer l'ampleur de cette différence. Et là, la communauté scientifique est formelle : cet écart est énorme car chaque demi-degré compte. Pour regarder un monde à +2 °C, ou à +1,5 °C, les scientifiques développent des **modèles climatiques** couplés à des modèles d'impact. « *Il ne s'agit pas seulement de savoir s'il va pleuvoir davantage, mais de regarder cela en termes d'impact : qu'est-ce que cela implique sur le fonctionnement*

des bassins-versants et des rivières ? Quelles conséquences en termes de crue ou de sécheresse ? Quelle sera l'exposition des personnes et des écosystèmes, en fonction de différents scénarios socio-économiques et selon l'évolution de leur capacité d'adaptation ? », détaille Valérie Masson-Delmotte pour illustrer la complexité et l'ampleur des réponses que doit fournir le Giec.

Des résultats nets apparaissent pour certains aspects et régions, lorsque la comparaison des modèles fait émerger un signal cohérent : limiter le réchauffement à 1,5 °C (contre 2 °C) réduirait significativement les risques associés aux températures extrêmes, précipitations intenses, sécheresses, baisses de rendements de céréales (blé, maïs, riz...). De même, plusieurs centaines de millions de personnes, en moins, seraient exposées aux

Modèle climatique

Représentation numérique du système climatique qui repose sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes et leurs processus d'interaction et de rétroaction et qui tient compte d'une partie de ses propriétés connues.

risques climatiques et de pauvreté. Enfin, la fraction de la population mondiale exposée au manque d'eau serait divisée par deux.

D'autres exemples édifiants

Avec un réchauffement de 2 °C, il est probable que l'Arctique soit libre de glace au moins un été par décennie, alors qu'à +1,5 °C, cette fréquence chute à un été par siècle ; avec des conséquences très différentes. Les effets sur certaines espèces seraient d'ailleurs potentiellement irréversibles si la température globale dépassait les +1,5 °C. Exemple avec les récifs coralliens dont la fonction est essentielle à l'écosystème océanique : déjà durement touchés par la hausse actuelle de la température globale de +1 °C, 70 à 90 % d'entre eux seraient très altérés à +1,5 °C « avec un niveau de confiance très élevé », et à +2 °C, la quasi-totalité des récifs (>99 %) serait fortement dégradée.

Les conséquences de l'augmentation de la température des océans, de leur acidification¹ et de la baisse du niveau d'oxygène pèseraient aussi lourdement sur le tonnage des pêcheries

qui pourrait être divisé par deux, selon 1,5 °C ou 2 °C de réchauffement.

Les experts avertissent que, quels que soient les scénarios à +2 °C ou +1,5 °C, le niveau des mers continuera de s'élever pendant plusieurs siècles, mais à des vitesses différentes, si bien que l'effet d'une limitation du réchauffement ne sera visible qu'à long terme : environ 10 cm de différence en 2100. *A priori* dérisoire, cette valeur l'est beaucoup moins en termes d'impact : à +1,5 °C (contre +2 °C), environ dix millions de personnes supplémentaires échapperaient aux risques liés (submersion, inondation)².

Réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre

Peut-on limiter le réchauffement climatique à +1,5 °C ? Concernant le fonctionnement intrinsèque du climat, seul, cela n'apparaît pas impossible de l'avis de la communauté scientifique. Mais il est avéré que les activités humaines perturbent la machine climatique : « l'ampleur du réchauffement est déterminée par le cumul des émissions des GES passées, présentes et futures », prévient ♦♦♦

UN VOCABULAIRE CALIBRÉ POUR EXPRIMER LA CONFIANCE

Depuis le cinquième rapport (2014), deux types de vocables sont utilisés pour identifier le degré de confiance et la plage d'incertitude associés à chaque conclusion : ces dernières sont rapportées selon une échelle de confiance de 5 niveaux (prenant en compte les faisceaux de preuve et le niveau de consensus des publications scientifiques sur un point) ; les incertitudes sont exprimées en termes probabilistes (selon 7 degrés).

UN GLOSSAIRE COMMUN

Grande première ! Les experts du rapport « +1,5 °C » ont élaboré un glossaire commun afin que les termes et concepts utilisés par les auteurs (plus de 300 entrées) revêtent la même signification quelles que soient leurs disciplines (urbanistes, économistes, géographes, glaciologues, ingénieurs agronomes, sociologues, etc.). Auparavant, chaque groupe de travail avait le sien : physique du climat, impacts, atténuations...

Les définitions des notions clés de ce dossier sont celles du glossaire commun.



Selon une étude de la Banque mondiale de mars 2018, l'aggravation des effets du changement climatique pourrait pousser plus de 140 millions de personnes (en Afrique subsaharienne, Asie du Sud et Amérique latine) à migrer à l'intérieur de leur propre pays d'ici 2050.

Centrale Negros (Philippines) de Bouygues Energies & services, la plus grande centrale solaire déployée en Asie du Sud.



© crédit Bouygues Energies & services

Certaines solutions peuvent être déployées dès maintenant et devraient faire l'objet de transferts de technologie dans les pays émergents.



Valérie Masson-Delmotte. Dès lors comment faire ?

Dans tous les scénarios, le seuil des +1,5 °C exige, ni plus ni moins, que l'atteinte du **zéro net d'émission de CO₂** vers le milieu du siècle, combinée à une diminution rapide des autres émissions, en particulier de méthane, avec d'ailleurs des bénéfices importants pour la qualité de l'air et la santé publique. De l'avis de la spécialiste : « *l'échelle de temps pour espérer limiter le réchauffement à +1,5 °C est de l'ordre de la décennie. Et cela ne peut pas se faire sans une volonté politique forte, sans une importante coopération internationale, ni sans un engagement citoyen, individuel, fort. Et si l'on tarde à agir, le rapport est très clair, nous allons dépasser les 1,5 °C.* » Dès lors, une seule possibilité pour revenir en arrière : extraire du CO₂ de l'atmosphère et le stocker... Or les technologies sont encore loin d'être matures.

Assurer les transitions énergétique, urbaine et agricole

Quelles « stratégies de parade³ » ? Aujourd'hui, il est question de « mécanismes d'atténuation », que les experts du Giec peuvent étudier grâce aux **modèles d'évaluation économique intégrée** développés par la communauté scientifique dans une approche transdisciplinaire. « *Leur point commun est précisément une électricité sobre en carbone* », indique la coprésidente. Ainsi, se dégagent trois leviers majeurs pour atteindre l'objectif de réduction drastique des GES dans les 10 à 20 prochaines années. Cela commence par une transition énergétique très concrète : réduction de la demande en énergie ; augmentation de la part des énergies renouvelables de 60 % dès 2030⁴ ; diminution de 2/3 de l'utilisation du charbon en 2030. Cela implique également une transition dans l'usage des terres (agriculture, gestion

des forêts, systèmes alimentaires), et dans les villes (bâtiments moins énergivores y compris dans le chauffage ou dans la climatisation, transports propres, etc.). Sans oublier les systèmes industriels qui devront limiter leurs émissions de GES de 70 à 90 % en 2050⁵.

En plus de la baisse des rejets de GES, ces transitions des grands systèmes intégreront l'adaptation à des conditions climatiques différentes.

« *Nous sommes au-delà de simplement éviter le gaspillage, insiste Valérie Masson-Delmotte. Le rapport souligne que certaines solutions requièrent un effort majeur de R&D ; mais d'autres, solutions par ailleurs créatrices d'emplois, améliorant la santé publique et bénéficiant aux objectifs du développement durable, peuvent être déployées dès maintenant et devraient faire l'objet de transferts de technologie dans les pays émergents.* » Le Giec évalue en effet la faisabilité de ces options

Zéro net d'émissions de CO₂

Compensation globale des émissions anthropiques de CO₂ par les absorptions anthropiques de CO₂ sur une période donnée.

Modèle d'évaluation intégrée

Modèle qui réunit dans un même ensemble les connaissances propres à deux domaines ou plus. Il peut par exemple représenter plusieurs secteurs de l'économie, les interactions entre ces secteurs et les émissions et puits de GES correspondants...

Notes :

- 3. Terme utilisé à l'époque du premier rapport du Giec en 1990.
- 4. Comparée à celle de 2020.
- 5. Par rapport à 2010.

d'action, pour chaque grand système, au regard de six dimensions : géophysique, environnementale, technologique, économique, sociétale et institutionnelle.

Intégrer les principes du développement durable

La maîtrise des changements climatiques est résolument planétaire mais aussi multidimensionnelle. Elle engage les sociétés dans leur globalité. C'est pourquoi ce rapport intègre pour la première fois les intersections entre climat et développement durable et ses 17 objectifs (les ODD) tels qu'énoncés en 2015 dans l'agenda 2030 de l'ONU. De nombreux points sont en effet liés : droit à l'eau, à l'air pur, protection des océans, de la vie terrestre et de la biodiversité, élimination de pauvreté et de la faim, équité, etc. Ainsi, alertent les auteurs du rapport, le changement climatique est multiplicateur de pauvreté : ses impacts peuvent provoquer des « pièges de pauvreté ». Le texte pose cependant la question de la compatibilité de la réponse 1,5

avec les 17 ODD, arguant que si certaines solutions présentent d'évidentes synergies, d'autres pourraient être contre-productives : imaginons que certaines forêts et terres agricoles soient détournées pour la production de bioénergie, la mesure, si elle était mal conduite, menacerait localement les ressources alimentaires, et pourrait même créer des conflits sur les droits fonciers. Mais, prévient Valérie Masson-Delmotte, « *si on agit maintenant, intelligemment et en prenant en compte les contextes locaux, on peut engendrer des bénéfices très clairs pour le développement durable. Si on tarde à agir, on augmente le risque de ne jamais y arriver...* »

Vers la COP24

Nul doute que ce rapport alimentera les discussions des décideurs politiques de la prochaine COP 24, attendue en décembre prochain à Katowice, en Pologne, dont l'objectif sera notamment d'adopter le manuel de mise en œuvre de l'Accord de Paris de 2015, le *Rule Book*. ♦

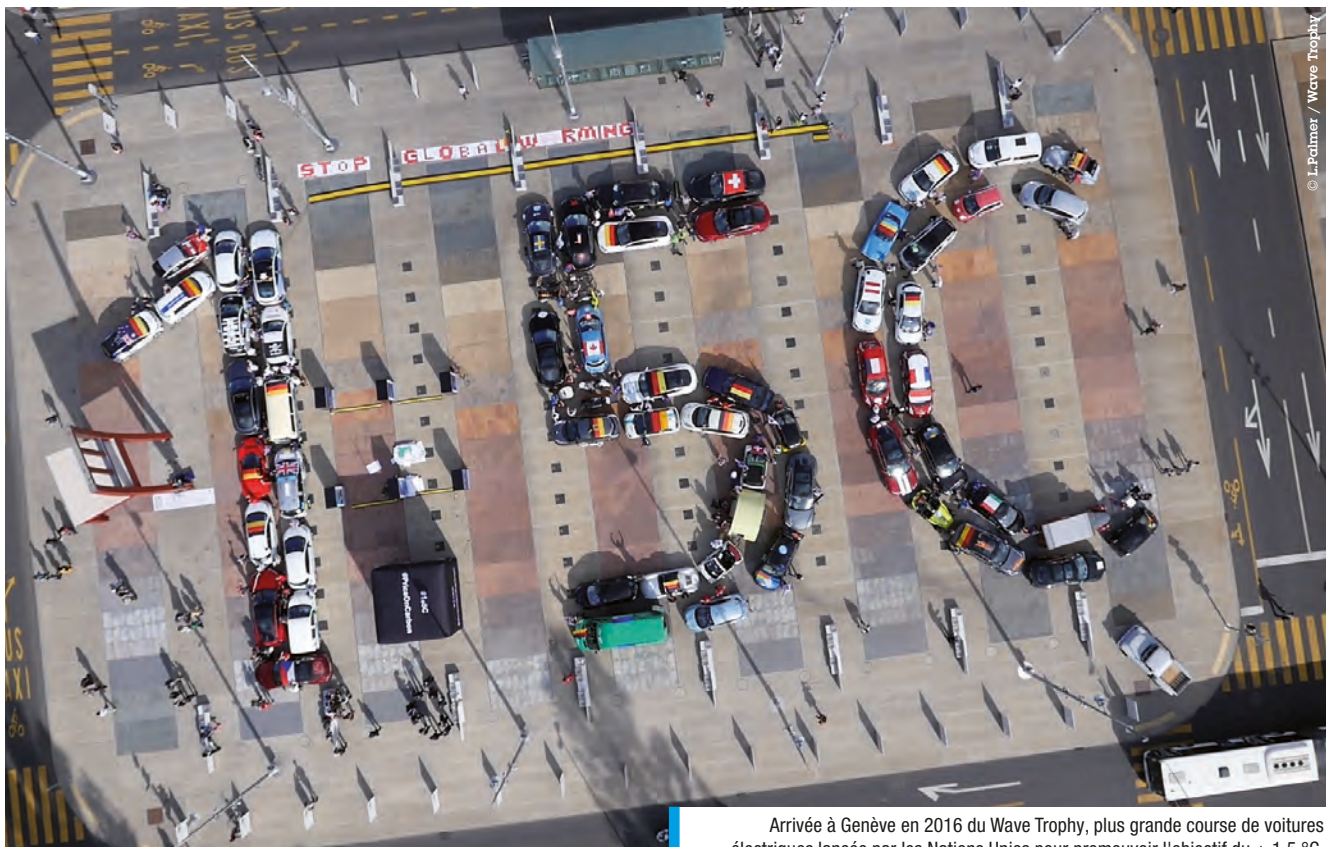
LE 6^e CYCLE D'ÉVALUATION DU GIEC

En 2016, la 43^e session plénière du Giec à Nairobi (Kenya) ouvre le 6^e cycle d'évaluation du Giec. Objectif : achever le 6^e rapport pour 2022, juste à temps pour le premier bilan mondial prévu par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CNUCC)*.

Ce bilan permettra aux États d'évaluer les progrès accomplis pour « *contenir l'élévation de la température moyenne globale nettement en dessous de 2 °C* ». (Accord de Paris - 2015).

D'ici là, le Giec aura fourni, également à la demande des pays membres, trois rapports spéciaux : impacts d'un réchauffement global moyen de 1,5 °C (octobre 2018) ; changement climatique et usage des sols (août 2019) ; changement climatique, océans et glaces (septembre 2019). Il publiera aussi en 2019 un rapport méthodologique sur les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre (GES).

*Adoptée lors du sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992.



Arrivée à Genève en 2016 du Wave Trophy, plus grande course de voitures électriques lancée par les Nations Unies pour promouvoir l'objectif du + 1,5 °C.

Neurospin

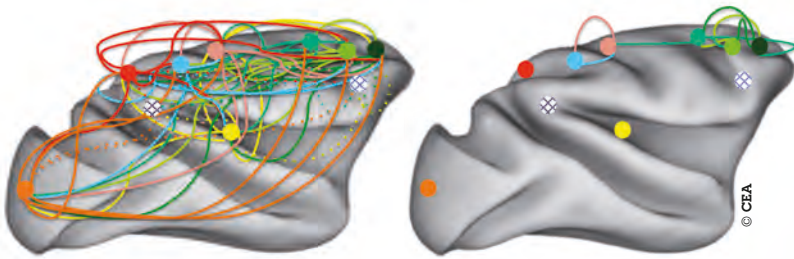
Centre de neuro-imagerie en champ intense du CEA et de l'Inserm, au CEA Paris-Saclay

CEA-Liten

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

CEA - Iramis

Institut rayonnement et matière de Saclay



Signature cérébrale d'un cerveau conscient (figure de gauche) et d'un cerveau sous anesthésie générale (figure de droite).

Neurosciences

L'anesthésie générale mieux comprise

Lors d'une anesthésie générale, notre conscience est éteinte, alors que le cerveau continue à avoir une activité significative. Ces mécanismes d'action restent cependant très mal connus. Or cette connaissance est fondamentale pour développer des outils modernes de monitoring du cerveau pendant l'anesthésie, et concevoir de nouveaux agents pharmacologiques plus sélectifs. Une récente étude, à laquelle a contribué une équipe de **Neurospin**, apporte des informations inédites. Le cerveau d'un modèle animal de type primate non humain a pu être observé en état conscient puis sous anesthésie générale, grâce à l'IRM fonctionnelle, à l'électroencéphalographie et à un algorithme faisant partie des méthodes de type « Big data ». Les observations montrent une activité riche et flexible dans l'état conscient : différentes aires du cerveau peuvent être activées en phase, reliées ou non par une connexion anatomique ; sous anesthésie générale, l'activité cérébrale est maintenue, mais reste cantonnée aux aires connectées anatomiquement, « rigidifiant » le cheminement de l'information, révélant ainsi une « signature cérébrale universelle » de l'anesthésie générale, et ce quel que soit l'agent pharmacologique utilisé. SR

Métrologie

Un protocole pour la mesure des nanomatériaux

Expert en la matière, le **CEA-Liten** fournit des protocoles de nanocaractérisation, fiables et reproductibles, aux entreprises qui doivent déclarer annuellement, et à l'état particulier, les substances utilisées dans leurs produits. Les dimensions des nanomatériaux (entre 1 et 100 nanomètres) leur confèrent des propriétés physiques, chimiques ou biologiques particulières. Or, elles ne sont pas faciles à mesurer avec précision, qui plus est sans méthode de référence. C'est chose faite grâce aux chercheurs du CEA-Liten et leurs plateformes nanosécurité et nanocaractérisation. En participant, avec d'autres laboratoires français ou européens, à des intercomparaisons multitechniques de substances simples et complexes, sur des étalons fournis par le LNE¹, ils livrent des standards de mesure en accord avec les principaux acteurs de la métrologie. AG

Note :
1. Laboratoire national de métrologie et d'essais.



Analyse des propriétés optiques de nanomatériaux sur la plateforme Nanosécurité du CEA.

Stockage de l'énergie

Une nouvelle électrode pour les batteries lithium-soufre ?

Une équipe de **Iramis** explore la piste des batteries lithium-soufre, alternative aux batteries lithium-ion¹, omniprésentes sur le marché de l'électronique portable. Les batteries Li-S pourraient offrir des performances bien supérieures, avec une densité d'énergie potentiellement dix fois plus élevée, une moindre toxicité des matières premières et un coût inférieur. Elles souffrent cependant de plusieurs limitations : le soufre est un très mauvais conducteur – un matériau conducteur support est indispensable – et l'électrode positive se corrode au cours de la décharge. Pour pallier ces inconvénients, les chercheurs de l'Iramis proposent un nouveau matériau d'électrode positive : des nanotubes de carbone multiparois, très bons conducteurs et très stables dans l'électrolyte², sur lesquels sont greffées des molécules contenant des « ponts disulfures³ », dont la rupture est à la base du fonctionnement de la batterie. Résultats : une capacité électrique encourageante et une excellente stabilité : 98 % de la capacité initiale est conservée après cinquante cycles ! SR

Notes :

1. Dans ces batteries, le lithium est à l'état ionique.
2. Solution conductrice utilisée dans les batteries.
3. Liaison chimique entre deux atomes de soufre.

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

CEA - IRFM
Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique

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

Objets communicants

Foxy trace les colis d'Oscaro.com

Oscaro.com, l'un des *leaders* européens de l'e-business spécialisé dans la vente en ligne de pièces automobiles neuves et d'origine, s'associe au **CEA-Leti** pour développer un système de suivi fiable, peu coûteux et à faible consommation. Objectif ? Tracer les millions de colis qu'il expédie chaque année à ses clients partout dans le monde. Il s'appuie pour cela sur la technologie de télécommunication de Sigfox (opérateur télécom français de l'IoT, Internet des objets) et sur l'émetteur-récepteur Foxy développé par le Leti, spécialement adapté à cette application. Robuste, Foxy permet des applications IoT à fort volume et à coût marginal, pour des applications à durée de vie longue. Rentable et parfaitement adaptée à l'e-business, la technologie Foxy pourra à terme être étendue à d'autres industriels dans le domaine de la logistique. *SR*

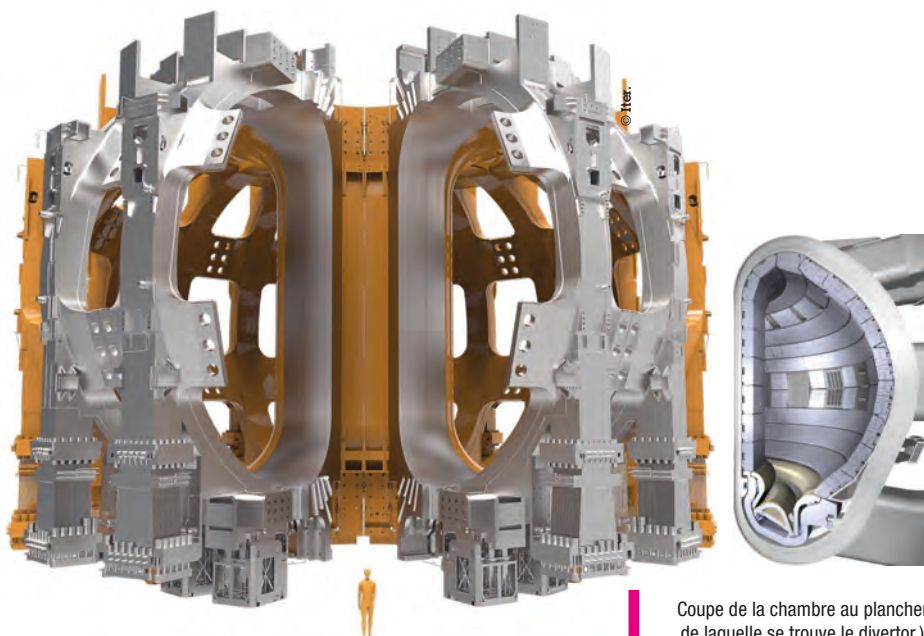


L'émetteur-récepteur Foxy du CEA/Leti.

Fusion nucléaire

Optimisation géométrique du divertor d'Iter

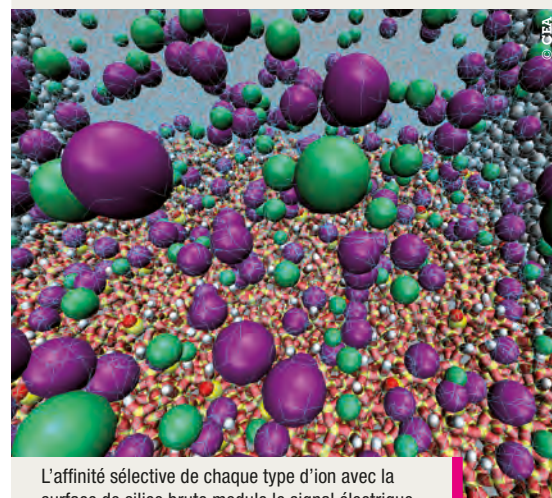
Pièce essentielle du futur tokamak Iiter, le divertor assure notamment l'évacuation d'une partie de la chaleur générée par les réactions de fusion nucléaire. Une équipe du **CEA-IRFM** propose une optimisation de sa géométrie pour éviter des surchauffes très localisées. Chacune des cassettes du divertor est constituée d'une structure en acier inoxydable et de trois cibles : une verticale interne, une verticale externe et un dôme. Situées à l'intersection des lignes de force du champ magnétique, là où les particules de plasma très énergétiques percutent les composants, ces cibles doivent résister à des charges thermiques de 10 à 20 MW/m². Or le détail de leur forme géométrique joue de façon critique sur les flux de chaleur reçus localement et donc sur l'intégrité des composants. Une équipe de l'IRFM propose l'usinage additionnel d'un biseau des cibles verticales, dans les directions toroïdales et poloïdales ; cela réduirait voire éliminerait les surchauffes, au prix d'un léger échauffement supplémentaire réparti sur l'ensemble de la pièce. Cette option doit à présent être évaluée du point de vue des surcoûts d'usinage. *AG*



Coupe de la chambre au plancher de laquelle se trouve le divertor.

Microfluidique

Un diagnostic pour les ions sanguins



L'affinité sélective de chaque type d'ion avec la surface de silice brute module le signal électrique.

Une collaboration franco-japonaise incluant l'**ICSM** a développé un diagnostic simple, rapide et miniaturisé capable de mesurer avec précision la concentration des ions Na⁺, Ca²⁺ ou K⁺ présents dans le sang. Ces valeurs doivent en effet être régulées très finement sous réserve de graves déséquilibres. En ciblant le caractère plus ou moins hydrophile des ions, les physico-chimistes ont démontré la faisabilité d'une mesure différentielle d'absorption sur une électrode de silice (hydrophile). Puis ils ont amplifié la variation du potentiel électrochimique aux bornes d'un nanotransistor et quantifié la concentration de chaque espèce ionique grâce à un montage de microfluidique. *SR*

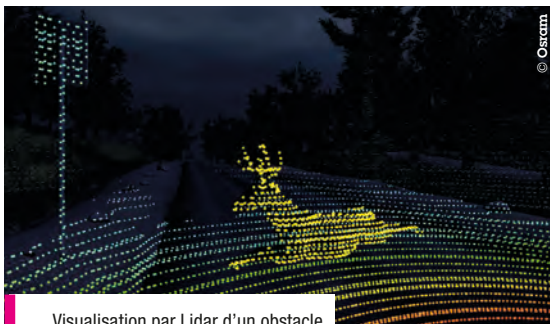
Véhicules autonomes

Évaluation standard de capteurs Lidar

Spécialiste des technologies de transport, Transdev a lancé un programme pilote d'évaluation de capteurs pour améliorer les performances et la sécurité des véhicules autonomes. Pour cela, il a fait appel au **CEA-Leti**, et notamment à son expertise sur les algorithmes embarqués de fusion de données. Les chercheurs ont caractérisé l'efficacité et la robustesse de différents types de capteurs **Lidar** du marché, en évaluant leur comportement dans différentes conditions météorologiques (brouillard, neige, pluie, haute luminosité, etc.) et dans des situations réelles d'exposition à des objets à réflectivité variable (pneus, panneaux de signalisation routière). Le projet a également permis de fournir une liste de critères et paramètres objectifs dans l'évaluation des systèmes Lidar commerciaux. AG

Lidar

Appareil qui émet un faisceau laser et en reçoit l'écho pour déterminer la distance d'un objet.

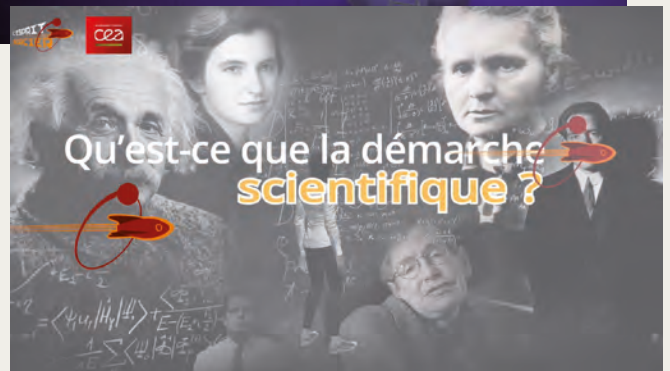
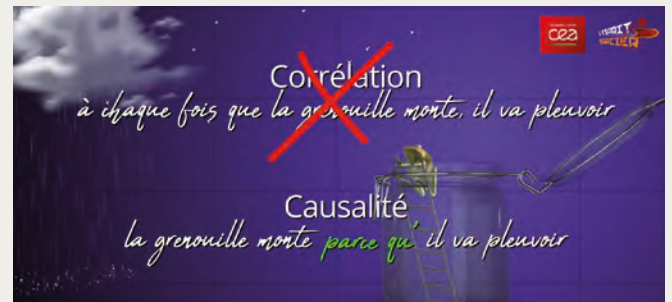


Visualisation par Lidar d'un obstacle.

Solutions énergétiques

Récupérer l'énergie des chocs ponctuels

Et si les chocs ponctuels, comme le passage d'un dos-d'âne ou un coup de frein en voiture, étaient source d'énergie ? C'est l'idée que développe le **CEA-Leti**, en collaboration avec ST Microelectronics, pour alimenter des systèmes autonomes, en particulier des véhicules. Le dispositif développé est capable de s'activer lors d'un impact lorsqu'il est en veille (pour réduire la consommation d'énergie), et une fois en alerte, de convertir l'énergie du choc en énergie électrique. Le système de récupération de taille centimétrique est composé d'un résonateur piézoélectrique qui se déforme lors des chocs, et d'un circuit intégré intelligent pilotant la récupération des charges électriques au moment de la déformation maximale du matériau pour un transfert électromécanique optimal. CW



RIGUEUR ET ESPRIT CRITIQUE

Si Internet est devenue la principale source d'information pour 82 % des moins de 35 ans, les données à consulter ne sont pas toujours fiables ni vérifiées. Pour lutter contre les malheureux raccourcis ou les « fake news », rien de tel qu'un rappel de ce qu'est la démarche scientifique.

Proposé par l'*Esprit sorcier*, ce nouveau dossier réalisé en partenariat avec le CEA illustre en différentes animations les principales étapes de la construction de connaissances scientifiques, à savoir : formulation d'hypothèses ; construction de modèles et prédictions ; observations et expérimentations pour valider ces hypothèses ; soumission des découvertes à des chercheurs indépendants (revue de pairs) ; publication de ces découvertes pour informer les scientifiques, corriger et nourrir leurs propres recherches.

De quoi garder l'esprit critique !

À découvrir sur
www.lespritsorcier.org



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.**

LUMIÈRE SUR LE NOIR



Ciel noir, trou noir, matière noire et énergie noire... pourquoi les physiciens éprouvent-ils le besoin de noircir leurs hypothèses ? Vincent Bontemps et Roland Lehoucq, respectivement philosophe des sciences et astrophysicien au CEA, explorent la question dans un dialogue où se répondent la signification scientifique de cette couleur et la rêverie sur les métaphores ténébreuses. Dans le sillage de Gaston Bachelard, ils proposent une excursion dans les méandres de la recherche en alternant les éclairages

critiques et émerveillés pour en dissiper l'obscurité.

Les idées noires de la physique. Vincent Bontemps et Roland Lehoucq – Les Belles Lettres éditions, 17,90 €.

LES PILIERS DE L'APPRENTISSAGE



Les fulgurants progrès des neurosciences ont permis des découvertes étonnantes dans la compréhension des principes fondamentaux de la plasticité cérébrale. Fonctionnement de la mémoire, rôle de l'attention, importance du sommeil... comment tirer parti de ces nouvelles connaissances pour développer nos facultés d'apprentissage, en particulier celles des enfants ? Stanislas Dehaene, directeur de Neurospin et président du Conseil scientifique de l'Éducation nationale, propose ici

un ouvrage utile à la fois aux parents et aux enseignants.

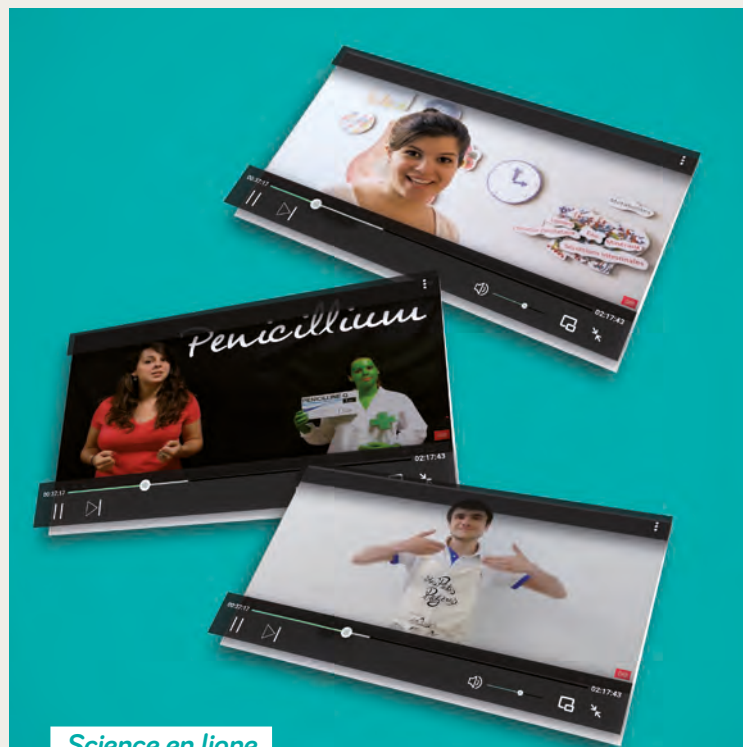
Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines. Stanislas Dehaene – Éditions Odile Jacob, 22,90 €.

PLONGÉE DANS L'HISTOIRE DU NUCLÉAIRE FRANÇAIS



Rédigé par une vingtaine d'auteurs – historiens, politologues, journalistes et grands témoins –, l'ouvrage retrace l'histoire de la dissuasion nucléaire française sous le prisme de la Résistance. Car c'est bien dans ce contexte et dans cet esprit que la dissuasion française fut construite, comme en témoigne la bataille de l'eau lourde qui opposa dans le plus grand secret la France à l'Allemagne nazie, à l'hiver 1940. Un livre qui passionnera autant les historiens que les scientifiques.

Résistance et dissuasion, des origines du programme nucléaire français à nos jours. Sous la direction de Céline Jurgensen et Dominique Mongin – Éditions Odile Jacob, 22 €.



Science en ligne

Les youtubeurs du CEA

Ils avaient trois mois pour plancher ! Du 1^{er} juin au 1^{er} septembre, les salariés scientifiques du CEA furent invités à réaliser de courtes vidéos pour aborder, sur un ton décalé et humoristique, n'importe quel sujet de science. À la clé, trois prix décernés par un jury composé de Fred Courant (*L'Esprit Sorcier / C'est pas sorcier*), Roland Lehoucq (astrophysicien au CEA), Valérie L'Hostis (chimiste au CEA), Nathalie Besson (physicienne des particules au CEA), Pauline Maisonnasse (biologiste au CEA et créatrice de la chaîne YouTube *Un Peu Pointu*), Xavier Clément, directeur en charge du projet d'organisme, et Etienne Ledolley (co-fondateur de la chaîne YouTube *Le Sense of wonder*).

Les lauréats du jeu-concours interne Science tube sont ainsi :

- Nihel Bektî pour « *Femme enceinte et santé de l'enfant* » ;
- Thaïs Hautbergue « *Les super pouvoirs des moisissures* » ;
- Nicolas Belleville « *Processeurs, cuisines et attaques par canal auxiliaire* ».

Ces vidéos sont à retrouver sur la chaîne youtube du CEA : <https://www.youtube.com/user/CEAsciences>

Corps physique, virtuel,
psychique, social...
Voici la thématique 2018
des Utopiales, festival qui
« réunit tous ceux qui réfléchissent
aux transformations de notre monde
et envisagent la science-fiction
comme une pédagogie du réel »
(Roland Lehoucq).



© Beb-deum

NANTES UTOPIALES

FESTIVAL INTERNATIONAL DE SCIENCE-FICTION

LA CITÉ DES CONGRÈS DE NANTES || DU 31 OCTOBRE AU 5 NOVEMBRE 2018

WWW.UTOPIALES.ORG