



# 2015, une année avec le CNRS

Rapport d'activité



[www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)



# SOMMAIRE

- 2** Chiffres clés
- 4** « Les scientifiques sont entendus sur les grandes questions de société. »  
*Entretien avec Alain Fuchs, président du CNRS*
- 7** Organigramme fonctionnel
- 8** « De grandes ruptures scientifiques se font aux frontières entre les sciences. »  
*Entretien avec Philippe Baptiste, directeur général délégué à la science*

## Résultats scientifiques marquants

- 10** Terre
- 16** Matière
- 26** Univers
- 30** Sociétés
- 34** Numérique
- 38** Vivant
- 50** Mission pour l'interdisciplinarité

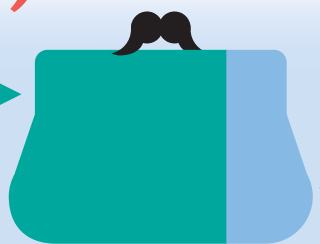
## Temps forts institutionnels

- 52** Incontournable Europe
- 55** Valoriser la recherche ensemble
- 58** Miser sur l'intelligence collective
- 60** Une gestion performante  
*Entretien avec Christophe Coudroy, directeur général délégué aux ressources*
- 62** Mutualiser pour mieux gérer
- 64** Des ressources humaines tournées vers l'avenir
- 66** La communication mise sur le numérique
- 67** Les risques à la loupe
- 68** Éléments budgétaires et financiers

# CHIFFRES CLÉS 2015

**3 309,13** millions d'euros  
de budget

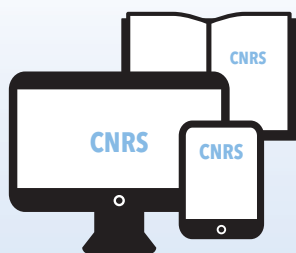
Subvention d'État  
**2 539,46 M€**



Ressources propres  
**769,67 M€**

Source : CNRS/DSFIM/BFC

## Le CNRS en tête



### du Nature Index

nouveau classement international  
basé sur une analyse quantitative  
de 68 journaux d'excellence  
sur les douze derniers mois.

Source : [www.natureindex.com](http://www.natureindex.com)

et

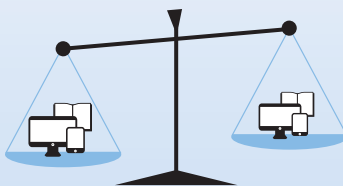
### du classement des universités et organismes de recherche

selon le Scimago Institutions Rankings.

Source : Scimago Lab / données Scopus.  
[www.scimagoir.com](http://www.scimagoir.com) / Données 2014

Sur une moyenne annuelle de

**43 000**  
publications



**60 %**

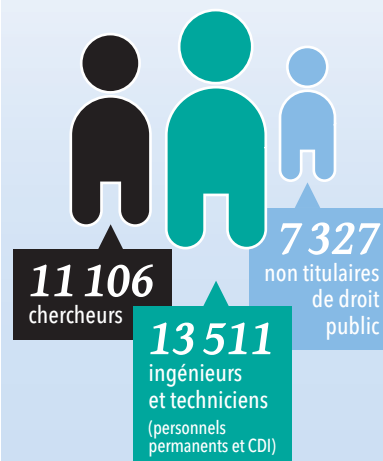
sont cosignées avec au moins  
un laboratoire étranger.

Source : données Scopus. Traitement SCImago  
Research Group 2013  
[www.scimagoir.com](http://www.scimagoir.com)

**31 944**

personnels

au 31/12/2015



Source : Sirhus au 31/12/2015 ;  
traitement CNRS/DRH/OMES

**300**  
chercheurs  
et chercheuses  
recrutés en 2015

**300**  
ingénieur(e)s  
et technicien(ne)s  
recrutés en 2015

Source : CNRS/DRH

**950** unités mixtes  
de recherche

**133** unités  
de service

**33** unités propres  
de recherche



des unités de recherche et de service sont  
en partenariat avec des établissements  
d'enseignement supérieur et de recherche  
et d'autres organismes nationaux  
ou internationaux.

Source : Labintel au 31/12/2015 -  
traitement CNRS/SAP2S



Le CNRS fait partie des

**100 principaux innovateurs mondiaux**

(Top 100 Global Innovators) depuis la création de cet indicateur par Thomson Reuters en 2011.

Source : 2015 Thomson Reuters Top 100 Global Innovators

Le CNRS est classé à la

**5<sup>e</sup>**

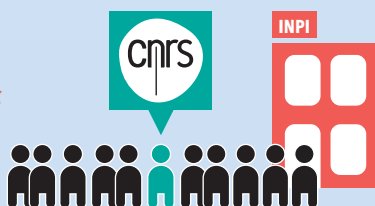


**place du nouveau classement de Thomson Reuters**

des organismes publics les plus innovants au monde.

Source : 2015 Thomson-Reuters Top 25 Global innovators

**6<sup>e</sup> déposant de brevets en France en 2015**



Source : CNRS/DIRE, INPI

**26**



**accords-cadres**

en cours avec de grands groupes.

**5 629 familles de brevets actives**

**1 281 contrats actifs d'exploitation**

**100**

**structures de recherche public/privé**

en activité dont

**21 laboratoires en cotutelle**

entre le CNRS et une entreprise.

Source : CNRS/DIRE/FIST SA

**61 000**



**missions à l'étranger**

d'une durée moyenne de 11 jours, dont 41 000 dans l'Espace européen de la recherche.

**35**

**unités mixtes internationales**

Source : CNRS/DERCI



Un taux de succès français de

**14,9 % aux ERC en 2015**

(pour une moyenne européenne de 13,5 %).



**45,8 % des lauréats français employés par le CNRS**

**44 projets de recherche du CNRS\* financés par l'ERC**

**13**

**Advanced Grant**

**14**

**Starting Grant**

**17**

**Consolidator Grant**

\* lauréats employés par le CNRS dont les bourses gérées par le CNRS et par d'autres institutions (avril 2015).

Source : Point de Contact National ERC/DERCI/CNRS

# « Les scientifiques sont entendus sur les grandes questions de société. »

Partie prenante des négociations internationales sur le climat, la communauté scientifique a également répondu massivement à l'appel à projets lancé par le CNRS suite aux attentats. Pour le président du CNRS, cette mobilisation des chercheurs témoigne d'une volonté d'être présents aussi sur le terrain des solutions.

ENTRETIEN AVEC  
**ALAIN FUCHS**, président du CNRS

**En 2015, la France a été frappée par deux vagues d'attentats. Vous avez appelé la communauté scientifique à réagir et à faire des propositions. Pourquoi un tel appel ?**

La communauté scientifique ne pouvait pas rester indifférente. Passé l'effet de sidération devant de tels actes, nous éprouvons tous le besoin de comprendre, d'analyser. Or, c'est précisément le rôle des scientifiques que de répondre à cet impératif de connaissances. Sachant que nous ne partons pas de rien, loin de là, cet appel était aussi une façon de permettre à la communauté académique de se mobiliser pour proposer des pistes de réflexion, pour s'investir dans des recherches nouvelles ou délaissées.

Nous sommes également soucieux que les travaux de la recherche soient non seulement soutenus mais pris en compte par le monde politique. C'est pourquoi, au lendemain des attentats contre *Charlie Hebdo* et l'Hypercascher, en janvier, nous avons appelé à un meilleur transfert des travaux de recherche existants vers le monde de la décision publique en invitant les communautés de chercheurs concernées à s'investir. Cette nécessité n'a fait que grandir après les terribles tueries de novembre.



**Les résultats de l'appel à projets « Attentats recherche » que vous avez lancé le 18 novembre 2015 ont-ils répondu à vos attentes ?**

La mobilisation des scientifiques a été immédiate, massive. Plus de 250 projets de recherche nous sont parvenus, mais nous avons également reçu beaucoup de propositions, de témoignages et d'encouragements. Les chercheurs en sciences humaines et sociales ont été les plus réactifs mais des neurobiologistes, des mathématiciens, des chimistes ont également déposé des projets.



© F. Verhuet/CNRS Photographie

Outre qu'il finance le démarrage de nouvelles recherches, ce qui est une très bonne chose, cet appel aura aussi permis de repérer de nouvelles communautés de recherche. Nous avons commencé à créer du lien entre ces scientifiques en organisant des ateliers de travail. Notre volonté est de saisir l'occasion de favoriser la collaboration plutôt que la compétition. Rendez-vous est d'ores et déjà pris pour une rencontre, en novembre prochain, entre tous les porteurs de projet, rencontre qui permettra de présenter les premiers résultats et de poursuivre la réflexion et l'action engagées.

**Le CNRS s'est fortement mobilisé pour faire entendre la voix des scientifiques lors de la COP21 qui s'est tenue à Paris. Ont-ils été entendus ?**

J'aurais tendance à dire que les scientifiques sont davantage entendus sur les grandes questions de société qu'autrefois. C'est le cas, sans aucun doute, sur le réchauffement climatique, les climatologues ayant été, notamment, grâce au GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) parmi les tout premiers lanceurs d'alerte. Les choses sont un peu différentes lorsqu'il s'agit de présenter des préconisations et des solutions. Il me semble que le monde de la recherche est moins écouté, peut-être moins crédible aussi sur ce registre. Lors des grands rendez-vous politiques internationaux, très souvent, la science est absente, ou sur un strapontin. De ce point de vue, la COP21 a marqué une nette évolution car la communauté scientifique s'est beaucoup mobilisée sur la question des solutions et pas seulement sur les constats. Je pense en particulier à la prise en compte de l'océan dans les négociations climatiques, qui est une belle victoire.

**Vous avez créé une délégation générale à la valorisation à la tête de l'établissement. Que signifie ce signal en faveur de la valorisation ?**

La valorisation et le transfert des résultats de la recherche sont les fruits du partenariat scientifique qui lie les laboratoires aux entreprises. Le CNRS doit

**“Le CNRS doit s'attacher à créer la meilleure interface possible avec le monde économique.”**

donc s'attacher à créer la meilleure interface possible avec le monde économique. Cette interface, nous voulons la gérer nous-mêmes, et non en déléguer la gestion à des structures intermédiaires. Globalement, notre sentiment est qu'il est peu efficace de tenter de séparer les organismes de recherche du monde socio-économique en instituant de nouvelles entités qui ne seraient pas au service de ces mêmes organismes de recherche.

Dans cet esprit, la création de la délégation générale à la valorisation correspond à une volonté non pas de mise en avant excessive de la valorisation, mais de meilleure gouvernance. La valorisation et le transfert impliquent de nombreux services au siège et en délégation, et nous avons besoin d'une meilleure organisation et d'une forme de visibilité sur nos opérations. Nous souhaitons en un mot reprendre l'offensive sur ce terrain.

**Plusieurs classements montrent que le CNRS obtient de bons résultats en matière de valorisation et de transfert...**

Le discours commun voudrait que la recherche publique ne soit pas efficace en matière de valorisation et de transfert. Cette vision, souvent relayée par nos administrations, est injuste et ne correspond pas à la réalité. Le dernier-né du classement de Thomson Reuters des 25 organismes de recherche les plus innovants au monde le montre : les établissements français sont très bien classés : le CEA est en tête, ce qui est un résultat remarquable, le CNRS est 5<sup>e</sup> et l'INSERM 10<sup>e</sup>. Ces bons résultats, qui viennent contredire certaines idées reçues, sont très encourageants.

**Les questions d'intégrité scientifique se sont imposées dans l'actualité l'an dernier. Le CNRS a pris des mesures. Avons-nous progressé dans ce domaine ? Que reste-t-il à faire ?**

Le CNRS a dénoncé de manière ferme les méconduites avérées et a pris des mesures en les sanctionnant, ●●●

... sans pour autant mener une chasse aux sorcières et des investigations malvenues. Un établissement comme le nôtre est là pour aider les chercheurs à travailler, effectuer les meilleures recherches possibles dans les conditions les plus favorables pour produire de bons résultats. Nous ne sommes pas là pour adopter une position soupçonneuse systématique vis-à-vis des résultats obtenus. Ceci dit, il est évident que les méconduites doivent être absolument sanctionnées. Aujourd'hui, bien que l'on en parle davantage, il n'y a aucun élément qui nous permette de dire que leur nombre augmente significativement.

Je souhaite que nous maintenions cette approche de fermeté sans dramatisation et que nous nous efforcions de saisir toutes les occasions possibles pour sensibiliser les chercheurs, en particulier les plus jeunes, à tout ce qui peut conduire aujourd'hui plus qu'hier à des méconduites scientifiques. Je pense à la course à la publication, par exemple.

#### **Une de vos priorités pour l'organisme est de maintenir un bon niveau de recrutement...**

Oui, et cette priorité doit être maintenue à l'avenir. Nos budgets sont contraints et nous n'avons pas de réserves. Toute coupe intempestive dans notre budget peut par conséquent s'avérer dommageable notamment pour l'emploi. Nous devons être particulièrement attentifs au maintien d'un taux de recrutement convenable pour assurer la relève au sein de l'organisme. L'exercice n'est pas simple : nous nous trouvons toujours dans un creux démographique des départs à la retraite, qui se cumule avec une situation compliquée des finances publiques. Maintenir un bon niveau de recrutement nous impose donc des choix difficiles.

#### **Quel bilan tirer de la politique de site conduite ces dernières années ?**

Des sites universitaires actifs émergents déploient des efforts importants pour se rendre visibles à travers des candidatures Idex ou I-Site. Cette idée de se regrouper, non pas pour engendrer des mastodontes mais pour créer des universités multidisciplinaires comme on en voit partout dans le monde, pouvait sembler irréaliste il y a encore quelques années. Elle fait son chemin à peu près partout, avec des succès divers. Certains sites avancent vite, dans le bon sens et sans

**“ Nous devons être particulièrement attentifs au maintien d'un taux de recrutement convenable. ”**

à-coups, d'autres plus lentement, mais les constantes de temps du milieu académique sont toujours longues. On ne fait pas évoluer un système d'enseignement supérieur et de recherche en deux ou trois ans ! Je constate que là où cela se passe bien, cela se passe avec le CNRS.

#### **Ces nouveaux sites en émergence ont-ils un impact positif sur le CNRS ?**

Sans aucun doute car ils nous incitent à clarifier nos priorités, nos objectifs, notre stratégie scientifique, site par site. L'époque où l'université était mal armée pour mener une politique scientifique est définitivement close. Aujourd'hui, le CNRS demeure un partenaire national et international déterminant qui apporte une réelle plus-value dans les sites. Il endosse un rôle de stratège qui passe, au plan local, par une relation authentiquement partenariale avec les différentes composantes de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Nous ne sommes plus dans une position condescendante d'organisme qui décide, depuis Paris, de tous les détails de la science en France et dans les régions. Nous sommes désormais dans une position d'arbitre. Notre voix est entendue et notre parole respectée.



**Alain Fuchs,**  
président



**Anne Peyroche,**  
directrice générale  
déléguee à la science  
*Philippe Baptiste*  
*jusqu'au 15/11/2015*



**Christophe Coudroy,**  
directeur général délégué  
aux ressources



**Nicolas Castoldi,**  
délégué général  
à la valorisation  
*depuis le 21/10/2015*



**Marie-Hélène Beauvais,**  
directrice de cabinet



Institut des sciences biologiques  
(INSB)  
**Catherine Jessus,**  
directrice



Institut de chimie (INC)  
**Dominique Massiot,**  
directeur



Institut écologie et environnement  
(INEE)  
**Stéphanie Thiébault,**  
directrice



Institut des sciences humaines  
et sociales (INSHS)  
**Patrice Bourdelais,**  
directeur



Institut des sciences de l'information  
et de leurs interactions (INS2I)  
**Michel Bidoit,**  
directeur



Institut des sciences de  
l'ingénierie et des systèmes (INSIS)  
**Jean-Yves Marzin,**  
directeur



Institut national des sciences  
mathématiques et  
de leurs interactions (INSMI)  
**Christoph Sorger,** directeur



Institut de physique (INP)  
**Alain Schuhl,** directeur  
*Jean-François Pinton*  
*jusqu'au 31/01/2015*



Institut national de physique nucléaire  
et de physique des particules (IN2P3)  
**Reynald Pain,** directeur  
*Jacques Martino jusqu'au 31/11/2015*



Institut national des sciences  
de l'Univers (INSU)  
**Pascale Delecluse,**  
directrice



Mission pour l'interdisciplinarité  
(MI)  
**Anne Renault,**  
directrice



Direction d'appui à la structuration  
territoriale de la recherche (DASTR)  
**Jean-Noël Verpeaux,**  
directeur



Direction Europe de la recherche et  
coopération internationale (DERCI)  
**Patrick Nédellec,**  
directeur



Direction de l'innovation et des  
relations avec les entreprises (DIRE)  
**Marie-Pierre Comets,**  
directrice



Direction de l'information  
scientifique et technique (DIST)  
**Renaud Fabre,**  
directeur



Direction de la communication  
(DIRCOM)  
**Brigitte Perucca,**  
directrice



Mission pilotage et relations  
avec les délégations régionales  
et les instituts (MPR)  
**Joëlle Raguideau,** directrice



Direction des comptes et de  
l'information financière (DCIF)  
**Marie-Laure Inisan-Ehret,**  
directrice



Direction de la stratégie financière,  
de l'immobilier et de la modernisation  
(DSFIM), **Jean-Marc Oléron,** directeur  
*depuis le 01/06/2015*



Direction des ressources humaines  
(DRH)  
**Pierre Coural,** directeur  
*depuis le 01/05/2015*



Direction des affaires  
juridiques (DAJ)  
**Myriam Fadel,** directrice  
*Nicolas Castoldi jusqu'au 20/10/2015*



Direction des systèmes d'information  
(DSI)  
**Jean-Marc Voltini,**  
directeur



Direction de la sûreté (DIRSU)  
**Philippe Gasnot,**  
directeur



Pôle santé et sécurité au travail  
• Coordination nationale de prévention  
et de sécurité (CNPS)  
**Yves Fenech,** coordinateur national



• Coordination nationale de médecine  
de prévention  
Docteur **Arnaud Vasseur,** médecin  
coordonnateur national



ENTRETIEN AVEC  
**PHILIPPE BAPTISTE,**  
*directeur général délégué à la science<sup>1</sup>*

## « De grandes ruptures scientifiques se font aux frontières entre les sciences. »

**Interdisciplinarité, grands projets internationaux, valorisation, science ouverte et structuration des sites de recherche sont les axes forts de la politique scientifique du CNRS.**

### **La COP21 a été un moment fort de 2015. Les scientifiques y ont-ils tenu une place importante ?**

La COP21 a été avant tout un grand moment de vie politique. Dans un événement de cette ampleur, qui a mobilisé en amont de nombreux scientifiques, la place et la visibilité des sciences auraient peut-être pu être plus marquées. Cependant, ne boudons pas le succès de cette conférence qui marquera probablement un tournant profond des politiques publiques mondiales pour le climat.

### **Sur quelles forces le CNRS peut-il s'appuyer pour lutter contre les changements climatiques ?**

C'est un sujet qui mobilise ingénieurs et chercheurs dans toutes les disciplines. Tous les instituts du CNRS se sont impliqués, à des degrés divers bien sûr. Il y a bien entendu les sciences de la Terre et de l'environnement pour l'étude du climat, des changements climatiques et de leurs impacts. Mais aussi les sciences mathématiques et l'informatique, pour les modèles numériques et le calcul haute performance, ou encore les sciences humaines et sociales pour mesurer, par exemple, l'impact de l'urbanisation ou plus généralement pour comprendre les liens entre changements sociétaux et climat. Nous nous intéressons aussi aux conséquences des changements globaux : sur la biodiversité, sur la propagation de vecteurs pathogènes, sur l'économie. Nous recherchons également des solutions d'ingénierie pour lutter contre les

changements climatiques. La cible numéro un, ce sont les gaz à effet de serre et en particulier le CO<sub>2</sub>. L'objectif ? Être capable de le capturer, de le transporter, de le stocker et de le réutiliser. Nous n'avons pas encore les réponses scientifiques et technologiques sur l'ensemble de ces questions. Or, la société attend très vite des solutions.

### **De nombreux grands résultats scientifiques montrent que la recherche s'effectue aux interfaces des disciplines. Me confirmez-vous que l'interdisciplinarité est désormais incontournable au CNRS ?**

Il y a en effet de nombreux exemples qui montrent que de grandes ruptures scientifiques se font aux frontières entre les sciences, grâce à des chercheurs venus de disciplines très éloignées. Ceci dit, l'interdisciplinarité n'est pas un dogme, ce n'est pas non plus une obligation : une excellente recherche disciplinaire reste bien entendu possible. Mais il est de notre responsabilité de donner aux chercheurs qui le souhaitent les moyens de travailler ensemble, alors même qu'ils viennent d'horizons différents. Tel est le véritable enjeu : faire vivre l'interdisciplinarité, l'encourager et donner aux chercheurs les conditions pour réussir.

### **Très souvent un grand instrument (LHC), une mission exploratoire (Rosetta) ou de grandes expéditions (Tara) sont à l'origine d'importantes découvertes scientifiques. Faut-il voir toujours plus grand pour repousser les limites de la connaissance ?**

Il est de la responsabilité du CNRS en tant que pilote scientifique d'arbitrer entre de grands projets ou de

grands instruments et d'autres paris scientifiques plus modestes. Les grands instruments, les expéditions ont des coûts extrêmement variables. Les expéditions Tara ont bouleversé notre connaissance de la biodiversité marine alors même que les financements associés sont relativement modestes. Quelle place doit-on accorder aux grands instruments en France, en Europe et dans le monde ? Cette question est légitime. Elle est d'autant plus complexe que la plupart des grands projets scientifiques se réalisent à l'échelle mondiale et que l'arbitrage à ce niveau intègre des éléments qui ne relèvent pas tous de la politique scientifique.

### **Avec 45 lauréats en 2015, les chercheurs du CNRS ont toujours les faveurs de l'ERC. Mais est-ce suffisant selon vous ?**

Oui et non. Il y a des domaines où le CNRS réussit brillamment, et d'autres où la situation est contrastée. Aujourd'hui, bien trop peu de chercheurs en sciences humaines et sociales déposent des projets. Il faut comprendre les raisons de ce manque d'attractivité et aider les communautés à en déposer. L'outil européen ERC est parfait pour la recherche que l'on mène au CNRS. Ce sont des projets qui s'inscrivent sur le long terme, avec très peu de contraintes administratives, et pour lesquels les chercheurs disposent de beaucoup d'autonomie et de liberté. Nos bons chercheurs, toutes disciplines confondues, doivent soumettre des projets. Les outils d'aide existent. Le CNRS a fait énormément d'efforts pour simplifier les démarches et aider les chercheurs à soumettre des projets. Cela n'est sans doute pas encore suffisamment connu !

### **En 2015, le CNRS a pris parti pour l'Open Science, soit un meilleur partage des connaissances. Pourquoi ce libre accès à la connaissance est-il indispensable ?**

Quelle est la valeur ajoutée des grands éditeurs scientifiques aujourd'hui ? Voilà pour moi la vraie question. Est-ce de mettre en ligne et de conserver des articles qui sont écrits, relus et choisis par des scientifiques ? Si c'est juste cela, je m'interroge... Aujourd'hui, on assiste à un repositionnement des éditeurs scientifiques qui proposent des modèles un peu différents. Leur valeur ajoutée n'est pas seulement dans l'article scientifique mais aussi dans la manière d'y accéder, de l'indexer ou de le mettre en ligne sur des plateformes. Parallèlement, le CNRS s'est donné pour mission de développer une science ouverte et accessible au plus grand nombre, en collaboration avec les éditeurs scientifiques commerciaux, ou pas ! Les organismes de recherche et les universités qui sont les producteurs de connaissance ont toutes les cartes en main pour construire un nouveau système de diffusion du savoir. Si les modèles proposés par les éditeurs ne nous conviennent pas, nous imposerons des alternatives.

### **Le CNRS est partenaire des 25 grands sites d'enseignement supérieur en France et membre fondateur de 14 Communautés d'universités et d'établissements<sup>2</sup>. Sur quels critères l'organisme décide-t-il de s'associer pleinement à une Comue ?**

Il y a des conditions nécessaires à notre présence dans une Comue. Il faut d'abord un projet solide, avec une gouvernance raisonnable et lisible, et bien sûr le souhait des partenaires d'y voir le CNRS. Ce sont les conditions indispensables. Après, nous regardons où se situent nos forces et notre degré d'implication. Le but de ces projets de sites et de regroupements est de créer à terme les champions de la recherche académique en France. Cela ne sera pas un succès partout. Nous serons très présents dans certains sites et voudrions y jouer un rôle fort, alors que dans d'autres, nous nous contenterons de les accompagner de manière plus traditionnelle.

**“La majorité des chercheurs et des ingénieurs ont l'envie et la volonté de travailler avec le monde socio-économique.”**

### **En termes de transfert pensez-vous que le CNRS ait atteint le niveau de maturité et de culture nécessaires pour collaborer efficacement avec le tissu industriel ?**

Je pense que la majorité des chercheurs et des ingénieurs ont aujourd'hui l'envie et la volonté de travailler avec le monde socio-économique. Mais là encore, ce n'est pas une obligation. Nous avons dans les laboratoires beaucoup de projets qui peuvent intéresser les industriels. Il faut que l'on soit capable de les transférer. Ceci dit, comment collaborer avec les entreprises ? Il n'y a pas de recette miracle : les modes de collaboration diffèrent qu'il s'agisse d'une multinationale ou d'une PME. Ce ne sont pas les mêmes questions qui se posent ni les mêmes temporalités. Il nous appartient de composer avec l'ensemble de ces paramètres.

Dans le système de transfert et de valorisation qui a été mis en place en France, les acteurs institutionnels ont proliféré au cours des dernières années. Cette multiplication nuit profondément aux bonnes relations entre recherche académique et entreprises. Nous avons en particulier une galaxie de structures intermédiaires dont la valeur ajoutée est souvent discutable.

1. Le 1<sup>er</sup> janvier 2016, Anne Peyroche a succédé à Philippe Baptiste.

2. Au 1<sup>er</sup> juin 2016.

**Des comètes au climat, de nombreux résultats démontrent cette année la capacité de l'INSU à scruter l'Univers d'un bout à l'autre.**

## L'Univers à la loupe



**PASCALE DELECLUSE,**  
directrice de l'Institut  
national des sciences  
de l'Univers

Directrice de recherche CNRS, Pascale Delecluse a initié la modélisation océanique pour étudier la dynamique des océans tropicaux, notamment leur rôle dans l'évolution du climat mondial. Elle a été directrice adjointe de la recherche à Météo-France.

« C'est l'une des spécificités de l'INSU : des missions qui s'étalent sur plusieurs décennies avec une mise en sommeil durant l'acheminement, puis qui occupent les chercheurs 24 heures sur 24 une fois arrivées à destination », explique Pascale Delecluse, directrice de l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU). Ainsi, la mission Rosetta, mise en orbite autour de la comète 67P Tchourioumov-Guérassimenko fin 2014, a-t-elle continué à rythmer l'année 2015 de l'INSU. La sonde elle-même a poursuivi toute l'année son observation de la comète et sa mission durera jusqu'en septembre 2016. De même, l'atterrisseur Philae, avec qui les opérateurs sur Terre ont réussi à reprendre contact en juin. Mais également la publication d'articles scientifiques, fruits des observations réalisées en 2014 et 2015. Avec d'abord une série de sept articles publiés en janvier dans *Science*, suivis de huit autres en juillet. De quoi documenter la structure et la composition de la comète, sur laquelle ont notamment été observés des composés organiques précurseurs de molécules importantes pour la vie, tels des sucres ou des acides aminés. « C'est l'aboutissement d'un formidable défi pour assurer les ressources nécessaires depuis le début de la mission [la sonde a été lancée en 2004] jusqu'à son terme, en matière de financement, de personnels et de transmission des connaissances », commente Pascale Delecluse. Pour la directrice, l'autre évènement marquant pour l'institut a été cette année la 21<sup>e</sup> Conférence des Nations unies sur les changements climatiques, organisée à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015. « Nos chercheurs se sont énormément impliqués, en amont de la conférence et à travers différentes manifestations, afin de transmettre leurs connaissances à un public le plus large possible », explique la directrice. De nombreuses questions demeurent quant à l'évolution du climat dans les 20 ou 30 prochaines années, notamment en ce qui concerne la déclinaison locale du réchauffement global.

Sur ce thème, des scientifiques, dont certains du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement<sup>1</sup>, et du Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique<sup>2</sup> sont parvenus à montrer que le risque de précipitations d'intensité égale ou supérieure aux plus fortes pluies de l'automne 2014 dans les Cévennes pourrait avoir triplé depuis 1950. Un résultat obtenu dans le cadre du chantier Mistrals, dont l'objectif est d'étudier les changements en cours au niveau du bassin méditerranéen, une zone de grande vulnérabilité et d'amplification des changements globaux. Afin de fournir les données les plus cohérentes possibles, et ce à toutes les échelles spatiales, l'INSU a par ailleurs poursuivi en 2015 un important travail de mise en réseau de ses observatoires, qu'ils soient océaniques, terrestres ou atmosphériques. « La philosophie de cette mise en réseau est à la fois de permettre un large partage des données, mais aussi d'assurer des standards les plus fiables possibles », explique Pascale Delecluse. Illustration de cette problématique importante, l'inscription dans la feuille de route nationale de nouvelles infrastructures de recherche en environnement : Actris-FR pour l'atmosphère, Ilico pour le littoral et le côtier, et Ozcar pour la zone critique à l'interface lithosphère-atmosphère et hydrosphère. Infrastructures associées aux pôles de données en construction sur les compartiments atmosphère, océan, terre solide et surfaces continentales. Ainsi, pas plus le climat de la Terre que la composition des comètes n'échappent aux scientifiques de l'INSU.

1. CNRS/CEA/UVSQ  
2. CNRS/Météo-France

**Ni le climat de la Terre ni la composition des planètes n'échappent aux scientifiques de l'INSU.**

# Les tourbillons océaniques mieux compris

FOCUS

**Des simulations numériques expliquent l'origine de la turbulence observée chaque année au début de l'été dans le Pacifique Nord.**

**A**u début de l'été, une grande partie du Pacifique Nord subit un phénomène jusqu'ici inexpliqué : une hausse de l'énergie des tourbillons océaniques de 100 à 300 kilomètres de diamètre.

Pour tenter d'en rendre compte, une équipe franco-japonaise impliquant des chercheurs du Laboratoire d'océanographie physique et spatiale<sup>1</sup> (LOPS) a réalisé des simulations numériques à très haute résolution sur le *Earth Simulator* japonais, un des ordinateurs les plus puissants au monde<sup>2</sup>.

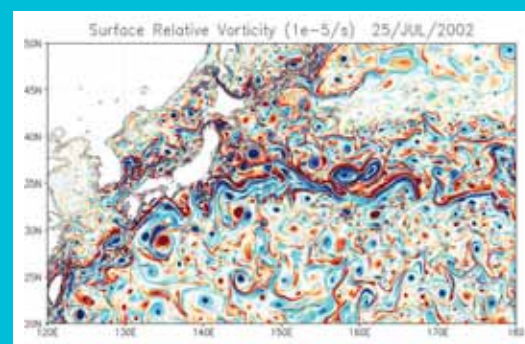
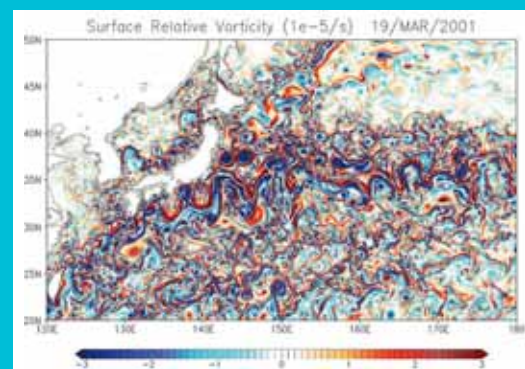
« Nous avons découvert que sous l'effet des flux atmosphériques hivernaux, de petits tourbillons océaniques se forment près de la surface en février, puis fusionnent en quelques mois pour donner naissance à ces structures plus grandes dont l'énergie culmine en juin », explique Patrice Klein, au LOPS. Ce type de mécanisme est un exemple typique d'interaction océan-atmosphère, dont la prise en compte et la modélisation sont indispensables pour mieux comprendre la dynamique du changement climatique.

Prochainement, ces résultats devraient être confrontés aux observations réalisées par des altimètres de nouvelle génération, tel celui de la mission spatiale franco-américaine SWOT (Surface Water and Ocean Topography) prévue pour 2020.

1. CNRS/UBO/Ifremer/IRD

2. Résultats analysés dans le cadre d'une collaboration internationale entre l'Ifremer, le CNRS et le Jamstec.

*Nature Communications*, décembre 2014



Tourbillons océaniques dans le Pacifique Nord-Ouest le 19 mars 2001 et le 25 juillet 2002 tels que déterminés par les simulations numériques, réalisées sur le *Earth Simulator* du Jamstec (Japon). Le domaine 140E-165W, 20-43N est celui analysé dans cette étude.

## RÉSULTAT

### LE CARBONE DU PERGÉLISOL PIÉGÉ DANS L'OcéAN

**Une campagne d'observation montre qu'une fraction du carbone issu des sols gelés de l'Arctique ne contribue pas au réchauffement.**

Sous l'effet du réchauffement climatique, la matière organique des sols gelés de l'Arctique (pergélisol) se décompose, entraînant un important dégagement de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Une étude menée par une équipe internationale de géochimistes, dont des scientifiques de l'Institut de physique du globe de Paris<sup>1</sup> (IPGP), sur le fleuve Mackenzie, au nord du Canada, révèle que ce carbone gelé ne fait pas que rejoindre l'atmosphère : « Nous avons découvert qu'une grande partie de la matière organique charriée par ce fleuve provient de l'érosion du pergélisol, et que 65 à 100 % finit piégé dans les sédiments marins de l'océan Arctique qui les préservent de la décomposition », résume Jérôme Gaillardet, à l'IPGP. Ce phénomène est toutefois insuffisant pour contrebalancer les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>.

1. IPGP/CNRS/Université Paris-Diderot/Université de la Réunion

Mares de thermokarst (ici sous la neige), résultant de la fonte du pergélisol, dans le Nunavik, une région arctique du Québec.



© L. Calloce/fakowik/CNRS Photothèque

## EN BREF

### L'Océan profond en surchauffe

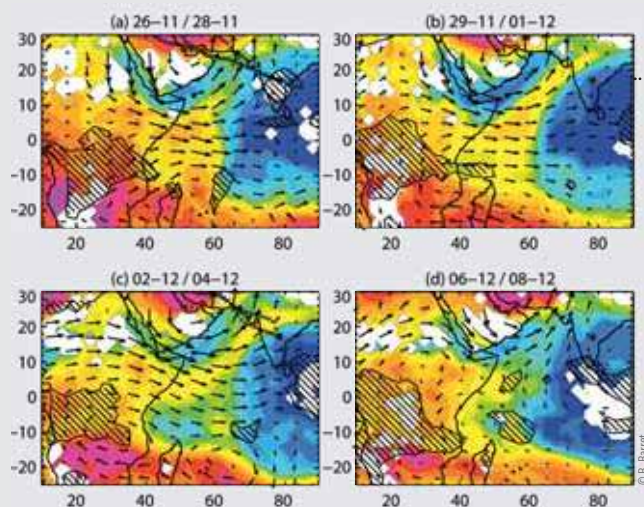
Au-delà de 200 mètres, dans l'obscurité, les couches profondes de l'océan atténuent le réchauffement climatique en absorbant de très grandes quantités de dioxyde de carbone et de chaleur. Mais deux chercheuses du CNRS tirent la sonnette d'alarme. Selon leurs résultats, ce rôle de tampon n'est pas sans conséquences sur les écosystèmes de l'océan profond : stress thermique, acidification, désoxygénation, altération des ressources nutritives... Des répercussions qu'il est indispensable de mieux comprendre pour protéger ces écosystèmes essentiels.

*Science*, novembre 2015

### Protéger les coraux du réchauffement

Sous l'effet du réchauffement climatique, de nombreux récifs coralliens meurent, victimes de blanchissement généralisé. En 1998 aux Seychelles, ce phénomène a détruit 90 % des récifs ! Mais certains s'en sont remis... Pourquoi ? En étudiant 21 récifs coralliens de cette région, avant et après cet épisode, une équipe internationale a découvert que cette capacité de résilience est liée à un bon état du corail avant blanchissement, et à une implantation dans des eaux peu polluées et assez profondes.

*Nature*, janvier 2015



## LA SOURCE D'UNE RIVIÈRE D'OZONE IDENTIFIÉE

En analysant les données collectées par la sonde spatiale IASI, des chercheurs français ont mis en évidence un important transport d'ozone entre l'Afrique et le nord de l'Inde dans la haute troposphère durant l'automne 2008. Des modèles météo ont par ailleurs permis de remonter à la source de ce polluant atmosphérique, soit l'Afrique australe. Néanmoins, contrairement à ce que suspectaient les scientifiques, l'ozone ne provient ni d'un transport inter-hémisphère ni de feux de forêt, mais de la transformation d'oxyde d'azote produit par les éclairs au-dessus de l'Afrique centrale.

*Tellus B*, mars 2015



## LE GLACIER DE MERTZ MÛ PAR SA PROPRE DYNAMIQUE

En analysant une carotte de sédiments marins prélevée dans la baie qui jouxte le glacier de Mertz, une équipe internationale a démontré que ce glacier de l'est de l'Antarctique avait perdu d'importantes quantités de glace, en moyenne tous les 70 ans, au cours des 250 dernières années. Cette périodicité est due à la présence de hauts-fonds qui bloquent la langue glaciaire chaque fois qu'elle atteint cette zone de faible profondeur. La pression exercée par la propre poussée du glacier provoque alors sa rupture massive et le déversement de gigantesques icebergs qui modifient les conditions environnementales d'une zone océanique d'intérêt majeur pour la circulation océanique mondiale et la biodiversité.

*Nature Communications*, mars 2015

## EN IMAGES



© J. L. Quenec'h / JOMI 2008

## LA DIVERSITÉ DES BACTÉRIES MARINES INFLUENCE LEUR PRODUCTIVITÉ

C'est ce qu'ont découvert les scientifiques de la campagne océanographique Keops2 qui s'est déroulée en 2011 près des îles Kerguelen. Pour ce faire, ils ont étudié la diversité et le flux de matière organique de populations de bactéries vivant au sein de diverses proliférations d'algues planctoniques. Ils ont ensuite comparé ces données avec celles issues d'une communauté microbienne de référence. Résultat : lorsqu'elle est associée au phytoplancton, la biomasse bactérienne s'accroît d'autant plus que sa biodiversité est éloignée de celle de la population témoin.

*The ISME Journal*, juillet 2015



© C. J. Blichert-Toft / photographie

## JANNE BLICHERT-TOFT REÇOIT LA MÉDAILLE DE STENO

Le 24 avril 2015, Janne Blichert-Toft, directrice de recherche au Laboratoire de géologie de Lyon<sup>1</sup>, a reçu la médaille de Steno. Décernée tous les cinq ans par la Société géologique du Danemark, cette distinction récompense Janne Blichert-Toft pour ses contributions majeures aux sciences de la Terre. Les travaux de la géochimiste ont permis, en particulier, de mettre au point des traceurs des processus géologiques et planétaires à partir d'isotopes radiogéniques. Une méthodologie que la scientifique a notamment mise à profit pour comprendre l'évolution des planètes du Système solaire depuis son origine.

1. CNRS/ENS de Lyon/Université Claude-Bernard Lyon 1/ Université de Lyon

## LE SÉISME DU NÉPAL DÉCRYPTÉ

En dépit d'une magnitude de 7.9, le séisme survenu près de Katmandou le 25 avril 2015 n'a pas provoqué de destructions massives dans la capitale népalaise. Afin d'en comprendre les raisons, une équipe française a croisé des images satellites de la zone sinistrée prises avant puis après le séisme, avec la mesure des ondes sismiques résultant du tremblement de terre. Leur analyse révèle que la rupture de la faille s'est produite à vitesse constante, phénomène qui limite la radiation des ondes à haute fréquence, celles-là mêmes qui occasionnent le plus de dégâts matériels.

*Geophysical Research Letters*, octobre 2015

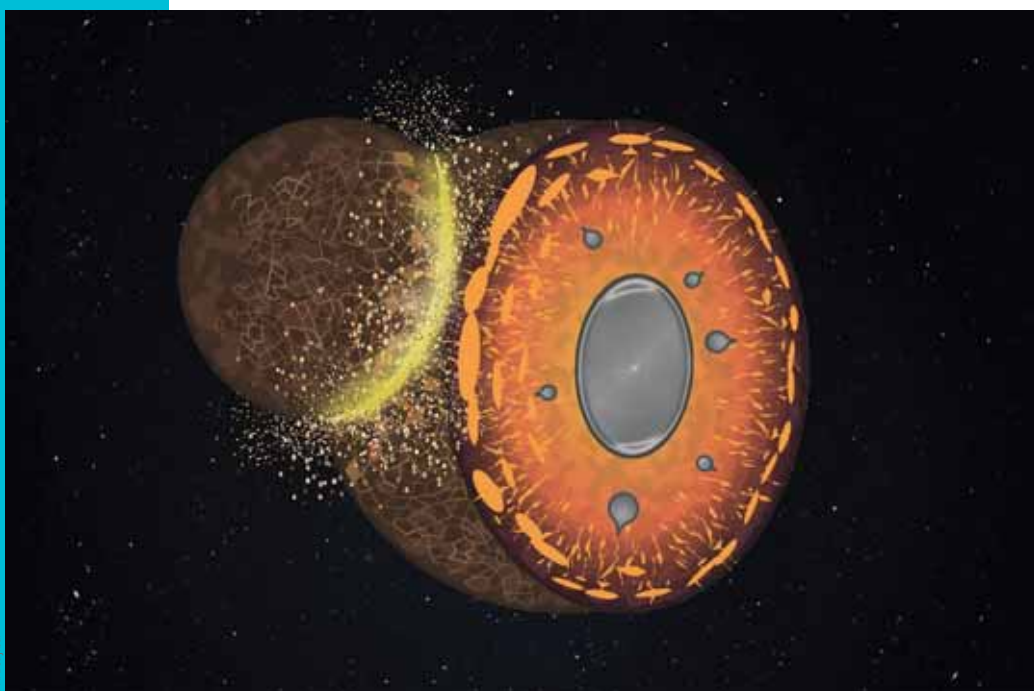


© P. Berthod / Wikimedia Commons

## LE SCÉNARIO À L'ORIGINE DE LA TERRE SE PRÉCISE

Les météorites primitives censées avoir façonné notre planète par leurs impacts massifs et répétés présentent un taux de silicium significativement plus élevé que celui de la Terre. Une équipe française a pu expliquer ce paradoxe en faisant fusionner de petits fragments de ces météorites en laboratoire. Selon son analyse, le liquide très concentré en silicium ainsi obtenu aurait permis l'élaboration d'une croûte primitive enrichie en silicium avant que cet élément chimique ne soit expulsé vers l'espace par d'autres bombardements météoritiques.

*Nature Communications*, septembre 2015



© A. Boujibar

## Priorité à l'énergie et à la santé

**Innover tous azimuts, telle pourrait être la devise de l'INSIS, dont les réalisations dans les domaines de l'énergie et de la santé ont été remarquées cette année.**

COP21 oblige, 2015 est l'occasion pour l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS) de mettre en avant ses travaux dans le domaine des énergies. « C'est un axe ancien de l'institut qui abrite la cellule énergie du CNRS, explique Jean-Yves Marzin, son directeur. Il couvre désormais tout le secteur des énergies renouvelables du plus fondamental à l'opérationnel. »

Ainsi, l'INSIS a obtenu cette année de très beaux résultats sur les matériaux d'électrodes pour les micro-supercondensateurs. À l'autre bout du spectre, l'institut a vu l'inauguration de la plateforme SEM-REV, le premier site au monde d'essai en mer pour les énergies marines renouvelables<sup>1</sup> qui, comme le détaille le directeur, « permettra la mise au point, en conditions opérationnelles, de démonstrateurs et de prototypes grandeur nature ».

Au titre des nouveautés, Jean-Yves Marzin tient aussi à mentionner l'inauguration de la plateforme AlgoSolis, dédiée à l'exploitation industrielle des microalgues, pour des applications notamment dans le domaine de l'énergie. De même que la signature de trois projets d'envergure entre l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France et ses partenaires académiques et industriels. Objectif : l'optimisation des différentes technologies existantes.

Preuve de l'excellence de l'INSIS sur les problématiques énergétiques, quatre des 19 lauréats de la deuxième phase du Concours mondial d'Innovation 2030 sont rattachés à l'institut, dont deux proposent des technologies liées à l'énergie. La start-up Eco-Tech Ceram, qui collabore étroitement avec le laboratoire Procédés, matériaux et énergie solaire<sup>2</sup> et le laboratoire Conditions extrêmes et matériaux : haute température et irradiation<sup>3</sup>, a ainsi été récompensée pour sa technologie Ecostock 1000 de stockage thermique utilisant des matériaux issus de déchets industriels. Quant à EnerBee, autre start-up dans le domaine de l'énergie, elle développe et commercialise des générateurs d'énergie basés sur le mouvement,

**JEAN-YVES MARZIN,**  
directeur de l'Institut  
des sciences de  
l'ingénierie et des  
systèmes

Directeur de recherche CNRS, Jean-Yves Marzin consacre ses recherches aux propriétés optiques des micro- et nanostructures. Il a dirigé le Laboratoire de microstructures et de micro-électronique puis le Laboratoire de photonique et de nanostructures.

une innovation issue du transfert de résultats du laboratoire Génie électrique de Grenoble<sup>4</sup> et du CEA. Le second axe retenu par Jean-Yves Marzin concerne les sciences de l'ingénierie pour la santé, également une problématique historique en perpétuel renouvellement. Illustration avec le 20<sup>e</sup> anniversaire de l'UMI franco-japonaise LIMMS, qui a inauguré en 2014 une antenne lilloise autour de projets de nanotechnologie pour le diagnostic et le traitement du cancer. Parmi les innovations sorties cette année des laboratoires de l'institut, Jean-Yves Marzin mentionne le robot endoscopique pour la chirurgie des cordes vocales mis au point dans le cadre d'un projet européen incluant l'institut Femto-ST<sup>5</sup> : « Véritable défi microtechnique, il permet d'amener la source laser à l'intérieur du patient, pour un traitement le plus précis possible. »

Par ailleurs, l'INSIS a inauguré cette année un nouveau laboratoire commun liant le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes<sup>6</sup> et le groupe Essilor, pour le développement de verres de lunettes actifs et connectés. Enfin, signe que 2016, année des sciences de l'ingénierie pour la santé à l'INSIS, démarre sous les meilleurs auspices, Jérôme Chevalier, au laboratoire Matériaux : ingénierie et science<sup>7</sup>, a reçu cette année la médaille de l'innovation du CNRS. Spécialiste des céramiques innovantes, en particulier les biocéramiques, il a proposé des avancées majeures pour augmenter la durabilité des prothèses orthopédiques et dentaires. Un parfait exemple d'innovation fondée sur des bases académiques solides, la spécialité de l'INSIS !

1. CNRS/Centrale Nantes
2. CNRS/Université de Perpignan
3. CNRS/Université d'Orléans
4. CNRS/INP Grenoble/UJF
5. CNRS/UFC/ENSMM/UTBM
6. CNRS
7. CNRS/Insa de Lyon/UCLB

*Advanced Materials*, septembre 2015.

## EN BREF

### DU BITUME À BASE DE MICROALGUES

Des chercheurs sont parvenus à produire du bitume à partir de résidus d'algues microscopiques. La clé de ce succès : un procédé dit de « liquéfaction hydrothermale » capable de transformer cette biomasse en une huile visqueuse et noire baptisée « bio-bitume ». Car, outre son aspect, déformation, capacité à enrober des agrégats minéraux, cohésion de la structure granulaire, résistance aux charges... ses propriétés sont analogues à celles d'un bitume issu de produits pétroliers. Qu'il pourrait à terme remplacer.



Culture de microalgues en incubateur.

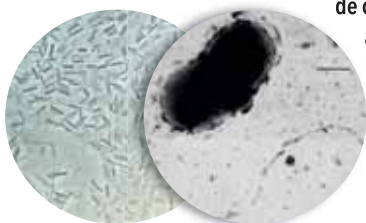
© C. Feslioni/UPhy/CNRS Photographique

ACS Sustainable Chemistry & Engineering, mars 2015

### COOPÉRATION BACTÉRIENNE POUR PRODUIRE DU CARBURANT VERT

Les bactéries dites « anaérobies » sont capables de décomposer la biomasse en produisant du dihydrogène. Une équipe de biologistes a découvert qu'en état de stress nutritionnel, les bactéries *Clostridium acetobutylicum* et *Desulfovibrio vulgaris* communiquent et échangent des protéines. Résultat : une production de ce gaz utilisable comme carburant triplée, cinq fois plus rapide et beaucoup plus stable dans le temps. De quoi faire

de ces micro-organismes les agents actifs d'un secteur énergétique durable.



*Clostridium acetobutylicum* et *Desulfovibrio vulgaris*, deux bactéries anaérobies capables de décomposer la biomasse.

© Geom3/Wikimedia commons

## RÉSULTAT

### DU FER ET DE LA LUMIÈRE POUR VALORISER LE DIOXYDE DE CARBONE

**Un nouveau catalyseur bon marché permet de réduire le dioxyde de carbone à partir de la seule lumière solaire.**

Le dioxyde de carbone n'est pas qu'un déchet. On peut le transformer en monoxyde de carbone pour fabriquer des matériaux ou certains carburants liquides comme le méthanol. Mais cette opération de réduction chimique nécessite des catalyseurs à base de métaux aussi rares que chers.

Afin d'accélérer l'essor de cette voie de valorisation, des chercheurs du Laboratoire d'électrochimie moléculaire<sup>1</sup> (LEM) ont développé un nouveau catalyseur à base de fer. Associé à un composé organique sensible à la lumière, il permet de réduire le dioxyde de carbone avec la lumière naturelle comme unique source d'énergie. « Cette nouvelle formulation règle par ailleurs des problèmes de stabilité et de sélectivité du catalyseur », précise Julien Bonin, au LEM. Une technique qui ouvre d'intéressantes perspectives en vue d'utiliser l'énergie solaire pour valoriser le CO<sub>2</sub>.

1. CNRS/Université Paris-Diderot – Sorbonne Paris Cité

Journal of the American Chemical Society, novembre 2014

## FOCUS

### Optimiser la production du biocharbon

**Une méthode RMN permet de mieux comprendre la transformation de la biomasse pour le stockage du carbone.**

Les déchets agricoles et forestiers stockent du dioxyde de carbone pompé dans l'atmosphère... mais le relarguent en se décomposant. Pour y remédier, une technique consiste à transformer cette biomasse en la chauffant en l'absence d'air. Le matériau ainsi obtenu, appelé biocharbon ou « biochar », est en effet stable durant des milliers d'années. Dans le but d'optimiser cette transformation, des chercheurs de plusieurs laboratoires<sup>1</sup> à Nancy, Strasbourg et Mulhouse ont adapté une méthode de résonance magnétique nucléaire (RMN) afin de déterminer précisément la composition chimique de différents types de biomasses et des biochars correspondants. « De cette manière, nous sommes parvenus à préciser les transformations moléculaires à l'œuvre lors de la formation d'un biochar », résume Anthony Dufour, impliqué dans cette étude. Avantage de la nouvelle méthode d'analyse : elle ne nécessite aucun pré-traitement susceptible d'altérer les échantillons à analyser. Ces résultats intéressent une large communauté de biologistes, spécialistes de l'environnement et de l'énergie qui travaillent sur la valorisation des déchets organiques.

1. CNRS/Université de Lorraine, de Strasbourg et de Haute-Alsace

Analytical Chemistry, janvier 2015



Transformés en biochar, les déchets de biomasse sont un matériau pouvant stocker de façon stable le CO<sub>2</sub>.

© D. Pizane/Wikimedia commons - CC BY-SA 2.5

**2015 a été marquée par « l'Année de la lumière », l'occasion d'éclairer les frontières vers lesquelles l'INP est désormais tourné.**

## Les nouveaux horizons de la physique à portée de main

**2015** à l'Institut de physique (INP) ? Alain Schuhl évoque spontanément l'année internationale de la lumière : « Elle a été une occasion formidable de mettre en exergue nos recherches en la matière. Or, la lumière est au cœur de nos activités, que ce soit comme objet d'étude fondamental ou bien comme sonde pour étudier la matière. » Illustration manifeste cette année : l'inauguration en septembre du laser Apollon, dans le cadre du Centre interdisciplinaire lumière extrême<sup>1</sup> (CILEX). Objectifs de ce qui sera bientôt le plus puissant laser au monde ? L'accélération de particules, la simulation de processus astrophysiques extrêmes, l'observation de la matière à des échelles temporelles réduites ou encore l'étude des propriétés du vide. « Cet équipement est caractéristique de notre politique scientifique de dépassement des frontières », commente le directeur. Et à l'évidence, à l'issue de l'année 2015, ce sont bien ces frontières qu'Alain Schuhl entend mettre en avant, alors que de nombreux résultats permettent de les toucher du doigt. Tout d'abord dans le domaine de l'ingénierie quantique, dont les enjeux sont des communications inviolables et des ordinateurs aux performances inouïes. « Les efforts doivent désormais porter sur le contrôle simultané d'un grand nombre d'objets quantiques connectés », précise le physicien. À cet égard, et pour la première fois, des scientifiques du Laboratoire Charles Fabry<sup>2</sup> sont parvenus à observer les interférences quantiques entre deux atomes distincts, révélant leur double nature quantique corpusculaire et ondulatoire. « Cette prouesse illustre les immenses progrès réalisés ces dernières années dans la manipulation de faisceaux atomiques. C'est une démonstration de leur potentiel d'application dans le champ de l'information quantique », se réjouit Alain Schuhl. Autre horizon vers lequel l'INP est résolument tourné : la modélisation physique d'objets biologiques. « Les outils de la physique statistique permettent désormais

de porter un regard de physicien sur des objets biologiques complexes, ce qui nous amène à compléter notre compréhension du vivant », explique le directeur, rappelant ainsi la volonté de l'INP de soutenir le développement de méthodes et outils au profit d'une recherche interdisciplinaire. Ainsi, une collaboration impliquant des chercheurs du Laboratoire de physique théorique de la matière condensée<sup>3</sup> a permis d'étendre et de préciser les conditions qui président à la migration de cellules. Un résultat important pour comprendre le développement embryonnaire, mais également la façon dont se propagent des cellules cancéreuses. Autre exemple avec cette étude microfluidique et numérique impliquant trois équipes montpelliéraines qui démontre pour la première fois l'importance de la géométrie des microvaisseaux sanguins dans le déclenchement des crises de drépanocytose. C'est une maladie qui affecte plus de 50 millions de personnes dans le monde et se caractérise par des crises douloureuses de vaso-occlusion. Enfin, pour illustrer le continuum de la recherche fondamentale au transfert des innovations vers le monde socio-économique, Alain Schuhl souligne l'intérêt de l'INP pour les problématiques liées à l'énergie et en particulier son économie. En témoigne par exemple le projet Modulo porté par l'Institut Néel<sup>4</sup> et soutenu par le programme de pré-maturation du CNRS, pour la mise au point de dispositifs thermoélectriques ouvrant la voie à des applications multiples pour l'alimentation électrique de capteurs autonomes. Autant de sujets sur lesquels l'INP entend bien faire toute la lumière.

1. Equipex 2011 fédérant 12 laboratoires du plateau de Saclay
2. CNRS/Institut d'optique Graduate School
3. CNRS/Université Pierre-et-Marie-Curie
4. CNRS/Université Grenoble Alpes

*Nature*, avril 2015 - *Trends in Cell Biology*, décembre 2015 - *Biophysical Journal*, juin 2015 - *Physical review B*, septembre 2015

**ALAIN SCHUHL,**  
directeur de l'Institut  
de physique

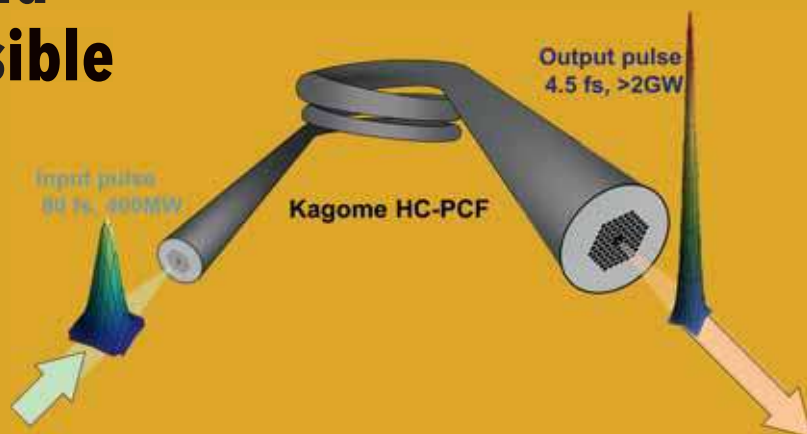
Professeur de l'université Joseph-Fourier, à Grenoble, Alain Schuhl a consacré ses travaux à la spintronique. Il a dirigé le laboratoire Spintec puis l'Institut Néel. Il est membre senior de l'Institut universitaire de France depuis 2010.

© CNRS / Délégation PMA

# Une fibre creuse rend l'attoseconde accessible

**Un nouveau dispositif compact et à bas coût permet de produire des impulsions lasers très intenses et ultra-brèves pour l'étude des matériaux.**

Sonder la matière aux plus petites échelles temporelles nécessite des impulsions de lumière ultra-puissantes et extrêmement brèves, de l'ordre de quelques attosecondes, soit  $10^{-18}$  seconde. Or, leur production requiert actuellement une chaîne de lasers coûteuse et encombrante. Feth Benabid et ses collègues, au Laboratoire Xlim<sup>1</sup>, viennent de proposer un dispositif qui permet de contourner cette difficulté. Celui-ci repose sur la mise au point d'une fibre optique creuse et microstructurée, longue de seulement quelques centimètres. « Sa structure unique permet de guider une impulsion d'entrée très intense et de l'autocomprimer sans perte, contrairement aux autres fibres creuses », explique le scientifique.



« Facile à mettre en œuvre et peu onéreux, ce nouveau dispositif va contribuer à démocratiser cette discipline émergente qu'est l'étude de la matière à l'échelle de l'attoseconde », se réjouit Feth Benabid. Ses applications vont de la nanoélectronique aux technologies de la santé (imagerie, accélération de particules pour le traitement du cancer...) en passant par le photovoltaïque ou la supraconductivité.

1. CNRS/Université de Limoges

*Nature communications*, janvier 2015

Schéma du système de compression d'une impulsion lumineuse de 80 fs (femtosecondes) de durée et de 400 MW de puissance en une impulsion de 4,5 fs de durée et de plus de 2 GW de puissance par la voie d'une fibre creuse de type Kagome HC-PCF.

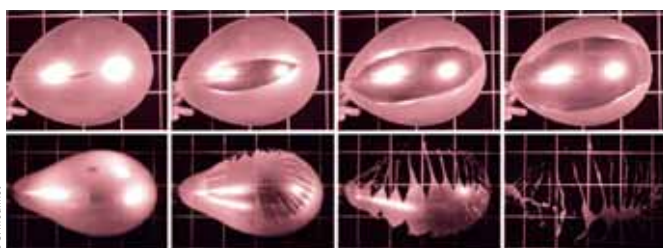
© F. Benabid/XLIM

## EN BREF

### EN COMBIEN DE MORCEAUX ÉCLATE UN BALLON ?

C'est la question très sérieuse à laquelle vient de répondre un groupe de physiciens. S'il est modérément tendu, il se sépare en deux parties. Mais au-delà d'une certaine tension, dès lors que la vitesse de propagation des fissures dépasse un certain seuil, la fissure initiale est déstabilisée, se séparant en deux nouvelles fissures et ainsi de suite : le ballon éclate alors en une multitude de morceaux. Ces résultats pourraient contribuer à la mise au point de matériaux innovants dont les processus de fragmentation seraient parfaitement maîtrisés.

*Phys. Rev. Lett.*, octobre 2015



© S. Mouillet

60 000 images par seconde pour mieux comprendre les phénomènes de fragmentation de matériaux soumis à des impacts (haut) ou des explosions (bas).



@CNRS

90 teslas pendant 9 millisecondes. C'est la nouvelle référence en matière de champs magnétiques pulsés pour les matériaux sous conditions extrêmes.

### LE RAYONNEMENT SYNCHROTRON COHÉRENT : UN PEIGNE DE FRÉQUENCE PERFORMANT DANS LE DOMAINE TÉRAHERTZ

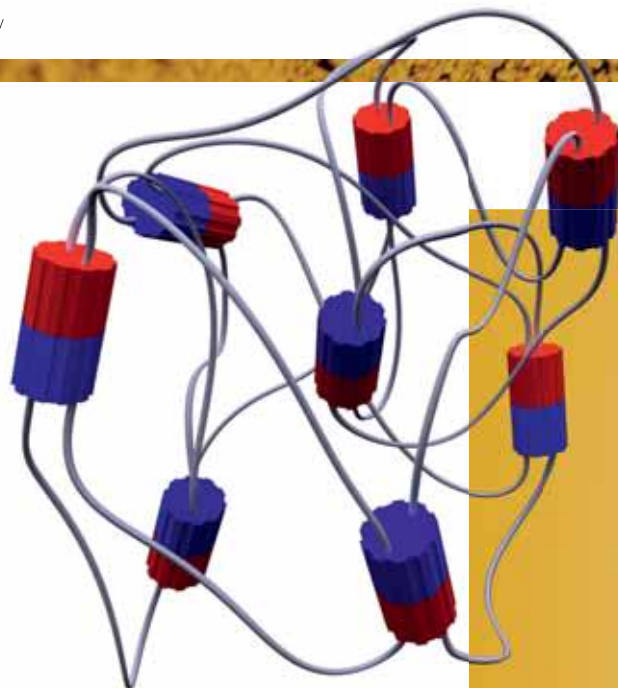
Grâce à un nouveau spectromètre à ultra-haute résolution, des chercheurs ont montré que le rayonnement synchrotron dit « cohérent » est constitué d'une multitude de raies spectrales très fines et régulièrement espacées en fréquence. Alors qu'on le croyait continu, il offre une nouvelle vision de ce type de rayonnement dans la gamme de fréquence térahertz qui forme un peigne de fréquence d'une très grande densité. Cette découverte pourrait avoir des applications en métrologie du temps, ainsi que pour les études de spectroscopie à ultra-haute résolution et de cinétique réactionnelle par rayonnement synchrotron.

*Nature communications*, juillet 2015

### DES CARTES OPTIQUES POUR RÉVÉLER L'INVISIBLE

En étroite collaboration avec des chimistes, des physiciens ont proposé d'intégrer dans de simples écrans en plastique des molécules originales qui changent de couleur en fonction de la température. Ce dispositif est idéal pour « visualiser » la trajectoire d'un rayon laser opérant dans une gamme de longueurs d'onde invisibles à l'œil nu. D'où l'idée de faire de ce dispositif un détecteur pour le positionnement d'éléments optiques d'expériences utilisant des lasers infrarouges. Un brevet a été déposé en 2012 et transféré en 2015 à la PME nouvellement créée OliKrom.

> [OliKrom.com](http://OliKrom.com)



## EN BREF

### DES CATALYSEURS PROPRES POUR LA SYNTHÈSE DES HYDROCARBURES

Des chimistes ont mis au point une nouvelle approche permettant d'obtenir des nanocristaux de faujasite, un minéral composé d'aluminium et de silicium de la famille des zéolithes. Jusqu'à présent, la fabrication de ce composé microporeux utilisé comme catalyseur pour la synthèse de différents hydrocarbures n'était possible que sous la forme de microcristaux. La nouvelle voie de synthèse permet d'obtenir des cristaux présentant des performances catalytiques uniques, un enjeu majeur dans le domaine du raffinage, de la pétrochimie et de la chimie fine.

*Nature Materials*

### DES MOUSSES GÉLIFIÉES POUR LA DÉCONTAMINATION DE SURFACE

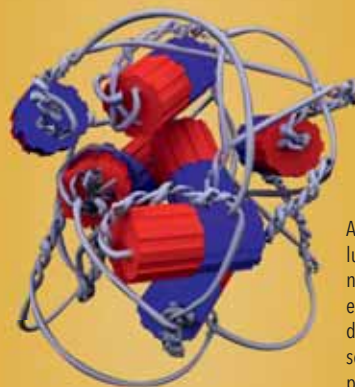


Absorption d'un liquide coloré par une mousse gélifiée.

En ajoutant à une mousse composée de polymères et d'eau des molécules capables de lier entre elles les longues chaînes de polymères, des physico-chimistes sont parvenus à synthétiser une mousse gélifiée stable jusqu'à deux semaines. Très visqueux, cet assemblage peut être facilement mis en forme et possède la propriété d'absorber très efficacement un liquide par capillarité. Il pourrait être mis à profit dans de nombreuses industries où les mousses sont utilisées pour nettoyer et décontaminer de vastes surfaces, eu égard à la faible quantité d'eau qu'elles incorporent par unité de volume, d'où un volume de déchets réduit.

*Soft Matter*, juillet 2015

## FOCUS



Activés par la lumière, les moteurs nanométriques enroulent les chaînes de polymères du gel qui se contracte alors sur plusieurs centimètres.

## Un gel contractile qui stocke l'énergie lumineuse

**Le contrôle du mouvement coordonné de moteurs moléculaires activés par de la lumière offre une nouvelle façon de produire et de stocker de l'énergie mécanique.**

Chez les êtres vivants, les mouvements macroscopiques, comme la contraction d'un muscle, résultent des mouvements nanoscopiques coordonnés de très nombreuses molécules.

Pour réaliser de manière artificielle ce transfert dynamique des petites aux grandes échelles, des chercheurs de l'Institut Charles Sadron<sup>1</sup> ont élaboré un gel constitué de chaînes de polymères raccordées par des molécules constituées de deux parties qui peuvent tourner l'une par rapport à l'autre lorsqu'on leur fournit de l'énergie lumineuse.

Activables par absorption de lumière ultraviolette, de tels moteurs moléculaires étaient jusqu'à présent utilisés pour générer des mouvements à l'échelle nanométrique. Mis en œuvre dans cet assemblage original, ils enroulent les chaînes de polymères entre elles avec pour effet une contraction du gel de plusieurs centimètres visible à l'œil nu. « C'est la première fois qu'un tel mouvement est engendré de manière coordonnée à une échelle macroscopique », s'enthousiasme Nicolas Giuseppone, à l'Institut Charles Sadron.

Il est ainsi également possible de stocker sous forme mécanique une importante quantité d'énergie lumineuse que les scientifiques espèrent bientôt être capables de réutiliser de façon contrôlée.

<sup>1</sup> CNRS/Université de Strasbourg

*Nature Nanotechnology*, janvier 2015

## RÉSULTAT

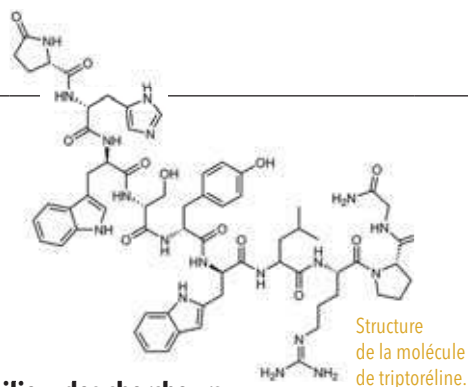
### DES NANOTUBES QUI CHANGENT DE DIAMÈTRE SUR COMMANDE

**En jouant sur l'acidité du milieu, des chercheurs sont parvenus à contrôler le diamètre de nanotubes.**

Placées dans l'eau, certaines molécules s'assemblent spontanément selon une forme déterminée. On parle d'auto-assemblage. Jusqu'à présent, ces édifices, une fois créés, voyaient leur géométrie et leur taille constantes dans le temps. Des physiciens de l'Institut de physique de Rennes<sup>1</sup> (IPR), du CEA, de l'université de Rennes 1 et du groupe pharmaceutique Ipsen viennent de réaliser des nanotubes auto-assemblés qui changent de configuration selon l'acidité du milieu. Précisément, ces nanotubes composés d'une molécule appelée triptoréline, un peptide analogue à une hormone naturelle, la gonadoréline, voient leur diamètre passer de 10 à 50 nanomètres lorsque le pH de la solution où ils se trouvent dépasse 6,5. Comme l'explique Franck Artzner, à l'IPR, « grâce à plusieurs techniques complémentaires, nous avons compris que la clé de cette transformation résidait dans le changement des propriétés électrostatiques d'un des acides aminés qui composent la triptoréline ». De quoi envisager la fabrication de différents objets nanométriques de taille contrôlée. Ou encore de mieux comprendre les virus, dont la forme dépend elle aussi de l'acidité du milieu.

1. CNRS/Université Rennes 1

Nature Communications, juillet 2015



## EN BREF

### UNE ENCRE CONDUCTRICE POUR L'ÉLECTRONIQUE FLEXIBLE

Des chercheurs de deux laboratoires ont breveté une nouvelle encre conductrice et imprimable sur film souple à base de polymères. Cette nouvelle technologie, plus facile à mettre en œuvre et moins chère, représente une alternative intéressante pour la fabrication d'électrodes à la fois transparentes et souples et constitue un enjeu majeur pour le développement de l'électronique flexible et ses applications pour l'éclairage, le photovoltaïque ou les écrans tactiles pliables.

Angew. Chem. Int. Ed., juin 2015



Oled flexible produite sur un substrat organique et fonctionnant avec des électrodes transparentes.

## RÉSULTAT

### LE GRAPHÈNE RÉVOLUTIONNE LA MÉTROLOGIE

**Des chercheurs démontrent que le graphène offre un étalon de résistance électrique précis et facile à mettre en œuvre.**

Précis, peu onéreux et pratique. Telles sont les qualités du graphène utilisé comme étalon de mesure de résistance électrique, par rapport aux dispositifs semi-conducteurs en arséniure de gallium utilisés habituellement.

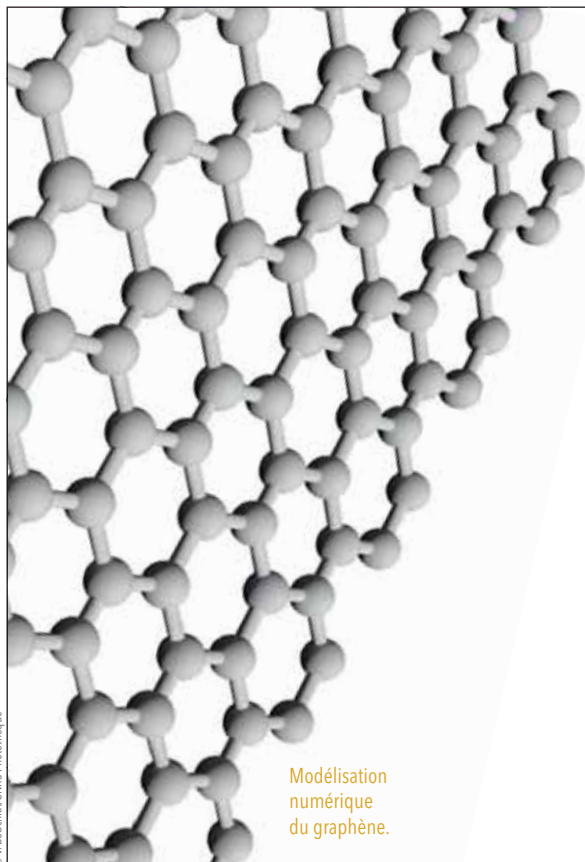
D'une façon générale, la réalisation de tels étalons se fonde sur l'effet Hall quantique qui voit la résistance d'un conducteur électrique placé dans un champ magnétique augmenter par plateau lorsque l'intensité de ce champ augmente.

En pratique, les dispositifs en arséniure de gallium doivent être refroidis quasiment au zéro absolu et soumis à un champ magnétique particulièrement intense de 10 teslas.

Avec du graphène, des physiciens du Centre de recherche sur l'hétéroépitaxie et ses applications<sup>1</sup> (CRHEA) et le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) ont montré qu'une température de 10 K et des champs de 3,5 teslas suffisent. « Nous sommes parvenus à ce résultat en utilisant des feuillets de graphène de très grande qualité, obtenus grâce à un procédé innovant de dépôt en phase vapeur d'un feuillet de carbone sur un substrat de carbure de silicium », explique Adrien Michon, au CRHEA. De plus, parce qu'il permet la circulation de courant dix fois plus intense, ce nouveau dispositif est beaucoup plus précis. Directement transférable à l'industrie, il ouvre des perspectives pour la refonte du système international d'unités.

1. CNRS

Nature Nanotechnology, septembre 2015



© V. Bouchat/CNRS Photothèque



© C. Fressillon/LHC/CNRS Photothèque

## UNE NOUVELLE PARTICULE DÉCOUVERTE AU LHC

Le pentaquark, c'est le nom de la nouvelle particule découverte au LHC, l'accélérateur géant de particules du CERN, près de Genève. Prédite depuis 50 ans par les modèles, cette particule est composée de cinq quarks, les constituants élémentaires des protons et des neutrons. C'est la précision de l'instrument LHCb qui a permis cette découverte. Avec ce résultat, les physiciens vont pouvoir mieux comprendre comment fonctionne l'une des quatre forces fondamentales de la nature, l'interaction forte, qui lie les quarks entre eux.

## EN IMAGES

## UNE DÉSINTÉGRATION RARE IDENTIFIÉE AU LHC

Une désintégration très rare de la particule baptisée  $B_s^0$  en deux muons a été observée pour la première fois au LHC. C'est l'analyse combinée des données récoltées par les deux détecteurs CMS et LHCb qui a permis de révéler ce processus. Le phénomène intéresse au plus haut point les scientifiques car il pourrait révéler l'existence de nouvelles particules, non prédites par le Modèle standard, l'actuelle théorie qui rend compte des propriétés des constituants élémentaires de la matière.

## NEMO RESSERRE L'ÉTAU SUR LA MASSE DU NEUTRINO

Le neutrino est-il sa propre antiparticule ? Pour répondre à cette question, l'expérience internationale Nemo 3, installée au Laboratoire souterrain de Modane<sup>1</sup>, a tenté, entre 2003 et 2011, de détecter un phénomène radioactif extrêmement rare et encore jamais observé : la double désintégration bêta sans émission de neutrinos. Les données, dont l'analyse a été achevée en 2015, n'ont pas mis en évidence ce phénomène. Mais elles ont permis d'établir une limite supérieure à la masse du neutrino, encore inconnue à ce jour.

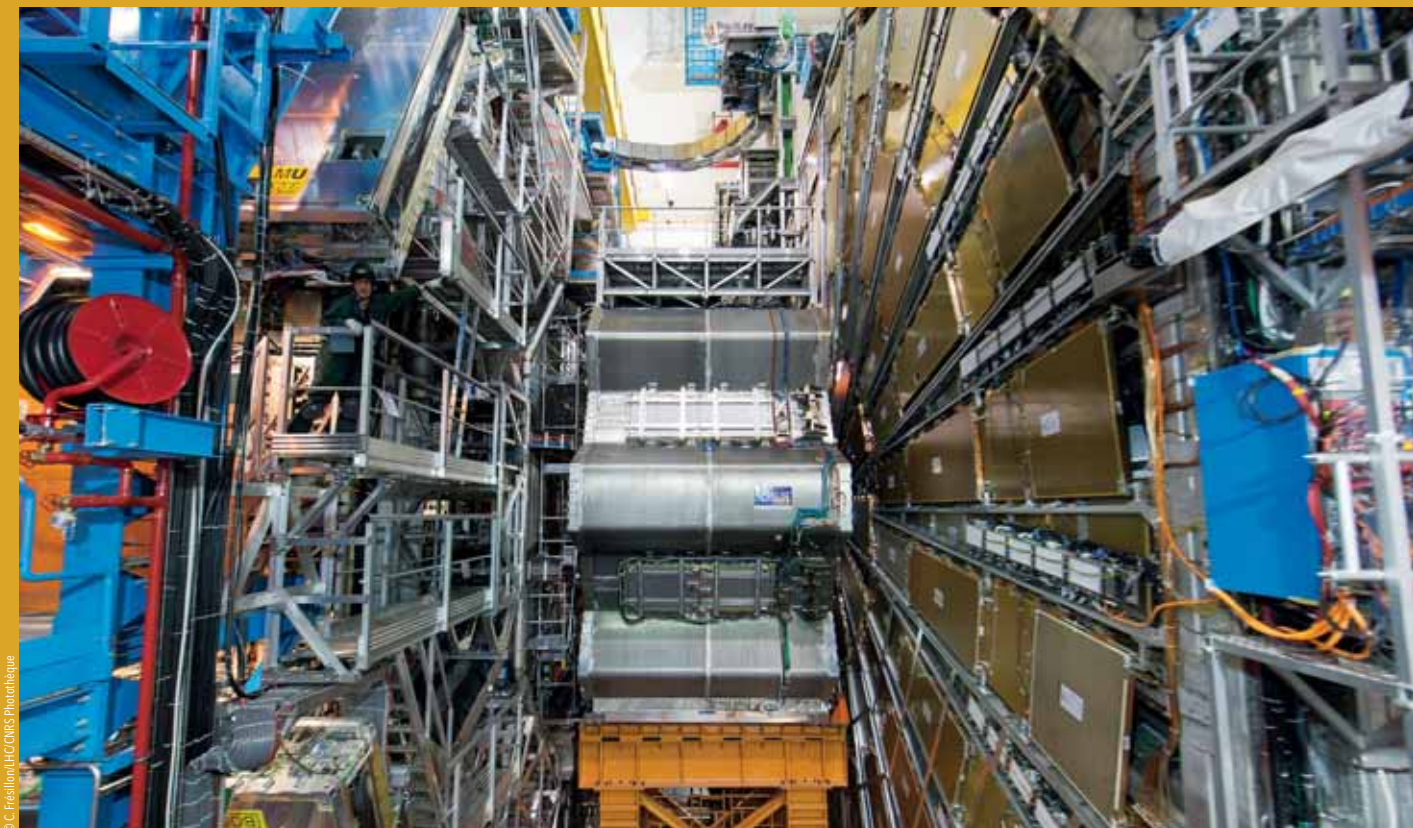
1. CNRS/Université Grenoble Alpes



© B. Rajau/CNRS Photothèque



© C. Fressillon/LHC/CNRS Photothèque



© C. Fréssillon/LHC/QuRS Photothèque

### LA MASSE DU BOSON DE HIGGS SE PRÉCISE

Les physiciens du LHC ont déterminé la masse du boson de Higgs avec une précision de 0,2 %. Cette mesure, l'une des plus précises jamais obtenues grâce à l'accélérateur géant, a été réalisée en croisant les résultats des expériences ATLAS et CMS. Découvert en 2012 au LHC, le boson de Higgs est une particule clé de la physique : son existence permet d'expliquer comment les autres particules acquièrent une masse. La détermination précise de la masse du boson de Higgs est essentielle pour mieux comprendre ce processus.

### OPERA CONFIRME LES OSCILLATIONS DES NEUTRINOS

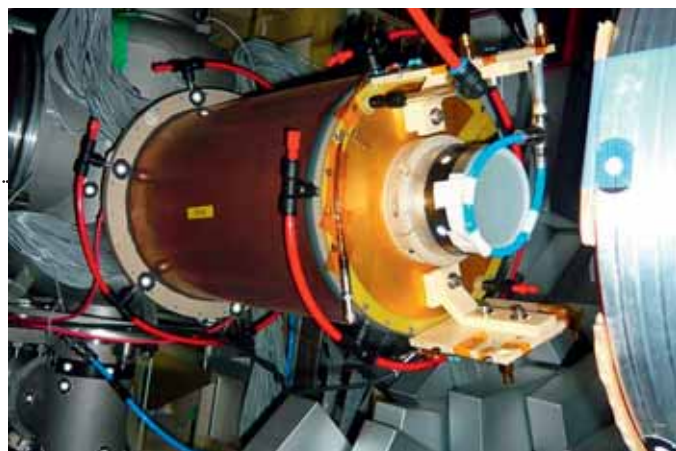
L'expérience Opera, installée dans le laboratoire souterrain du Gran Sasso, en Italie, a détecté pour la cinquième fois depuis 2010 la transformation – ou oscillation – d'un neutrino de type muon en un neutrino de type tau. La signification statistique de ces événements est désormais suffisamment grande pour qu'on puisse parler de découverte. Ce phénomène d'oscillation des neutrinos prouve que ces particules, qui interagissent très peu avec la matière, possèdent une masse. Une propriété que les modèles ne parviennent pas encore à expliquer.



© B. Ilie/INFN/LC/QuRS Photothèque

### MINOS ÉTUDIE LES NOMBRES MAGIQUES NUCLÉAIRES

Certains noyaux atomiques, dits « magiques », sont particulièrement stables, une propriété reliée au nombre de neutrons et de protons qu'ils renferment. L'instrument franco-japonais Minos, installé au Japon, a pour objectif de mieux comprendre ce phénomène. La première campagne expérimentale a permis d'étudier les noyaux de chrome et de fer les plus riches en neutrons jamais créés à ce jour. Elle a mis en évidence la perte du caractère magique de ces noyaux lorsque le nombre de neutrons atteint 40 et au-delà. Un pas important pour obtenir une meilleure description du noyau des atomes.



© V. Lapoux/CEA

## La chimie, accélératrice de synergies

**Fondamentale et appliquée, à l'interface de plusieurs disciplines, la chimie rassemble. Ce dont témoigne l'activité de l'INC cette année.**

**DOMINIQUE MASSIOT, directeur de l'Institut de chimie**

Directeur de recherche CNRS, Dominique Massiot est géochimiste. Il s'est consacré à l'étude du désordre dans les matériaux inorganiques ou hybrides. Il a dirigé l'infrastructure de recherche RMN à très hauts champs et le laboratoire CEMHTI.

« La politique de l'institut consiste à mettre en valeur la qualité du travail mené par ses chercheurs », explique Dominique Massiot. Or deux constats s'imposent : d'une part, historiquement, questions fondamentales et enjeux industriels vont de pair en chimie. D'autre part, physique, biologie, environnement, ingénierie... la chimie se trouve à un véritable carrefour disciplinaire. Comme le montrent les 25 % de scientifiques dépendant de l'INC exerçant dans un laboratoire qui lui n'en dépend pas. D'où ce credo mis en avant par le directeur de l'INC : « Pour une plus grande visibilité et une plus grande efficacité, notre meilleur atout est la mise en réseaux et la création de synergies. Dans un contexte interdisciplinaire, nous souhaitons tirer parti de toutes les compétences, et ce, quelle que soit leur localisation. » Belle illustration cette année ? Le réseau RS2E, grâce auquel chercheurs académiques et industriels de toute la France travaillent main dans la main sur le stockage électrochimique de l'énergie, a dévoilé le premier prototype de batterie sodium-ion. Alors que le sodium est beaucoup plus abondant que le lithium, l'élément phare des batteries actuelles, cette nouvelle technologie pourrait à terme permettre le stockage de masse des énergies renouvelables. D'où ce mot de Dominique Massiot : « Notre idée est la généralisation de cette façon de travailler à toutes les thématiques. » Ainsi, 2015 a vu la création de la Fédération de recherche *Increase* autour de la chimie durable et de l'éco-conception. Son ambition : réunir les laboratoires publics et industriels autour de cette thématique sur l'ensemble de la façade atlantique pour compléter le paysage à l'échelle nationale. Idem pour la métallurgie en Île-de-France avec la mise en place de la Fédération pour l'enseignement et la recherche en

**La chimie se trouve à un véritable carrefour disciplinaire.**

métallurgie. Ou pour les matériaux polymères en région Rhône-Alpes avec l'inauguration du pôle de recherche *Lyon Polymer Science & Engineering* qui associe laboratoires et industriels majeurs du secteur. Par ailleurs, l'INC renforce les liens entre collaborateurs académiques et industriels de longue date avec les outils collaboratifs de l'établissement. Un exemple ? La création du Laboratoire commun de cartographie moléculaire des matrices complexes (C2MC) qui regroupe le CNRS, Total, l'INSA de Rouen et les universités de Rouen et de Pau. « C'est la concrétisation des relations de confiance nées au fil du temps entre les acteurs mettant en œuvre des approches complémentaires », se félicite Dominique Massiot.

Cette activité structurante de l'INC s'illustre également à travers la mise en commun d'infrastructures. C'est notamment le sens de la nouvelle impulsion donnée à la chimiothèque nationale. Cette banque de plusieurs dizaines de milliers de molécules issues de laboratoires français est maintenant hébergée par Sanofi. Elle est mise à la disposition de la communauté dans la perspective de tester et de développer de nouveaux médicaments. 2015 a aussi vu le lancement du projet de spectromètre RMN 1,2 GHz à Lille. Doté de performances uniques au monde, il intégrera en 2020 le réseau national de spectromètres RMN à très hauts champs du CNRS et sera accessible à toutes les communautés de recherche. Pour finir, Dominique Massiot insiste sur l'accompagnement des jeunes chercheurs par l'organisation de journées d'entretiens personnalisés, afin de donner à leur dynamisme le meilleur cadre, du laboratoire jusqu'à l'international. « La valorisation du collectif avec la mise en réseaux au niveau national et l'accompagnement des personnels sont les clés de synergies réussies », conclut Dominique Massiot.

## RÉSULTAT

### LA PHYSIQUE DES VERRES SE DÉVOILE

**Un nouveau modèle mathématique jette un regard neuf sur l'énigme de la transition vitreuse.**

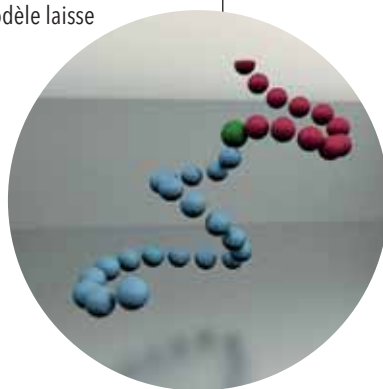
Art, industrie, nanotechnologie... les verres sont partout. Mais comment un matériau passe-t-il d'une forme fondue à celle dure et cassante caractéristique des verres, au sein desquels les atomes et molécules demeurent néanmoins totalement désordonnés, comme dans un liquide ?

Thomas Salez, au Laboratoire de physico-chimie théorique de l'UMR Gulliver<sup>1</sup>, et ses collègues, viennent de lever une partie du voile. Leur point de départ : au sein d'un matériau vitreux les molécules sont si compactées qu'elles ne peuvent bouger qu'en groupe, d'où la lenteur de leur déplacement qui donne au verre son aspect solide. « En développant cette image ancienne dans un tout nouveau modèle mathématique, nous sommes parvenus à expliquer plusieurs propriétés étonnantes de couches de polymères vitreux d'épaisseur nanométrique (dits « films minces vitreux » ), explique le physicien. La simplicité analytique de ce modèle laisse espérer qu'il puisse s'appliquer à d'autres types de verres.

1. CNRS/ESPCI

PNAS, mai 2015

Le modèle dit « des chaînes coopératives aléatoires » qui simule les propriétés de transition vitreuse et de mobilité de surface.



© E. Raphaël

## PRIX

### LUDWIK LEIBLER, INVENTEUR EUROPÉEN DE L'ANNÉE

Directeur du Laboratoire matière molle et chimie et professeur à l'ESPCI ParisTech, Ludwik Leibler a reçu le Prix de l'inventeur européen de l'année 2015. Membre de l'Académie des sciences depuis 2014, ce physico-chimiste, lauréat 2013 de la médaille de l'innovation du CNRS, est mondialement connu pour les nombreux matériaux aux propriétés inédites qu'il a conçus. Il est notamment l'inventeur des vitrimères, ces matériaux façonnables comme le verre, incassables comme le plastique et autoréparables. Ludwik Leibler est aussi l'inventeur d'une colle capable de suturer les blessures.



© C. Anaya Gaultier/CNRS Photothèque

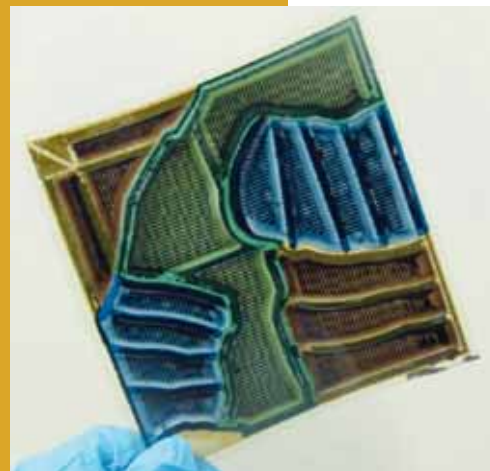
## INNOVATION

### DES PANNEAUX SOLAIRES POLYCHROMES

La PME limougeaude Disasolar, en collaboration avec plusieurs laboratoires, dont le Xlim<sup>1</sup>, vient de créer le premier panneau solaire plastique polychrome. L'expertise développée par les scientifiques du CNRS permet d'adapter leur design à la demande, de quoi composer n'importe quel message ou image à partir de cellules individuelles. Le procédé qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet par l'industriel et le CNRS ouvre de nouvelles possibilités pour l'intégration de l'énergie solaire sur un grand nombre de supports.

1. CNRS/Université de Limoges

Démonstrateur polychrome 10 × 10 cm<sup>2</sup> tout imprimé - fonctionnel.



© Disasolar

## PERSPECTIVE

### UNE PERCÉE DANS LA CONCEPTION DE RÉCEPTEURS SYNTHÉTIQUES DE SUCRES

**De nouvelles molécules permettent de reconnaître et de discriminer les molécules de sucres avec une sélectivité inégalée.**

Glucose, fructose, lactose... les différentes molécules de sucres se ressemblent beaucoup et existent par ailleurs sous plusieurs formes. Les discriminer représente donc un redoutable défi que viennent en partie de relever Ivan Huc et ses collègues, à l'Institut de chimie et biologie des membranes et des nano-objets<sup>1</sup> (CBMN), grâce à un outil moléculaire novateur. Précisément, ces chimistes ont développé des molécules artificielles en forme de longs brins, à l'instar de l'ADN et des protéines. Leur particularité ? Une structure modulable capable de se replier et au sein de laquelle une molécule plus petite, un sucre par exemple, se lie sélectivement du fait de la complémentarité entre la forme de la cavité et la molécule cible. Celle-ci est alors reconnue.

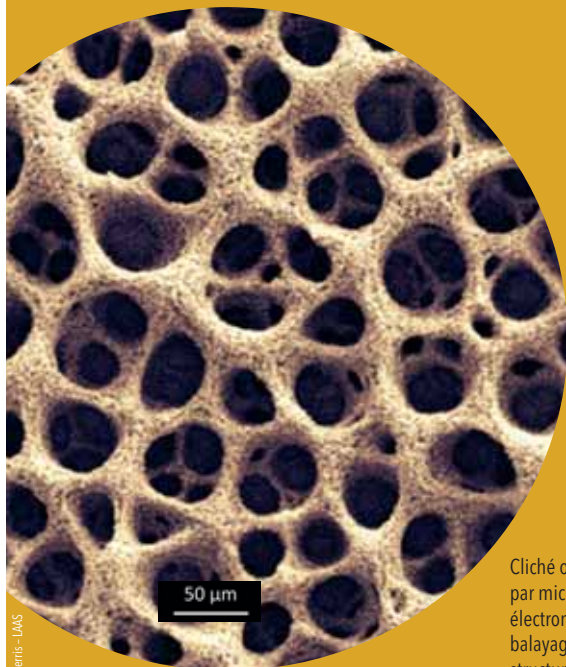
« Ainsi, nous sommes parvenus à concevoir un récepteur présentant une sélectivité record pour le fructose », précise Ivan Huc. Une réussite qui intéresse aussi bien le secteur du vin pour le suivi des étapes de la fermentation que le domaine biomédical. Sans compter que ce principe possède tout le potentiel pour être étendu à d'autres molécules que les sucres.

1. CNRS/Université de Bordeaux/Institut polytechnique de Bordeaux

Nature Chemistry, mars 2015

# Un micro-supercondensateur en or

**Un nouveau matériau d'électrode multiplie par 1 000 l'énergie stockée dans un micro-supercondensateur.**



© A. Ferri - LAAS

Cliché obtenu par microscopie électronique à balayage d'une structure 3D poreuse en or.

Face aux batteries, les micro-supercondensateurs ont un avantage indéniable : ils délivrent de forts courants et leur durée de vie est quasi infinie. Malheureusement, la quantité d'énergie qu'ils peuvent emmagasiner est si faible qu'ils n'ont pour l'heure aucune application.

Avec des collègues canadiens, des chercheurs du Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes<sup>1</sup> (Laas) ont mis au point un nouveau matériau d'électrode constitué d'une structure en or extrêmement poreuse avec insertion d'oxyde de ruthénium.

Résultat : « Ce matériau nous a permis de fabriquer un micro-supercondensateur capable de stocker 1 000 fois plus d'énergie que l'existant », s'enthousiasme David Pech, au Laas. Rivalisant sur ce point avec les micro-batteries Li-ion, tout en conservant ses avantages intrinsèques, ce micro-supercondensateur présente un avantage évident pour l'électronique embarquée et pourrait bientôt s'inviter dans tous nos appareils nomades.

1. CNRS

*Advanced Materials*, septembre 2015.

## RÉSULTAT

### LUMIÈRE SUR LE FONCTIONNEMENT DES SUPERCONDENSATEURS

**Une équipe franco-britannique révèle le détail du transport des charges au sein d'un supercondensateur.**

Indispensables dans les transports ou l'électronique pour fournir des pics de puissance, les supercondensateurs délivrent d'intenses courants pendant quelques secondes. Mais le détail de leur processus de charge reste mal connu. Des mesures de RMN et par microbalances à quartz électrochimique réalisées par une équipe internationale, dirigée par des chercheurs du Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux<sup>1</sup> (CIRIMAT), ont permis de lever une partie du voile. Précisément, les supercondensateurs sont constitués de deux électrodes de carbone présentant des pores nanométriques baignant dans un liquide ionique. Lors de la charge, différents ions entrent et sortent des électrodes selon leur polarité. Or, les chercheurs ont montré que le processus diffère largement entre l'anode et la

cathode. « Du côté de la cathode, nous avons montré que les ions négatifs entrent dans les pores, tandis que les ions positifs en sont éjectés. En revanche, du côté de l'anode, dans le domaine de potentiel exploré, les ions positifs entrent bien dans les pores, mais les ions négatifs n'en sont pas éjectés et restent proches de la paroi », détaille Patrice Simon, à l'origine de cette étude. À terme, ces travaux pourraient aider à mettre au point de nouvelles électrodes permettant d'augmenter la charge des supercondensateurs. Mais également à mieux comprendre le transport des ions dans des systèmes aussi divers qu'une membrane cellulaire ou des systèmes de dessalement de l'eau de mer.

1. CNRS/Université Paul Sabatier

*Nature Materials*, juin 2015

## EN BREF

### LES BATTERIES COMME VOUS NE LES AVEZ JAMAIS VUES

En adaptant une méthode proche de l'imagerie médicale – la résonance paramagnétique électronique – des chercheurs sont parvenus à visualiser pour la première fois les réactions chimiques aux électrodes d'une batterie en cours de fonctionnement. Observant avec précision le transport des ions lors de cycles de charge et de décharge, ils ont établi une cartographie détaillée de cette activité. Un résultat fondamental qui devrait aider au développement de batteries plus puissantes et à durée de vie plus longue.

*Nature Communications*, février 2015



© C. Collin/Lundel Fatale/RSZ

Cellule électrochimique pour étude de matériaux de batterie en RPE, 7 × 55 mm.

## PERSPECTIVE

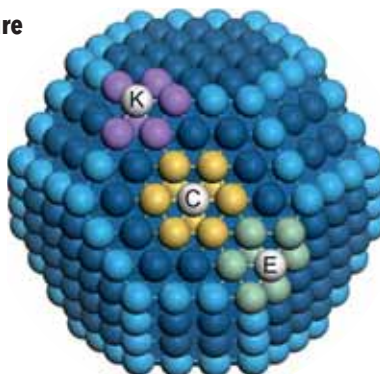
### CATALYSER LA CONCEPTION DES CATALYSEURS

**Une nouvelle méthode permet de déterminer la structure optimale d'un catalyseur.**

Les catalyseurs sont des substances qui favorisent les réactions chimiques et dont l'industrie chimique dépend entièrement. Mais leur développement repose sur des procédés très largement empiriques. Pour accélérer la conception de catalyseurs solides, une équipe internationale intégrant des chercheurs du Laboratoire de chimie de l'ENS de Lyon<sup>1</sup> vient de mettre au point une méthode permettant de déterminer à l'avance la structure moléculaire d'un catalyseur, gage de leur efficacité optimale. Comme l'explique Philippe Sautet, « notre méthode consiste à déterminer le nombre idéal d'atomes devant entourer le centre du site actif, à partir de quoi il est possible de déduire la géométrie à donner au site catalytique ». Les répercussions potentielles de cette nouvelle méthode, testée avec succès, vont de la production chimique à la dépollution en passant par la transformation de l'énergie.

1. CNRS/ENS de Lyon/Université Claude Bernard Lyon 1

Science, octobre 2015



© D. Loffreda - CNRS/ENS Lyon

Nanoparticule de catalyseur contenant différents types de sites. Chaque site contribue à l'activité catalytique en vertu de son nombre de voisins.

## EN BREF

### VERS PLUS D'AUTONOMIE POUR LES VOITURES AU GAZ

Des chercheurs ont mis au point un nouveau matériau qui permet de charger une plus grande quantité de méthane à l'intérieur d'un container. Celle-ci était limitée par le dégagement de chaleur qui accompagne l'adsorption du méthane au sein des pores du matériau de stockage. Le nouveau matériau présente une flexibilité intrinsèque : lors de l'injection du gaz sous pression, les pores se dilatent. Or, l'énergie requise pour ouvrir la structure compense les effets exothermiques liés à l'adsorption. De quoi favoriser l'essor des véhicules au gaz.

Nature, octobre 2015

## INNOVATION

### « BESTIOLE » BOOSTE LE RENDEMENT DES CENTRALES THERMIQUES

**Un nouveau dispositif testé au Four solaire d'Odeillo permet une conversion plus efficace et des durées augmentées de stockage de l'énergie solaire.**

À l'heure de la transition énergétique, la conversion efficace de l'énergie solaire et son stockage constituent un défi et une urgence. Dans une centrale solaire thermique, la lumière est concentrée afin de chauffer un fluide dont la chaleur, une fois transférée à de la vapeur, entraîne une turbine électrique. Cependant, avec les fluides utilisés actuellement, des sels fondus, la température de fonctionnement des centrales plafonne à 550 °C, limitant le rendement thermique et la durée de stockage de la chaleur.

Pour faire mieux, le projet européen CSP2, coordonné par le Laboratoire procédés, matériaux et énergie solaire<sup>1</sup> (Promes), a imaginé « Bestiole », un récepteur solaire pilote dans lequel les sels fondus ont été remplacés par des particules solides en suspension dans l'air.

Entre avril et mai 2015, ce dispositif innovant a été testé au foyer du four solaire de 1 mégawatt d'Odeillo, dans les Pyrénées-Orientales. Résultat : « Les particules ont pu être chauffées jusqu'à 750 °C, ce qui permet d'augmenter de 20 % le rendement des centrales et de 50 % la durée de stockage par rapport aux systèmes actuels », explique Gilles Flamant, au Promes. De quoi laisser envisager rapidement un démonstrateur préindustriel.

1. CNRS



© D. Gauthier/PROMES/CNRS Photoréacteur

> [www.csp2-project.eu](http://www.csp2-project.eu)

Arrivée du récepteur solaire pilote « Bestiole » au four solaire d'Odeillo, dans les Pyrénées-Orientales. Ce récepteur met en œuvre un procédé utilisant des particules solides comme fluide de transfert et matériau de stockage.

**Entre résultats spectaculaires et projets ambitieux, 2015 est une année faste pour la physique de l'infiniment grand et de l'infiniment petit.**

## Les deux infinis plus que jamais en ligne de mire

« En physique des particules, l'évènement de 2015 est incontestablement le redémarrage du LHC. L'accélérateur géant de particules du CERN a désormais une énergie de 13 TeV, soit près du double de celle qu'il avait lors de son arrêt fin 2012 », se réjouit Jacques Martino, qui a dirigé l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) jusqu'à la nomination à ce poste de Reynald Pain, le 1<sup>er</sup> décembre 2015. Après la découverte du boson de Higgs, en 2012, le meilleur des scénarios serait de découvrir des bribes d'une physique non prédite par le Modèle standard, l'actuelle théorie des particules élémentaires. Or, en fin d'année, les détecteurs du LHC ont justement enregistré un début de signal encourageant. « Fin décembre, il était trop tôt pour conclure, mais ces résultats ont soulevé beaucoup d'enthousiasme et nous tenient en haleine », déclare l'ex-directeur.

Du côté de l'infiniment grand, l'évènement le plus marquant de ces derniers mois a eu lieu en février 2016, avec la découverte par la collaboration de Ligo et Virgo des ondes gravitationnelles, prédites par Einstein cent ans plus tôt. Et comme l'explique Jacques Martino, « cette découverte vient conforter notre investissement sur cette problématique ». 2016 verra la mise en place des derniers éléments du démarrage d'*Advanced Virgo*, l'alter ego européen de l'interféromètre américain Ligo. Par ailleurs, en décembre, le satellite de l'Agence spatiale européenne *Lisa Pathfinder*, tête de pont du projet de détection d'ondes gravitationnelles depuis l'espace, a pris son envol. « Nous assistons clairement à l'ouverture d'une nouvelle fenêtre d'observation sur l'Univers », se réjouit Jacques Martino.

**Nous assistons clairement à l'ouverture d'une nouvelle fenêtre d'observation sur l'Univers.**

De même que les capacités de détection des neutrinos, ces particules singulières détenant peut-être le secret de la disparition de l'antimatière dans l'Univers, ont été augmentées en 2015. « Nous avons notamment décidé du lancement de l'observatoire sous-marin KM3NeT/Orca qui prend la suite d'Antares, détaille le physicien. Nous sommes par ailleurs entrés de plain-pied dans l'expérience chinoise Juno, la plus précise au monde pour l'étude des propriétés des neutrinos de réacteurs, en même temps que l'expérience Double Chooz, dont un deuxième détecteur collecte des données depuis décembre 2015 et continue d'apporter des résultats très enthousiasmants. » Et d'ajouter : « La physique des neutrinos est clairement pour nous une priorité. »

Tout comme l'est le projet de télescope LSST dont la première pierre a été posée le 14 avril 2015 sur le site du *Cerro Pachón*, au Chili. Doté de la plus grande caméra numérique jamais construite, il aura notamment pour objectif de réaliser un « film » 3D de l'Univers visible dans le but de mieux comprendre la structure même du cosmos. Si le projet est américain, la France y participe pleinement, avec neuf laboratoires

du CNRS impliqués aussi bien dans le développement de la caméra que dans le traitement de la colossale masse de données. « Sur ce projet phare de l'astronomie de demain, alors qu'il a été décidé cette année que le Centre de calcul de l'IN2P3 jouerait le rôle de site miroir du centre américain, la France est un partenaire incontournable des États-Unis », insiste Jacques Martino. Comme c'est le cas de l'IN2P3 pour tous les grands projets internationaux visant à percer les secrets des deux infinis.



**JACQUES MARTINO,** directeur de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules

Directeur de recherche à l'École des mines de Nantes, Jacques Martino s'est impliqué dans les activités du polarimètre à muons de l'expérience SMC, et participe à l'expérience Double Chooz et au projet Nucifer. Il a dirigé le laboratoire Subatech.

© CNRS / Délégation PMA

# L'étau se resserre sur la matière noire

FOCUS

**Plusieurs expériences non conclusives permettent toutefois de dresser un portrait en creux de cette composante invisible de la matière.**



AMS-02 installé sur la poutre S3 de la Station spatiale internationale.

La nature de la matière noire, qui compterait pour plus de 80 % de la masse de l'Univers, reste encore mystérieuse. Mais les expériences récentes mises au point par les physiciens pour tenter d'en capturer quelques grains permettent aujourd'hui d'en dresser un portrait robot de plus en plus précis.

Ainsi, l'instrument international Edelweiss III, installé dans le Laboratoire souterrain de Modane<sup>1</sup>, a permis d'exclure définitivement l'existence de particules de matière noire d'une masse d'environ 10 gigaélectronvolts (soit 10 fois celle du proton). Quatre autres collaborations pensaient pourtant en avoir détecté la trace entre 2010 et 2013<sup>2</sup>.

Par ailleurs, la collaboration internationale Xenon100, installée dans le laboratoire souterrain du Gran Sasso en Italie, a permis elle aussi de rejeter des signaux détectés en 2013 par une autre expérience. Ceux-ci avaient alors été attribués à des particules inconnues dont la caractéristique aurait été d'interagir avec les électrons de la matière ordinaire<sup>3</sup>.

Quant à l'instrument international AMS, placé sur la Station spatiale internationale, il a enregistré un flux de positons et d'antiprotons dont les caractéristiques pourraient s'expliquer par la présence de matière noire, même si d'autres phénomènes astrophysiques pourraient aussi en rendre compte.

1. CNRS/Université Grenoble Alpes

2. arxiv1603.05120, 2016

3. Collaboration Xenon, Science 349, 851, 2015

## RÉSULTAT

### MUSE RÉVÈLE L'UNIVERS LOINTAIN

**Au terme de sa première saison d'observation, le spectrographe Muse livre une vue 3D sans équivalent du cosmos dans sa prime jeunesse.**

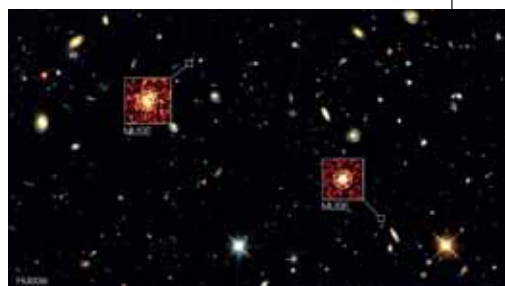
Installé en 2014 au *Very Large Telescope* (VLT), au Chili, le spectrographe Muse, mis au point par sept laboratoires européens pilotés par le Centre de recherche en astrophysique de Lyon<sup>1</sup> (CRAL), a livré ses premiers résultats. Soit, au terme de seulement vingt-sept heures d'observation, la détermination de la distance de 189 galaxies lointaines : 10 fois plus qu'au cours des 15 dernières années. Muse offre aux astrophysiciens le cliché tridimensionnel le plus précis jamais réalisé de l'Univers peu de temps après sa naissance. « La plupart des galaxies observées sont très éloignées et datent de moins d'un milliard d'années après le Big Bang », se réjouit Roland Bacon, responsable de Muse. Mieux, vingt-six n'avaient jamais été détectées avant ! Doté non seulement d'une grande sensibilité et d'un large champ, Muse est de plus capable de déterminer la distance, la composition chimique et la dynamique de nombreux objets

simultanément. En observant bientôt des milliers de galaxies, il aidera à mieux comprendre comment les premières d'entre elles se sont formées et ont ensuite évolué.

1. Université Claude-Bernard Lyon 1/ENS Lyon/CNRS

*Astronomy & Astrophysics*, février 2015

Les nouvelles observations faites avec Muse ont permis de détecter des galaxies éloignées totalement invisibles avec Hubble. Deux d'entre elles sont ici mises en exergue.



© ESO/MUSE Consortium/R. Bacon

## EN BREF

### LES ONDES GRAVITATIONNELLES DU BIG BANG S'ÉVANOUISSENT

Début 2014, la collaboration Bicep-2 affirmait avoir détecté la trace des ondes gravitationnelles directement issues du Big Bang sur le fond diffus cosmologique, soit la plus ancienne lumière émise par l'Univers. Las, l'analyse combinée des données de l'expérience américaine et du satellite européen Planck<sup>1</sup> a montré qu'il n'en était rien. Le signal observé par Bicep-2 était en réalité dû aux poussières présentes dans notre galaxie. Cette collaboration a toutefois permis d'établir une limite supérieure à l'intensité des ondes gravitationnelles primordiales.

1. Les derniers résultats de la mission Planck, pilotée par l'IN2P3 et l'INSU ont été livrés cette année.

*Phys. Rev. Lett.*, mars 2015

## L'IRRADIATION SOLAIRE A MODIFIÉ LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LE DISQUE PROTOPLANÉTAIRE

Certaines météorites, les chondrites carbonées, contiennent de la matière organique particulièrement riche en deutérium, un isotope de l'hydrogène. On comprenait mal pourquoi jusqu'ici. Une équipe française, comprenant des chercheurs du CNRS, a expliqué le phénomène : c'est l'irradiation émise par le jeune Soleil qui a modifié la matière organique primitive présente dans le disque de gaz et de poussières qui allait donner naissance aux planètes. Ce processus aurait eu lieu dans les zones chaudes du disque, c'est-à-dire dans le voisinage de la Terre actuelle.

*Nature Communications*, octobre 2015

## CURIOSITY DÉCOUVRE UNE ANCIENNE CROÛTE CONTINENTALE SUR MARS

Le rover martien de la Nasa, *Curiosity*, a découvert les vestiges d'une croûte continentale primitive sur la planète rouge. Elle serait âgée de plus de 4 milliards d'années. L'analyse d'échantillons rocheux à l'intérieur du cratère *Gale* par l'instrument *Chemcam*, menée par une équipe franco-américaine, a montré que ces roches avaient une composition semblable à celle de la croûte continentale terrestre. La présence de cette croûte très ancienne pourrait indiquer les prémices d'une tectonique des plaques dans l'enfance de la planète.

*Nature Geoscience*, juillet 2015

## ROSETTA RÉVÈLE UNE COMÈTE SURPRENANTE

Dévoilés en 2015, les premiers résultats scientifiques de la mission européenne Rosetta, en orbite autour de la comète Tchourioumov-Guérassimenko depuis août 2014, renouvellent l'image que l'on avait de ces objets du Système solaire. Depuis l'orbite, la sonde a mis en évidence un corps aux reliefs extrêmement accidentés et très poreux. Sur la surface, l'atterrisseur Philae a montré que « Tchouri » est constituée non pas de glace, mais de gros grains carbonés dans lesquels sont piégés des grains de glace et une grande variété de molécules, à base de carbone, dont quatre ont pu être identifiées pour la première fois sur une comète.

*Science*, janvier 2015



© NASA/JPL/Caltech/MSSS



© H. Raguet/MNH/INRS/CNRS Photothèque



© ESA/Rosetta/MSCAM, CC BY-SA IGO 3.0



© NASA/ESA/Hubble Heritage team

## EN IMAGES

### DES SUCRES PRODUITS DANS DES GLACES INTERSTELLAIRES SIMULÉES EN LABORATOIRE

Pour la première fois, une équipe internationale a synthétisé en laboratoire des molécules organiques de la famille des sucres à partir de glaces similaires à celles présentes dans le milieu interstellaire, là où se forment étoiles et planètes. Ces sucres sont des constituants clés du matériel génétique des êtres vivants. La découverte renforce ainsi l'idée que les briques élémentaires de la vie se seraient formées dans le milieu interstellaire avant d'être apportées sur Terre par des comètes ou des astéroïdes.

*PNAS*, janvier 2015

### LE RADIOTÉLESCOPE NOEMA ENTRE EN SERVICE

Avec l'inauguration d'une septième antenne, l'observatoire du plateau de Bure, dans les Hautes-Alpes, est devenu Noema, le radiotélescope millimétrique le plus puissant de l'hémisphère Nord. D'ici à quatre ans, Noema comprendra 12 antennes de 15 mètres de diamètre au total qui permettront aux astronomes d'observer des objets du cosmos avec une très grande finesse. D'ores et déjà, le radiotélescope témoigne de son efficacité : il a découvert une région géante de formation d'étoiles dans la galaxie de la Méduse, à 100 millions d'années-lumière de la Terre.



© A. Rambaud / IRAM

**Les SHS permettent d'appréhender les transformations du monde. Elles le façonnent aussi via leur potentiel de valorisation.**

## Les sciences sociales pour comprendre et construire les sociétés de demain



**PATRICE BOURDELAIS,**  
directeur de l'Institut  
des sciences  
humaines et sociales

Directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS), Patrice Bourdelais est historien et démographe. Ses travaux portent sur la dynamique des populations, les épidémies, le vieillissement de la population et la santé publique.

À ceux qui douteraient de l'importance socio-économique des sciences humaines et sociales, l'année 2015 de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS) apporte un démenti certain. D'une part, elle s'est révélée particulièrement riche en perspectives de transfert des travaux des chercheurs de l'institut vers le tissu économique, culturel, social. D'autre part, ces derniers ont démontré tout l'intérêt de leur expertise pour analyser et comprendre le contexte terroriste dans lequel nous sommes désormais plongés. Les SHS pourvoyeuses d'innovations et créatrices de richesses ? Le deuxième salon Innovatives SHS, destiné à valoriser et transférer les acquis des sciences humaines et sociales vers le monde économique et social, en a été cette année la preuve la plus éclatante. Comme le résume le directeur de l'INSHS Patrice Bourdelais, « 70 projets étaient représentés et nous avons accueilli 1 600 visiteurs venant des mondes politique, industriel, associatif et académique ». Comme en 2013, année où s'est tenu le premier salon Innovatives SHS, « on a retrouvé les temps forts sur le patrimoine et sa valorisation », détaille-t-il. De même, de nombreux projets sur les territoires ont suscité l'intérêt du public. Par ailleurs, un nouveau domaine émerge autour des problématiques liées à la santé. « Beaucoup de projets de réadaptation ou de réapprentissage issus des acquis de la linguistique et des sciences cognitives », ajoute Patrice Bourdelais, pour qui la mise en avant des travaux en SHS est une priorité. En témoigne encore l'investissement de l'INSHS sur les indicateurs de production bibliographique. « Grâce à la Direction de l'information scientifique et technique, nous sommes parvenus à obtenir de la part de Thomson Reuters-Web of Science que les revues de SHS soient intégrées dans la comptabilisation des citations », précise Patrice Bourdelais. L'autre temps fort de l'institut en 2015 concerne l'important bilan des travaux réalisés en SHS depuis des années sur les problématiques connexes aux

attentats. Étude des religions, des logiques de radicalisation et/ou de marginalisation sociale... Ce bilan a mis en lumière leur richesse et leur diversité. « Malheureusement, nous avons également pris conscience que, dans leur immense majorité, ces résultats n'avaient pas ou peu eu d'échos durables au-delà des cercles de spécialistes », commente Patrice Bourdelais. D'où, en particulier, une note de l'Alliance thématique nationale des sciences humaines et sociales (Athena) transmise au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Outre un état des lieux des apports des SHS, elle propose un certain nombre de mesures à prendre d'urgence. Par exemple, renforcer certaines structures qui ont notamment pour mission d'améliorer la formation des professionnels dans les administrations publiques et dans les entreprises, faire du risque terroriste un nouveau sujet de recherche et créer de nouveaux postes. Par ailleurs, pour diffuser le plus largement ces connaissances, plusieurs événements ont été organisés. En particulier la publication d'une importante série d'articles sur la laïcité, les religions et les phénomènes de radicalisation dans *CNRS Le Journal*. De son côté, Athena, en collaboration avec le CNRS et la Conférence des présidents d'université, a organisé une rencontre sur l'intégrisme et le terrorisme. Le laboratoire Droit, religion, entreprise et société a également programmé un cycle de films documentaires pour débattre de la notion de laïcité. Un signe de plus que les SHS irriguent toute la société.

**À ceux qui douteraient de l'importance socio-économique des sciences humaines et sociales, l'année 2015 de l'INSHS apporte un démenti certain.**

# Comprendre le mécanisme cérébral de l'apprentissage par stimulus négatif

**Apprendre à rechercher le plaisir (« récompenses ») et à éviter la douleur (« punitions ») joue un rôle fondamental pour la survie de tout animal, homme inclus. Les neurosciences éclairent le mécanisme, mal connu, de l'apprentissage par « punitions ».**

L'apprentissage par récompense repose sur le fait qu'une action positive mène directement à l'obtention d'un plaisir et, donc, motive l'individu à la répéter. L'apprentissage qui ne repose pas sur un stimulus positif apparaît tout aussi efficace. Comment rendre compte de cette efficacité ? Des chercheurs du Groupe d'analyse et de théorie économique Lyon Saint-Etienne<sup>1</sup> et de l'Institut des systèmes intelligents et de robotique<sup>2</sup> ont étudié la manière dont le cerveau

fonctionne lorsqu'il apprend à éviter les punitions. À partir de l'exemple d'un animal qui se cache dans un trou pour échapper à un prédateur, ils ont mis en évidence que le bon choix — se cacher — acquiert une valeur « relative » positive et devient un support pour l'apprentissage. Démonstré théoriquement sur la base d'un algorithme, ce schéma a ensuite été validé expérimentalement en montrant par imagerie cérébrale qu'en présence d'informations contextuelles, une non-punition s'apparente bien pour le cerveau à une récompense.

1. CNRS/Université Lumière-Lyon 2/Université Jean-Monnet-Saint-Étienne/ Université Claude-Bernard-Lyon 1/École normale supérieure de Lyon
2. CNRS/Université Pierre-et-Marie-Curie

*Nature Materials*, juin 2015

Punition, extrait de Penrod, Booth Tarkington.



@CNRS

La Fondation Del Duca récompense les travaux de la mission Igiliz sur la naissance de l'Empire almohade au Maghreb au XII<sup>e</sup> siècle.

## EN BREF

### SUITE ET FIN DU PANEL DE CAEN

Le dernier volet de l'enquête du CNRS et de l'université de Caen lancée il y a 20 ans sur l'évolution du réseau relationnel des lycéens a débuté cette année. Il explore l'influence de Facebook sur les relations de ces jeunes devenus quadras. Les précédentes vagues d'enquête avaient montré une diminution des relations en nombre avec l'âge, mais un gain en intensité. Des différences selon les catégories socioprofessionnelles, de même que l'influence des liens dans les moments clés de la vie ont également été étudiées. Une exposition a eu lieu en mai 2016 au siège du CNRS.



@CNRS

La géographe Denise Pumain, spécialiste de la ville, 1<sup>re</sup> chercheuse en sciences humaines et sociales à recevoir le Trophée de la femme d'innovation.

## RÉSULTAT

### TROIS MILLE ANS DE TEMPÊTES EN MÉDITERRANÉE RECONSTITUÉS

**Sur les côtes de la Méditerranée occidentale, les périodes tempétueuses coïncident avec les périodes froides.**

Les tempêtes de forte intensité représentent un risque majeur pour les basses terres côtières densément peuplées de la Méditerranée occidentale.

Dans le cadre du programme Dylitag soutenu par le LabEx Archimède, des chercheurs du laboratoire Archéologie des sociétés méditerranéennes<sup>1</sup>, avec l'aide du laboratoire Géosciences Montpellier<sup>2</sup>, sont parvenus à reconstituer et à dater leur succession depuis 3 000 ans, à partir de l'analyse géochimique et magnétique de sédiments de l'étang du Bagnas, dans l'Hérault.

Outre la mise en évidence d'une corrélation entre une forte activité tempétueuse et les époques réputées plus froides, les scientifiques ont également montré un lien entre tempêtes et périodes de transformation des sociétés humaines, telle la fin de l'Empire romain. Ils vont maintenant tenter de cerner l'impact précis de ces phénomènes sur les activités humaines.

1. CNRS/Université Paul-Valéry Montpellier 3/Ministère de la Culture et de la Communication
2. CNRS/Université de Montpellier/Université des Antilles

*Quaternary Science Reviews*, décembre 2015

## FOCUS

# Évolution humaine : ce que nous apprend la datation des outils

**La découverte d'outils très anciens révèle que les hominidés taillaient déjà des pierres il y a 3,3 millions d'années.**

Jusqu'à récemment, les scientifiques tenaient pour acquis que les plus vieux outils en pierre taillée, retrouvés en Éthiopie, étaient âgés de 2,6 millions d'années. Un groupe de chercheurs issus de plusieurs laboratoires vient d'apporter la preuve qu'il n'en est rien. Sur la rive occidentale du lac Turkana, au Kenya, ces scientifiques ont en effet mis au jour des blocs de lave lourds et volumineux ayant servi pour la production des éclats tranchants, à l'aide d'un percuteur et d'une enclume. La datation des couches de cendres intercalées avec les sédiments dans lesquelles étaient emprisonnés les outils ne laisse aucune place au doute : ces artefacts sont âgés de 3,3 millions d'années. « Non seulement cela signifie que les débuts de la taille de pierre sont plus précoces qu'on ne le pensait, traduit Hélène

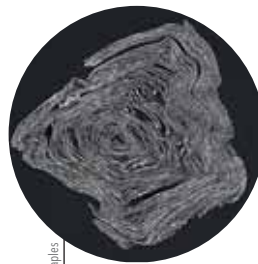
Roche, au laboratoire Préhistoire et technologie<sup>1</sup>. Mais, de plus, qu'on ne les doit pas à des représentants du genre Homo, mais à d'autres hominidés. » Ce résultat fournit la première preuve archéologique de l'existence de capacités cognitives et motrices nécessaires à la fabrication d'outils en pierre dure en dehors du genre auquel appartient notre espèce. Une révolution dans nos connaissances de l'évolution humaine.

1. CNRS/Université Paris-Ouest-Nanterre-La-Défense

Nature, mai 2015



Outil mis au jour lors des recherches menées sur la rive occidentale du lac Turkana, au nord du Kenya, datant de 3,3 millions d'années.



## RÉSULTAT

Coupe tomographique dans le volume du papyrus. Les séquences de lettres trouvées se situent dans une couche cachée du fragment.

## LES PAPYRUS CARBONISÉS D'HERCULANUM ENFIN LISIBLES SANS DOMMAGE

**La tomographie X en contraste de phase permet de détecter des traces d'encre à l'intérieur des rouleaux.**

Découverts il y a 260 ans, les papyrus d'Herculanum ont été ensevelis par l'éruption du Vésuve en 79 de notre ère. Beaucoup ont été ouverts dès 1784, livrant une partie de leurs secrets, mais ont été irrémédiablement mis en pièces. Jusqu'à ce qu'une équipe internationale trouve un moyen de lire ces précieux documents, totalement carbonisés, sans les dérouler. De fait, leur fossilisation par l'action du volcan a laissé leur encre intacte. D'où plusieurs tentatives, jusqu'ici infructueuses, pour accéder à leur contenu par différentes techniques d'imagerie. Pour y parvenir, les chercheurs ont eu recours, au synchrotron européen de Grenoble, à une technique appelée tomographie X en contraste de phase qui exploite les propriétés optiques différentes de l'encre et du support ainsi que le léger relief formé par les lettres. « Nous sommes ainsi parvenus à décrypter quelques mots et un alphabet grec presque complet », s'enthousiasme Daniel Delattre, à l'Institut de recherche et d'histoire des textes<sup>1</sup>.

À terme, l'ensemble des textes philosophiques contenus dans les rouleaux non encore démembrés de la « Villa des papyrus », une villa d'Herculanum, pourraient ainsi être déchiffrés.

1. CNRS

Nature Communications, janvier 2015

## EN BREF

### UNE FOUILLE ENREGISTRÉE EN 3D

Trente-huit objets de cultes remontant du VIII<sup>e</sup> au II<sup>e</sup> siècle avant notre ère ont été découverts dans une fosse dans le temple du dieu Ptah, à Karnak en Égypte. Chaque phase de leur excavation a fait l'objet de dizaines de photographies, permettant de restituer virtuellement chaque étape de la découverte. Résultat : non seulement les objets ont pu être replacés à l'identique dans la fosse après restauration, mais ils ont également été modélisés en 3D. Les scientifiques ont ainsi accès à une « radiographie » de la fosse permettant d'étudier *a posteriori* la constitution du dépôt. Cette technologie de pointe est pour la première fois utilisée de manière aussi poussée dans ce type de contexte archéologique.

### DIX ANS D'ARCHIVAGE OUVERT EN SHS

Sur la plateforme HAL-SHS lancée en 2005 par le Centre pour la communication scientifique directe<sup>1</sup>, les chercheurs déposent eux-mêmes leurs travaux scientifiques en sciences humaines et sociales, publiés ou non, pour que d'autres puissent y accéder librement. La journée d'échanges organisée pour marquer les 10 ans de cet outil au service du partage du savoir a mis en lumière l'importance de la visibilité apportée pour cette diffusion en accès ouvert, bientôt renforcée par le vote de l'article 17 de la loi numérique.

> <https://halshs.archives-ouvertes.fr/>

1. CNRS/Inria/Université de Lyon

# Le CNRS face aux attentats

À la suite des attentats de 2015, le CNRS s'est livré à un important bilan des nombreux travaux réalisés en son sein depuis des années sur les problématiques connexes à la montée en puissance du terrorisme islamiste. L'établissement a par ailleurs lancé un appel à projets intitulé « Attentats-Recherche » sur tous les sujets pouvant relever des questions posées à nos sociétés par les actes terroristes et leurs conséquences. Ouvrant la voie à des solutions nouvelles, qu'elles soient sociales, techniques ou numériques.



© R. Bord/Getty Images

Le 11 janvier 2015, près de 4 millions de personnes ont manifesté en France après les attentats, comme ici à Paris.

## COMPRENDRE L'ÉMERGENCE DE DAECH

La lutte contre l'État islamique impose de comprendre les raisons de son émergence et de son enracinement, en particulier en Irak et en Syrie.

« L'effondrement des États au Moyen-Orient, consécutif à la dégénérescence des Printemps arabes, est à l'origine du succès de l'État islamique et non l'inverse », explique Pierre-Jean Luizard, historien dans le Groupe sociétés, religions, laïcités<sup>1</sup>, et auteur de l'ouvrage *Le Piège Daech*<sup>2</sup>, lauréat du Prix étudiant du livre politique-France Culture. Suite aux attaques terroristes de Paris, son laboratoire a réorienté une partie de son programme de recherche *Islam, politiques, sociétés* vers l'analyse de la faillite de certains États arabes. Lors du colloque « Les Printemps arabes quatre ans après : États et sociétés civiles face aux logiques segmentaires », organisé à Rome en avril 2015, le scientifique a notamment questionné les processus de confessionnalisation qui s'en sont suivis, différents d'un pays à l'autre. Intitulé *Vers un nouveau Moyen-Orient ?*, un ouvrage collectif, en partie issu des actes du colloque, va être publié en juin 2016.

1. CNRS/EPHE

2. *Le Piège Daech. L'État islamique ou le retour de l'Histoire*, Pierre-Jean Luizard, La Découverte, 2015

## LES SOCIÉTÉS MODERNES À L'ÉPREUVE DE LA DIVERSITÉ

« Les attentes d'explications monocausales et de réponses normatives sont grandes depuis les attentats », constate la politiste Nadia Marzouki, spécialiste de l'islam au Centre d'études sociologiques et politiques Raymond-Aron<sup>1</sup>. S'appuyant sur de récents travaux en sociologie, la chercheuse bat en brèche l'idée d'une communauté musulmane figée sur les plans identitaire et culturel. « La majorité des musulmans français s'accommode très bien des règles de la laïcité », montre-t-elle. La gestion de la diversité religieuse est par ailleurs au cœur des travaux de Philippe Portier, spécialiste de l'histoire de la laïcité au sein du Groupe sociétés, religions, laïcités<sup>2</sup>, qui enquête sur les manières de faire cohabiter civisme et éclatement des diversités, notamment à l'échelle européenne.

1. CNRS/EHESS

2. CNRS/EPHE

## REPENSER LA LUTTE CONTRE LE TERRORISME

La France a une longue expérience de lutte contre le terrorisme et des instruments de politique publique éprouvés, mais ces institutions et dispositifs sont inadaptés aux menaces actuelles. Le projet de Jérôme Ferret et Vincent Spennlehauser *L'action publique antiterroriste (APAT)*<sup>1</sup> interroge les réponses des acteurs publics à la menace terroriste : l'institutionnalisation de cette action publique, son organisation, sa professionnalisation, sa conduite, ses partenariats avec les opérateurs privés et sa réflexivité dans des pays démocratiques très exposés. L'hypothèse de travail est de dépasser le caractère confiné de la discussion sur la politique de lutte contre le terrorisme. Cette thématique doit être portée dans le débat public. L'enquête porte sur la France dans une perspective comparative avec l'Espagne, les États-Unis, la Grande-Bretagne et Israël. La manière dont ces pays s'inspirent mutuellement en matière de lutte antiterroriste sera également prise en compte (Policy transfer studies).

1. MSH Toulouse, avec l'École des Ponts ParisTech et un réseau international

**L'INS2I couvre tout le spectre des sciences de l'information, et articule naturellement recherche académique et transfert vers la société.**

## Les sciences de l'information au cœur de la sécurité et des Big Data



**MICHEL BIDOIT,**  
directeur de l'Institut  
des sciences  
de l'information  
et de leurs interactions

Comme le rappelle d'emblée Michel Bidoit, « notre politique scientifique va des fondements de l'informatique aux systèmes sur puce, en passant par le traitement d'images et du signal et la robotique ». Pour autant, à l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I), 2015 a clairement été marquée par des résultats et des événements marquants dans les domaines de la sécurité informatique et des Big Data. Concernant le premier domaine, le directeur met en avant les travaux de l'équipe Caramel, au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications<sup>1</sup> (Loria), et de leurs collaborateurs. Ils ont mis en évidence une nouvelle faille, baptisée Logjam, dans les protocoles de chiffrement cryptographiques, censés assurer la sécurité des échanges d'informations sur Internet.

« Ce sont *a priori* des travaux très fondamentaux en arithmétique des ordinateurs, commente le directeur de l'INS2I. Mais qui ont des répercussions immédiates dans le domaine de la sécurité informatique. »

Au niveau institutionnel, Michel Bidoit se félicite également de la signature d'une convention entre l'Institut de recherche en informatique de Toulouse<sup>2</sup> et l'École Nationale Supérieure de Police. Objectif : travailler main dans la main afin de faciliter la mise en œuvre de recherches en matière de sécurité, notamment l'analyse de données numériques, au profit de l'ensemble des directions de la police nationale. « Cette convention témoigne de l'importance de l'informatique dans les moyens de lutte contre la criminalité et de la crédibilité du CNRS en la matière », insiste Michel Bidoit. Comme en témoigne encore le Prix Inria-Académie des sciences du jeune chercheur, décerné en 2015 à Véronique Cortier, au Loria. Une distinction que la jeune directrice de recherche au CNRS doit à ses travaux sur la vérification automatique des

programmes et sur la sécurisation des protocoles, et qui a notamment mis au point un système de vote électronique open source baptisé Belenios<sup>3</sup>. « Nos efforts sur la sécurité en informatique, très bien illustrés en 2015, se traduiront en 2016 par la création d'un GDR dédié. 2016 sera également déclarée Année de la sécurité », complète Michel Bidoit.

Une chose est sûre, 2015 a également été l'année des Big Data. Un exemple marquant de l'implication du CNRS sur cette thématique ? La signature du projet européen Asterics sur le traitement et le stockage des masses de données issues des observatoires astronomiques, dont le CNRS est un acteur majeur. L'organisme est particulièrement impliqué dans le projet de télescope LLST qui fera bientôt de lui l'hébergeur du plus grand catalogue d'objets célestes au monde. Rien d'étonnant, que 2015 ait vu la création du GDR MaDICS, piloté par l'INS2I, afin de promouvoir et d'animer des activités interdisciplinaires sur les masses de données scientifiques, toutes disciplines confondues. « C'est la conséquence naturelle du défi Mastodons sur la gestion, l'analyse et l'exploitation des très grandes masses de données scientifiques qui, depuis 2012, a progressivement constitué une communauté scientifique interdisciplinaire autour des Big Data et de la science des données », explique Michel Bidoit. Mastodons qui a fait l'objet d'un colloque de restitution en décembre, à l'occasion de la 15<sup>e</sup> rencontre Focus Transfert entre les mondes académique et industriel. De quoi faire de l'INS2I un pivot incontournable de l'informatique et de ses interactions avec les autres disciplines et la société toute entière.

1. CNRS/Inria/Université de Lorraine

2. CNRS/Université Toulouse 1 Capitole/Université Toulouse Jean-Jaurès  
Université Paul-Sabatier/INP Toulouse

3. <http://belenios.gforge.inria.fr/>

## MÊME ABIMÉS, LES ROBOTS RESTENT PERFORMANTS

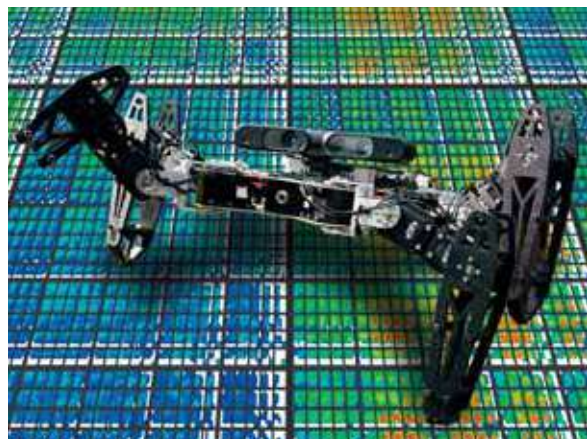
**Un nouvel algorithme permet à des robots de continuer à fonctionner malgré une panne.**

Les êtres vivants ont une grande capacité d'adaptation à leurs blessures. Ainsi, un chien blessé à une patte trouvera rapidement une manière de boiter pour se déplacer. Comment fournir cette faculté adaptative à des robots afin qu'ils restent opérationnels même en cas d'accident ? Des chercheurs de l'Institut des systèmes intelligents et de robotique<sup>1</sup> et du Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications<sup>2</sup> ont imaginé une démarche en deux étapes. Tout d'abord, grâce à un algorithme inspiré de l'évolution darwinienne, le robot réalise une carte comportement/performance détaillée des milliers de façons différentes de réaliser une tâche, par exemple un déplacement. Ensuite, en cas de problème, par exemple une patte défectueuse,

un algorithme d'optimisation exploite les connaissances fournies *a priori* par la carte afin d'y trouver rapidement un nouveau comportement, ici une nouvelle façon de se mouvoir. « En une dizaine d'essais seulement, le robot découvre une nouvelle manière de marcher », précise Jean-Baptiste Mouret. Cette méthode inédite devrait contribuer au développement de robots autonomes plus robustes et plus efficaces, capables, par exemple, d'évoluer dans un environnement difficile sans assistance.

1. CNRS/UPMC  
2. CNRS/Inria/Université de Lorraine

*Nature*, mai 2015



© A. Gully/CC BY SA/UPMC/CNRS Photothèque

Robot capable de réapprendre automatiquement à marcher après avoir subi des dommages.

### EN BREF

#### DEUX PRIX DE L'INFORMS POUR JEAN-BERNARD LASSERRE

Directeur de recherche CNRS de classe exceptionnelle au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes<sup>1</sup>, Jean-Bernard Lasserre a reçu le prix de théorie John von Neumann et le prix Khachiyan de la société internationale InformS qui regroupe des professionnels de la recherche opérationnelle et des sciences de la gestion. Ces prix récompensent l'ensemble de sa carrière et en particulier ses travaux fondateurs dans le domaine de l'optimisation polynomiale.

1. CNRS

#### UN ROBOT VOLANT INSPIRÉ DES INSECTES

Des roboticiens ont mis au point le premier robot capable de se guider sans accéléromètre, comme les insectes. Ce nouvel aéronaf évite les obstacles en réorientant son œil panoramique par rapport à la pente au sol grâce aux vitesses de défilement perçues du paysage. Très léger, ce type de système basé sur le flux optique pourrait servir de dispositifs de secours aux systèmes inertiels des missions spatiales.

*Bioinspiration & Biomimetics*, février 2015



Le robot BeeRotor, équipé d'un œil inspiré des insectes.

© Expert & Ruffier/ISM, CNRS/AMU

## RÉSULTAT

### Des mémoires informatiques inspirées du cerveau

**Utilisées astucieusement, les mémoires magnétiques dites « ST-MRAM » offrent un potentiel inédit en matière de traitement de l'information.**

Sur le papier, les mémoires magnétiques dites « ST-MRAM » sont imbattables. Contrairement aux mémoires volatiles de nos ordinateurs, elles ne nécessitent pas d'alimentation électrique continue. De plus, elles sont beaucoup plus rapides que les mémoires non-volatiles, telles les clés USB ou les CD. Néanmoins, le risque d'inscription d'une information erronée est important, à moins d'y pallier par une importante consommation énergétique.

D'où l'idée de chercheurs de l'Institut d'électronique fondamentale<sup>1</sup> et du CEA de les utiliser dans un dispositif inspiré du cerveau où l'erreur est exploitée de façon probabiliste afin de réaliser des fonctions d'apprentissage. Des simulations ont démontré l'efficacité d'un tel système pour la réalisation de tâches cognitives telle la reconnaissance d'image à moindre coût énergétique. Un premier prototype est en cours d'élaboration.

1. CNRS/Université Paris-Sud

*IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems*, avril 2015

## Les mathématiques : ouverture et interactions

**L'INSMI explore  
les fondements  
des mathématiques.  
Et transfère son  
expertise à l'ensemble  
de la société.**

**D**es fondements du savoir aux interactions, ce pourrait être le résumé de l'année 2015 à l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI). « Alors que 2014 a été marquée par la médaille Fields d'Artur Avila en système dynamique, dit Christoph Sorger, l'année 2015 a vu de nombreux événements mettre en valeur la préoccupation de la communauté mathématique pour le transfert d'expertise, en particulier vers les entreprises et la société. » Les résultats du rapport national sur l'impact socio-économique des mathématiques en France, publiés en mai, en font la démonstration. Deux chiffres à retenir : en France, les mathématiques impactent 15 % du PIB et 9 % des emplois. « Ce n'est pas une surprise, mais il était important de le quantifier », commente le mathématicien. Significatifs, ces chiffres sont à l'image de l'investissement du CNRS dans les interactions. La preuve par l'exemple ? La médaille de l'innovation du CNRS décernée à Jean-Michel Morel, au Centre de mathématiques et de leurs applications<sup>1</sup> pour ses travaux sur le traitement d'images. Ou encore le prix Maxwell de l'*International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM)* pour Jean-Michel Coron, au Laboratoire Jacques-Louis Lions<sup>2</sup> (LJLL) pour ses résultats fondamentaux sur le contrôle des équations aux dérivées partielles, implémentés par exemple pour réguler les rivières de la Meuse et de la Sambre en Belgique. Enfin, pionnier des « maths bio », Benoît Perthame, également au LJLL, dont les travaux ont notamment aidé à optimiser les chimiothérapies, a reçu le Grand Prix Inria. Au quotidien, cette dynamique est mise en musique par l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société<sup>3</sup> qui coordonne de nombreuses actions, aidée par les Maisons de modélisation et de simulation, telles Maimosine

**CHRISTOPH SORGER,**  
directeur de l'Institut  
national des sciences  
mathématiques  
et de leurs interactions

Professeur à l'université de Nantes, Christoph Sorger a travaillé sur les théories conformes de champs, puis sur la géométrie symplectique complexe. Il a fondé et dirigé la fédération de recherche Mathématiques des Pays de Loire.

**En France,  
les mathématiques  
impactent 15 % du PIB  
et 9 % des emplois.**

à Grenoble ou Cemosis à Strasbourg. « Localiser des sources de vibration, modéliser la dynamique de la banquise, analyser des données sur l'effort physique en altitude... Chaque année, ces structures traitent une dizaine de sujets de ce type, preuve que les mathématiques soutiennent très concrètement l'innovation », insiste Christoph Sorger. Ouverture également vers le grand public. 2015 a ainsi vu la mise en place du GDS Audimath, un réseau du CNRS pour les acteurs de la communauté universitaire investis dans des activités de diffusion des mathématiques. En la matière, l'année a été riche en événements, comme l'exposition *Imaginary* de visualisation artistique de formes mathématiques, organisée à Marseille dans le cadre du Forum des mathématiques vivantes.

« L'Institut Henri-Poincaré à Paris, le Centre international de rencontres mathématiques à Marseille, la Maison des maths et de l'info à Lyon... de nombreux pôles contribuent à la diffusion de la culture mathématique sur le territoire », nous signale Christoph Sorger. Signe de reconnaissance

internationale : le prix Clay pour la médiation des mathématiques remis à Étienne Ghys, qui a notamment été à l'initiative de la Maison des mathématiques et de l'informatique. Ouverture vers les jeunes, avec la publication de la nouvelle brochure Onisep sur les métiers des mathématiques et de l'informatique, à laquelle ont contribué plusieurs mathématiciens du CNRS.

1. CNRS/ENS Cachan/Université Paris-Saclay

2. CNRS/Université Pierre-et-Marie-Curie/Université Paris Diderot

3. CNRS/Université Grenoble Alpes

## FOCUS

# La conjecture de courbure $L^2$ en relativité générale enfin résolue !

**Des travaux théoriques permettent de préciser les conditions d'existence des solutions aux équations d'Einstein.**

Imaginez il y a 100 ans par Albert Einstein, la relativité générale a vu ses prédictions vérifiées expérimentalement avec une précision inégalée, comme en témoigne encore cette année la première observation directe des ondes gravitationnelles.

Pour autant, au niveau mathématique, les équations d'Einstein sont loin d'avoir livré tous leurs secrets. Comment leurs solutions évoluent-elles au cours du temps ? Peuvent-elles former des singularités, soit ces régions où le champ de gravitation est infini, ailleurs qu'au sein des trous noirs ? Autant de questions encore très largement ouvertes.

En collaboration avec deux chercheurs de l'université de Princeton, Jérémie Szeftel du laboratoire Jacques-Louis Lions<sup>1</sup> vient ainsi de résoudre la conjecture dite de « courbure  $L^2$  » qui précise les conditions d'existence d'une solution aux équations d'Einstein. Précisément, « elle affirme que les équations d'Einstein ont toujours une solution dès lors qu'à l'instant initial, l'objet mathématique qui décrit la façon dont l'Univers se déforme sous l'effet de la gravitation est de carré intégrable, c'est-à-dire que l'intégrale de son carré est un nombre fini », explique le scientifique.

Technique ? Assurément. Mais crucial pour, à terme, rien de moins que s'assurer de la validité physique de la relativité générale.

1. CNRS/Université Pierre-et-Marie-Curie/Université Paris Diderot

*Inventiones Mathematicæ*, octobre 2015

## RÉSULTAT

# LES MATHS AIDENT LA MÉDECINE PRÉDICTIVE

**Comment apprécier le moment opportun pour opérer une tumeur ? Comment évaluer rapidement l'efficacité d'un traitement ? Le logiciel Nénuphar aide radiologues, oncologues et chirurgiens à décider.**

Ce n'est que le premier fruit d'une collaboration entre des chercheurs de l'Institut de mathématiques de Bordeaux<sup>1</sup> et des médecins de l'Institut Bergonié et du CHU de Bordeaux : le logiciel « Nénuphar », basé sur un modèle mathématique décrivant la croissance d'une tumeur, évalue son agressivité et la réponse au traitement. Une aide à la médecine personnalisée ? Oui car le modèle, calibré sur chaque patient, prédit l'évolution du volume de la tumeur, de sa forme et de sa localisation et permet de décider, pour chaque cas, le moment le plus opportun pour une intervention ou un examen de contrôle. L'approche s'est révélée si convaincante sur les métastases pulmonaires qu'elle a été étendue aux tumeurs intracrâniennes.

1. CNRS / Université de Bordeaux, INP, Equipe Projet Commun MC2 Inria

## RÉSULTAT

# LES DISCOURS POLITIQUES AU CRIBLE D'UN LOGICIEL

**Les politiques sont-ils cohérents ? Disent-ils vrai ? Changent-ils d'avis ? Une application permettra bientôt de le vérifier à coup sûr.**

Une application pour vérifier les déclarations des hommes et des femmes politiques ? C'est l'idée proposée par Xavier Tannier, au Laboratoire d'information pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur<sup>1</sup> et Ioana Manolescu de l'Inria. Tout juste primé par Google et désormais financé par l'ANR, ce projet en collaboration avec le journal *Le Monde* a pour objectif la mise au point d'outils s'appuyant sur une base de données alimentée par les journalistes, et sur un ensemble de déclarations, par exemple les sites personnels et les comptes Twitter des personnalités politiques. À terme, ils permettront d'analyser les opinions et éléments de langages dans les discours politiques, afin, par exemple, de déterminer si tel ou telle n'a pas formulé deux opinions contradictoires à deux moments différents.

1. CNRS

## PRIX

# JEAN-MICHEL MOREL REÇOIT LA MÉDAILLE DE L'INNOVATION

Jean-Michel Morel, du Centre de mathématiques et de leurs applications<sup>1</sup>, a reçu la médaille de l'innovation 2015 du CNRS pour ses travaux dans le domaine du traitement d'images. Son algorithme de « débruitage », installé désormais sur des millions de smartphones, est en particulier à la source de la qualité de leur appareil photo. Au cours de sa carrière, le mathématicien a également collaboré avec le CNES pour la conception de satellites d'observation, et avec de nombreuses sociétés pour des applications allant du traitement vidéo à la vision de nuit.

1. CNRS/ENS Cachan/Université Paris-Saclay



© C. FRESILLON/CNRS Photothèque

## Le triptyque gagnant de la biologie

**Exploration, interface, rupture. Tel est le credo mis en avant par l'INSB et illustré par de nombreux résultats et événements de l'année 2015.**

**CATHERINE JESSUS, directrice de l'Institut des sciences biologiques**

Directrice de recherche CNRS, Catherine Jessus a mené des travaux sur la division cellulaire et la formation des gamètes dans des laboratoires de recherche en Belgique et aux États-Unis. Elle a dirigé le laboratoire Biologie du développement.

« Nous vivons ce tournant majeur qui nous fait prendre conscience que des pans entiers du vivant nous sont totalement inconnus », déclare Catherine Jessus, directrice de l'Institut des sciences biologiques (INSB). Un seul exemple ? La découverte par des scientifiques du laboratoire Information génomique et structurale<sup>1</sup> d'un nouveau type de virus géant, baptisé *Pithovirus sibericum*, 10 fois plus gros que les virus habituels et doté d'un génome aussi complexe que celui des bactéries. Enfoui dans le pergélisol sibérien, il était resté inactivé pendant 30 000 ans. Un résultat qui a valu à l'équipe de Chantal Abergel et Jean-Michel Claverie le Prix La Recherche 2015.

Face à ce constat de l'étendue de la « matière noire » biologique, un seul mot d'ordre à l'INSB : exploration. « Au sens propre, commente la directrice, comme par exemple l'expédition Tara Oceans qui a révélé cette année que 80 % du génome des organismes planctoniques était inconnu. Mais également à travers de nouveaux modèles ou de nouveaux concepts. »

En particulier, ces derniers sont désormais à rechercher aux interfaces de la biologie avec les autres disciplines, chimie, physique, sciences de l'information... c'est désormais indispensable », insiste Catherine Jessus.

Le résultat obtenu cette année par Manouk Abkarian, au Centre de biochimie structurale<sup>2</sup>, l'illustre à merveille. Entouré d'une équipe multidisciplinaire, il a mis en évidence le rôle clé joué par la géométrie des écoulements sanguins dans la survenue des crises de vaso-occlusion associées à la drépanocytose. Pour l'INSB, un des enjeux est donc d'encourager, au sein d'une même unité de recherche, la constitution de groupes où coexistent des chercheurs de plusieurs disciplines. « Un très bel exemple que nous avons accompagné est la mise sur pied cette année d'un groupe de philosophes dans l'unité

Composantes innées de la réponse immunitaire et différenciation<sup>3</sup> qui permet de conceptualiser les frontières du soi et du non-soi qui sont au cœur de l'immunologie », détaille Catherine Jessus. Enfin, la directrice entend mettre en avant le concept de « rupture ». « C'est l'idée selon laquelle les découvertes importantes et novatrices ne se décrètent pas. Mais nécessitent un environnement de recherche qui laisse le temps à des chercheurs talentueux de développer leur curiosité et leur imagination sans autre pilotage que leur propre inspiration », explique la biologiste. Plusieurs résultats publiés cette année illustrent le bien-fondé de cette démarche, par exemple les travaux de chercheurs du Centre de biologie du développement de Toulouse<sup>4</sup>. En étudiant la drosophile, ils ont montré que des ARN réputés non codants étaient en fait à l'origine de micropeptides jugés jusqu'alors sans intérêt. Or ils ont révélé que ces derniers jouent un rôle de premier plan dans le contrôle du développement embryonnaire. « Cet aspect inexploré de la régulation cellulaire pourrait ouvrir un champ nouveau de recherche », s'enthousiasme Catherine Jessus.

Tout comme les travaux d'une équipe de l'Institut de biologie moléculaire des plantes<sup>5</sup> qui a mis en évidence le rôle de deux protéines de l'Arabidopsis, une plante modèle, comme acteur clé de la division cellulaire. Un résultat qui révèle de nouveaux mécanismes biologiques insoupçonnés tout en ouvrant des perspectives inédites en cancérologie. Appuyant finalement sur un moteur fort de l'INSB : la quête de l'imprévu sous toutes ses formes !

1. CNRS/Institut de microbiologie de Méditerranée/Université d'Aix-Marseille

2. CNRS/Inserm/Université de Montpellier

3. CNRS/Université de Bordeaux

4. CNRS/Université Paul-Sabatier Toulouse III

5. CNRS/Université de Strasbourg

# La mécanique du ribosome humaine révélée

## FOCUS

**En utilisant plusieurs techniques de pointe, une équipe de biologistes est parvenue à déterminer la structure et la dynamique du ribosome.**

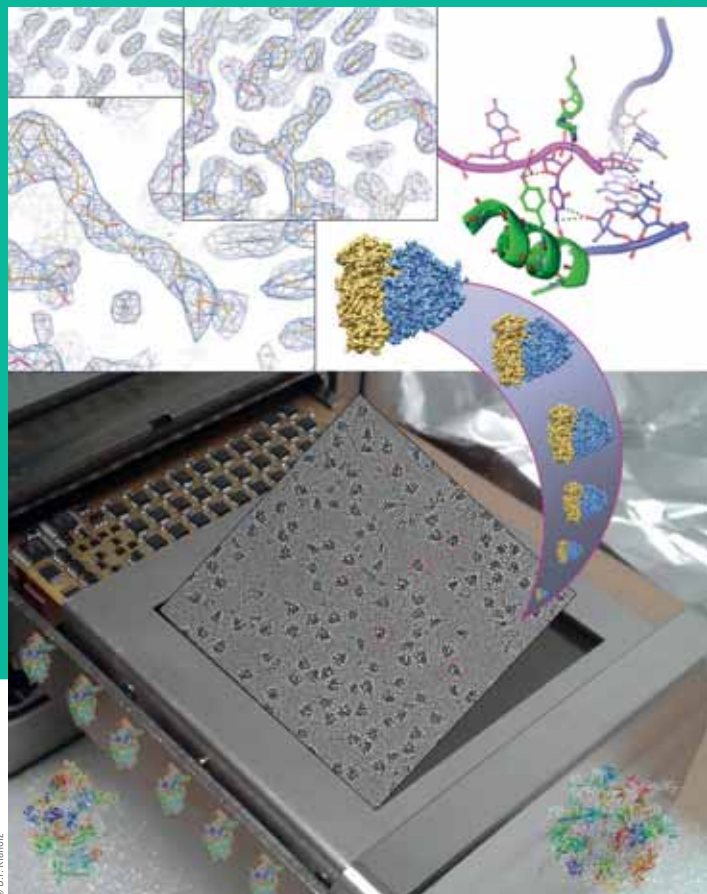
Au sein des cellules, les ribosomes agissent comme de véritables nano-usines pour l'expression des gènes et la synthèse des protéines. D'où ce rêve de biologistes de percer leur structure 3D au niveau atomique, ainsi que leur dynamique.

Pour y parvenir, une équipe de l'Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire<sup>1</sup> a mis à contribution un appareil de cryo-microscopie électronique unique en France, couplé à un logiciel de traitement des données et de reconstruction 3D. De quoi obtenir des images à la précision jamais atteinte de 3 Å. « Ainsi, nous sommes par exemple arrivés à montrer que les ARN de transfert, après avoir livré leurs acides aminés, continuent à interagir avec le ribosome en un site spécifique, indique Bruno Klaholz, à l'origine de ces travaux. Ou bien que l'interface de chaque sous-unité du ribosome est remodelée au cours de la synthèse protéique. »

Un tel niveau de détails va notamment permettre d'étudier précisément les effets secondaires de certains antibiotiques destinés à s'attaquer aux ribosomes bactériens, qui peuvent cibler « par erreur » le ribosome humain.

1. CNRS/Université de Strasbourg/Inserm

Nature, avril 2015



Reconstruction 3D de la structure atomique du ribosome humain complet appliquée aux images obtenues par cryo-microscopie électronique.

Amas d'alpha-synucléine fibrillaire observés au microscope électronique.

## RÉSULTAT

## DEUX MALADIES POUR UNE SEULE PROTÉINE

**Selon la structure adoptée par les agrégats d'une même protéine, cette dernière est à l'origine de plusieurs maladies.**

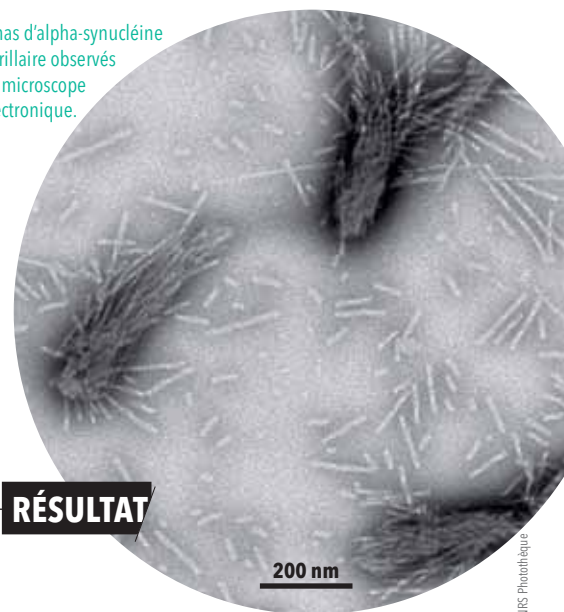
Lorsqu'elle s'agrège et adopte une forme fibrillaire, la protéine alpha-synucléine est à l'origine de plusieurs maladies neurodégénératives. Mais comment ?

Pour le savoir, une équipe franco-belge incluant des chercheurs de l'Institut des neurosciences Paris-Saclay<sup>1</sup> a commencé par isoler cinq fibres de structures différentes et en ont injecté séparément les deux formes prépondérantes à des rats. Dans les deux cas, les fibres se sont révélées toxiques pour les neurones. Mais, alors que la forme en « spaghetti » des agrégats a provoqué la maladie de Parkinson, celle en « linguines » a été à l'origine du développement de l'atrophie multisystématisée (AMS). « Nous soupçonnions ce lien entre le type de maladie déclarée et la structure des agrégats protéiques, mais la relation de cause à effet n'était pas établie », précise Ronald Melki, impliqué dans ces travaux.

La conformation propre à chaque type de fibre pourrait être exploitée pour mettre au point des outils diagnostics plus précis et des traitements spécifiques de ces deux affections.

1. CNRS/Université Paris-Saclay

Nature, juin 2015



© L. Bousset/Neuro-P5/CNRS Photothèque

## IMMUNITÉ DES PLANTES : UNE NOUVELLE ARME IDENTIFIÉE

**Des biologistes viennent de préciser le détail moléculaire d'une stratégie de défense inédite et peut-être centrale chez les plantes.**

Depuis des millions d'années, plantes et bactéries se livrent une course à l'armement. Ainsi, pour infecter son hôte, la bactérie *Xanthomonas* lui injecte une protéine capable de neutraliser son système d'alerte. Pour se défendre, l'Arabette des dames est équipée d'un système de leurre qui mime ce mécanisme de défense, et déclenche des représailles ciblées et intenses en cas d'attaque. Mais comment ?

En croisant des outils génétiques et biochimiques, des chercheurs franco-chinois ont collaboré afin d'élucider les mécanismes moléculaires sous-jacents. Ainsi, en cas d'attaque du leurre, une molécule nommée RKS1 établit un pont moléculaire entre ce dernier et la protéine ZAR1, pivot de l'immunité des plantes. Celle-ci pilote alors la réponse de la plante contre l'attaque bactérienne. Mieux, comme l'explique Laurent Noël, du Laboratoire des interactions plantes micro-organismes<sup>1</sup>, « nous avons découvert que ce mécanisme est également à l'œuvre dans la réponse de l'Arabette contre les bactéries du genre *Pseudomonas* ». Des résultats qui suggèrent que ce mécanisme inédit pourrait constituer une stratégie de défense générique contre les infections chez les plantes.

1. CNRS/Inra

*Cell Host & Microbe*, septembre 2015

Culture de la plante modèle Arabette des dames, « *Arabidopsis thaliana* », au stade de la floraison.



© B. Rajau/CNRS Photographie

### EN BREF

#### SOUS-NUTRITION : UN COUP DE POUCE BACTÉRIEN

Une équipe de biologistes a montré qu'en cas de sous-nutrition chronique, certains lactobacilles présents dans l'intestin favorisent l'expression et l'activité d'enzymes digestives. Ce mécanisme d'optimisation de la digestion, observé chez la drosophile, conduit à une meilleure assimilation des nutriments disponibles. Ces travaux mettent en lumière le rôle central des micro-organismes intestinaux, le microbiote intestinal, dans la réponse physiologique à la sous-nutrition chronique et en particulier son importance pour la croissance juvénile.

*Cell Host and Microbe*, octobre 2015



Dans un milieu nutritif carencé, les larves colonisées par *Lactobacillus plantarum* (colorées en bleu) sont plus avancées dans leur croissance que le reste de la fratrie.

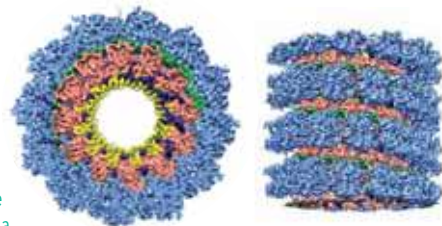
© F. Leulier/BDIM/CNRS Photographie

#### DANS L'INTIMITÉ DU VIRUS DE LA ROUGEOLE

Grâce à un microscope électronique de pointe et une nouvelle méthode de traitement du signal, des chercheurs sont parvenus à révéler la structure 3D de la protéine qui encapsule l'information génétique du virus de la rougeole. C'est la première fois que la nucléocapside d'un tel organisme est déterminée dans la conformation adoptée au sein du virus et par ailleurs à la résolution record de 4,3 Å. La possibilité d'étudier en détail les interactions entre la protéine et l'ARN du virus ouvre la porte à la mise au point de nouveaux traitements contre cette infection très contagieuse.

*Science*, avril 2015

Vue de dessus et de côté de la structure tridimensionnelle de la nucléocapside du virus de la rougeole résolue à 4,3 Å par cryo-microscopie électronique.



© G. Effantin/UMR1185/CNRS Photographie

#### UNE NOUVELLE PROTÉINE VIRALE SORT DE L'OMBRE

Céréales, pomme de terre, betterave à sucre, colza... autant de cultures auxquelles s'attaquent les virus *Luteoviridae*. En l'étudiant, des biologistes ont mis en évidence un minuscule gène jusqu'ici passé inaperçu qui code pour une protéine, indispensable au virus pour infecter ses hôtes. Une découverte qui ouvre de nouvelles pistes pour lutter contre la maladie, aujourd'hui traitée avec des pesticides, en ciblant les pucerons qui la transportent.

*PLOS Pathogens*, mai 2015

## Les cellules cancéreuses mettent la pression

**La pression mécanique exercée par la croissance d'une tumeur déclenche la transformation des cellules saines en cellules tumorales.**

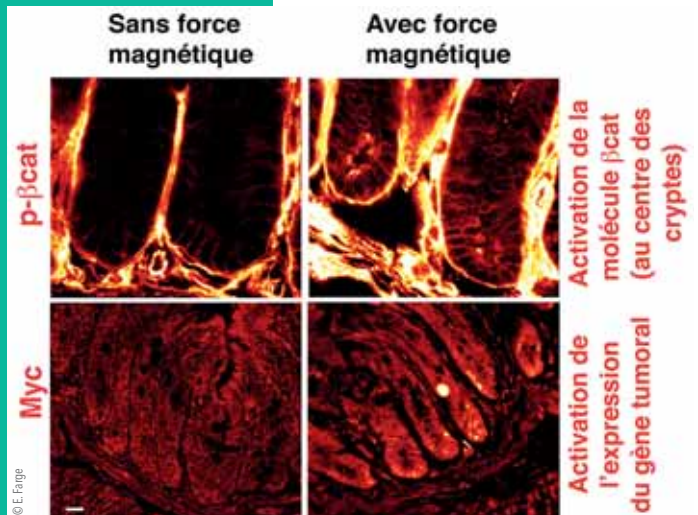
Et si la formation des tumeurs n'était pas un phénomène purement biochimique ? C'est ce que suggère une étude menée par des chercheurs de l'équipe Mécanique et génétique du développement embryonnaire et tumoral<sup>1</sup>, à l'Institut Curie, sur des tumeurs du côlon chez la souris.

Ces chercheurs ont en effet découvert que, lorsqu'une tumeur croît, la pression qu'elle exerce sur les cellules saines voisines peut déclencher la transformation de ces dernières en cellules tumorales.

« Nous avons observé que cette pression déclenche l'expression de gènes tumoraux dans les cellules saines provoquant leur division anarchique, explique Emmanuel Farge, responsable de l'équipe. Ces gènes sont également connus pour réduire l'adhésion entre cellules, première étape indispensable pour qu'une cellule tumorale puisse migrer et former des métastases. » Un processus mécanique qui pourrait bientôt suggérer de nouvelles pistes thérapeutiques.

1. CNRS/Inserm/UPMC/Institut Curie

Nature, mai 2015



Sous l'effet de la pression, la protéine bêta-caténine se détache de la membrane cellulaire pour aller dans le noyau où elle active alors des oncogènes qui favorisent la croissance tumorale.

## RÉSULTAT

### UNE PROTÉINE INDISPENSABLE À LA CROISSANCE DES PLANTES

**Une étude révèle le rôle clé de la protéine FBL17 sur l'ensemble du cycle cellulaire des plantes.**

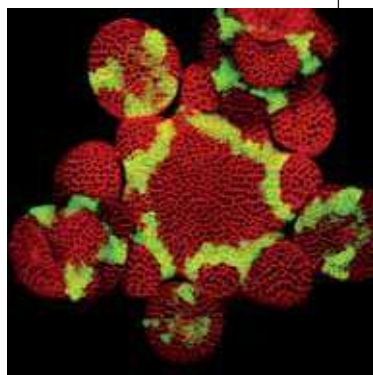
Le cycle cellulaire des végétaux demeure encore assez mal compris. L'équipe de Pascal Genschik, à l'Institut de biologie moléculaire des plantes<sup>1</sup> vient de lever une importante partie du voile en mettant en lumière le rôle crucial joué par la protéine FBL17 pour le bon développement des plantes.

« Sur des mutants dépourvus du gène codant cette protéine, nous avons observé que la réplication de l'ADN était fortement perturbée, avec pour conséquence une division cellulaire altérée, explique le biologiste. De plus, lorsque celle-ci se produit néanmoins, les cellules filles présentent de graves dommages génétiques. »

Outre l'intérêt fondamental de ces travaux, ceux-ci ouvrent des perspectives en agriculture pour un meilleur contrôle de la croissance des plantes.

1. CNRS/Université de Strasbourg

Plant Cell, mai 2015



Méristèmes d'« Arabidopsis thaliana » (Arabettes des dames).



@CNRS

Des biologistes ont découvert une nouvelle enzyme impliquée dans le parfum des roses, ouvrant de nouvelles perspectives pour leur sélection.

## EN BREF

### LA LOI DE BELL-EVANS BOUSCULÉE

Les cellules sondent leur environnement via des liaisons chimiques dites « ligand-récepteur ». Selon la loi de Bell-Evans, ces liaisons ont une particularité : elles se renforcent lorsqu'on veut les rompre. Mais en utilisant une technique de microscopie à force atomique, des chercheurs ont observé pour la première fois que l'inverse peut également être vrai. Cet effet « anti Bell-Evans » renouvelle notre compréhension des interactions entre une cellule et son support.

J. Mater. Chem. B, janvier 2015

### ANNE-VIRGINIE SALSAC, DOUBLEMENT PRIMÉE AUX TROPHÉES FEMMES EN OR 2015

Physicienne au laboratoire Biomécanique et bioingénierie de Compiègne<sup>1</sup>, Anne-Virginie Salsac a reçu deux Trophées Femme en Or 2015 : « Femme en Or de l'Innovation » et le « Trophée du public ». Avec la Médaille de bronze que le CNRS lui a décernée en 2015, ces deux nouvelles distinctions récompensent ses travaux en biomécanique des fluides appliquée à la santé. Et en particulier l'étude de microcapsules capables de véhiculer des médicaments à travers la circulation sanguine.

1. CNRS/Université technologique de Compiègne

**Aux avant-postes scientifiques de la COP21, l'INEE a également déployé sa démarche d'écologie globale des mangroves aux océans.**

## L'écologie au-delà du changement climatique



**STÉPHANIE THIÉBAULT,**  
directrice de  
l'Institut écologie et  
environnement

© CNRS / Délégation PMA

Le réchauffement climatique est inéluctable. Ainsi, tout à sa mission d'étudier les impacts du changement global sur la biosphère et d'apporter des réponses aux problématiques liées, rien d'étonnant à ce que l'INEE ait porté cette année la participation du CNRS à la 21<sup>e</sup> conférence de l'ONU pour lutter contre le changement climatique, la COP21. À travers de nombreuses manifestations scientifiques, mais également grand public.

Ainsi, ses chercheurs ont activement participé à la Plateforme Océan et Climat<sup>1</sup>, pour faire accepter aux instances internationales l'importance de l'océan dans les enjeux climatiques. De même, ils étaient en première ligne lors de la conférence *Our Common Future under Climate Change*, initiée par la communauté scientifique française, au premier rang de laquelle le CNRS, qui s'est tenue à l'Unesco du 7 au 10 juillet, en forme de préambule scientifique à la conférence de Paris. « Pour la première fois dans l'histoire des négociations climatiques, les scientifiques étaient sur le devant de la scène », se félicite Stéphanie Thiébault.

Il s'agissait de sensibiliser les décideurs, mais également la société toute entière, comme l'illustre par exemple l'investissement de l'institut et du CNRS sur les sciences participatives. De même, les scientifiques de l'INEE ont répondu présents lors du *Blackmarket for Useful Knowledge and Non-Knowledge*<sup>2</sup> qui, le temps d'une soirée, a réuni au musée de l'Homme public et experts via 150 tête-à-tête. Et comme pour résumer l'ensemble, les éditions du CNRS ont publié *Quelles solutions face au changement climatique ?* « Rassemblant les contributions d'une cinquantaine de scientifiques et d'autres acteurs, il vise à donner les éléments pour comprendre et proposer des solutions pour lutter contre le réchauffement climatique », détaille Stéphanie Thiébault. Autre temps fort pour la directrice : 2015, l'année de la mangrove à l'INEE. « Au départ, ce n'était qu'un

petit appel à projet, mais dont les répercussions ont été au-delà de nos espérances », s'étonne-t-elle. Objectif : documenter sous tous les aspects ces milieux fragiles méconnus, à la fois réservoirs de biodiversité, puits de carbone et rendant d'importants services écosystémiques.

« Treize projets ont été sélectionnés qui, pour la première fois, ont permis à l'ensemble des scientifiques s'intéressant aux mangroves de part le monde de travailler ensemble », explique Stéphanie Thiébault. Parmi ces projets, une étude sur les paléo-mangroves de la péninsule arabique, une autre sur l'évolution des mangroves face aux changements climatiques ou encore une autre sur la continuité (ou pas) des usages et des services rendus par ces milieux face aux changements globaux... dont les conclusions feront l'objet d'un ouvrage et d'un colloque en octobre 2016.

**Pour la première fois dans l'histoire des négociations climatiques, les scientifiques étaient sur le devant de la scène.**

Enfin, impossible de ne pas finir ce panorama de l'année 2015 de l'INEE sans citer la mission Tara Océans initiée par Éric Karsenti, médaille d'or 2015 du CNRS, et Françoise Gaill, ex-directrice de l'institut. « C'était une idée folle, ils ont su nous convaincre et ça a donné ce que ça a donné ! », résume Stéphanie Thiébault. Précisément en 2015, cinq publications dans *Science*, prélude à une moisson scientifique grand format. À la croisée du vivant, de l'environnement et des interactions Hommes-milieus. Là où se trouve l'INEE.

1. <http://www.ocean-climate.org/>  
2. <http://www.formsofcouncil.org/en/>

# Séquençage des chromosomes sexuels : fin du casse-tête

**Une nouvelle technique de séquençage ouvre des perspectives pour étudier les spécificités des chromosomes sexuels.**



Une Caryophyllacée parasitée par un champignon pathogène, le *Microbotryum lychnidis-dioicae*, qui stérilise ces petites fleurs de montagne.

Les outils de séquençage à bas coût permettaient jusqu'ici de lire seulement quelques centaines de paires de bases d'un coup sur un chromosome. Trop peu pour les chromosomes sexuels, riches en séquences particulièrement longues et presque identiques entre elles, donc très difficiles à réassembler une fois tous les fragments séquencés.

Grâce à une nouvelle technique permettant de décoder des fragments de 8000 paires de bases en une seule fois, des chercheurs du laboratoire Écologie, systématique et évolution<sup>1</sup> sont parvenus à passer outre cette difficulté. Résultat : le séquençage et l'assemblage complet des chromosomes sexuels du champignon *Microbotryum*

*lychnidis-dioicae*. « Nous avons ainsi pu confirmer que la partie de ces chromosomes qui ne recombine pas — c'est-à-dire qui n'échange pas de matériel génétique avec l'autre chromosome — s'étend sur plus de 90 % de la longueur des chromosomes, comme on l'observe chez certains chromosomes sexuels de plantes ou d'animaux », détaille Tatiana Giraud, impliquée dans cette étude. Plus généralement, cette nouvelle méthode devrait aider à mieux comprendre les forces évolutives particulières à l'œuvre sur les chromosomes sexuels.

1. CNRS/Université Paris-Sud / AgroParisTech

Genetics, juin 2015

## EN BREF

### LUMIÈRE SUR LA DIVISION CELLULAIRE DES BACTÉRIES

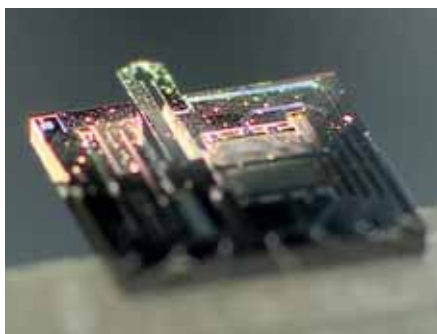
Comment l'information des bactéries est-elle dupliquée et partitionnée lors de la division cellulaire ? En combinant plusieurs techniques, des biologistes ont montré que l'ADN et les protéines impliquées dans le processus s'auto-assemblent de façon stochastique sous l'effet d'interactions synergiques. Outre son intérêt pour la compréhension de la ségrégation de l'ADN bactérien, cette approche est généralisable à un grand nombre de machineries moléculaires qui s'auto-assemblent en superstructures fonctionnelles.

Cell Systems, août 2015

### UNE NANO-PINCE POUR ÉTUDIER L'ADN

Une équipe franco-japonaise a conçu un microsystème électromécanique (Bio-MEMS) en silicium capable de manipuler l'ADN grâce à deux bras mobiles se terminant par des pointes. Ces « nano-pincettes » sont par exemple utilisées pour étirer des brins d'ADN soumis à différentes doses d'irradiation afin de mesurer en temps réel leur taux de cassure. Appliquée à l'ADN de cellules tumorales prélevées sur les patients, cette technique pourrait permettre de personnaliser la dose de rayonnements nécessaire pour traiter une tumeur.

Une nano-pince en silicium, micro-outil capable de manipuler et analyser des cellules ou fibres moléculaires.



© M. Delaunay/CNRS Images

## PERSPECTIVE

### GÉNOMIQUE ENVIRONNEMENTALE : UN NOUVEAU REGARD SUR LE VIVANT

**Grâce aux nouvelles techniques génomiques, la complexité du vivant et de ses interactions est à portée de main. Un ouvrage fait le point sur cette révolution.**

À la croisée de la biologie et des sciences de l'environnement, la génomique environnementale consiste à étudier le vivant, sa complexité et son fonctionnement, à travers l'analyse de très gros volumes d'information génétique. Une approche inédite rendue possible grâce aux techniques de séquençage à haut débit. « L'étude de l'écologie et de l'évolution d'un grand nombre d'espèces, encore impossible hier, est désormais à portée de main », juge Denis Faure, à l'institut de Biologie intégrative de la cellule<sup>1</sup> et coordinateur du groupe de recherche Génomique environnementale<sup>2</sup>.

À destination du grand public, l'ouvrage *Empreinte du vivant, l'ADN de l'environnement*, paru en novembre et rédigé par des chercheurs du CNRS et leurs collaborateurs, invite à découvrir cette jeune discipline. Elle représente une opportunité exceptionnelle pour répondre aux défis posés en matière d'environnement, de réchauffement climatique, et plus généralement de maîtrise des impacts du changement global sur les écosystèmes.

1. CNRS/Université Paris Sud/CEA

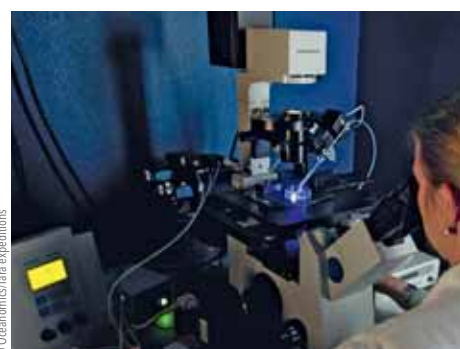
2. <https://gdr.3692.wix.com/gdrge>

# TARA OCEANS : UN MONDE INCONNU SOUS L'OCÉAN



© G. Bournaud, C. Sardet / Sorbonne Université / Tara Expedition

Après avoir parcouru 140 000 km et récolté 35 000 échantillons, l'expédition Tara Oceans (2009-2013) livre ses premiers résultats. Pendant plus de trois ans, 140 chercheurs de 12 disciplines différentes ont étudié l'univers planctonique à bord de la goélette Tara. Un défi humain, scientifique et logistique soutenu par l'INEE et l'INSB qui renoue avec l'esprit des grandes expéditions scientifiques des siècles passés.



© Oceanomus / Tara expeditions

## LA DIVERSITÉ DU PLANCTON PASSÉE AU CRIBLE

Des algues unicellulaires aux larves de poissons, en passant par les méduses, les chercheurs ont commencé le décryptage des quelque 40 millions de gènes microbiens présents dans leurs échantillons. Constat : l'ajout de nouveaux échantillons ne modifie guère la diversité biologique de l'ensemble. Autrement dit, Tara Oceans a échantillonné la très grande majorité de la biodiversité du plancton d'une grande partie des océans, constituant une véritable encyclopédie génétique du monde marin désormais à la disposition des scientifiques.

## EN IMAGES



© Tara Expeditions / Expedition Tara Oceans

## COMMUNAUTÉ PLANCTONIQUE : LE RÔLE CLÉ DE LA TEMPÉRATURE

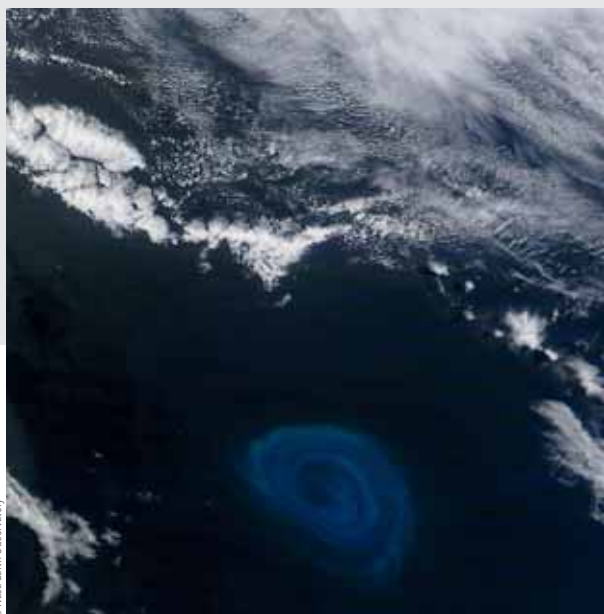
De façon systématique, les scientifiques ont également collecté les paramètres physico-chimiques caractérisant les environnements dans lesquels chaque organisme a été prélevé : température, salinité, concentration en oxygène... L'analyse de ces données met en lumière l'influence clé de la température sur la composition des communautés planctoniques jusqu'à 500 mètres de profondeur, en particulier chez les bactéries. Ce résultat constitue un important point de départ pour mesurer l'impact du changement climatique sur le plancton.

## ÉRIC KARSENTI REÇOIT LA MÉDAILLE D'OR DU CNRS 2015

Éric Karsenti, biologiste de réputation internationale, directeur de recherche émérite au CNRS, est le lauréat 2015 de la médaille d'or du CNRS. Il est récompensé pour ses contributions majeures à la compréhension des mécanismes permettant la division cellulaire. Véritable aventurier du vivant, il est aussi à l'initiative de l'expédition Tara Oceans, lancée en 2009, dont l'objectif est de cartographier la biodiversité des océans et d'améliorer la compréhension du rôle de la vie microscopique des océans.



© F. Plas / CNRS Photothèque



© Nasa Earth Observatory

## LES ANNEAUX DES AIGUILLES, UNE BARRIÈRE NATURELLE

Les grands courants océaniques, véritables « autoroutes à plancton », permettent la dissémination des espèces à travers les mers du globe. Pour autant, les chercheurs ont mis en évidence que les « anneaux des Aiguilles » – un courant à la pointe de l'Afrique qui forme des tourbillons de 300 kilomètres de diamètre et 4 000 kilomètres de profondeur – agissent comme une barrière naturelle entre l'océan Indien et l'Atlantique sud. Les communautés planctoniques de chaque océan ne partagent ainsi que 30 % de matériel génétique. En emprisonnant les organismes, le courant forme au fil du temps, un nouvel écosystème qui évolue indépendamment de l'environnement extérieur.



© C. Sardet / Tara Oceans / CNRS Photothèque

## TARA DÉCOUVRE UN UNIVERS LARGEMENT INCONNU

Virus, microbes, eucaryotes microscopiques... de septembre 2009 à septembre 2012, les scientifiques de Tara Oceans ont collecté 35 000 échantillons dans toutes les grandes régions océaniques. Résultat : 40 millions de gènes différents identifiés, dont 80 % étaient jusqu'ici inconnus. Par exemple, 39 virus marins étaient recensés avant l'expédition. Ils sont désormais 5 437. Cette diversité a totalement surpris les biologistes. Elle est particulièrement spectaculaire chez les protistes, des organismes unicellulaires qui constituent plus de 85 % des types génétiques identifiés parmi les eucaryotes. Une ressource sans précédent pour l'étude et la compréhension des océans.

## LE RÉSEAU SOCIAL DES ÉCOSYSTÈMES PLANCTONIQUES RÉVÉLÉ

En observant les paires d'organismes systématiquement retrouvées ensemble, les chercheurs sont parvenus à dresser la carte des relations entre espèces : parasitisme, symbiose, compétition... Il apparaît ainsi que 80 % des organismes planctoniques entretiennent des relations de coexistence. Parmi elles, le parasitisme est le plus fréquent et constitue en particulier un facteur déterminant de la diversité et de la structuration des écosystèmes planctoniques, au même titre que les conditions environnementales.



© C. Sardet

# Les spécificités des cerveaux des nouveau-nés prématurés révélées par la 3D

**Une vaste étude par imagerie par résonance magnétique montre que le cerveau des nouveau-nés prématurés est plus plissé que celui des fœtus du même âge.**

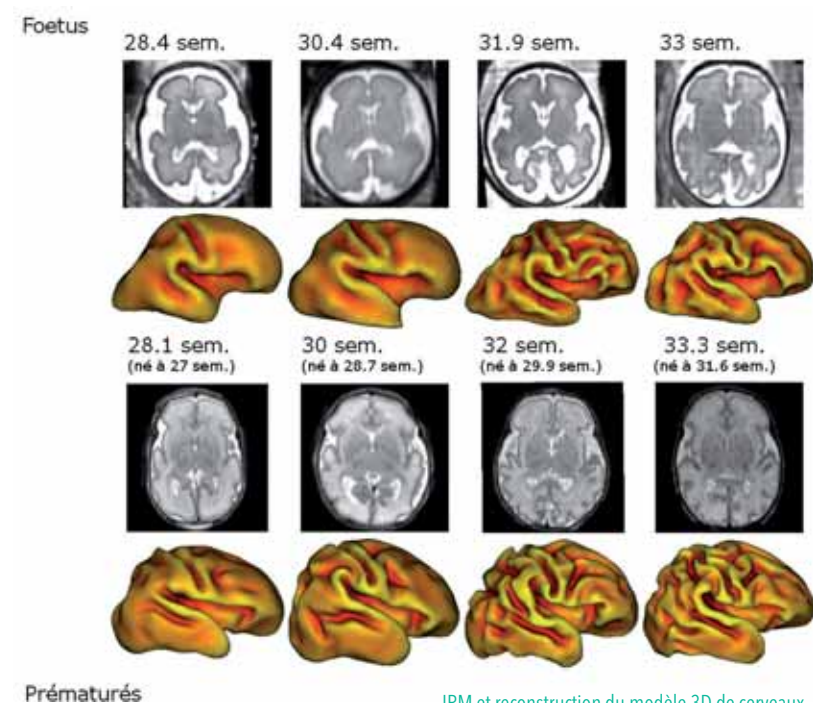
Les mécanismes qui président au développement des circonvolutions cérébrales dans la seconde moitié de la vie *in utero* sont encore mal connus. Pour en apprendre davantage, un groupe pluridisciplinaire s'est livré à une analyse comparative complexe à partir de clichés d'IRM 3D de cerveaux de fœtus obtenus dans le cadre de diagnostics anténataux et de grands prématurés d'âge équivalent.

Dans un premier temps, les chercheurs ont mené un important travail de reconstruction et de « nettoyage » des images. Après quoi la segmentation précise des différents tissus leur a permis de construire un modèle numérique de la surface de chaque cortex à partir duquel réaliser des mesures quantitatives. « La comparaison de cerveaux entre eux a par ailleurs nécessité des développements en géométrie afin de définir des descripteurs locaux de la géométrie du cerveau », précise Julien Lefèvre du Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes<sup>1</sup> qui a coordonné l'étude.

Résultat : les nouveau-nés prématurés ont un cerveau nettement plus plissé que celui des fœtus du même âge. Ce résultat suggère que la différence de milieu, *in* et *ex utero*, pourrait être déterminant pour la maturation du cerveau à cet âge-là.

1. CNRS/Université Aix-Marseille/Université de Toulon

Cerebral Cortex, juin 2015



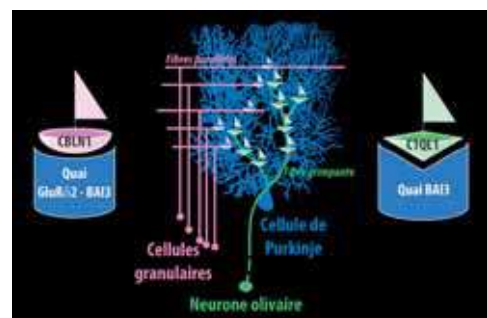
IRM et reconstruction du modèle 3D de cerveaux pour des fœtus (en haut) et des prématurés d'âge de conception équivalents (en bas).

## EN BREF

## UN NOUVEAU CODE D'AMARRAGE SYNAPTIQUE

Pour que les signaux nerveux soient correctement transmis d'un neurone à l'autre, il est nécessaire que chaque terminaison nerveuse se connecte au bon endroit et de la bonne manière sur son neurone cible. Des travaux chez la souris montrent que la présence du récepteur d'adhésion BAI3 à la surface de certaines cellules du cervelet est requise pour qu'elles établissent des synapses. En outre, ils révèlent l'existence d'un code d'amarrage spécifique de chaque type de terminaison nerveuse reçue par ces cellules. Ce code pourrait intervenir dans d'autres régions du cerveau en développement.

Cell Reports, février 2015



Un nouveau « code d'amarrage synaptique » contrôlant la formation de circuits neuronaux spécifiques dans le réseau olivo-cérébelleux.

## QUAND LE BESOIN DE MANGER CÈDE LA PLACE AU PLAISIR

Une étude sur la souris montre que les neurones participant à l'équilibre énergétique sont indispensables pour déclencher la prise alimentaire quand la nourriture disponible suscite peu de plaisir, mais pas si les aliments sont très appétissants. Par ailleurs, en l'absence de ces neurones, la voie nerveuse du plaisir prend le pas sur celle du besoin et dicte à l'animal son comportement alimentaire, ce qui favorise la prise de poids. Ces résultats invitent à reconsidérer les traitements actuels contre l'obésité qui ciblent, peut-être à tort, ces neurones.

*Cell Metabolism*, août 2015.

## SOUVIENS-TOI LA NUIT DERNIÈRE...



Le rêve, Henri Rousseau.

### Une étude démontre qu'il est possible de créer des souvenirs d'événements qui n'ont jamais eu lieu.

Situées dans l'hippocampe, les « cellules de lieu » sont à l'origine de la représentation mentale de l'espace. Par ailleurs, leur réactivation pendant le sommeil est nécessaire pour la consolidation de la mémoire. Des chercheurs du laboratoire Plasticité du cerveau<sup>1</sup> ont montré qu'il est possible de les manipuler pour créer de faux souvenirs de lieux chez la souris.

Dans un premier temps, Karim Benchenane, à l'initiative de cette expérience, et ses collègues ont repéré quelles cellules de lieux sont sollicitées lorsque l'animal éveillé se déplace à un endroit précis, grâce à une interface cerveau-machine. Puis, une fois le rongeur endormi, ils ont activé dans son cerveau le circuit de la récompense au moment même où se produisait la réactivation spontanée des cellules de lieu.

« Nous avons constaté qu'à son réveil, la souris se rendait

directement à l'endroit précis visité la veille dans le but d'y trouver une récompense, qui pourtant n'y avait jamais été », explique le neurobiologiste.

Au-delà du trouble, cette possibilité de créer des souvenirs artificiels complexes permet d'envisager de nouvelles pistes thérapeutiques des états de stress post-traumatique en utilisant le sommeil.

1. CNRS/ESPCI-Paris Tech

Nature Neuroscience, mars 2015

## EN BREF

### UN TRADUCTEUR AUTOMATIQUE D'IRM

La plateforme en ligne volBrain, qui analyse automatiquement les images IRM 3D du cerveau, est opérationnelle depuis un an. Fruit de quatre années de travaux menés par une équipe franco-espagnole, cet outil de recherche gratuit et ouvert à tous mesure le volume des structures sous-corticales en moins de 15 minutes. Ces informations sont comparées à des valeurs standard afin de détecter d'éventuelles anomalies, notamment dans le cadre de maladies neuro-dégénératives.

> <http://volbrain.upv.es/>

### PARLER SANS LE SON

Parler à quelqu'un sans émettre de son pour rester discret ou se faire entendre malgré le bruit ? C'est l'objectif de « l'interface de communication en parole silencieuse » actuellement développée par des chercheurs. Le principe est de capturer, pendant l'articulation silencieuse, les mouvements des lèvres et de la langue et de les convertir en une voix de synthèse. Un nouvel algorithme de reconstruction a récemment été mis au point, et une application dans le cadre de certaines pathologies du larynx est également envisagée.

Computer Speech & Language, mars 2016

### UNE BOUSSELE POUR LES PRÉCURSEURS DES NEURONES

La protéine sémaphorine 3B est connue pour guider les projections des neurones. Des biologistes ont montré qu'elle est également sécrétée par le liquide céphalo-rachidien lors du développement embryonnaire et régule l'orientation des divisions des toutes premières cellules neurales dans la moelle épinière. Ce résultat atteste qu'un signal extracellulaire peut orienter la division cellulaire. La sémaphorine 3B pourrait jouer un rôle précoce équivalent dans d'autres organes.

Des progéniteurs de la moelle épinière au bord du canal où circule le liquide céphalo-rachidien.



© V. Castellani

## PERSPECTIVE

## DES NANOCAPSULES CONTRE LE CANCER

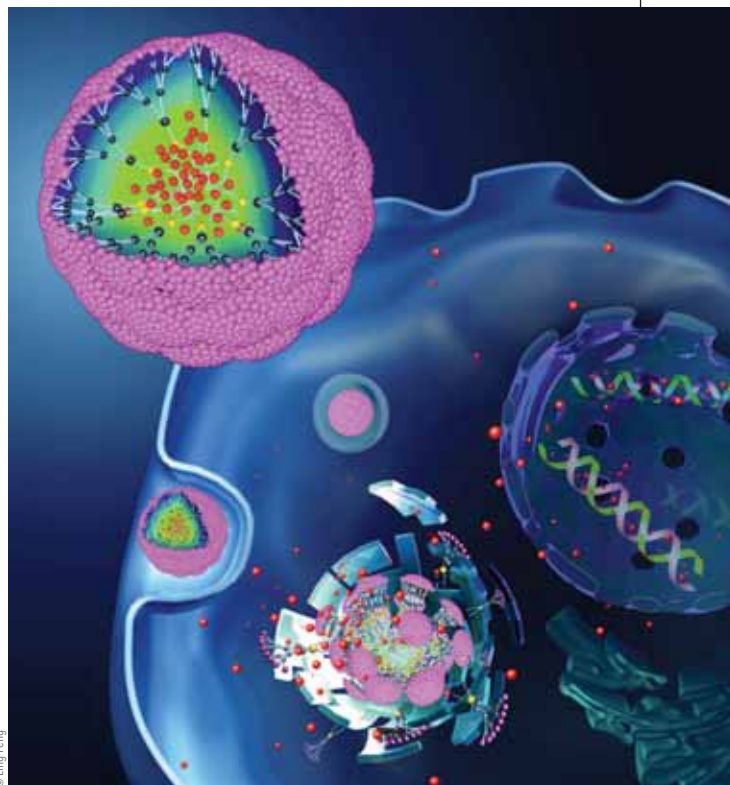
**Encapsulé dans des nanoparticules, un anticancéreux se révèle plus efficace et moins toxique.**

Des molécules à la fois efficaces contre les cellules cancéreuses, surmontant la résistance et non toxiques pour les cellules saines ? Telle est la difficile équation à laquelle se sont attaqués des chimistes du Centre interdisciplinaire de nanoscience de Marseille<sup>1</sup> (CINAM), dans le cadre d'une collaboration franco-sino-italienne. Leur solution ? Des nanocapsules d'une dizaine de milliardièmes de mètre, dans lesquelles ils ont enfermé une molécule anticancéreuse très toxique, la doxorubicine, avant de les mettre en contact avec différents types de cellules cancéreuses. Comme l'explique Ling Peng, au CINAM, « Du fait d'un mode de pénétration particulièrement efficace de ces nanocapsules, après seulement 30 minutes, 100 % avaient pénétré dans ces cellules et leur activité anticancéreuse s'est avérée 30 fois supérieure à celle de la doxorubicine seule. »

Mieux, sous cette forme nano-encapsulée, la doxorubicine échappe aux mécanismes utilisés par les cellules tumorales pour l'expulser. Enfin, administrées à des souris porteuses de tumeurs résistantes, ces nanocapsules thérapeutiques se sont révélées efficaces, et par ailleurs non toxiques eu égard à leur fort pouvoir de pénétration et de rétention.

1. CNRS/AMU

PNAS, mars 2015



Nanomicelle formée par l'auto-assemblage de dendrimères amphiphiles, comme plateforme de délivrance de médicaments anticancéreux.

## EN BREF

### UNE NAVETTE MOLÉCULAIRE POUR DÉLIVRER DES MÉDICAMENTS

Des chimistes sont parvenus à créer une architecture moléculaire programmable, capable de délivrer un anticancéreux exclusivement à sa cible. Equipé de différentes fonctions chimiques qui lui permettent de se déplacer dans le sang sans libérer son principe actif, cet assemblage se délite ensuite en présence d'enzymes spécifiques présentes dans les cellules tumorales. Basé sur une molécule de la famille des rotaxanes, ce procédé ouvre la voie à la mise au point de thérapies anticancéreuses plus précises.

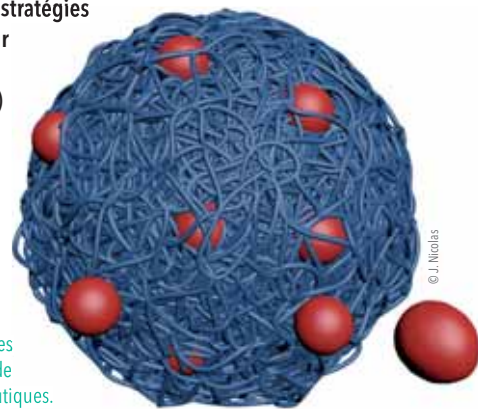
Chemical Science, février 2015

### POLYMÈRES VINyliques RECHERCHENT INNOVATIONS MÉDICALES

Les polymères dits « vinyliques » sont des macromolécules prometteuses pour créer des matériaux biomédicaux innovants, comme des nanoparticules capables de délivrer un principe actif en un point précis de l'organisme. Mais leur ossature carbonée très difficile à dégrader pose des problèmes de toxicité. Mais des solutions existent, comme en témoigne la récente revue proposée sur le sujet par un chercheur du CNRS, qui étudie l'ensemble des stratégies envisagées pour rendre ces polymères (bio) dégradables.

Nature Chemistry, septembre 2015

Nanoparticule et dégradation de particules vinyliques réticulées pour la libération de protéines thérapeutiques.



© J. Nicolas

### DES MÉDICAMENTS QUI IMITENT LES VIRUS

Des chimistes ont créé un système s'inspirant des virus capable de délivrer un médicament au cœur des cellules. Encapsulant un anticancéreux, cet assemblage composé de deux polymères permet de franchir la double couche de lipides des cellules cancéreuses et ne se désagrége qu'une fois parvenu dans le milieu intracellulaire, libérant ainsi la molécule thérapeutique. In vitro, ce mode d'administration d'un médicament a permis de tuer 80 % de cellules cancéreuses. Il est désormais en cours de test sur la souris.

Angewandte Chemie International Edition, septembre 2015

# Des micromachines contre le cancer

**Plusieurs équipes développent des dispositifs électromécaniques microscopiques pour mieux dépister et combattre la maladie.**

La lutte contre le cancer se fera bientôt à l'échelle microscopique... C'est ce que laissent entrevoir des recherches menées dans plusieurs laboratoires du CNRS grâce aux MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*), des systèmes électromécaniques ultra-miniaturisés.

Grâce à des MEMS, des chercheurs de l'Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie<sup>1</sup> reproduisent, par exemple, l'environnement en 3D du cerveau. « Nous cherchons à élucider les mécanismes responsables de la migration rapide de certaines cellules cancéreuses et à identifier des molécules thérapeutiques permettant de ralentir cette migration », indique Vincent Senez.

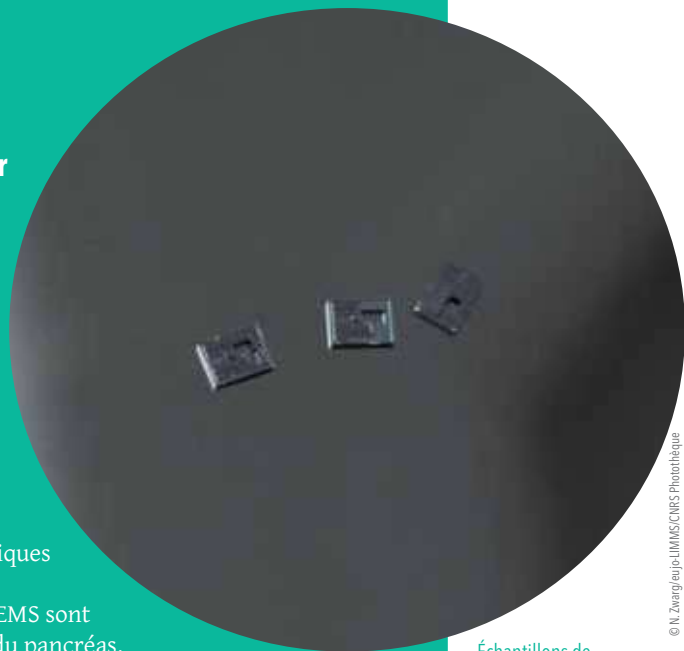
Au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes<sup>2</sup>, d'autres MEMS sont actuellement développés pour détecter plus précocement le cancer du pancréas.

« Nous les recouvrons d'anticorps capables de détecter des fragments génétiques de cellules cancéreuses présentes dans le corps au stade très précoce de la maladie », explique Liviu Nicu. Enfin, au Japon, le *Laboratory for Integrated Micro Mechatronic Systems*<sup>3</sup> développe des MEMS capables de mesurer en temps réel les taux de rupture de brins d'ADN durant une séance de radiothérapie. En 2017, ils seront testés au centre hospitalier universitaire de Lille. De quoi adapter le traitement de chaque patient dans une approche de médecine de précision.

1. CNRS/Université de Lille/Université de Valenciennes/Isen Lille/École centrale de Lille

2. CNRS

3. CNRS/Institut de sciences industrielles de l'université de Tokyo



© N. Zvarguljo-LIMMS/CNRS Photothèque

Échantillons de microsystèmes (MEMS) posés sur une plaquette en silicium et sur un support en quartz, après oxydation thermique.

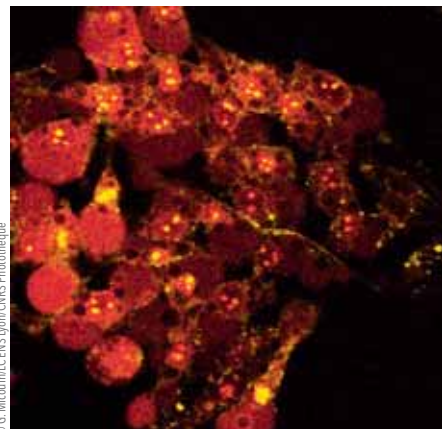
## EN BREF

### LA GÉOCHIMIE CONTRE LE CANCER

Une équipe internationale de géochimistes et d'oncologues a utilisé une méthode développée en sciences de la Terre – la mesure d'isotopes stables – pour comparer le sang de patients atteints d'un cancer du foie et de sujets sains. Le résultat montre que le sang des malades contient davantage d'isotopes légers du cuivre (le cuivre 63), ainsi qu'un surplus de soufre 32 (un isotope léger du soufre). Reste à comprendre précisément l'origine de cette différence... Mais surtout, l'enjeu est

de voir si ces signatures isotopiques particulières pourraient servir de biomarqueurs pour détecter des tumeurs et déterminer leur stade d'évolution.

PNAS, janvier 2015



© G. Micouin/CNRS Lyon/CNRS Photothèque

Cellules de mélanome métastatique de souris.

### DES CARTES GÉOGRAPHIQUES POUR LES DÉFICIENTS VISUELS

Le projet Accessimap vise à faciliter l'exploration des données visuelles (comme les cartes) par ceux qui ne les voient pas. À terme, il ambitionne de mettre à disposition des malvoyants et des non-voyants un dispositif numérique tangible ayant des fonctions comparables aux cartes classiques, comme le zoom ou le changement de point de vue. Ce dispositif permettra à un utilisateur déficient visuel de construire et d'explorer, sans l'aide de personne, les cartes géographiques qui l'intéressent.

@CNRS

Découverte : la marmycine A s'attaque aux cellules tumorales en s'accumulant dans leurs lysosomes, organites chargés de la digestion intracellulaire.

**Prendre des risques, structurer les communautés ou devancer les questions sociétales. L'année écoulée illustre ces rôles de la Mission pour l'interdisciplinarité.**

## Mission pour l'interdisciplinarité : en quête de nouvelles frontières



**ANNE RENAULT,**  
directrice de la Mission  
pour l'interdisciplinarité

Anne Renault est directrice de recherche au CNRS. Elle est également directrice du conseil scientifique du BRGM et membre du conseil d'administration de l'Andra.

« L'interdisciplinarité est un moteur puissant des avancées d'une science constamment en mouvement et en quête de nouvelles frontières », résume Anne Renault, directrice de la Mission pour l'interdisciplinarité. À condition de pouvoir la mettre en musique et d'assumer les risques inhérents à la recherche de nouveaux concepts ou de nouvelles méthodologies aux interfaces. « La Mission pour l'interdisciplinarité sert alors d'aiguillon en apportant un financement levier » explique sa directrice. À titre d'exemple, Anne Renault cite le projet Cyclonum d'approche interdisciplinaire pour l'étude des cyclones tropicaux. Rassemblant des physiciens, des géophysiciens, des mathématiciens et des astrophysiciens, il a pour objectif d'apporter une double approche théorique et expérimentale de la problématique. Il s'agit ainsi de développer de nouveaux modèles qui seront directement calibrés par des mesures réalisées dans le laboratoire grandeur nature que constitue le Pacifique sud ! Idem avec le projet Madres. Question de départ : comment les catastrophes climatiques vont-elles bouleverser l'échange des semences entre agriculteurs, en lien avec la problématique de la biodiversité ? Pour y répondre, des chercheurs de dix unités de recherche, allant de la sociologie aux mathématiques en passant par la génétique, ont uni leurs forces. À la clé : un modèle permettant de décrire la structure des flux de semences entre agriculteurs à partir de données socio-économiques. De quoi simuler l'évolution des choix de semences, en particulier sous l'effet de différents facteurs perturbateurs. Et, *in fine*, d'élaborer des recommandations auprès des institutions spécialisées et des organisations paysannes. Car c'est une autre spécificité de la Mission : « soutenir des projets adressant, voire devançant, des questions sociétales et nécessitant par définition une approche

« système » donc par essence interdisciplinaire », détaille Anne Renault. Ainsi, l'année 2015 a-t-elle vu la structuration de consortia de recherche après un appel à projets sur les enjeux liés à l'autonomie et au maintien de l'inclusion sociale des personnes en perte d'autonomie, comme le projet Auton. Ceci, après le succès du défi SENS qui, entre 2012 et 2014, a exploré les problématiques liées aux insuffisances perceptives et leurs suppléances personnalisées dans le domaine sensoriel et dans les domaines contrôlés par les sens.

***L'interdisciplinarité est un moteur puissant d'une science constamment en mouvement.***

Sans que l'aboutissement du projet signifie son arrêt. Car comme le précise Anne Renault, « au-delà de notre rôle de soutien, l'objectif de la Mission est également de structurer des communautés sur le long terme ». Par exemple, en 2012, dans le cadre du défi SENS, une communauté interdisciplinaire s'est organisée autour du projet Preval-OLF sur la prévalence des troubles olfactifs en France. Au-delà, le consortium de départ a servi de noyau au Groupe de recherche O3 (Odorant-Odeur-Olfaction). Et aujourd'hui, on assiste à une structuration du champ de recherche couvert à l'échelle européenne impliquant sept pays. Preuve que l'interdisciplinarité repousse les frontières.

# Interdisciplinarité : un levier pour la recherche

**Les enjeux scientifiques contemporains exigent la mobilisation de communautés différentes autour d'une même question. Le CNRS a fait de l'interdisciplinarité l'une des priorités de sa politique scientifique. Retour sur trois défis soutenus en 2015.**

## FIAT LUX NUMÉRISE LE PATRIMOINE

**Physico-chimie, imagerie 3D ou archéométrie, FIAT LUX innove pour mieux caractériser et, ce faisant, mieux préserver notre patrimoine.**

Dans le cadre du défi Imag'In, lancé en 2015, le projet FIAT LUX (Fusion d'Imagerie et suivi Temporel pour l'étude de peintures à géométrie complexe) s'attaque à la préservation des peintures dans le cadre de la documentation numérique du patrimoine culturel. Comment ? En couplant différents domaines de l'imagerie 3D à la conservation, en passant par l'archéométrie ou encore la physico-chimie des matériaux. « FIAT LUX offre l'opportunité d'intégrer de façon innovante des domaines disciplinaires aujourd'hui distants pour introduire de nouveaux moyens d'observation, d'analyse et de caractérisation des matériaux constitutifs des objets patrimoniaux », explique Livio De Luca<sup>1</sup>, coordinateur du projet avec Jean-Marc Vallet<sup>2</sup>. Sur deux tableaux monumentaux, les chercheurs ont notamment développé et expérimenté un protocole d'acquisition multi-capteurs. Il permet de mettre en relation la reconstruction 3D de surfaces par photogrammétrie et la restitution des détails de micro-surface par mesure de la réflectance, ainsi que le recoupement de plusieurs domaines de rayonnement. Une trajectoire exploratoire enchaînant des actions de recherche et de valorisation où l'interdisciplinarité vient révéler le caractère unique et précieux de notre patrimoine.

1. Laboratoire Modèles et simulations pour l'architecture et le patrimoine, Marseille  
2. Centre interdisciplinaire de conservation et restauration du patrimoine, Marseille

## PETASKY, LA COSMOLOGIE À L'ÈRE DES BIG DATA

**Des images de 3,2 milliards de pixels toutes les 17 secondes, soit 60 petaoctets, et ce pendant dix ans.**

C'est le déluge de données que produira le *Large Synoptic Survey Telescope* (LSST) à partir de 2020. Pour les stocker et les analyser, le défi Mastodons réunit neuf laboratoires de recherche et un centre de calcul autour du projet PetaSky. À l'interface de l'astrophysique et de l'informatique, ce consortium de chercheurs entend s'attaquer à la problématique d'augmentation permanente des données. Et pour le traitement desquelles l'interdisciplinarité est une nécessité.



© J.-F. Nierengarten/UMR7509/CNRS Photothèque

## LA PERTE D'AUTONOMIE DANS LA LIGNE DE MIRE DU DÉFI-AUTON

**Auton réunit cinq projets afin de maintenir l'inclusion sociale des personnes en situation invalidante.**

« La perte d'autonomie touche surtout les personnes âgées, mais peut potentiellement atteindre tout le monde » déclare Pascal Sommer, responsable scientifique du défi Auton<sup>1</sup> lancé en 2015 par la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS. Un défi qui vise à améliorer l'autonomie, dont la perte peut être liée au vieillissement ou à toute autre situation invalidante, ainsi que l'inclusion sociale des personnes à déficit spécifique. Un enjeu sociétal majeur qui rassemble des chercheurs issus de différentes disciplines. Dans la continuité du défi SENS achevé en 2014, le défi Auton réunit cinq projets autour de la déficience perceptive. Objectifs : la mobilisation de tous les sens vaillants lorsque l'un fait défaut, le contrôle des mouvements et actions en résultant et le développement de procédures et d'outils personnalisés. Un gros plan sera fait sur la proprioception, un « 6<sup>e</sup> sens » qui permet l'équilibre et facilite le mouvement. L'alliance de la recherche et de l'innovation scientifique pour relever le défi de la perte d'autonomie, mieux l'accompagner et l'affronter.

1. Institut des sciences du mouvement, Marseille

# Incontournable Europe

Afin de renforcer sa participation aux programmes européens, le CNRS œuvre pour faire entendre sa voix à Bruxelles.



© CNRS/Délégation PMA

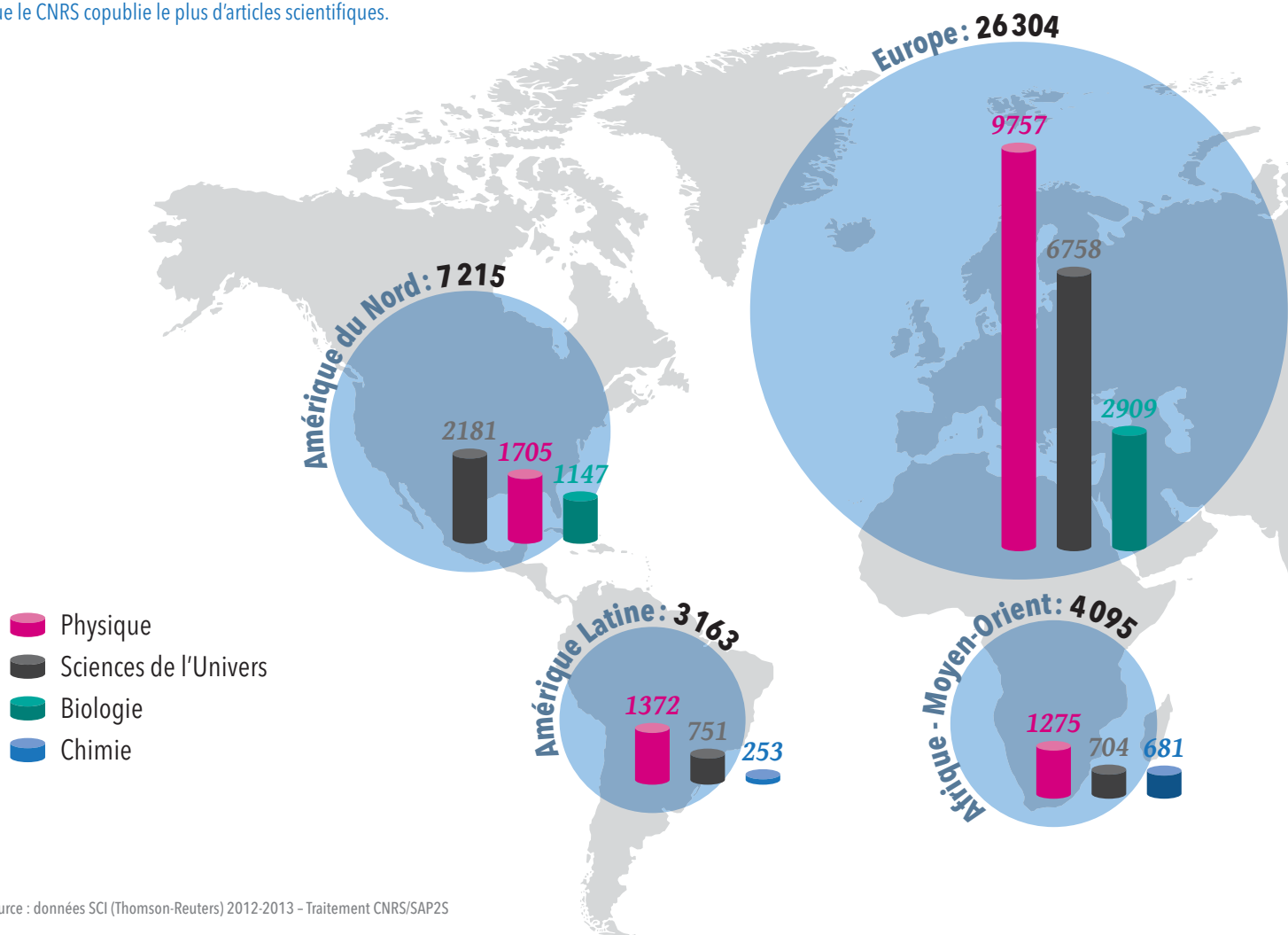
**PATRICK NÉDELLEC,**  
directeur de la DERCi

« L'Europe est la grande priorité du CNRS, déclare Patrick Nédellec, directeur Europe de la recherche et coopération internationale (DERCI) du CNRS. Nous voulons profiter pleinement des possibilités de financements et d'échanges qu'offre le programme Horizon 2020. » Pour cela, pas de secret, il faut présenter beaucoup de bons projets et les remporter. En 2015, on constate que le nombre de projets déposés par les chercheurs du CNRS est en légère hausse. Cependant, le taux de succès de l'organisme a diminué du fait d'un durcissement des critères de sélection appliqués par l'Union européenne. Dans la continuité des années

précédentes, on observe que les projets Excellence scientifique (Pilier 1) ont toujours la faveur des chercheurs du CNRS avec 44 lauréats de l'ERC (*European Research Council*) sur 259 projets déposés. Cependant, on estime que le nombre de candidatures – et donc de lauréats – pourrait être bien supérieur si davantage de chercheurs osaient se présenter.

## NOMBRE DE COPUBLICATIONS DU CNRS DANS LE MONDE

C'est avec les pays européens et en physique que le CNRS copublie le plus d'articles scientifiques.



Source : données SCI (Thomson-Reuters) 2012-2013 - Traitement CNRS/SAP2S

### S'APPROPRIER L'APPROCHE HORIZON 2020

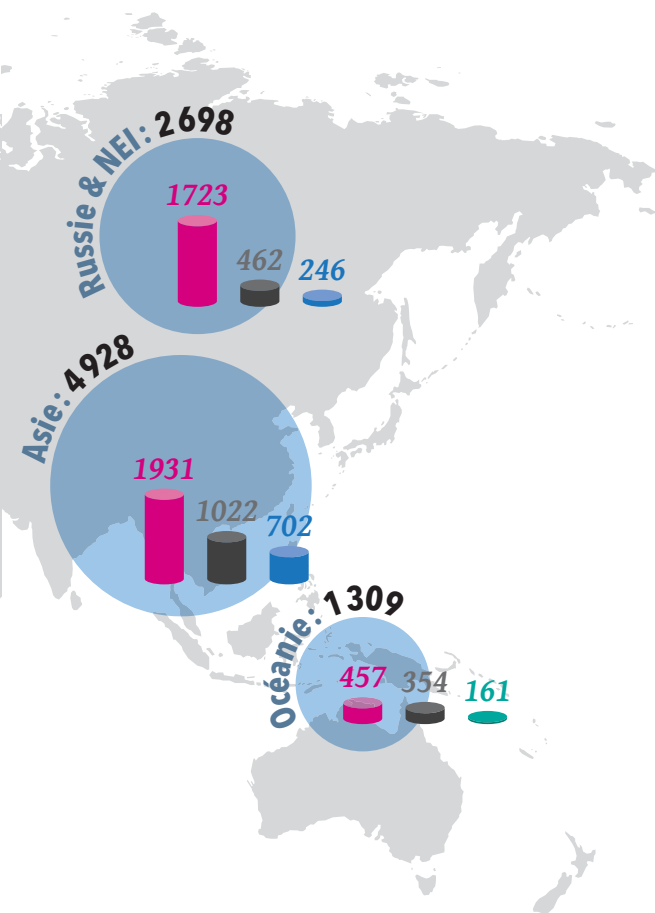
Sur le volet Primauté industrielle (Pilier II), domaine où l'on attend moins le CNRS a priori, les résultats sont encourageants avec un taux de succès de 13,3 % et 15 projets retenus. Pour Pascal Dayez-Burgeon, directeur de l'antenne de la DERCi à Bruxelles depuis juin 2015, « la communauté scientifique commence à s'approprier les possibilités nouvelles offertes par Horizon 2020. » La marge de progrès la plus grande concerne les Défis sociétaux (Pilier III), projets interdisciplinaires très orientés « solutions » dans lesquels les chercheurs, notamment en sciences humaines et sociales, hésitent à s'engager. « Pourtant, participer à ces projets apporte une grande plus-value au continuum recherche-innovation, améliore la visibilité internationale et nous rend légitime pour participer à

### INTERNATIONALISER LA VALORISATION

Le Japon est le premier partenaire du CNRS en Asie. Avec la convention pour la coopération sur le transfert de technologies signée en octobre 2015, l'université de Kyoto et le CNRS s'engagent dans un partenariat nouveau en matière de valorisation. « C'est une démarche inédite. Nous allons comparer nos méthodes et nos modes d'organisation respectifs afin de mieux nous connaître. Puis, nous établirons des ponts entre nos inventions et besoins respectifs en technologies », explique Louis Avigdor, ingénieur CNRS de la Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises (DIRE), installé pour deux ans à Kyoto. En d'autres termes, il s'agira d'identifier des industriels japonais souhaitant exploiter nos brevets et d'intéresser nos industriels aux brevets de l'université de Kyoto. Une liste a d'ores et déjà été établie côté français, en lien avec la filiale de valorisation du CNRS FIST SA, dans des domaines tels que le photovoltaïque, les nanotubes de carbone ou encore les microalgues.



Juichi Yamagiwa, président de l'université de Kyoto et Alain Fuchs, président du CNRS, le 4 octobre 2015.



la programmation des prochains appels », fait valoir Pascal Dayez-Burgeon.

Pour améliorer les taux de candidatures, l'organisme s'est mis en ordre de marche. « Au sein des comités de pilotage Europe, nous travaillons avec les instituts et les directions fonctionnelles à forger une position commune et à améliorer les dispositifs d'accompagnement des chercheurs », indique Patrick Nédellec. C'est dans ce cadre que l'équipe des ingénieurs projets européens a été remobilisée et que l'idée d'une indemnité financière pour les coordinateurs de projets fait son chemin. En 2015, une cellule ERC a été créée afin de faciliter les relations entre les délégations régionales et les porteurs de projets, d'anticiper ou d'aider à surmonter d'éventuelles difficultés. Elle est pilotée de manière transversale, à la fois par la DERCi, le Point de contact national ERC et la Mission pilotage et relations avec les délégations régionales et les instituts (MPR). L'organisme prépare également un plan d'action pour soutenir les candidatures des chercheurs en sciences humaines et sociales.

### LOBBYING EUROPÉEN

Peser sur la programmation scientifique des appels à projets est un autre volet essentiel de l'activité européenne de la DERCi. « Horizon 2020 est centré sur l'innovation c'est-à-dire sur une recherche à effet rapide sur la croissance économique », rappelle Patrick Nédellec. Avec la mise en place de la Commission Juncker, ...

## IRAN : VERS UNE RENAISSANCE DES RELATIONS INSTITUTIONNELLES



© Dorna Mirfakhraei

Tour Milad à Téhéran.

Avec environ 22 500 articles scientifiques par an, l'Iran est de loin le pays qui publie le plus au sein de la vaste zone Afrique et Moyen-Orient. Il se distingue notamment en sciences pour l'ingénieur, chimie, recherche médicale, sans oublier les mathématiques, domaine où il existe une forte tradition d'excellence.

« Malgré un faible taux de

copublications, on constate que la recherche iranienne est toujours restée dynamique et reliée au monde », indique Chamira Lessigny, adjointe au directeur sur cette zone géographique à la DERCi. Une tradition d'enseignement de qualité s'y est maintenue et les doctorants iraniens sont très recherchés à l'étranger. « En tant que premier partenaire scientifique français de l'Iran, le CNRS va participer dès 2016 à la reprise de coopérations académiques et institutionnelles plus structurées. Démarches rendues possibles par l'évolution du contexte géopolitique », précise-t-elle.

... favorable au financement privé de la recherche, le CNRS doit redoubler d'efforts pour faire entendre sa voix. C'est pourquoi, à Bruxelles, l'organisme travaille en amont des projets avec les industriels, notamment au sein des plateformes public-privé « Joint Technology Initiative ». En 2015, une collaboration entre la DERCi, la Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises (DIRE) et l'Institut de chimie (INC) a permis d'orienter favorablement les appels à projets liés aux industries biosourcées. Il s'agit également d'entretenir

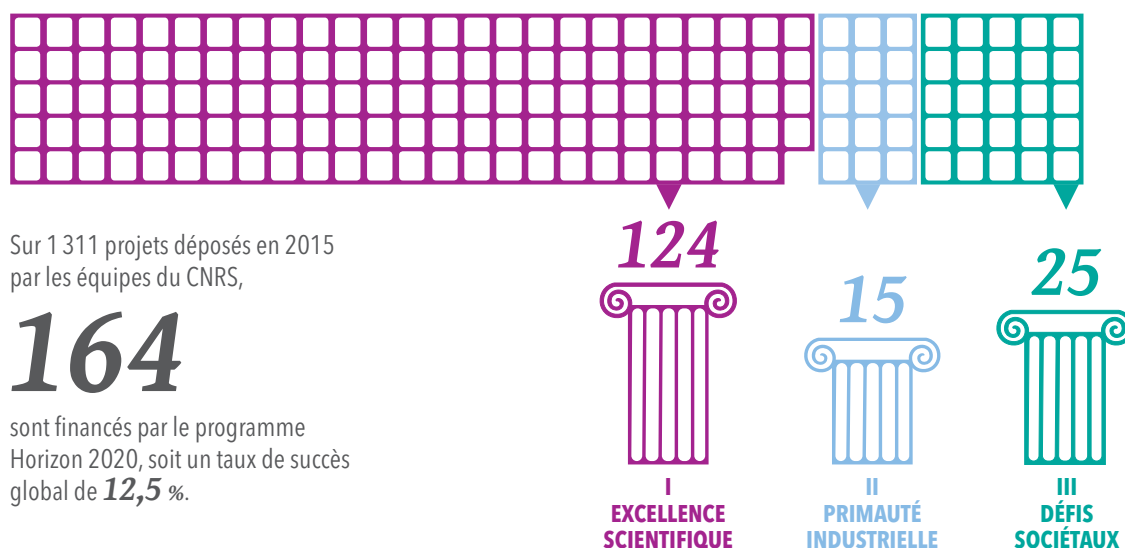
des relations étroites avec la Commission européenne, les agences exécutives telles que l'ERC, le Parlement et les autres organismes de recherche. Pour Patrick Nédellec, « nous devons habituer les décideurs à faire appel à notre expertise pour lever les verrous technologiques et relever les grands défis sociétaux ».

### DES FEUILLES DE ROUTE STRATÉGIQUES

Côté coopération internationale, la DERCi a poursuivi en 2015 sa réorganisation interne. Le nombre de zones géographiques a été ramené à quatre : Europe, Afrique et Moyen-Orient-Inde, Amériques-Océanie, Asie. Une simplification propice à l'établissement de nouvelles feuilles de route. Les deux premières ont concerné la zone Afrique et Moyen-Orient et la zone Japon-Corée-Taiwan. Ces documents de réflexion stratégique ciblent les actions à entreprendre dès 2016. Il s'agit de prospecter dans les pays dotés de fortes capacités scientifiques comme l'Iran et la péninsule Arabique, de structurer les échanges avec la Corée et enfin de faciliter les terrains de recherche stratégiques avec l'Afrique subsaharienne et l'océan Indien. Par ailleurs, la dynamique partenariale avec l'Asie reste puissante, la réunion à Singapour en octobre 2015 entre les unités mixtes internationales et des industriels ayant rencontré un franc succès. Pour conclure, Patrick Nédellec signale la destinée originale du projet européen ERA-NET Concert-Japan<sup>1</sup> que la *Japan Science and Technology Agency* a décidé de pérenniser en ouvrant un secrétariat au bureau du CNRS à Tokyo... , l'Europe est décidément incontournable !

1. Connecting and Coordinating European Research and Technology Development with Japan.

## HORIZON 2020 : LES RÉSULTATS DU CNRS EN 2015



Source : CNRS/ DERCi

# Valoriser la recherche ensemble

**Pour une meilleure efficacité globale, le CNRS renforce le pilotage stratégique de sa mission de valorisation de la recherche.**

Valoriser la recherche en partenariat consiste à travailler avec les industriels au sein même des laboratoires. Ce qui permet d'intégrer dès l'origine les projets scientifiques et les besoins des entreprises. Plus de 100 structures de recherche public-privé, dont 23 laboratoires en cotutelle avec des entreprises, en sont la traduction concrète au CNRS. « Grâce au partenariat, il n'est plus nécessaire de transférer l'invention vers l'industrie, puisque l'innovation est littéralement coproduite. On trouve l'équilibre : la valorisation n'est pas extérieure à la recherche et la recherche n'est pas orientée de l'extérieur », déclare Nicolas Castoldi, nommé en octobre 2015 délégué général à la valorisation, nouvelle fonction créée au sein du directoire du CNRS.

## DES PARTENARIATS STRUCTURANTS

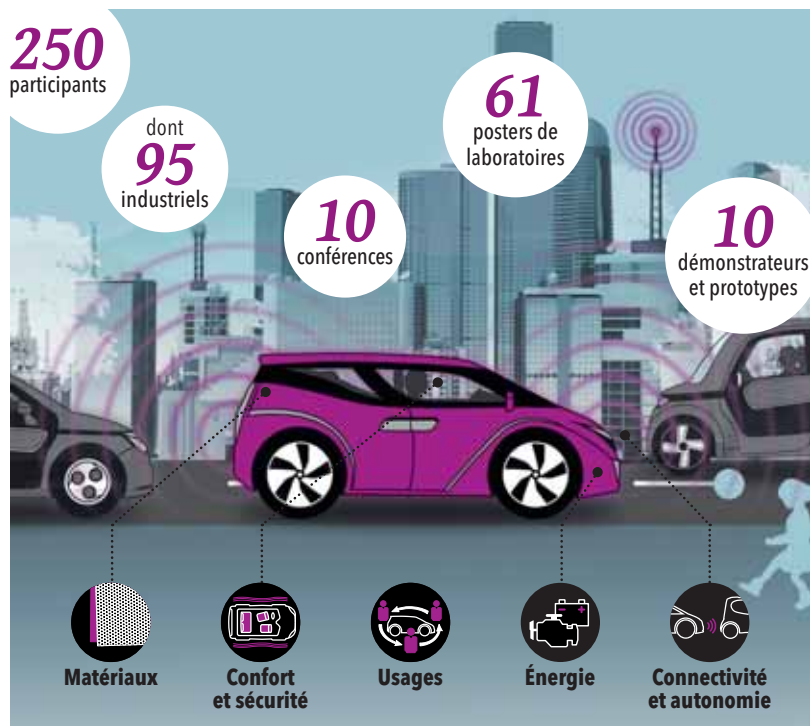
Comme le prévoit son Plan d'action valorisation (2014-2018), l'organisme, convaincu de la pertinence du modèle, accentue ses efforts pour développer le partenariat. Financeurs, les industriels soulèvent aussi de nouvelles questions, apportent des expérimentations et des données singulières. Pour Marie-Pierre Comets, directrice de l'innovation et des relations avec les entreprises (DIRE) au CNRS, « cet échange montre que la recherche académique n'est absolument pas déconnectée des besoins de la société et de l'industrie. Les partenariats solides que nous avons avec certaines grandes entreprises depuis 20 ou 30 ans en sont la preuve ». Sur un portefeuille de 26 accords-cadres avec des grands groupes du CAC 40, le CNRS a renouvelé en 2015 ceux qui le relient à Safran, Essilor, Thales et Total. Mais pour Nicolas Castoldi, ce partenariat doit viser encore plus loin : « Nous souhaitons construire avec nos partenaires industriels des feuilles de route stratégiques sur des sujets transversaux comme la santé ou l'énergie. » L'objectif est d'avoir une discussion d'ensemble, associant tous les instituts du CNRS concernés.

## SOUTENIR L'INNOVATION DE RUPTURE

Par ailleurs, le CNRS entend également mieux détecter et soutenir les innovations qui germent chaque année dans les laboratoires. En 2015, l'action pré-maturation - initiée par l'Institut de physique en 2014 - a été étendue aux autres instituts. Le programme, doté de 2 millions d'euros par an, consiste à soutenir les premières étapes du développement de projets à fort potentiel d'innovation de rupture. « Il s'agit d'établir la preuve du

concept, une propriété intellectuelle ou encore d'identifier des pistes futures de valorisation », explique Marie-Pierre Comets. Sur 230 projets candidats, 25 ont pu bénéficier d'un financement. D'autres projets ont été réorientés vers les Sociétés d'accélération du transfert de technologies (SATT) ou ont bénéficié d'un accompagnement différent. À noter, l'un des six projets associés au CNRS sélectionnés au Concours mondial d'innovation a reçu un financement du fonds de pré-maturation du CNRS (projet de Valérie Castellani, Institut des sciences biologiques).

## INNOVATIVES : UNE JOURNÉE POUR IMAGINER LA VOITURE DE DEMAIN



L'évènement Innovatives « Voiture du futur » était organisé par le CNRS en partenariat avec l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar) le 31 mars 2015 à Paris. Il a permis aux entreprises et aux laboratoires d'échanger sur leurs besoins et leurs avancées respectives, dans la perspective d'applications en 2020-2030.

Source : CNRS/DIRE



**NICOLAS CASTOLDI,**  
délégué général à la valorisation



**MARIE-PIERRE COMETS,**  
directrice de la DIRE



La médaille de l'innovation du CNRS honore des recherches scientifiques exceptionnelles ayant conduit à une innovation marquante sur le plan technologique, thérapeutique ou sociétal.

Les lauréats 2015 : **Jean-Michel Morel** (mathématicien), **Sylviane Muller** (biologiste), **Patrick Maestro** (chimiste) et **Jérôme Chevalier** (génie des matériaux).

... La structuration de la valorisation entre le CNRS et les 14 SATT - dont le CNRS est actionnaire - est le second volet stratégique clé de la politique de valorisation du CNRS. Les SATT sont en effet les premiers acteurs de la valorisation à l'échelle territoriale. Le CNRS agit à travers elles pour l'immense majorité des projets qui peuvent être accompagnés efficacement à cette échelle. L'organisme n'en garde pas moins son caractère national, avec une stratégie de regroupement des forces dans des domaines stratégiques. Stratégie centrée sur 20 thèmes scientifiques clés « Focus Transfert » pour lesquels le CNRS s'engage dans une valorisation concertée avec les SATT. Pour construire ce modèle d'organi-

sation, le CNRS travaille ces derniers mois en étroite relation avec le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, les SATT et la Conférence des présidents d'universités (CPU).

## VALORISATION NATIONALE POUR LES FOCUS TRANSFERT

Pour Nicolas Castoldi, « lorsque le CNRS accompagnait tous les dépôts de brevets et tous les projets de valorisation à l'échelle nationale, il était confronté au défi permanent de la quantité. Et le volume ne permettait pas d'accompagner tous les projets avec le même niveau de qualité et d'expertise. Aujourd'hui, grâce à l'arrivée des SATT, le CNRS affine et professionnalise son approche du transfert de technologies en articulant efficacement son action territoriale et son action nationale ».

En effet, sur les domaines Focus Transfert, le CNRS bénéficie d'actifs (brevets et licences d'exploitation) porteurs d'innovations au meilleur niveau national et international. « La vision d'ensemble que nous avons des résultats scientifiques permet d'associer des laboratoires sur le territoire, de constituer des grappes de brevets. Nos capacités d'analyse des marchés et les rela-

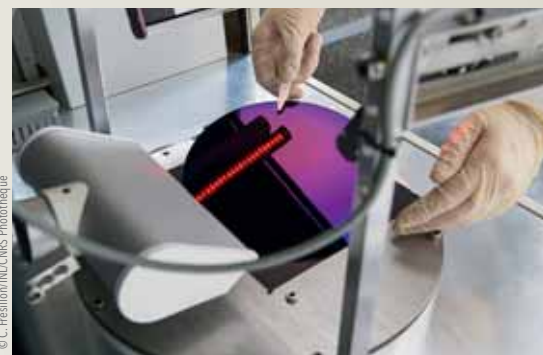
## LES FOCUS TRANSFERT : VERS UNE VALORISATION CONCERTÉE

Les Focus Transfert CNRS portent sur 20 domaines d'expertise nationale dans lesquels l'organisme dispose d'un potentiel avéré d'innovation mais aussi d'un réseau national de scientifiques et de liens privilégiés avec l'industrie. Très ciblés et définis, ces domaines représentent 15 % du portefeuille de brevets du CNRS (qui en compte plus de 5 600). Dans une logique de valorisation concertée, les inventions Focus Transfert bénéficient, lorsque c'est opportun, des dispositifs de maturation technologique des Sociétés d'accélération du transfert de technologies (SATT), puis sont valorisées par le CNRS et sa filiale FIST SA.

### L'EXEMPLE DU PHOTOVOLTAÏQUE

Deux Focus Transfert CNRS portent sur le domaine du photovoltaïque. Dans un contexte de fort développement photovoltaïque en Asie, les industriels et les organismes de recherche européens poursuivent activement leurs activités de recherche et développement dans ce secteur. En effet, le marché reste porteur à moyen terme, tant pour des applicatifs pointus que sur des

installations de masse. Avec les recherches sur les cellules photovoltaïques couches minces, une production européenne compétitive est possible grâce à la baisse des coûts que cette technologie favorise. Sur ce domaine, 28 familles de brevets sont actives et 22 unités du CNRS impliquées. Sur les technologies du photovoltaïque organique, second domaine Focus Transfert, des recherches de performance et de stabilité dans le temps permettront des ruptures technologiques majeures. L'organisme compte sur le sujet plus de 70 familles de brevets actives et 20 unités de recherche. Ces travaux sont largement valorisés au niveau national selon le schéma de valorisation concertée avec les SATT. En effet, les résultats sont fédérés afin de porter la valorisation au niveau national et ainsi obtenir la meilleure valorisation possible et l'émergence de champions nationaux.



© C. Fréssillon/INL/CNS Photothèque



© G. Ollivier/CNS Photothèque

En haut : Transformation d'une plaquette de silicium en cellule photovoltaïque (INL).  
En bas : Four solaire d'Odeillo (Promes)

tions à haut niveau que nous avons avec les entreprises sont précieuses et reconnues », signale Olivier Daniel, directeur général de FIST SA, la filiale nationale de valorisation du CNRS.

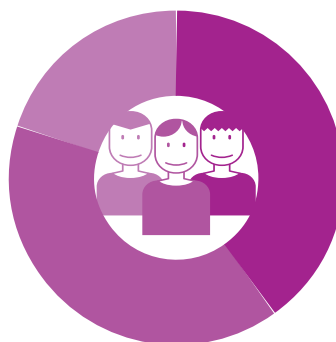
Cette approche nationale est également propice au développement du potentiel des start-up, grâce à des portefeuilles de propriété intellectuelle conséquents offrant davantage d'opportunités internationales. 1 200 sociétés sont ainsi issues des laboratoires du CNRS depuis 1999<sup>1</sup>. De plus, l'organisme améliore les conditions financières applicables aux créateurs de start-up.

### FÉDÉRER LES ACTEURS DE LA VALORISATION

Au sein de l'organisme, la création de la délégation générale à la valorisation a permis de créer un collectif de services valorisation plus large autour du noyau dur constitué de la DIRE et de FIST SA. Par exemple, un suivi coordonné des recettes issues des contrats de licence a été mis en place. Le programme pour 2016 ? « Nous allons centrer notre action sur les 18 services partenariat et valorisation (SPV), dont on fêtera d'ailleurs le 20<sup>e</sup> anniversaire », annonce Nicolas Castoldi.

1. Enquête Start-up, 2014.

## UN SERVICE DE FORMATION PROFESSIONNELLE DYNAMIQUE



**1 064**

stagiaires formés aux technologies de pointe par CNRS Formation Entreprises en 2015

**40 %** d'industriels

**40 %** d'académiques

**20 %** de professionnels du secteur public hors académiques

**168**

sessions de formation ouvertes sur les plateformes de recherche

CNRS Formation Entreprises aide les chercheurs et les ingénieurs des unités du CNRS à concevoir une offre de formation, en fait la promotion et en assure la gestion. Entre 2011 et 2015, son activité avec les entreprises a été multipliée par deux. Sur 1 104 k€ de ressources brutes en 2015, 822 k€ ont été reversés aux laboratoires, dont 80 % en ressources propres.

Source : CNRS/ DIRE



En haut : Détail d'un panneau photovoltaïque (CNRS/Laas).  
En bas : Dépôt d'une électrode en aluminium formant une cellule solaire organique (Moltech Anjou).

### UNE EXPERTISE APPROFONDIE

Sur le photovoltaïque, les travaux du Groupe de recherche en économie théorique et appliquée (GRETHA)<sup>1</sup> apportent une valeur ajoutée supplémentaire à la démarche Focus Transfert. Ils permettent d'établir le « lien technologique » de certains partenaires académiques ou industriels intéressés par ces technologies brevetées par le CNRS. Connaissance qui améliore le ciblage des actions de valorisation et de transfert. En complément, l'analyse des publications scientifiques mondiales s'avère essentielle. En effet, de nouvelles études bibliométriques très poussées réalisées par l'Institut de l'information scientifique et technique (INIST) du CNRS dessinent les dynamiques partenariales à l'œuvre sur le photovoltaïque. Or quoi de plus pertinent que d'observer les résultats scientifiques d'aujourd'hui pour appréhender les inventions de demain... et les innovations d'après-demain ?

1. UMR CNRS/Université de Bordeaux.

## 20 FOCUS TRANSFERT CNRS POUR L'INNOVATION

- Graphène et nanomatériaux 2D
- Mémoires (magnétisme, spintronique)
- Optoélectronique : LED - Sources THz - Sources de lumière pour la santé
- Oncologie : Immunothérapie - Biomarqueurs - Cellules souches tumorales - Épigénétique
- Alzheimer
- HIV
- Dermocosmétique
- Agents d'imagerie moléculaires
- Batteries
- Énergie solaire photovoltaïque organique, photovoltaïque couches minces
- Valorisation de la biomasse lignocellulosique
- Valorisation de la molécule CO<sub>2</sub>
- Robotique de service
- Big Data

# Miser sur l'intelligence collective

La Direction de l'information scientifique et technique du CNRS, en relation étroite avec ses partenaires, intensifie son action en faveur du partage des connaissances.



© CNRS/Délégation PMA

**RENAUD FABRE,**  
directeur de l'Information  
scientifique et technique

La science se nourrit de science. C'est pourquoi les articles scientifiques sont une matière première essentielle de la recherche, comme les données issues des expériences. Collecter, archiver, valoriser et diffuser ces ressources documentaires, telle est la mission de l'Information scientifique et technique (IST). « Dans un contexte en pleine mutation, relever et partager le défi numérique de l'IST est un cap clairement affiché depuis 2013, rappelle Renaud Fabre, directeur de l'Information scientifique et technique (DIST) du CNRS. Il s'agit de faire progresser l'Open Science à l'échelle internationale, mais aussi de conduire une démarche nationale de mutualisation avec nos partenaires académiques. » Un projet d'ampleur qui se déploie étape par étape.

## UNE STRATÉGIE CONCERTÉE

Le premier étage de la fusée a été construit en 2014 avec la stratégie « Mieux partager les connaissances » et les plans d'action qui en découlent. En 2015, deux études complémentaires ont permis d'approfondir la connaissance de la situation de l'IST sur le terrain. Il s'agit de l'enquête nationale sur les besoins des unités mixtes de

recherche, d'une part, et de l'étude technico-budgétaire sur les périmètres IST du CNRS, d'autre part. Le deuxième étage de la fusée apparaît en 2015 sous la forme du Catalogue d'offres partagées d'IST (Copist). Il répertorie une cinquantaine de prestations classées en cinq grands services (parfois déjà mutualisés) ainsi que des fonctions d'appui associées (cf. infographie). C'est sur la base de ce catalogue qu'entre avril et juin 2016, les organismes de recherche et les établissements d'enseignement supérieur qui le souhaitent pourront se positionner. Soit pour partager l'offre du CNRS, soit pour préférer d'autres formes de mutualisation. À partir de là, les services finaux d'IST partagés pourront être définis... voilà le troisième étage de la fusée, livrable fin 2016. L'ensemble formera un débouché national clair et innovant pour l'offre renouvelée de l'Institut de l'information scientifique et technique (INIST)<sup>1</sup> du CNRS. La démarche est déjà opérationnelle, notamment dans le domaine stratégique de la bibliométrie<sup>2</sup>. Le marché portant sur l'accès aux bases de données Thomson Reuters arrivant à échéance fin 2015, la Dist a remis à plat le choix des fournisseurs et des prestations bibliométriques. Une expertise approfondie a montré la pertinence d'avoir recours, en complément de l'offre de Thomson Reuters, aux prestations de l'éditeur Elsevier.

## LOI NUMÉRIQUE : LE CNRS ENTENDU PAR LES PARLEMENTAIRES

Figurant parmi les priorités de Carlos Moedas, commissaire européen à la recherche, l'innovation et la science, l'*Open Science* vise un décloisonnement et un partage à grande échelle des connaissances. En France, le projet de loi « Pour une République numérique » a donné à la communauté scientifique l'occasion d'exprimer ses attentes. Dans le cadre de la consultation nationale, relayée par la direction générale déléguée à la science du CNRS, la Dist a ainsi fait valoir des positions plus favorables à l'*Open Science*. Avec succès, puisque les amendements proposés à l'Assemblée nationale ont été adoptés : diminution des durées initiales d'embargo de 12 à 6 mois pour les sciences dures et de 24 à 12 mois pour les sciences humaines et sociales ; mise en avant d'un droit pour l'auteur de valoriser et d'utiliser ses propres publications ; prise en compte du *Text and Data Mining*<sup>3</sup>. Dans la foulée, le CNRS a élaboré avec ses partenaires académiques le livre blanc *Une science ouverte dans une République numérique* afin d'alimenter le débat national, comme international, avec tous les partenaires de la publication scientifique.

## IST : UNE OFFRE COMPLÈTE ET PARTAGÉE

Le catalogue d'offres  
partagées d'IST  
(Copist) comprend  
50 prestations  
regroupées  
en cinq  
grands services.



### 1/ SE DOCUMENTER

Accès large et facile aux ressources documentaires électroniques.

Source : CNRS/Dist

En effet, leurs deux bases de données permettent de couvrir un spectre de publications de 15 % supplémentaires, notamment en sciences humaines et sociales. Les accords-cadres signés début 2016 en centrale d'achat sont ouverts à tous les établissements de l'Enseignement supérieur et de la Recherche à des conditions avantageuses. Renaud Fabre rappelle que « la bibliométrie est utile aux chercheurs qui doivent naviguer dans une masse de publications, mais aussi aux équipes responsables des laboratoires et aux conseils scientifiques. En effet, elle permet de mieux connaître ce qui se publie, de prévoir de nouvelles collaborations, de gagner en visibilité internationale ».

### MUTUALISATIONS

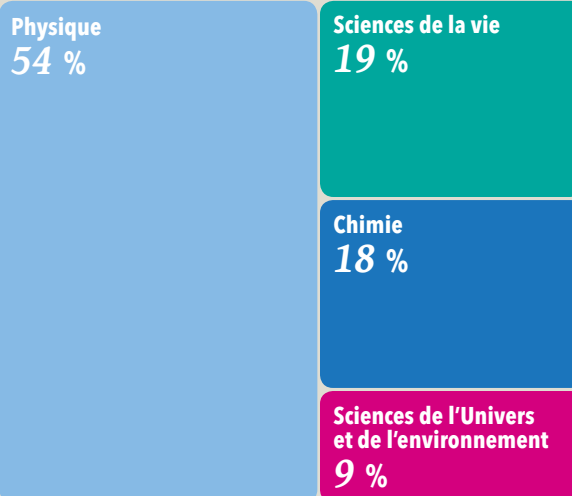
La constitution d'une plateforme commune d'accès à la documentation scientifique pour toutes les unités du CNRS est un autre exemple de réalisation concrète en cours. Ainsi, la refonte des six portails actuels (BiblioSHS, BiblioPlanets, etc.) a été lancée en 2015 pour offrir un accès unique et simplifié à toutes les ressources électroniques, payantes et gratuites, sélectionnées par les instituts. Dans le domaine de la documentation, on note également la naissance en 2015 du Portail Maths, réalisé avec de nombreux partenaires du CNRS. Il est destiné aux chercheurs en mathématiques de tout l'enseignement supérieur et de la recherche.

1. L'INIST est une unité du CNRS qui a pour mission de faciliter l'accès aux résultats de la recherche mondiale, de valoriser la production scientifique et d'accompagner les acteurs de l'enseignement supérieur et de la recherche.
2. La bibliométrie repose sur des études statistiques qui permettent de quantifier la production d'articles scientifiques.
3. Le *Text and Data Mining* (TDM) consiste à « fouiller » dans les corpus et les données scientifiques.

### LE CNRS AU TOP DU NOUVEAU CLASSEMENT « NATURE INDEX »

Si travailler avec les majors du *ranking* comme *Scimago Institutions Rankings* et *Thomson Reuters* est essentiel, rechercher des classements alternatifs ne l'est pas moins. Toutefois, pour le CNRS, les classements convergent : dévoilé en novembre 2015, le dernier-né des classements mondiaux des universités et des organismes de recherche élaboré par le groupe de presse *Nature Publishing Group* (éditeur de la revue *Nature*) place le CNRS loin devant ses homologues chinois, allemands ou américains sur le critère du nombre d'articles publiés (*article count*). Or le *Nature Index Collaborations* est fondé sur une analyse à la fois quantitative, qualitative – 68 publications d'excellence sont prises en compte hors sciences humaines et sociales – et actualisée puisque seules les publications des douze derniers mois sont comptabilisées.

### PUBLICATIONS DU CNRS DANS LES REVUES D'EXCELLENCE



Selon le classement *Nature Index*, la physique est la discipline dans laquelle les chercheurs CNRS publient le plus et dans les meilleures revues (2013-2014).

Source : [www.natureindex.com](http://www.natureindex.com)

## POUR L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET LA RECHERCHE



### 2 / ARCHIVES OUVERTES

Dépôt simplifié et offre de services à valeur ajoutée dans les archives ouvertes.



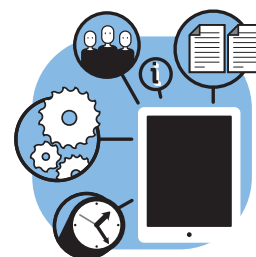
### 3 / PUBLIER POUR LA SCIENCE PUBLIQUE

Appui à la publication d'articles, revues, ouvrages, actes de congrès pour la science publique.



### 4 / ANALYSER LA PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Outils d'analyse, de métriques et d'indicateurs adaptés aux différentes disciplines, aux besoins des chercheurs et des décideurs.



### 5 / OPTIMISER L'EMPLOI ET LE PARTAGE DES DONNÉES DE LA RECHERCHE

Appui à la gestion, à la valorisation et aux partages des données produites par les équipes de recherche.

ENTRETIEN AVEC  
**CHRISTOPHE COUDROY,**  
*directeur général délégué aux ressources*

## Une gestion performante

L'année 2015 est marquée par plusieurs grands projets de modernisation, pour optimiser la gestion des ressources au service de la recherche.

### Quel bilan global tirez-vous de l'année 2015 du côté de la direction générale déléguée aux ressources ?

Nous recueillons les fruits des efforts accomplis. Pour ce qui est du recrutement, le CNRS va sensiblement au-delà du remplacement de l'ensemble des départs à la retraite, se distinguant à l'échelle de la fonction publique. De plus, s'agissant des crédits, il préserve la dotation déléguée aux laboratoires et l'enveloppe « projets » pilotée par les instituts. Ces résultats sont salués par nos tutelles ministérielles. Le fait d'être l'un des rares organismes de recherche à mettre en œuvre la nouvelle gestion budgétaire et comptable publique (GBCP) début 2016 est un gage supplémentaire de crédibilité pour l'organisme. Dans un contexte contraint, pour ne pas dégrader la qualité de service, il faut rester inventif et toujours réfléchir à la manière de s'organiser. La démarche d'amélioration continue (DAC) et les innovations en matière de gestion que l'on relève en 2015 en apportent l'illustration.

### Comment s'explique le bon niveau de recrutement au CNRS ?

Avec plus de 300 recrutements de chercheurs et plus de 300 recrutements d'ingénieurs et techniciens en

2015, le CNRS dépasse nettement le nombre de départs à la retraite. Nous avons commencé à lisser le creux démographique qui atteindra son point bas en 2017. La gestion des effectifs en équivalents temps plein travaillés (ETPT), pleinement mise en œuvre au CNRS depuis l'exercice 2013, explique largement ces résultats. Grâce à une gestion vertueuse de chacun des acteurs, cette méthode a permis de dégager des marges de manœuvre. Avec l'accord de nos tutelles ministérielles, ces marges sont réinjectées dans la masse salariale.

### En 2015, le CNRS s'est réorganisé en Île-de-France. À quels objectifs correspondait la création d'une nouvelle délégation régionale ?

L'objectif de ce projet lancé il y a plusieurs années consistait à mettre en adéquation le périmètre des délégations régionales franciliennes du CNRS avec celui des communautés d'universités et d'établissements (Comue) d'Île-de-France. C'est le cas avec la création de la délégation Paris-Villejuif née en juillet 2015 de la fusion des délégations Paris A (Ivry) et Paris Île-de-France Est (Thiais). En effet, de six Comue partenaires, la délégation Paris-Villejuif passera à deux à terme. Par ailleurs, le projet résulte de la volonté du CNRS d'optimiser les moyens disponibles, tout particulièrement le patrimoine immobilier. Grâce à l'action de Patrick Mounaud, délégué régional de Paris-Villejuif, et de ses équipes, la fusion s'est déroulée dans d'excellentes conditions, tant sur le volet social qu'en termes de calendrier.



© CNRS/Délégation PMA

“Avec plus de 300 recrutements de chercheurs et plus de 300 recrutements d'ingénieurs et techniciens en 2015, le CNRS dépasse nettement le nombre de départs à la retraite.”

### **Qu'attendez-vous du nouveau service mutualisé des fonctions supports en Île-de-France, rattaché à la délégation Paris-Villejuif ?**

Le service mutualisé des fonctions supports est également une réponse adaptée aux enjeux franciliens. Enjeux de structuration du paysage de la recherche, mais aussi enjeux de gestion des effectifs. Mise en place progressivement à partir de la rentrée 2015, cette structure interviendra dans quatre domaines : formation, achats, patrimoine-logistique et systèmes d'information. Dans chaque domaine, la délégation régionale reste l'interlocuteur de proximité des laboratoires et des agents, tandis que le service mutualisé se concentre sur des missions transversales ou d'ingénierie pour lesquelles la mutualisation peut apporter un gain quantitatif ou qualitatif. Par exemple, sur le volet patrimoine, les délégations disposaient de services de taille très dissemblable, potentiellement inadaptés pour un chantier de grande ampleur. Le service mutualisé, en rassemblant fonctionnellement ces compétences, est bien mieux outillé et pourra intervenir sur toute l'Île-de-France.

### **Un décret a confié au CNRS une nouvelle compétence de centrale d'achat. Quel est l'intérêt de ce dispositif ?**

Grâce à la centrale d'achat, les partenaires du CNRS pourront bénéficier, très simplement, de certains outils de gestion ou de certains marchés transverses que nous passons. Cela, en contractant directement avec nos prestataires sans avoir à lancer de leur côté une procédure de marché. C'est un grand progrès en termes de simplification et de mutualisation. De plus, c'est un argument pour obtenir des prix intéressants. Dès le début 2016, de nouveaux marchés d'information scientifique et technique ont ainsi été signés avec les éditeurs Elsevier et Thomson Reuters.

### **Quelles améliorations dans la gestion de l'organisme souhaitez-vous signaler ?**

Cette année, nous allons bien au-delà des 2 % de « gains achats » demandés par les pouvoirs publics. En 2015, sur un peu plus de 700 millions d'euros d'achats, on estime ces gains à environ 20 millions d'euros. Ces gains sont redéployés dans une logique d'optimisation : on peut acheter mieux et des

**“Grâce à la centrale d'achat, les partenaires du CNRS pourront bénéficier, très simplement, de certains outils de gestion ou de certains marchés transverses que nous passons.”**

prestations de plus grande qualité. Autre évolution intéressante : en 2015, nous avons fait évoluer le dialogue de gestion avec les laboratoires. Le CNRS propose désormais de commencer par une réunion plus stratégique au niveau du site avec le délégué régional, le directeur scientifique référent et les présidents des Comue et établissements partenaires. Par ailleurs, la démarche d'amélioration continue (DAC) est maintenant bien partagée. Des initiatives existent dans chaque délégation régionale pour simplifier les processus en interne et avec les partenaires.

### **Quels sont les enjeux du passage à la nouvelle gestion budgétaire et comptable publique (GBCP), réforme préparée activement durant toute l'année 2015 ?**

Il était ambitieux de vouloir basculer notre système de gestion en mode GBCP dès 2016. Malgré de nombreux obstacles, nous y sommes parvenus notamment grâce à une coopération remarquable entre les directions concernées, avec l'appui plus particulier de deux délégations régionales, et grâce à la mobilisation de chacun. La première version de la GBCP, déployée début 2016, engendrera une simplification de taille pour les laboratoires. Désormais, plutôt que de demander la « mise en place » de crédits tout au long de l'année, ils disposeront pour leurs contrats d'une enveloppe financière globale assortie d'un prévisionnel de dépenses et de recettes. L'intérêt ? Le rythme d'un projet scientifique ne sera plus affecté par des considérations de disponibilités budgétaires ponctuelles. Un dialogue renforcé avec les délégations régionales va se mettre en place pour ajuster les programmations budgétaires et piloter au mieux la trésorerie de l'établissement. En effet, la GBCP renouvelle en profondeur la gestion publique : la visibilité que nous gagnons sur la situation budgétaire, financière et patrimoniale de l'organisme nous aidera à encore améliorer la qualité du pilotage global du CNRS.

# Mutualiser pour mieux gérer

Conjuguant rôle national et présence forte sur les sites de recherche, le CNRS favorise les démarches de mutualisation et d'optimisation des ressources.

## LE CNRS CONFORTÉ DANS SES MISSIONS NATIONALES

Un décret paru au Journal officiel du 18 septembre 2015 a modifié l'organisation et le fonctionnement du CNRS. Enrichissant sa mission historique d'information scientifique et technique (IST), le CNRS se voit confier la responsabilité de développer, avec ses partenaires, des plateformes documentaires au service de la science publique. De plus, le CNRS acquiert une nouvelle compétence de « centrale d'achats » qui favorise la mutualisation des achats à l'échelle de l'enseignement supérieur et de la recherche. Concernant la mission du CNRS relative à l'évaluation, **le décret consacre le rôle central que tient l'organisme dans le débat public** en matière d'expertise et d'évaluation sur des questions de nature scientifique.



## UNE NOUVELLE CENTRALE D'ACHATS

Mutualiser les achats d'un ensemble de membres, qui bénéficient ainsi de conditions plus avantageuses, tel est l'objectif d'une centrale d'achats. Quel rapport avec le CNRS ? S'il existe déjà des centrales d'achats bien connues dans le secteur public comme l'Union des groupements d'achats publics (UGAP) pour les achats généraux, rien n'existait dans le domaine de l'enseignement supérieur et la recherche. Grâce à sa nouvelle mission de centrale d'achat, **l'organisme peut faire bénéficier ses partenaires des contrats qu'il négocie et simplifier l'accès à certains outils informatiques**. Ce qui facilite la mutualisation en matière de systèmes d'information, d'applications de gestion, d'accès aux bases de données bibliométriques ou encore d'instrumentation scientifique. Tous les établissements liés à la gestion et au fonctionnement du service public de l'enseignement supérieur, de la recherche, de la valorisation de ses résultats et du transfert de technologie peuvent y accéder.



## NAISSANCE D'UNE DÉLÉGATION RÉGIONALE

Valorisation de la recherche, gestion des ressources, informatique, sécurité, action sociale... les 18 délégations régionales du CNRS rendent aux laboratoires un service essentiel. En 2015, deux délégations régionales franciliennes ont fusionné (Paris A et Paris Est) pour donner naissance à la délégation Paris-Villejuif. L'objectif à l'échelle régionale est de **simplifier et d'approfondir les relations du CNRS avec ses partenaires académiques, désormais rassemblés en Communautés d'universités et d'établissements (Comue)**. Toujours dans cette perspective de reconfiguration territoriale, 56 unités de recherche du CNRS d'Île-de-France ont changé de délégation gestionnaire en 2015. D'autres transferts d'unités s'échelonneront jusqu'en 2019.



## MIEUX GÉRER LES CONTRATS DE RECHERCHE AVEC WEBCONTRAT

WebContrat est une application innovante qui fiabilise et simplifie les processus de montage et de suivi des contrats de recherche grâce à trois modules interconnectés : SIGFIC sur l'aspect financier, Sigappec pour le volet contractuel et Canope pour le recrutement. Développé à l'origine par la délégation Languedoc-Roussillon, il a été déployé à l'ensemble du CNRS en 2015 (module financier). « WebContrat est un outil transversal qui permet de partager en temps réel l'information entre les laboratoires

et les services des délégations régionales impliqués dans la gestion des contrats », indique

Jocelyn Méré, adjoint à la déléguée régionale Languedoc-Roussillon. **WebContrat est devenu**

**le troisième pilier du système d'information gestion du CNRS, aux côtés de BFC**

**et de Geslab.** « Nous avons travaillé avec la délégation Languedoc-Roussillon pour adapter

WebContrat à la GBCP (gestion budgétaire et comptable publique), en ayant à cœur de

répondre à la diversité des besoins des métiers exprimés par l'ensemble des utilisateurs »,

précise Karine Argento, adjointe au délégué régional Alpes. Les deux autres modules

de WebContrat seront mis en place au premier semestre 2016.



## PROMOUVOIR LES MUTUALISATIONS À L'ÉCHELLE DES SITES

En plus de la mutualisation des achats au niveau national ou de projets immobiliers partenariaux, les mutualisations de site entre le CNRS et ses partenaires se développent. On compte désormais 78 unités mixtes de recherche gérées soit par le CNRS, soit par l'université via les délégations globales de gestion. Côté actions de mutualisation, tous les domaines des fonctions d'appui à la recherche sont concernés.

**La prévention et la sécurité, la médecine de prévention et la formation sont les domaines où le niveau de mutualisation est le plus avancé.** Mutualisation

des données financières, des ressources humaines, offre de service commune sont possibles... jusqu'à la constitution, dans certains cas, de véritables services mutualisés

CNRS-université. Il existe, par exemple, une cellule mutualisée Europe-Recherche

à Orléans (délégation régionale CNRS Centre Limousin Poitou-Charentes, université

François-Rabelais de Tours, université d'Orléans) et des services partenariat et valorisation mutualisés

avec l'université dans deux délégations régionales. Grâce à la dynamique de site, de nombreux

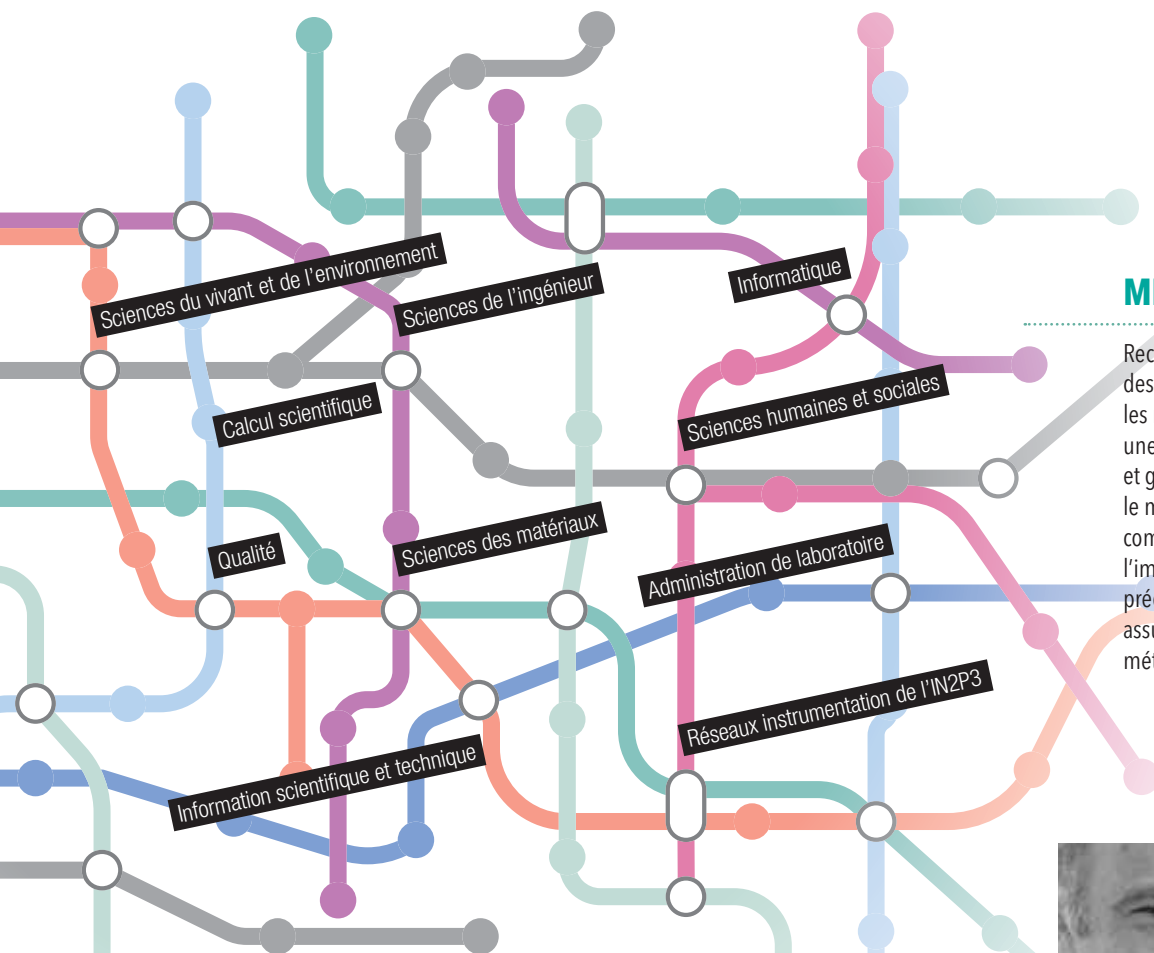
projets de mutualisation sont en cours, souhaités par le CNRS et ses partenaires, notamment en matière de contrats européens et d'informatique.



## MY CORE POUR STOCKER ET PARTAGER SES FICHIERS EN TOUTE SÉCURITÉ

En octobre 2015, le CNRS a lancé My CoRe, un nouvel outil de synchronisation et de partage des fichiers informatiques individuels. Ils peuvent être consultés et modifiés en dehors du lieu de travail, depuis un ordinateur, une tablette ou un smartphone. **My CoRe propose l'équivalent de services privés**, à la différence que les données sont stockées en France sur des serveurs du CNRS, dans les locaux de l'IN2P3 à Lyon... ce qui offre des **garanties de sécurité et de confidentialité**. Mis à la disposition des personnels des unités de recherche, My CoRe vient compléter l'offre de service de la direction des systèmes d'information, qui comprend déjà la plateforme nationale de messagerie intégrée, le cloud sécurisé (serveur virtuel), l'hébergement de sites web, ou encore CoRe multi-tutelles.





## MÉTIERS EN RÉSEAUX

Recensés en 2015 par l'Observatoire des métiers et de l'emploi scientifique, les réseaux professionnels du CNRS sont une centaine (hors réseaux fonctionnels et groupements de services). Ils favorisent le maintien et le développement des compétences, l'échange des pratiques, l'implication et la motivation. Atouts précieux pour l'organisme, ces réseaux assurent également une veille sur les métiers et les technologies de demain.

# Des ressources humaines tournées vers l'avenir

Dans une volonté d'ouverture et de dialogue, la direction des ressources humaines renforce l'accompagnement des unités et des personnels.



© CNRS/Délégation PMA

**PIERRE COURAL,**  
directeur des ressources  
humaines

« Le niveau élevé de postes mis au concours au CNRS fait figure d'exception dans la fonction publique aujourd'hui. Ce n'est pas le fruit du hasard », déclare Pierre Coural, directeur des ressources humaines depuis mai 2015. Grâce à une gestion pointue des effectifs, il est possible de financer une politique de recrutement au-delà du remplacement des départs à la retraite. Ainsi, chaque année, environ 600 postes de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens sont ouverts au concours. « La gestion des effectifs en équivalents temps pleins travaillés (ETPT) est maintenant pleinement assimilée et ses effets positifs sont reconnus par l'établissement », signale Pierre Coural.

En parallèle de l'emploi statutaire, l'organisme s'efforce d'améliorer la gestion des contractuels dont la contribution à la recherche est essentielle. En 2015, le CNRS s'est doté d'un référentiel de rémunérations harmonisant les règles applicables aux contractuels dans toutes les délégations régionales. Par ailleurs, le référentiel des métiers de Pôle Emploi a été mis en correspondance avec celui du CNRS, ce qui permet de publier les offres

de façon automatique sur le site de Pôle Emploi et d'améliorer encore la qualité des recrutements.

## PRÉPARER LA RÉFORME DU RÉGIME INDEMNITAIRE

2015 a marqué le début des travaux préparatoires à la mise en application en 2017 du nouveau régime indemnitaire tenant compte des fonctions, des sujétions, de l'expertise et de l'engagement professionnel (RIFSEEP). En concertation avec les autres organismes de recherche, la DRH a travaillé sur la définition des groupes de fonction par corps et leurs bornages financiers. « Nous nous sommes également coordonnés avec nos partenaires académiques pour tendre vers une architecture partagée et convergente des régimes indemnitaires », signale Pierre Coural. Au titre des évolutions de l'année, il faut également signaler la dématérialisation de la gestion de la prime de participation à la recherche (PPRS) et du dossier annuel des agents. Côté mobilité interne, la première campagne FSEP (fonctions susceptibles d'être pourvues) a connu un réel succès en 2015. Grâce à ce nouveau dispositif, 50 % de

postes supplémentaires ont pu être ouverts à la mobilité fin 2015. « Les ingénieurs et techniciens y ont trouvé de nouvelles opportunités d'évolution professionnelle, tandis que les instituts ont pu répondre à leurs besoins de manière plus complète », explique Isabelle Longin, la directrice adjointe des ressources humaines.

### ANTICIPER LES RÉORGANISATIONS

La DRH joue également un rôle important dans l'accompagnement des réorganisations. Cela a été le cas lors de la création du service mutualisé d'Île-de-France, l'expertise de la DRH ayant favorisé la montée en puissance du pôle formation. De même, pour la trentaine de réorganisations d'unités qui se produisent en moyenne chaque année, il est apparu nécessaire de compléter la démarche de gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (GPEEC). « Nous avons travaillé avec les organisations syndicales afin de mieux anticiper et d'adapter l'accompagnement en fonction de l'impact des différentes réorganisations », précise Isabelle Longin.

L'accompagnement individuel est le second volet clé de l'action de la DRH. Cette année, la mise en œuvre du plan d'actions « Conditions de vie au travail et prévention des risques psychosociaux » s'est traduite par le lancement d'une formation à la prévention des risques psychosociaux destinée aux encadrants du CNRS. En outre, un nouveau guide, intitulé *La conciliation des temps de vie*, répertorie les bonnes pratiques à adopter pour mieux prendre en compte les contraintes extra-professionnelles du personnel. À noter également, l'amélioration de l'accès au logement social grâce à l'harmonisation des règles d'attribution ainsi que le renforcement de l'offre de places en crèches.

Quant à l'accompagnement des cadres supérieurs, les cycles de formation se poursuivent ainsi que la constitution de viviers. « Le CNRS dispose d'un très large

### INTÉGRER LES PERSONNES EN SITUATION DE HANDICAP

Depuis 2007, le CNRS a intégré 450 agents en situation de handicap dont 45 chercheurs. Pour Ghislaine Bec, responsable de la mission insertion handicap à la direction des ressources humaines, « dépasser les préjugés et modifier l'organisation du travail pour intégrer ses collègues améliore la performance collective ». Le troisième plan d'insertion des personnes en situation de handicap (2016-2018), approuvé à l'unanimité des organisations syndicales lors du vote en comité technique de décembre 2015, ambitionne de passer un nouveau cap. « Après avoir recruté, formé et sensibilisé, l'objectif est d'intégrer le handicap à tous les niveaux de l'établissement, c'est l'affaire de tous au quotidien », précise-t-elle. Pour cela, l'accent sera mis sur la formation et l'action sur le terrain, notamment dans les laboratoires, en travaillant sur les parcours de carrière et l'employabilité des agents handicapés. Le nouveau plan prévoit de favoriser l'innovation et la recherche sur le handicap en lien avec le Fonds pour l'insertion des personnes handicapées dans la fonction publique (FIPHFP).

vivier de cadres confirmés ou potentiels prêts à s'investir au service des collectifs de recherche, à tous les échelons de l'organisme : les repérer, les former et les accompagner dans leur carrière est essentiel », souligne Liliane Flabbée, directrice déléguée aux cadres supérieurs à la direction des ressources humaines.

### RENOUVELER LE DIALOGUE SOCIAL

En matière de dialogue social, l'année a été dense puisque que l'on compte plus de 55 rencontres avec les organisations syndicales (en plus des commissions administratives paritaires). Pour Pierre Coural, ces échanges sont indispensables à la politique de ressources humaines. « J'ai souhaité à mon arrivée initier un rééquilibrage afin de mieux faire entendre la voix de l'administration, en l'occurrence celle du CNRS en tant qu'employeur », signale-t-il. Un « bulletin de veille sociale » est désormais transmis aux directeurs fonctionnels, directeurs d'instituts et délégués régionaux. En parallèle, un nouveau réseau interne de correspondants « qualité du dialogue social » favorise la circulation des informations.

## UNE POLITIQUE D'APPRENTISSAGE VOLONTARISTE

En 2015, plus de 100 apprentis ont été accueillis au CNRS. Soit une multiplication par trois de l'effectif par rapport à 2014. Les diplômes préparés – du bac pro au diplôme d'ingénieur – concernent surtout les domaines des sciences du vivant, sciences de l'ingénieur, instrumentation scientifique, informatique, statistique et calcul scientifique. Depuis 2003, ce sont 366 jeunes qui ont pu bénéficier d'un contrat d'apprentissage au CNRS.



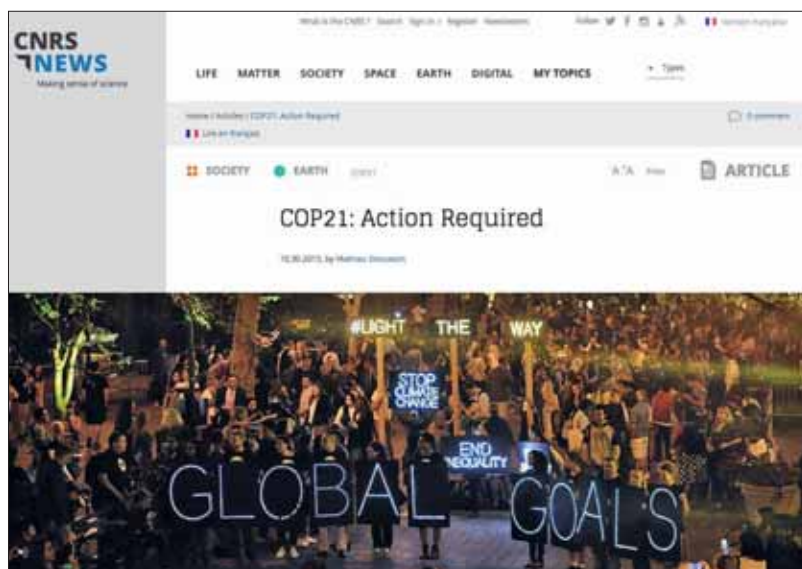
# La communication mise sur le numérique

Site en anglais, blog, formats multimédia, réseaux sociaux..., la direction de la communication innove toujours plus dans les contenus digitaux.

Après deux années d'existence et une fréquentation en hausse constante (130 000 visites mensuelles), CNRSLeJournal.fr a amélioré son offre numérique. Afin d'accroître encore son audience, une newsletter mensuelle est adressée depuis mars 2015 à une communauté scientifique de plus de 120 000 personnes, chercheurs, ingénieurs, techniciens des laboratoires du CNRS ainsi qu'aux abonnés du site. Un nouveau format multimédia de la collection CNRS/sagascience, « la saga de », qui permet de faire le point sur un sujet lié à l'actualité, a vu le jour. Un espace blog a également vu le jour, accolé au journal numérique. Ce module, simple d'utilisation, permet à des utilisateurs extérieurs à la direction de la communication de mettre en ligne des contenus, telles des missions sur le terrain, comme ce fut le cas avec « le raid des sept bornes » du

géographe François-Michel Le Tourneau. Enfin, le site miroir en langue anglaise, *CNRS News*, a été mis en ligne en septembre.

« Ce nouveau site d'information scientifique, ouvert à tous les amateurs de sciences, remplace la publication trimestrielle *CNRS International Magazine*, dont la diffusion était limitée aux institutions de recherche dans le monde », précise la directrice de la communication, Brigitte Perucca. Ce site gratuit a pour but d'expliquer et de contextualiser des découvertes scientifiques de plus en plus complexes et d'offrir une vitrine mondiale à la recherche française. L'ensemble des contenus est fortement diffusé via les réseaux sociaux.



**CNRS News a pour but d'expliquer et de contextualiser, en anglais, des découvertes scientifiques de plus en plus complexes et d'offrir une vitrine mondiale à la recherche française.**

## CONCOURS START-UP CONNEXION

En mars 2015, le groupe AEF et le CNRS se sont associés pour lancer le concours « Start-up connexion, les rencontres investisseurs et chercheurs entrepreneurs ». Son objectif est de valoriser des start-up issues de la recherche académique et de permettre à des investisseurs et industriels d'accompagner des chercheurs dans leur recherche de financement. Vingt-cinq responsables de start-up ont ainsi pu échanger avec des financiers ou des industriels dans le cadre des Rencontres universités entreprises en mars 2015. 10 d'entre eux ont bénéficié de présentations spécifiques devant un auditoire composé de professionnels de décideurs et d'investisseurs.

## SOUS LE SIGNE DE LA LUTTE CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Évènement majeur de l'année 2015, la 21<sup>e</sup> Conférence des parties (COP21) a fortement mobilisé la communauté scientifique. Pour s'en faire l'écho, la direction de la communication a organisé plusieurs manifestations autour du changement climatique. C'est ainsi que les 25<sup>es</sup> Rencontres CNRS Jeunes « Sciences et citoyens », organisées à Poitiers, en présence, cette année encore, de quelque 400 jeunes Européens, ont été en partie consacrées à ces questions.

Le programme du forum annuel « Que reste-t-il à découvrir ? », dont la troisième édition était prévue les 13 et 14 novembre à la Sorbonne, était centré sur la question du climat dans ses aspects à la fois environnementaux et sociétaux. L'occasion pour le grand public d'échanger avec une centaine de chercheurs de toutes disciplines. Cette manifestation a malheureusement dû être interrompue en raison des attentats qui ont touché Paris le 13 novembre.

# Les risques à la loupe

En 2015, la direction de l'audit interne du CNRS a conçu et piloté une vaste démarche de cartographie et de maîtrise des risques.



© DR/CNRS

**MARIE-CAROLINE BEER,**  
directrice de l'audit interne

« **C**onsolider la crédibilité de la recherche du CNRS et permettre à chacun de se concentrer sur son cœur de métier, tel est l'objectif de la démarche de maîtrise des risques de l'établissement », indique Marie-Caroline Beer, directrice de l'audit interne. L'organisme progresse en ces domaines depuis dix ans déjà et avec des résultats probants. En témoigne la certification sans réserve de ses comptes financiers. Le CNRS poursuit et renouvelle aujourd'hui son approche de la maîtrise des risques, en l'élargissant bien au-delà des aspects comptables et financiers.

## PERCEPTION DU TERRAIN

Il s'agit à la fois de se recentrer sur les enjeux stratégiques du CNRS et d'adopter une approche très concrète. Ainsi, la cartographie des risques lancée en 2015 traite-t-elle aussi bien de l'accompagnement de la politique de sites de recherche de visibilité internationale, des relations entre le CNRS et la société, que de la gestion des ressources ou encore des systèmes d'information.

Cette nouvelle approche s'est traduite par une large campagne de collecte d'expressions de risques, au cours du premier semestre 2015. À cette occasion, tous

les directeurs d'instituts et de structures fonctionnelles ainsi que les délégués régionaux ont été sollicités. « Ces échanges avec les responsables et leurs équipes ont été essentiels pour appréhender les risques et la façon dont ils sont perçus. Mais aussi pour diffuser à tous les niveaux la culture du contrôle interne », précise Marie-Caroline Beer.

## RADIOGRAPHIE DE L'ÉTABLISSEMENT

Les 700 expressions de risques collectées ont été analysées puis organisées en une dizaine d'univers de risques : le financement de la recherche, la santé et la sécurité ou encore la protection des actifs en font partie. « Cette radiographie de l'établissement a suscité beaucoup d'intérêt au niveau du directoire », signale Marie-Caroline Beer. Les priorités définies à partir de cet état des lieux visent à prémunir l'établissement contre trois risques majeurs : l'interruption de son fonctionnement, l'atteinte à sa capacité d'action et l'altération de sa crédibilité. Afin de mettre en œuvre le plan d'action qui en découle, des référents internes seront nommés en 2016. « Cette approche, encore peu fréquente avec ce degré d'aboutissement dans la fonction publique, traduit la maturité du CNRS : celle d'un acteur à la fois conscient de ses forces et capable d'identifier des axes de progression... qui sont autant de leviers de modernisation », conclut la directrice de l'audit interne.

## LES MISSIONS DE LA DIRECTION DE L'AUDIT INTERNE (DAI)

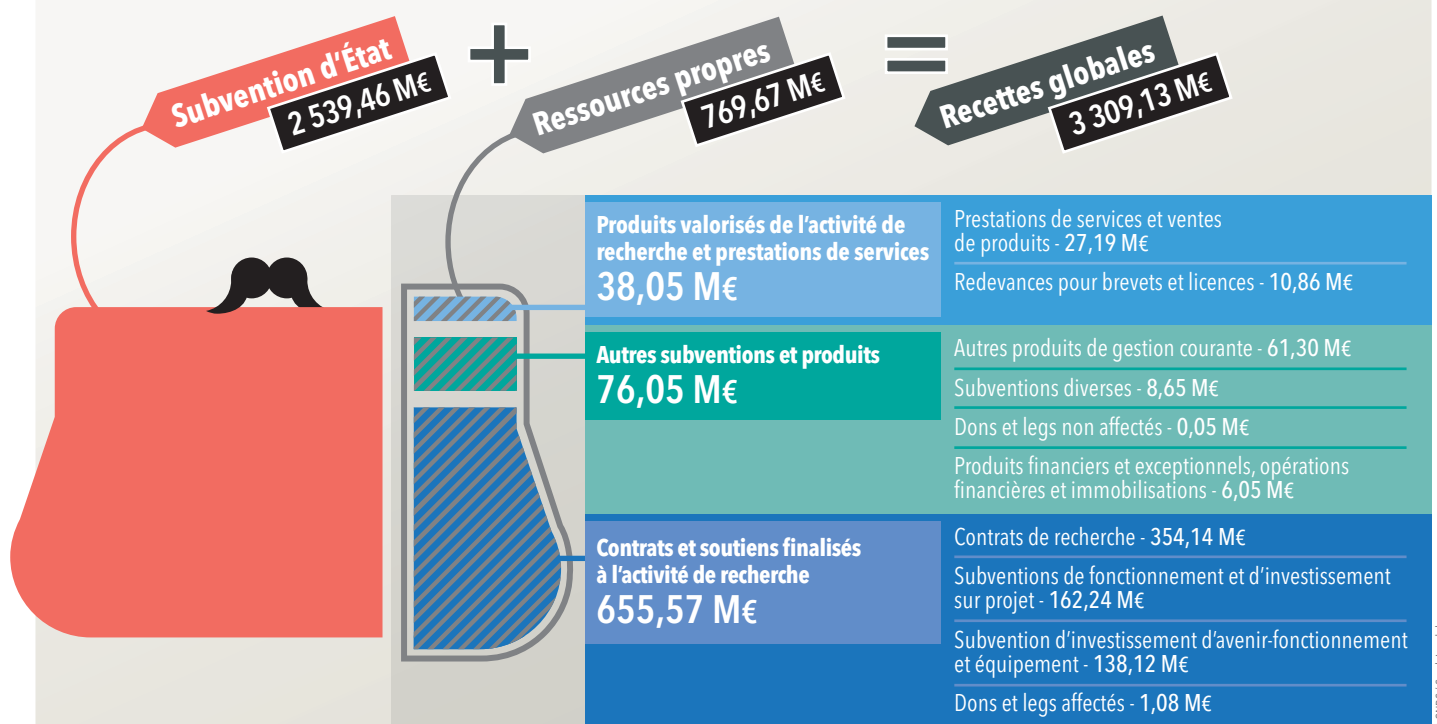
La DAI, créée en juillet 2007, est placée auprès du président du CNRS. Elle assure, sur tout le périmètre de l'établissement, une fonction de vérification indépendante et objective : conformité à la réglementation, mise en œuvre des décisions de la gouvernance, pertinence du contrôle interne, efficacité des processus, etc. Elle n'examine pas les travaux de la recherche et sa démarche ne s'apparente donc en rien à une évaluation scientifique. La DAI recommande des actions d'amélioration et en évalue la mise en œuvre. Le comité d'audit interne, quant à lui, supervise les travaux de l'audit interne et éclaire le conseil d'administration sur la connaissance que le CNRS a de ses risques et sur les moyens dont il se dote pour les maîtriser.

# Éléments budgétaires et financiers

La réalisation des activités de recherche menées dans les laboratoires liés au CNRS et la mise en œuvre de la politique scientifique de l'établissement sont lisibles à travers le budget de l'organisme.

## EXÉCUTION BUDGÉTAIRE 2015 - LES RESSOURCES

### Les ressources du CNRS en 2015

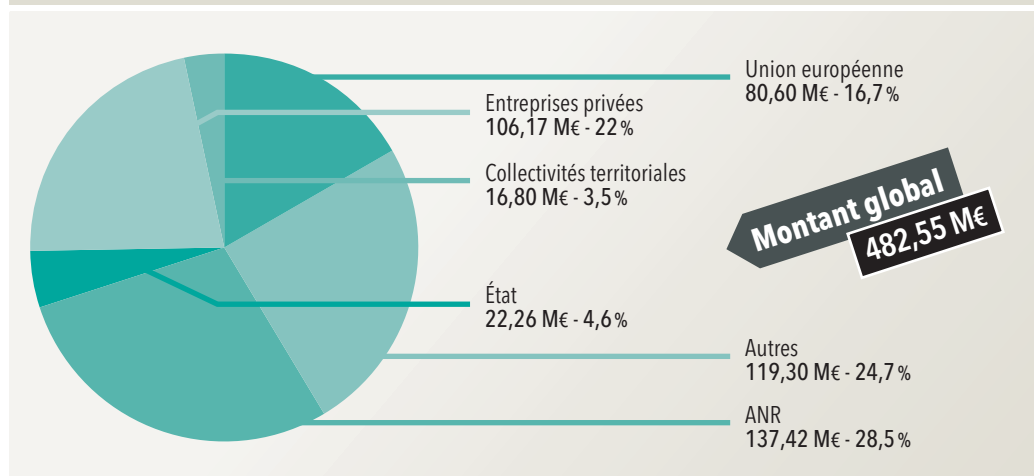


Les ressources de l'organisme en 2015 proviennent principalement de la subvention de l'État (2 539,46 M€), qui représente 76,7 % de l'ensemble.

Parmi les ressources propres (769,67 M€), les contrats de recherche - hors IA - (354,14 M€) constituent la première source de financement (10,7 %).

Source : BFC / DSFIM

### Les contrats de recherche du CNRS en 2015\*



Les contrats de recherche (354,14 M€) sont très majoritairement financés par les établissements et entreprises publics. 28,5 % correspondent à des financements de l'Agence nationale de la recherche, soit 137,42 M€. Pour leur part, les subventions d'exploitation liées à l'activité de recherche s'établissent à 128,41 M€ pour l'année 2015.

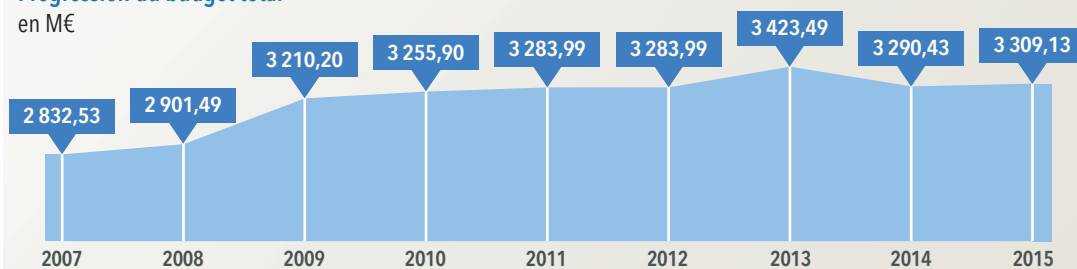
\* Y compris subventions d'exploitation liées à l'activité de recherche (128,41 M€)

Source : Compte financier 2015 / DCIF

## Évolution des ressources 2007-2015

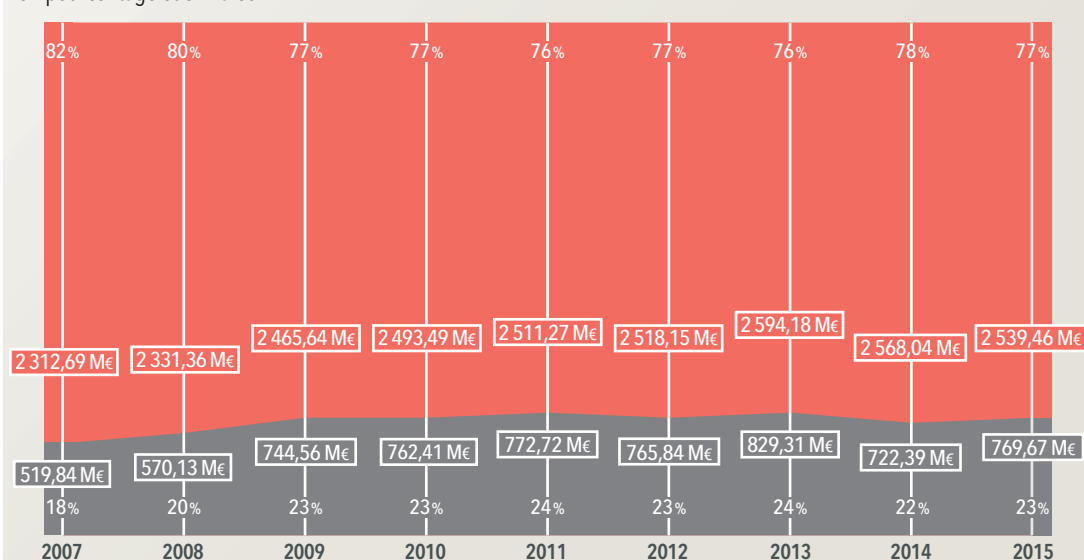
### Progression du budget total

en M€



### Part subvention d'État / ressources propres

en pourcentage et en valeur



Source : BFC / DSFIM

Les recettes constatées augmentent de 16,8 % au cours de la période 2007-2015.

Ce résultat s'appuie sur une progression de la subvention du ministère de la Recherche de 10 % et des ressources propres de 48 %.

Si la part des ressources propres affiche une croissance sensible au cours de la période, passant de 18 % à 23 %, celle-ci reste stable depuis 2009.

## Évolution de l'origine du financement des contrats de recherche par bailleur

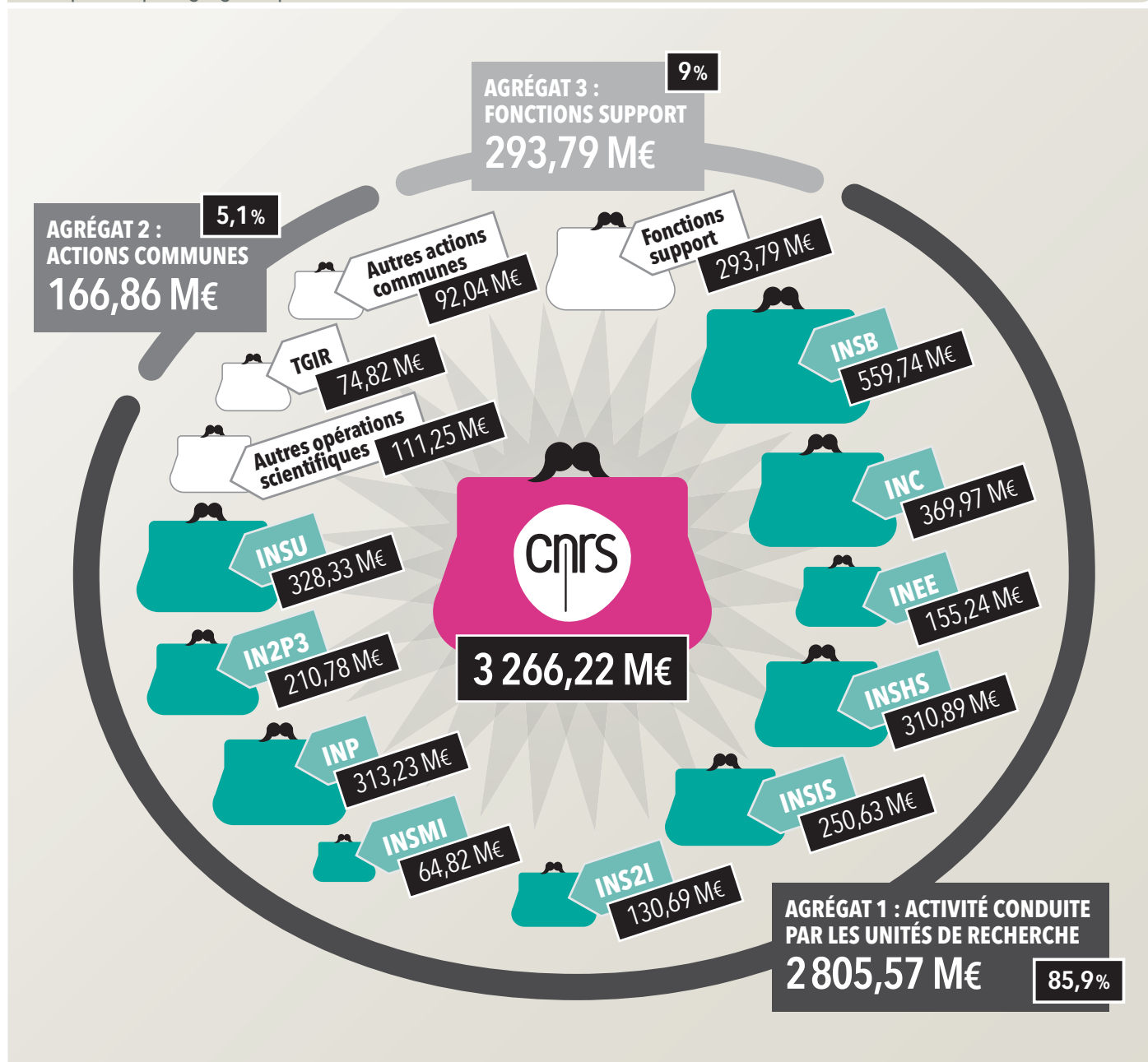
Origine du financement des ressources propres sur contrats de recherche par bailleur (en M€)	2013	2014	2015	Évolution montant	Évolution (%)
État	26	16	22	+6	+37 %
Collectivités territoriales	20	15	17	+2	+14 %
Établissements et organismes publics	275	280	226	-54	-19 %
<i>dont ANR</i>	<b>182</b>	<b>169</b>	<b>137</b>	<b>-31</b>	<b>-19 %</b>
Commission européenne	80	71	81	+9	+13 %
Autres financeurs publics étrangers	24	22	31	+9	+41 %
Divers financements publics via des entreprises privées	69	59	65	+6	+10 %
<b>Financement d'origine publique</b>	<b>496</b>	<b>463</b>	<b>441</b>	<b>-22</b>	<b>-5 %</b>
Entreprises privées françaises	27	30	35	+5	+17 %
Entreprises privées étrangères	5	6	7	+1	+14 %
<b>Financement d'origine privée</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>+6</b>	<b>+17 %</b>
<b>TOTAL</b>	<b>529</b>	<b>499</b>	<b>483</b>	<b>-16</b>	<b>-3 %</b>

Source : Compte financier 2015 / DCIF

## EXÉCUTION BUDGÉTAIRE 2015 - LES DÉPENSES

Le montant des dépenses 2015 de l'organisme sur subvention d'État et ressources propres est de 3 266,22 M€ (hors charges calculées).  
La déclinaison des dépenses est présentée dans les graphiques ci-après.

Les dépenses par agrégat et par destination

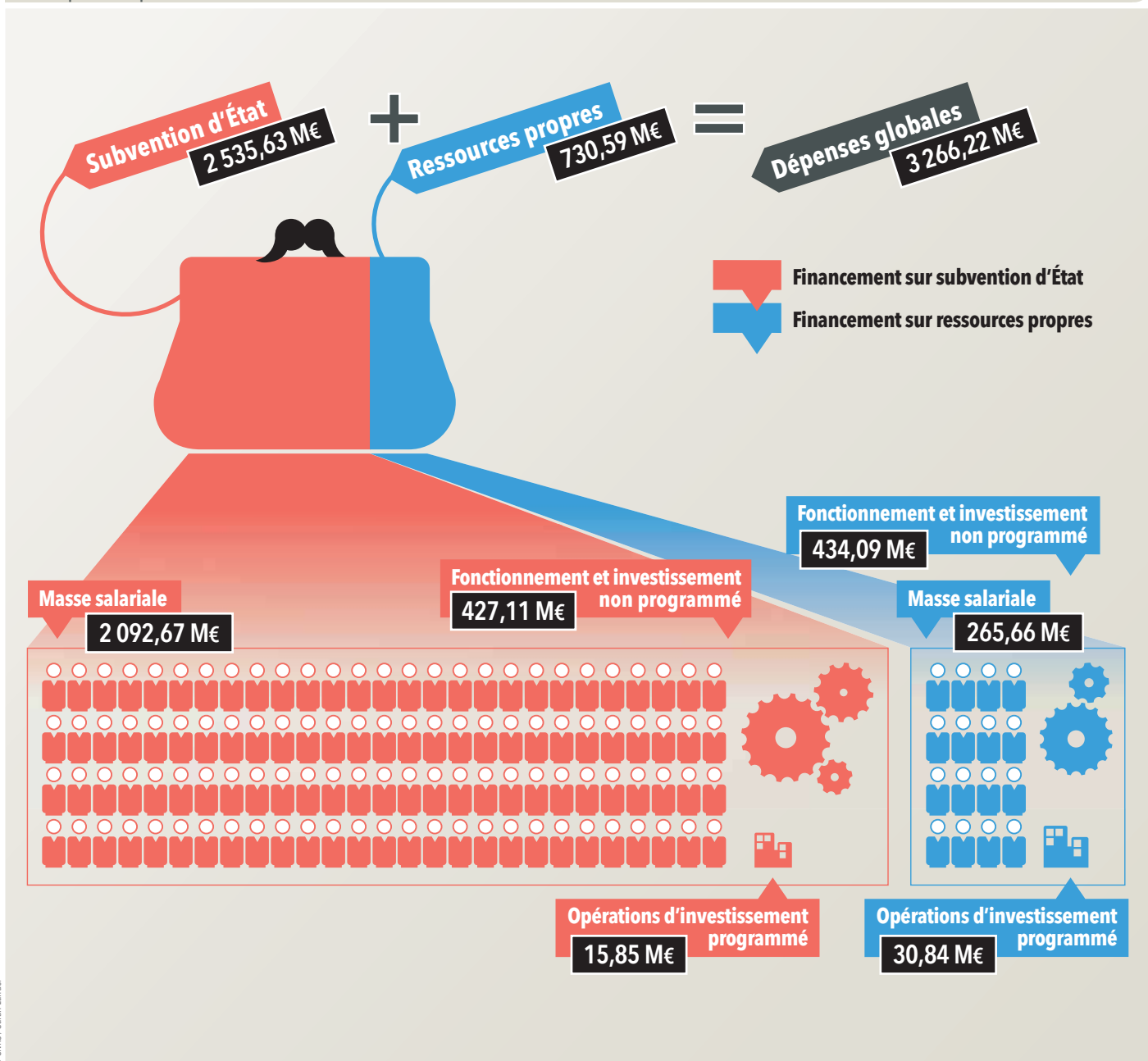


L'exécution 2015 de l'agrégat 1 confirme la priorité accordée aux financements des laboratoires, sachant que 85,9 % des moyens financiers de l'établissement leur sont directement consacrés.

Source : BFC / DSFIM

Les dépenses par ligne de destination révèlent que la chimie et les sciences de l'Univers, respectivement 11,3 % et 10,1 % du total, constituent deux des principaux pôles de dépenses de l'établissement, après les sciences biologiques (17,1 %).

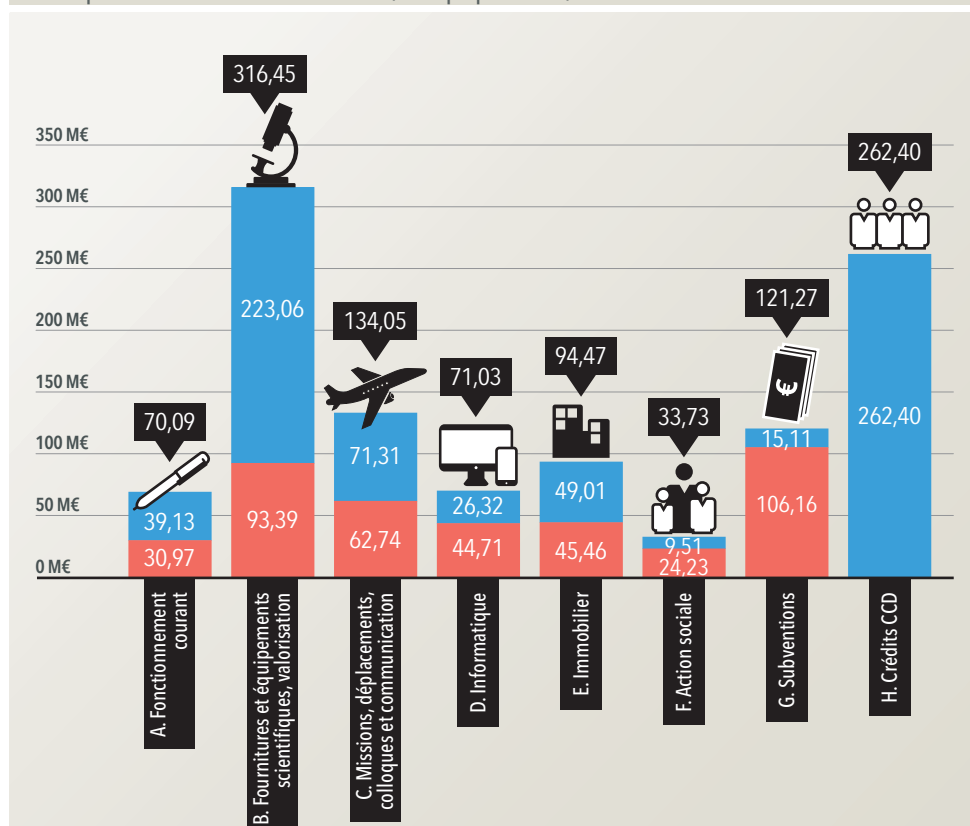
## Les dépenses par nature



Les dépenses de personnel (permanent et contractuel) représentent 72,2 % des dépenses de l'établissement.

Source : BFC / DSFIM

## Les dépenses de fonctionnement, d'équipement, et d'investissement selon le référentiel budgétaire du CNRS



Depuis 2010, le CNRS dispose d'un référentiel budgétaire lui permettant d'obtenir une présentation de ses dépenses suivant des regroupements fonctionnels. Ce référentiel budgétaire est utilisé à tous les niveaux de responsabilités de l'établissement (budget du CNRS, des instituts, des entités fonctionnelles et budgets des laboratoires) et dans les différentes phases d'élaboration et d'exécution du budget (des arbitrages macro-économiques du CNRS à l'exécution des dépenses).

**Crédits consommés en subvention d'État**

**Crédits consommés en ressources propres**

Source : Compte financier 2015 / DCIF

## COMPTES 2015

### Le compte de résultat 2015

Charges (en M€)	2013	2014	2015	Produits (en M€)	2013	2014	2015
Total charges d'exploitation	3 332	3 294	3 271	Total produits d'exploitation	3 365	3 298	3 277
<b>Résultat d'exploitation : BÉNÉFICE</b>	33	4	6	<b>Résultat d'exploitation : PERTE</b>			
Charges financières	3	2	7	Produits financiers	2		10
<b>Résultat financier : BÉNÉFICE</b>			2	<b>Résultat financier : PERTE</b>	ns	2	
Charges exceptionnelles	12	4	4	Produits exceptionnels	4	5	4
<b>Résultat exceptionnel : BÉNÉFICE</b>		1	ns	<b>Résultat exceptionnel : PERTE</b>	8		
<b>Total des charges</b>	<b>3 347</b>	<b>3 299</b>	<b>3 282</b>	<b>Total des produits</b>	<b>3 371</b>	<b>3 303</b>	<b>3 291</b>
<b>Bénéfice</b>	<b>25</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>Perte</b>			
<b>Total</b>	<b>3 371</b>	<b>3 303</b>	<b>3 291</b>	<b>Total</b>	<b>3 371</b>	<b>3 303</b>	<b>3 291</b>

Source : Compte financier 2015 / DCIF

### Le bilan 2015

Actif (en M€)	31/12/2014	Corrections	01/01/2015	2015	Passif (en M€)	31/12/2014	Corrections	01/01/2015	2015
<b>Actif immobilisé net</b>	<b>1 229</b>		<b>1 229</b>	<b>1 241</b>	<b>Capitaux permanents</b>	<b>1 546</b>	<b>16</b>	<b>1 562</b>	<b>1 562</b>
<b>Actif circulant net (hors trésorerie)</b>	<b>1 402</b>	<b>-1</b>	<b>1 400</b>	<b>1 318</b>	<b>Provisions</b>	<b>212</b>	<b>-20</b>	<b>192</b>	<b>203</b>
<b>Trésorerie (actif)</b>	<b>405</b>		<b>405</b>	<b>485</b>	<b>Dettes (hors trésorerie)</b>	<b>1 276</b>	<b>3</b>	<b>1 279</b>	<b>1 279</b>
<b>Total</b>	<b>3 035</b>	<b>-1</b>	<b>3 034</b>	<b>3 044</b>	<b>Trésorerie (passif)</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>ns</b>
					<b>Total</b>	<b>3 035</b>	<b>-1</b>	<b>3 034</b>	<b>3 044</b>

Source : Compte financier 2015 / DCIF

Direction de la publication  
Direction de la rédaction  
Direction adjointe de la rédaction  
Rédaction en chef

**Alain Fuchs**  
**Brigitte Perucca**  
**Fabrice Imperiali**  
**Christine Girard**  
**Claire Debôves**

---

#### Partie scientifique

Rédaction en chef adjointe  
Rédaction

**Mathieu Grousseau**  
**Julien Bourdet**  
**Anne-Sophie Boutaud**  
**Jean-Philippe Braly**  
**Sebastián Escalón**  
**Grégory Fléchet**  
**Mathieu Grousseau**  
**Sylvain Guilbaud**  
**Anne Le Pennec**  
**Corinne Renou-Nativel**

---

#### Partie institutionnelle

Rédaction

**Claire Debôves**

Coordination

**Laurence Winter**

Reportages photo

**Élodie Morel** (service audiovisuel du siège,  
délégation Paris Michel-Ange)

Recherche iconographique

**Anne-Sophie Boutaud**  
**Christine Girard**  
**Anne-Emmanuelle Héry**  
(iconographe CNRS le Journal)  
**Marie Mabrouk**  
(photothèque du CNRS)

Adaptation graphique et mise en page

**Céline Hein** d'après une maquette de  
**Sarah Landel**

Secrétariat de rédaction

**Marie Chadefaux**

Réalisation des infographies

**Sarah Landel**

#### Remerciements

Dominique Armand – Clément Blondel – Christophe Cartier dit Moulin – Jean-Michel Courty –  
Pétronille Danchin – Anne de Reyniès – Clotilde Fermanian-Kammerer – Géraldine Gondinet –  
Christiane Grappin – Laure Guion – Muriel Ilous – Simon Jumel – Armelle Leclerc – Ana Poletto –  
Jonathan Rangapanaiken – Marie Signoret

---

#### Le CNRS est membre de 14 Communautés d'universités et d'établissements (ComUEs) :

Sorbonne Universités, Université Paris-Saclay,  
Université de Lyon, Lille Nord de France, Université  
Sorbonne Paris Cité, Paris Sciences et Lettres,  
Languedoc-Roussillon Universités, Université  
Paris Lumières, Université Fédérale Toulouse  
Midi-Pyrénées, Université Paris-Est, Université  
Grenoble Alpes, Université Côte d'Azur,  
HESAM Université, Université Bretagne Loire.



@cnrs



cnrs.fr



cnrs

www.cnrs.fr

Brochure imprimée par l'imprimerie l'Artésienne sur du papier issu de forêts gérées durablement.

Dépôt légal : juin 2016

ISSN : 1776-2154





**CNRS**

3, rue Michel-Ange  
75794 Paris Cedex 16

**T 01 44 96 40 00**  
**F 01 44 96 53 90**

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