

Trimestriel n° 301
OCTOBRE 2020

CNRS

LE JOURNAL



**Le CNRS
célèbre sa 1500^e
start-up**

**Françoise Combes,
médaille d'or 2020
du CNRS**

**Covid-19 : du dépistage
aux soins, la recherche
en première ligne**

**Les talents fous
des nouveaux
robots**



cité
sciences
et industrie

bio-inspirée
une autre approche
expo permanente
à partir du 18 septembre 2020

 RÉSERVATION IMPÉRATIVE
cité-sciences.fr
#ExpoBioinspirée
M> Porte de la Villette
  En partenariat avec 
 Avec le soutien de         



 **CNRS FORMATION ENTREPRISES**
Organisme de formation continue

270 formations technologiques courtes proposées par le CNRS dans ses laboratoires de recherche
pour les chercheurs, ingénieurs et techniciens des secteurs public et privé

Domaines de formation
Big data et IA, génie logiciel, sciences de l'ingénieur, chimie, biologie, microscopie, géographie, sociologie, cognition...

+ de 1600 stagiaires formés chaque année

 Découvrez nos stages sur cfnrsformation.cnrs.fr

cfe.contact@cnrs.fr
 @CNRS_CFE 

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16
Téléphone : 01 44 96 40 00

E-mail : lejournald@cnrs.fr

Le site Internet : <https://lejournald.cnrs.fr>

Anciens numéros :

<https://lejournald.cnrs.fr/numeros-papiers>

Directeur de la publication :

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Sophie Chevallon

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

Rédactrice en chef adjointe :

Charline Zeitoun

Chefs de rubrique :

Laure Cailloce, Saman Musacchio, Yaroslav Pigenet

Rédacteurs :

Sophie Félix, Laurence Stenvot

Assistante de la rédaction et fabrication :

Laurence Winter

Ont participé à ce numéro :

Nicolas Baker, Anne-Sophie Boutaud, Anaïs Culot, Sebastián Escalón, Grégory Fléchet, Muriel Florin, Cyril Frésillon, Denis Guthleben, Martin Koppe, Carina Louart, Louise Mussat

Secrétaire de rédaction :

Émilie Silvoz

Direction artistique :

David Faure

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry, Marie Mabrouk

Gestionnaire :

Mathieu Chatellier

Illustrations :

Fred Péault

Impression :

Groupe Morault, Imprimerie de Compiègne
 2, avenue Berthelot – Zac de Mercières
 BP 60524 – 60205 Compiègne Cedex
 ISSN 2261-6446

Dépôt légal : à parution



Photos CNRS disponibles à : phototheque@cnrs.fr ;
<http://phototheque.cnrs.fr>

La reproduction intégrale ou partielle des textes et des illustrations doit faire obligatoirement l'objet d'une demande auprès de la rédaction.

En couverture :

FRANÇOISE COMBES, PHOTO FRÉDÉRIQUE PLAS/LERMA/CNRS PHOTOTHÈQUE

**Vous travaillez au CNRS
 et souhaitez recevoir
 CNRS LE JOURNAL
 dans votre boîte aux lettres ?**

Abonnez-vous gratuitement sur :
 >> lejournald.cnrs.fr/abojournal

L'

attribution de la médaille d'or à Françoise Combes récompense une scientifique talentueuse mais également une manière de servir la science. Beaucoup de curiosité, une touche d'interdisciplinarité, un grand sens du collectif... comme les meilleurs de nos chercheurs et les meilleures de nos chercheuses, Françoise Combes est une « touche à tout » de génie et il est important que nous encourageons cette appétence à la diversité au travers de tout notre dispositif de soutien, d'encouragement et d'évaluation.

Françoise Combes nous rappelle que la recherche sur les sciences de l'Univers ne peut progresser sans un accès aux grands instruments, que doit soutenir dans la durée une politique ambitieuse de moyens et d'ouverture, forcément internationale. Elle nous prouve également que le chercheur s'appuie toujours sur un collectif

aux talents multiples avec notamment les ingénieurs, techniciens et administratifs. Par sa stature internationale, elle nous dit enfin que la recherche n'est rien si ses fruits ne sont pas partagés pour faire progresser le bien commun que constitue la connaissance.

Cette consécration magnifique, qui met en exergue l'excellence française en astrophysique, et au-delà dans les sciences de l'Univers, souligne aussi en creux que Françoise Combes n'est que la sixième femme lauréate de ce prix depuis 1954. Si nous devons

bien entendu récompenser les meilleurs scientifiques, nous devons être vigilants à assurer des parcours égaux aux hommes et aux femmes, et encore en amont, à faire naître des vocations chez les jeunes filles.

Sur tous ces enjeux, l'Institut national des sciences de l'Univers mène en ce moment une réflexion collective, à travers une large prospective conduite avec ses partenaires, au CNRS et au-delà. Elle constitue une occasion précieuse de réfléchir aux nouvelles frontières de la connaissance, à l'instrumentation innovante, aux nouvelles compétences qui devront venir grossir nos rangs, à l'importance de donner à voir nos recherches et au devoir d'accompagner chacun pour garantir l'égalité des chances dans l'épanouissement des talents multiples et nécessaires.

Nicolas Arnaud,
 Directeur de l'Institut national
 de sciences de l'Univers du CNRS



© CYRIL FRÉSILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE

Suivez l'actualité de la recherche avec le CNRS





© FRÉDÉRIQUE PLUS / INMAG / CNRS PHOTOOTHÈQUE

GRAND FORMAT

11

À la rencontre des start-up de la recherche	12
Retrouver les couleurs du siècle des Lumières	24
Covid-19 : du dépistage aux soins, la recherche monte au front	30



© EMMANUEL PAUBIDI

9

Thierry Pain,
Ingénieur-artiste
du verre

EN PERSONNE 5

Françoise Combes, médaille d'or 2020 du CNRS	6
Thierry Pain, ingénieur-artiste du verre	9
Brèves	10



© MARK WATERS, ARC CENTRE OF EXCELLENCE FOR GRAVITATIONAL WAVE DISCOVERY (OSGAW)

Les trous noirs
nouveaux
sont arrivés !

48

EN ACTION 37

« Une nouvelle façon de financer le progrès du savoir »	38
Cinq robots aux talents fous !	40
Bientôt un nouveau rover sur Mars	44
Quel successeur pour le LHC ?	46
Les trous noirs nouveaux sont arrivés !	48
Des outils pour « prévoir » les feux de forêt ?	50
Auscouter la face cachée des orages	52
Stockage de données : les promesses de l'ADN synthétique	54



© J.-C. MOSCHETTI / LS2N / CNRS PHOTOOTHÈQUE

Autisme et
Alzheimer :
des robots
médiateurs ?

60

LES IDÉES 55

« Le risque est d'oublier la dignité des personnes vulnérables »	56
Autisme et Alzheimer : des robots médiateurs ?	60
Sciences, une encyclopédie contemporaine	62

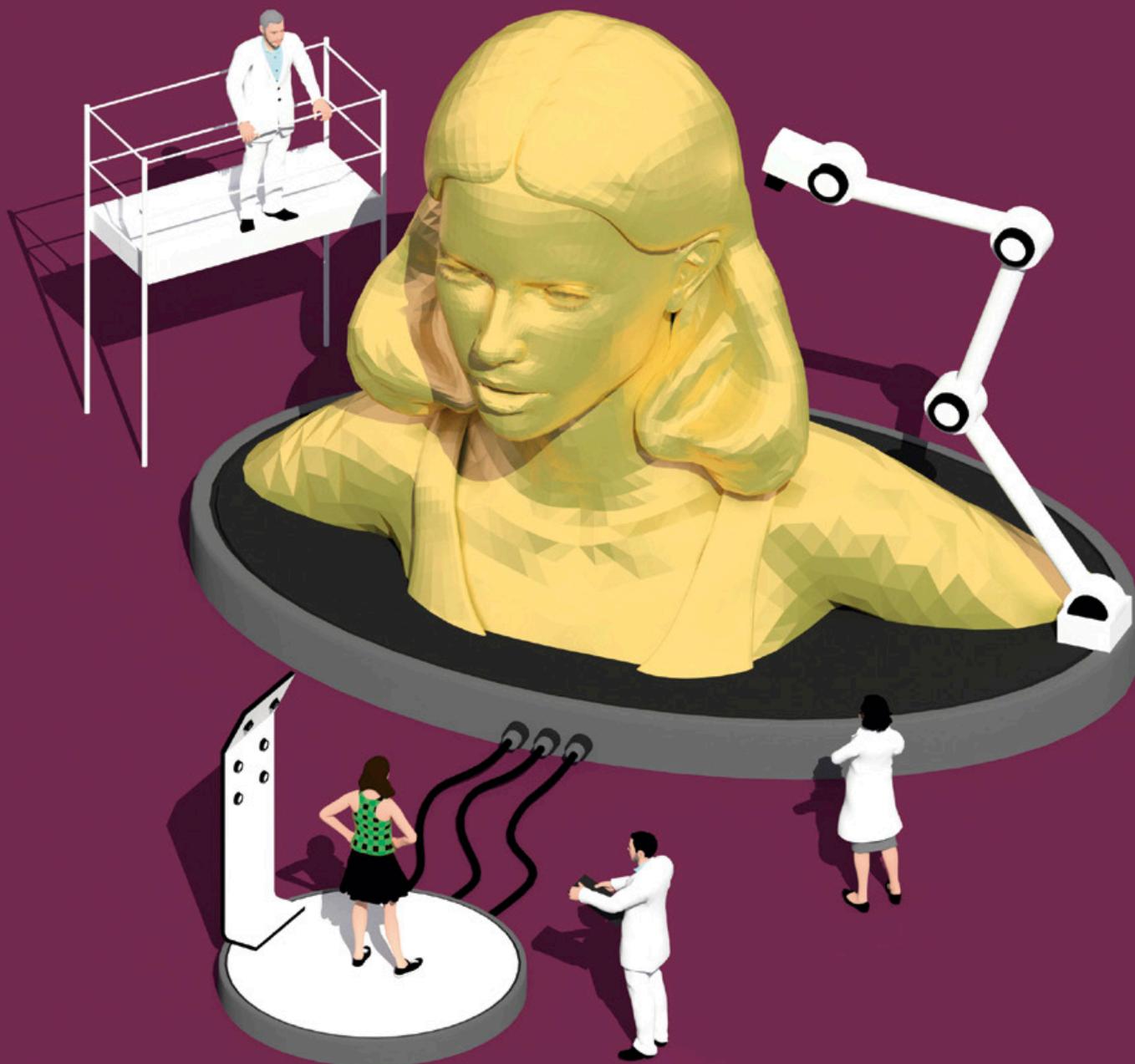
CARNET DE BORD

Steve N'Guyen nous raconte un souvenir de recherche	64
---	----

IL ÉTAIT UNE FOIS LE CNRS

L'héritage de Robert Chabbal	66
------------------------------------	----

EN PERSONNE



*Une astronome en or à la découverte
de l'Univers, des biologistes
prometteurs et un souffleur de verre
chez les chimistes.*

Françoise Combes, médaille d'or 2020 du CNRS

PAR LOUISE MUSSAT

ÉVÈNEMENT La médaille d'or du CNRS récompense cette année l'astrophysicienne Françoise Combes. Cette grande exploratrice du cosmos, qui a notamment découvert des molécules au fin fond de l'Univers, tente de percer les secrets des galaxies ou de la matière noire.

La rencontre n'a pas eu lieu dans son bureau, mais chez elle, en visioconférence. Pandémie de Covid-19 oblige. La fenêtre virtuelle laissait apparaître, assise devant une grande bibliothèque, Françoise Combes, 68 ans, astrophysicienne au Laboratoire d'études du rayonnement et de la matière en astrophysique et atmosphères¹, titulaire depuis 2014 de la chaire Galaxies et cosmologie au Collège de France, et lauréate de la médaille d'or du CNRS 2020. « Cette récompense était déjà revenue en 1983 à Evry Schatzman avec qui j'ai démarré ma carrière », s'amuse-t-elle, faisant remarquer que la boucle est en quelque sorte bouclée.

Après l'École normale supérieure (ENS), rue d'Ulm, et une agrégation de physique, Françoise Combes démarre sa carrière dans cette discipline par un DEA de physique quantique. « On me demande souvent si j'étais prédestinée à l'astronomie ; si, petite, j'observais déjà dans un télescope. Mais à cette époque-là, je ne savais pas trop ce que je voulais faire... » Son DEA en poche, elle entame une thèse de 3^e cycle en astrophysique théorique, avec Evry Schatzman donc, sur le modèle cosmologique symétrique entre matière et antimatière, cette forme « miroir » de la matière. À chaque particule de matière correspondrait en effet dans l'Univers une antiparticule de même masse mais de charge électrique opposée. Or la matière était en excédent par rapport à cette antimatière, les cartes

du fond diffus cosmologique – la toute première lumière émise par l'Univers – le montrent. Dans le modèle standard, l'excès de matière sur l'antimatière n'est que de seulement un milliardième, mais cela suffit à expliquer pourquoi il y a quelque chose plutôt que rien. Sans ce surplus, matière et antimatière se seraient annihilées et rien n'existerait. « C'est fascinant !, s'enthousiasme-t-elle. À quel phénomène doit-on ce subtil mais crucial excédent de matière, et donc notamment notre existence ? Avec un petit groupe de chercheurs, dont Evry Schatzman et Roland Omnès, nous avons développé un scénario que nos calculs ont finalement invalidé. Un peu perdue à la fin de ma thèse, je me demandais vers quel sujet me tourner. C'est Pierre Encrenaz qui m'a impulsée sur une nouvelle voie... »

Traqueuse de molécules interstellaires

Nous sommes alors en 1975 et le chercheur, aujourd'hui professeur des universités, émérite à l'Observatoire de Paris, monte le premier laboratoire français de radio-astronomie en ondes millimétriques². Sous son impulsion, Françoise Combes entame une thèse d'État et dédie son brio à une toute nouvelle discipline : la chimie du milieu interstellaire. À l'époque, seules quelques molécules ont été détectées entre les étoiles de la Voie lactée,

mais on soupçonne qu'une chimie complexe s'y trame. La jeune chercheuse traque donc des molécules dans le ciel avec des télescopes de nouvelle génération : la parabole de 12 mètres de Kitt Peak en Arizona, l'antenne de 5 mètres à McDonald, au Texas, ou celle de 4,6 mètres de l'Aerospace Corporation, en Californie.

Quelques minutieuses sessions d'observation plus tard, elle cosigne une première scientifique : la

Ses 6 dates clés

1952	Naissance à Montpellier
1980	Doctorat d'État en astrophysique de l'université Paris-Diderot
1989 - 2014	Astronome à l'Observatoire de Paris
2001	Médaille d'argent du CNRS
2001 - 2008	Codirectrice du Programme national Galaxies du CNRS
2020	Médaille d'or du CNRS

1. Unité CNRS/Observatoire de Paris-PSL/Sorbonne Université/Université de Cergy-Pontoise. 2. Ondes dont la fréquence se situe entre 30 et 300 gigahertz et la longueur entre 1 et 10 millimètres.



© F. PLUS/LEMA/CWIS PHOTOTHÈQUE

détection de la molécule CO (monoxyde de carbone) non pas dans la Voie lactée mais dans la galaxie d'Andromède, à 2,2 millions d'années-lumière de la Terre. « On a eu pas mal de publicité avec cette découverte, ça démarrait plutôt bien pour la quête de molécules », raconte-t-elle avec une humilité palpable. Dans la foulée de ce succès, la chercheuse décroche un poste d'assistante puis de maître-assistante à l'ENS avant de devenir sous-directrice du Laboratoire de Physique de l'ENS, fonction qu'elle occupera entre 1985 et 1989. « Je dispensais aussi des cours à Paris 6 tout en m'efforçant, en vain, d'y obtenir un poste permanent. Ceci dit, je ne regrette rien : en 1989, j'ai finalement été recrutée comme astronome à l'Observatoire de Paris, un statut qui me permettait enfin de me consacrer quasi exclusivement à la recherche ! »

Elle multiplie dès lors les campagnes d'observation, notamment avec l'antenne de 15 mètres du SEST (Swedish-ESO Submillimetre Telescope), au Chili, et la grande antenne de 30 mètres de l'Institut de radioastronomie millimétrique, près de Grenade, en Espagne. « Je partais sur le terrain plusieurs semaines par an avec le soutien de mon mari qui gardait nos trois enfants. » Dans ses « filets » en forme d'antennes radio, elle attrape de nombreuses autres molécules, traque entre autres la

▼ **Françoise Combes, lauréate 2020 de la médaille d'or du CNRS, ici sous le dôme de l'Observatoire de Paris.**

glycine, l'oxygène et l'eau, tapies dans des galaxies très lointaines. Sa chasse aux molécules interstellaires la conduit peu à peu à se pencher sur ses objets de prédilection : les galaxies.

Anatomiste des galaxies

« Nous avons remarqué, surtout grâce au satellite Iras, dès 1985, que l'hydrogène moléculaire³ est particulièrement abondant dans les galaxies en interaction. » Ces amoureuses, qui en dansant l'une avec l'autre forment des queues dites « de marée », sont de véritables pouponnières : elles enfantent 1 000 nouvelles étoiles par an quand une galaxie isolée, telle la Voie lactée, n'en forme qu'une à deux. « Ces étoiles naissent à partir d'énormes nuages de gaz moléculaire. Avec mes premiers étudiants en thèse, François Boulanger et Fabienne Casoli, devenue au printemps 2020 la première femme présidente de l'Observatoire de Paris, je tâchais de comprendre comment les molécules s'agencent pour former ces gigantesques nuages faiseurs d'étoiles. »

Entre 2001 et 2008, elle dirige d'ailleurs le Programme national Galaxies, l'un des programmes nationaux portés par l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS. À partir de 2005, elle collabore, avec des

3. C'est la forme moléculaire de l'élément hydrogène, c'est-à-dire le dihydrogène.

“Nous avons conçu une énorme base de données qui recense des galaxies de toutes masses et de tous types et dont on peut simuler à loisir les interactions et les fusions !”

équipes de l'Institut d'astrophysique de Paris et du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, au programme Horizon, financé par l'Agence nationale de la recherche, qui simule l'évolution de notre cosmos jusqu'aux confins de l'Univers observable. Dans ce cadre, son équipe bâtit une vraie bibliothèque cosmique. « Nous avons conçu une énorme base de données qui recense des galaxies de toutes masses et de tous types (des spirales, des naines, des lenticulaires...) et dont on peut simuler à loisir les interactions et les fusions », explique-t-elle avec passion. À force de jouer avec ses danseuses cosmiques virtuelles, à force de pointer télescopes et antennes géantes vers le ciel, elle dissèque les galaxies et révèle les secrets insoupçonnés de leur physiologie. C'est en effet à ses travaux que l'on doit notamment l'explication de la formation des bulbes dans les galaxies spirales (lire encadré).

Experte en matière noire

Françoise Combes est également l'une des grandes expertes françaises ès matière noire. Car le destin des galaxies est intimement lié à celui de cette matière invisible qui constitue plus de 80 % de toute la matière contenue dans l'Univers et dont on n'a toujours pas découvert

la nature. « La matière noire est absolument nécessaire pour que se soient formées les galaxies telles qu'on les observe aujourd'hui, explique-t-elle. Au tout début de l'Univers en effet, la matière ne peut pas se regrouper car elle est gênée par les photons. Mais la matière noire elle, qui n'interagit pas avec la lumière, peut sans peine s'effondrer par gravité. Elle forme des galaxies noires où la matière ordinaire s'agglutinera une fois libérée du joug des photons, quelque 380 000 ans après le big bang. »

Dès qu'elle se met à ausculter les galaxies, Françoise Combes se penche sur les différents modèles de matière noire, mais aussi sur des scénarios alternatifs. Car pour elle, pas de doute : la quête des wimps, ou neutralinos, ces particules théorisées dès 1985, va prendre un nouveau tournant. « Cela fait trente-cinq ans qu'on cherche ces wimps avec d'immenses détecteurs, toujours plus puissants. Il est temps de suivre d'autres pistes. » Des pistes qu'elle s'efforce de défricher en même temps qu'elle tente de découvrir ce qui se cache derrière la matière normale invisible. « On le sait moins, mais seulement 10 % de cette matière, dite baryonique, est visible : ce sont les étoiles, les galaxies, les amas de galaxies. » Le reste est certainement sous forme de gaz chaud ou froid, et selon les modèles qu'elle développe, une partie serait constituée de gaz moléculaire froid et sombre.

Qu'auriez-vous fait dans la vie, Françoise Combes, si vous n'aviez pas été l'un des grands explorateurs du cosmos ? « Oh vaste question... Chercheur en biologie peut-être ? Ou peintre ! J'aime beaucoup peindre des paysages et des portraits de style impressionniste, c'est très méditatif. » Elle n'osera pas nous montrer ses œuvres en direct, mais nous enverra par mail une très jolie toile. Le portrait d'une galaxie spirale. ■

▲ Leçon inaugurale au Collège de France, le 18 décembre 2014.

Dans l'intimité des galaxies

La chercheuse a contribué à révéler avec plus de détails que jamais l'anatomie des galaxies. Dans les années 1970-80, alors que les premières simulations numériques sont réalisées en deux dimensions, elle a l'idée de les faire, plus réalistes, en trois dimensions. Une astuce qui offre un nouveau point de vue. Elle résout ainsi un mystère jusqu'alors inexplicable : la formation d'un bulbe (sorte de renflement) dans les galaxies spirales. La clé de l'énigme est la barre centrale, sorte de forme allongée centrale où toutes les étoiles se rassemblent. « Cette barre soulève les étoiles dans la direction perpendiculaire au plan, explique-t-elle. De ce fait, les étoiles ne restent pas confinées dans un disque très mince mais prennent de l'altitude, ce qui forme un bulbe. » Ses simulations ont aussi montré comment la même barre précipite le gaz vers le centre, ce qui a pour effet d'alimenter le trou noir central.



Ingénieur à l'Institut des sciences chimiques de Rennes ¹, Thierry Pain, souffleur de verre et polisseur en optique de précision, confectionne et répare des appareils uniques dédiés aux expériences scientifiques. Certains de ces appareils permettent de fabriquer des verres infrarouges, pour le domaine médical ou la recherche spatiale ; d'autres sont utilisés pour purifier le soufre, l'arsenic ou encore le tellure. Expert dans la technique de travail du verre à froid, ce lauréat 2020 de la médaille de cristal du CNRS réalise également des pièces en silice pouvant atteindre des températures de 1 600 °C.

1. Unité CNRS/Insa Rennes/ENSC Rennes/Univ. Rennes 1.

Thierry Pain, Ingénieur-artiste du verre

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

20

le nombre de pièces en verre du futur lustre de l'hôtel Pasteur de Rennes sur lequel il travaille avec l'École des beaux-arts de la ville.

4mm

la taille d'une nacelle en verre, le plus petit objet qu'il ait eu à souffler.

20%

des pièces sont recyclées.

1700

C'est le nombre de demandes qu'il reçoit de ses collègues chaque année.

1

brevet déposé pour un nouveau réfrigérant à air en verre piégeant les vapeurs, dont il est co-inventeur.

12

le nombre d'articles publiés dans des revues à comité de lecture et dans lesquels il est cité.

1200°C

pour le verre borosilicate; 1 600°C pour la silice : c'est la température nécessaire pour façonner le verre.



© STUDIO MAX 12.

Sophie Chevallon, nouvelle directrice de la communication

Le 1^{er} septembre, Sophie Chevallon a été nommée directrice de la communication du CNRS. Elle présidait jusqu'alors Kalosiny, une société de conseil en communication et stratégie de marque qu'elle a fondée après avoir dirigé pendant neuf ans la communication du groupe Saint-Gobain. Journaliste de 1988 à 2002 au sein de RTL, France Info, RMC et Public Sénat, elle a par la suite occupé les fonctions de conseillère chargée de la communication et de la presse dans plusieurs cabinets ministériels : auprès du secrétaire d'État chargé des relations avec le Parlement, porte-parole du Gouvernement de 2002 à 2004, du ministre de la Recherche de 2004 à 2005 et du ministre de la Justice de 2005 à 2007. Sophie Chevallon succède à Brigitte Perucca qui dirigeait la communication de l'organisme depuis 2011.

Un référent pour la lutte contre le racisme et l'antisémitisme

Joël Moret-Bailly a été nommé référent chargé de la lutte contre le racisme et l'antisémitisme au CNRS. Professeur de droit privé et sciences criminelles, il est également référent déontologue et référent lancement d'alertes du CNRS depuis septembre 2018.



Joël Moret-Bailly

© D.R.

Sabine Deligne à la tête de la DSFIM

Sabine Deligne a été nommée directrice de la stratégie financière, de l'immobilier et de la modernisation de la gestion (DSFIM) à compter du 1^{er} novembre 2020. Elle était auparavant sous-directrice du budget de l'enseignement scolaire à la direction des affaires financières du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports.

UN CHIMISTE À L'HONNEUR

Directeur de l'Institut de science et d'ingénierie supramoléculaires (Isis), Paolo Samorì a reçu le prix binational franco-britannique de la Royal Society of Chemistry, créé en partenariat avec la Société chimique de France. Ses travaux visent à offrir de nouvelles propriétés aux nanomatériaux, pour mettre au point des composants, des dispositifs miniatures et des capteurs, avec des performances supérieures à ce qui existe aujourd'hui.

Amandine Cornille



© D.R.

Les deux lauréats 2020 du prix Paoletti

Amandine Cornille, chercheuse CNRS au laboratoire Génétique quantitative et évolution - Le Moulon, et Aurèle Piazza, chercheur CNRS au Laboratoire de biologie et modélisation de la cellule, vont recevoir le prix Paoletti pour leurs travaux de recherche. Cette récompense, d'un montant de 5 000 euros, a été créée en 1996 en hommage à Claude Paoletti, ancien directeur du Département des sciences de la vie du CNRS, qui avait pris de nombreuses initiatives pour soutenir les jeunes chercheurs.



© NOÉMIE GUITTER

Aurèle Piazza

GRAND FORMAT



*Le CNRS célèbre sa 1500^e start-up,
des scientifiques auscultent une
tapisserie unique et toutes les disciplines
se mobilisent contre le Covid-19.*



À la rencontre des start-up de la recherche



Ane Aanesland et Dmytro Rafalskyi, les deux fondateurs de la start-up ThrustMe, sont prêts à lancer dans l'espace le premier système au monde de propulsion électrique à l'iode. ThrustMe est née d'une volonté de répondre aux besoins de propulsion spatiale du marché croissant des constellations de satellites.

Le 25 novembre, le CNRS célébrera la 1 500^e start-up issue de ses laboratoires et décernera les médailles de l'innovation 2020. L'occasion pour l'organisme de dresser le bilan de sa politique en matière de valorisation de la recherche, avec de belles *success stories* à la clé.

DOSSIER RÉALISÉ PAR ANAÏS CULOT, SOPHIE FÉLIX, MARTIN KOPPE ET LAURENCE STENVOT

« Une des missions importantes du CNRS est de valoriser les résultats de recherche de ses laboratoires. Cela passe notamment par la création de nouvelles entreprises pour amener des nouvelles technologies vers le marché », nous confie la directrice de CNRS Innovation, Johanna Michielin, depuis son bureau de Boulogne-Billancourt où il règne comme une atmosphère de Silicon Valley. Dans ces grands espaces végétalisés de co-working, plus de soixante personnes s'activent pour propulser les innovations qui germent jour après jour dans les laboratoires de l'organisme.

Et cela marche ! Le CNRS va célébrer prochainement la création de sa 1 500^e start-up depuis 1970. Un chiffre d'ores et déjà dépassé... Pour l'occasion, une étude a été commandée sur 387 entreprises créées par l'ensemble des disciplines du CNRS entre 2002 et 2007. « Nous voulions savoir comment elles se sont développées, identifier les points forts de l'accompagnement du CNRS, les obstacles et surtout, prendre du recul par rapport à l'impact de ces spin-off sur l'économie réelle », explique Jules Meunier, directeur du département start-up de CNRS Innovation. Cette enquête met en lumière de nombreux enseignements sur l'origine de ces start-up : leur durée de vie, leur temps de développement et leurs besoins en accompagnement, ainsi que les disciplines dans lesquelles elles fleurissent le plus.

La pleine dynamique des start-up académiques

Premier constat : le taux de survie de ces entreprises (62 %) est nettement supérieur à celui de start-up françaises d'autres origines (inférieur à 50 %). Parmi les entreprises toujours actives, 10 % poursuivent même une « hypercroissance » : leur chiffre d'affaires dépasse 2,9 millions d'euros et leur croissance augmente d'au moins 12 % chaque année. C'est le cas par exemple d'Amplitude, spécialisée dans la fabrication de matériel optique, qui dépasse les 400 salariés et a notamment vendu plus de 25 000 lasers dans plus de 40 pays. Globalement, toutes ces entreprises regroupent aujourd'hui environ 3 500 salariés.

Autre point intéressant, le CNRS a créé des entreprises dans l'ensemble de ses disciplines : 91 start-up en ingénierie, 78 en biologie, 78 dans le numérique, 47 en chimie, 7 en sciences humaines et sociales... En outre, la majorité trouve des applications bien concrètes sur des sujets importants pour la société : médecine, biotechnologie, environnement, etc. Parmi les tendances de ces dernières années ? L'émergence du spatial ou le potentiel novateur du quantique, comme le prouve la start-up Alice&Bob (lire p. 18) qui a réalisé une levée de fonds de trois millions d'euros depuis sa création en 2020.

L'étude a également révélé un fait inattendu : certains laboratoires seraient de véritables pépinières de start-up. En effet, un quart de celles créées entre 2002 et 2007 – soit soixante-quatorze – proviennent d'un groupe de sept unités. Quelle est la clé de la réussite de l'entrepreneuriat dans ces structures ? Pour Éric Mével, directeur du Centre lasers intenses et applications (Celia) ¹ à Bordeaux, la raison est simple : « *Notre genèse et notre écosystème régional y étaient très propices* ». En effet, le laboratoire a été créé en même temps qu'une plateforme de transfert technologique. De plus, il a bénéficié de l'expérience entrepreneuriale de son premier directeur, François Salin, qui avait réalisé de nombreux allers-retours entre les mondes

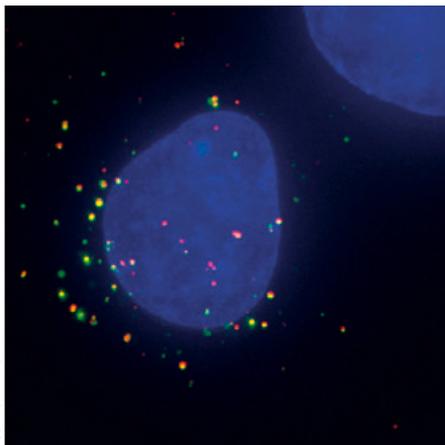
académique et industriel. Cinq start-up ² ont ainsi vu le jour au Celia depuis sa création en 1999. Et comme une *success story* en appelle souvent une autre, les premières réussites de valorisation du laboratoire ont invité d'autres chercheurs à tenter l'expérience.

Ces entreprises à forte valeur technologique attirent par la suite l'intérêt des industriels. « *La dynamique d'innovation ouverte ³ fait que les industriels réalisent une veille de start-up. Ils ont un intérêt fort à suivre leur développement en vue d'un rachat. Ils gagnent ainsi en agilité par rapport à la conduite d'un projet de R&D classique en interne* », explique Johanna Michielin. Un rachat est donc souvent synonyme d'industrialisation d'un produit. Une issue qui permet généralement de rendre accessible au plus grand nombre une avancée scientifique ou technologique.

1999 : un tournant pour les chercheurs-entrepreneurs

Ce lien entre valorisation et recherche n'en est pas à ses débuts. Pour Denis Guthleben, attaché scientifique au Comité pour l'histoire du CNRS, la première start-up de l'organisme remonterait même à 1946. C'est la Société anonyme des machines électrostatiques (Sames), toujours en activité, fondée par le physicien Louis Néel. « *Les archives montrent qu'après la guerre, les laboratoires allaient démarcher eux-mêmes des industriels qui étaient, quant à eux, un peu réticents à ce type de collaboration* », ajoute-t-il, tout en rappelant que le CNRS est également à l'origine de l'Agence nationale de valorisation de la recherche (Anvar) en 1967, aujourd'hui connue sous le nom de Bpifrance.

Depuis, l'écosystème français de l'innovation n'a eu de cesse d'évoluer pour soutenir les entreprises issues du monde académique. Car même si par nature, la recherche s'attaque à des thématiques sans applications en vue, elle peut parfois aboutir à une technologie qu'aucun autre acteur n'aurait eu les moyens ou le temps d'explorer. Ces jeunes entreprises novatrices constituent un pan important du panorama de l'innovation qui place la France



©SEBASTIAN MULLER

Microscopie à fluorescence d'un modèle de cellules souches cancéreuses.

SideROS, la 1 500^e start-up du CNRS, lutte contre le cancer

Croiser le fer contre le cancer : telle est la stratégie de Raphaël Rodriguez, directeur de recherche au CNRS, pour lutter contre les cellules-souches cancéreuses résistantes aux traitements ¹. Soutenue en 2019 par le programme Rise de CNRS Innovation, sa start-up SideROS – de *sideros* qui signifie « fer » en grec et « reactive oxygen species » (ROS) – marque le jalon des 1 500 start-up pour le CNRS. « *Les cellules cancéreuses résistantes contiennent plus de fer et sont métaboliquement plus actives que les autres* », explique le chercheur qui a breveté une molécule de synthèse, l'ironomycine. Bloquant le fer à l'intérieur des cellules, celle-ci entraîne la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) toxiques pour la tumeur, menant à sa destruction.

SideROS a reçu dès 2019 le prix de la start-up innovante du concours i-Lab, organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, en partenariat avec Bpifrance.

Les tests *in vitro* ont confirmé l'efficacité de la molécule sur plusieurs cancers comme la leucémie, le cancer des ovaires ou certaines tumeurs du cerveau. Des preuves de concept précliniques *in vivo* sur des souris sont prometteuses pour une tumeur du sein. Reste à industrialiser les procédés de fabrication et évaluer la toxicité de l'ironomycine avant les premiers essais cliniques sur les humains prévus en 2022. Une levée de fonds de plusieurs dizaines de millions d'euros devrait financer ces essais.

1. Lire notre article dans *CNRS le Journal* n° 299, p. 45



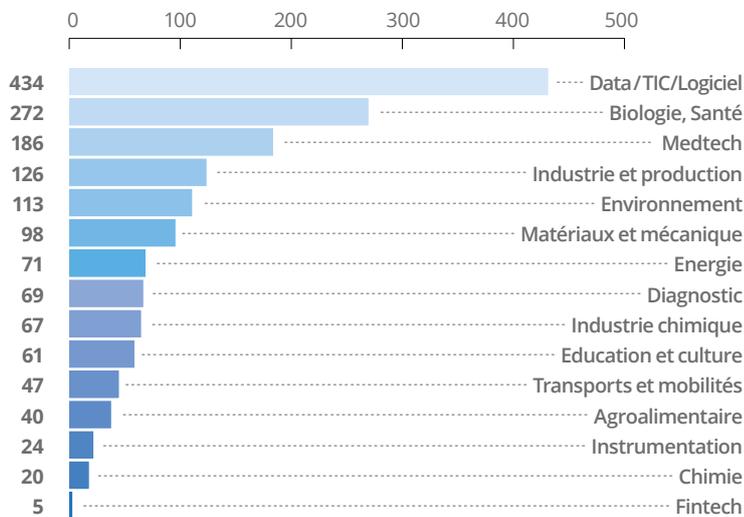
Lauréate de la médaille de l'innovation du CNRS en 2018, Valérie Castellani, biologiste à l'institut NeuroMyoGene (INMG), ici aux côtés de Thibault Gardette (doctorant), a cofondé la start-up Oncofactory. Ses recherches portent sur les mécanismes sous-tendant la génération des neurones dans l'embryon.

© FRÉDÉRIQUE PLAS / INMG / CNRS PHOTOTHÈQUE

au 12^e rang des pays les plus innovants en 2020 ⁴ (soit quatre places gagnées par rapport à 2019), devançant la Chine. Si elle talonne aujourd'hui sept autres nations européennes ⁵, la France se hisse chaque année dans le classement. « Elle a pour cela deux atouts majeurs : les nombreux investissements qu'elle accorde à ses jeunes pousses et son statut de pays européen attirant le plus d'investisseurs étrangers », précise Jules Meunier. Mais elle doit surtout beaucoup à la loi Allègre de 1999 sur l'innovation. Celle-ci a favorisé le transfert de technologies de la recherche publique vers les entreprises notamment via la création de start-up. « Elle a simplifié la mobilité des chercheurs vers l'entreprise en clarifiant leur statut. Ceux-ci peuvent devenir associés, dirigeant d'une start-up, ou conseiller scientifique d'une entreprise. Leur participation est fondamentale pour la réussite d'un spin-off », précise Johanna Michielin.

Encore aujourd'hui, les chiffres parlent d'eux-mêmes. Le nombre de start-up académiques a pratiquement doublé en dix ans en France. Le CNRS occupe le haut du podium avec une centaine de nouvelles entreprises par an. C'est plus de la moitié des créations françaises ! Et depuis...

Domaines d'application des start-up CNRS créées entre 1999 et 2019



1. Unité mixte CEA/CNRS/Université de Bordeaux 2 Amplitude Systèmes (intégrée dans Amplitude), Eolite, Azur Light Systems, FemtoEasy, Irisiôme 3. Une recherche scientifique ouverte sur le monde et des acteurs économiques 4. Selon l'indice international Global innovation index de 2020 5. La Suisse et la Suède occupent les deux premières places du classement.

...quelques années, les regards se tournent vers un autre atout majeur des laboratoires : la *deeptech*, porteuse d'innovations de rupture demandant de longs cycles de R&D très coûteux. Une fois sur le marché, ces innovations – présentes en majorité dans les biotechnologies et les systèmes informatiques – remplacent des produits ou services existants. C'est de là que naissent peut-être les licornes de demain, ces start-up dont la croissance fulgurante leur permet d'atteindre une valorisation supérieure au milliard de dollars. La France en compte moins de dix parmi les 480 mondiales répertoriées en 2020 ⁶. Aucune n'est encore issue directement d'un laboratoire de recherche. Le CNRS est déterminé à y remédier en prenant plus de risques dans sa sélection de projets.

En réponse à ces ambitions, la filiale du CNRS pour l'innovation a mis en place le programme Rise, lancé en 2019 pour soutenir et accompagner les porteurs de projets. Chaque année, de nombreux chercheurs-entrepreneurs bénéficient ainsi d'un accompagnement

Installation d'un module d'acquisition couplant géométrie et comportement optique des matériaux pour la numérisation 3D des collections des musées, par Livio De Luca (à droite), lauréat de la médaille de l'Innovation 2019 du CNRS, et Éloi Gattet, co-fondateur de la start-up Mercurio.

et d'une expertise sur-mesure pour lancer leur start-up. « *Ce programme diffère d'un incubateur classique en s'emparant des projets plus en amont, avant même la création d'entreprise* », rapporte Jules Meunier. En France, plusieurs familles d'incubateurs existent : des incubateurs publics (dans les grandes écoles, dans les Sociétés d'accélération du transfert de technologies, les incubateurs Allègre, etc.) et des incubateurs privés au sein de grandes entreprises. À cela s'ajoutent de multiples soutiens financiers (aides de Bpifrance, bourse FrenchTech, subvention régionale, concours d'innovation, prix i-Lab, etc.). Il faut compter environ trois à cinq ans pour créer une entreprise depuis son premier concept, soit le temps d'atteindre un minimum de 500 000 euros en moyenne en levées de fonds et subventions pour quitter les murs du CNRS.

L'Europe aux côtés des scientifiques

Au-delà de l'Hexagone, les scientifiques français peuvent aussi s'appuyer sur les programmes d'accompagnement européens. Les bourses ERC Proof of Concept (POC), par exemple, d'une valeur de 150 000 euros, aident à la valorisation de travaux de recherche. Trois chercheurs CNRS en ayant bénéficié ont ainsi déjà créé des start-up et d'autres sont enga-



gés dans cette voie, tel Yann Mairesse, chercheur au Celia à l'origine de ChiralTrack. Cette entreprise proposera une méthode de mesure de la chiralité de molécules⁷ pour des applications allant de la pharmacologie à l'agro-alimentaire.

Depuis 2008, l'Institut européen d'innovation et de technologie se charge également de promouvoir les liens entre formation, recherche et innovation. Il s'appuie sur huit communautés thématiques allant du changement climatique à la santé. De son côté, le Conseil européen de l'innovation, véritable nouveauté du programme-cadre Horizon Europe (2021-2027), s'est donné pour objectif de faire de l'Europe un leader de l'innovation, avec un budget inédit de dix milliards d'euros. Deux grands instruments de financement constituent ses pierres angulaires : le Pathfinder (en amont – réservé aux phases initiales) et l'Accélérateur (en aval – réservé aux phases de développement et de commercialisation des projets).

Identifier les freins pour lever les verrous

Malgré la diversité de ces dispositifs, l'histoire de l'innovation est aussi pavée d'échecs, et les start-up issues de la recherche ne dérogent pas à cette règle. En effet, des freins existent dès les premières phases d'accompagnement, peu importe le domaine d'application. Demandes de retour sur investissement trop courtes, exigences trop importantes sur la copropriété des produits, etc. Et les difficultés se poursuivent souvent après la mise sur le marché. « En Europe, on observe que la majorité des start-up issues de la recherche ont une croissance faible. Cela s'explique par le fait que la technologie est trop souvent le point de départ du processus entrepreneurial. Nous ne sommes plus dans un monde où "la science découvre, l'industrie applique et l'homme suit"⁸. Désormais, le futur utilisateur et son problème doivent être au centre de l'attention des créateurs de start-up », rapporte Philippe Mustar, professeur d'entrepreneuriat à Mines ParisTech –PSL.

Toutefois, pour Liliana Doganova, sociologue à l'Institut interdisciplinaire de l'innovation⁹, la croissance n'est pas l'indicateur de performance le plus pertinent. Au début des années 2010, ses recherches démontrent que les start-up stimulent des écosystèmes entiers d'innovation. Ainsi, les effets de croissance s'observent généralement en bout de chaîne plutôt que sur l'entreprise elle-même. En outre, la croissance ne fait pas toujours sens pour les chercheurs-entrepreneurs : « j'en ai rencontré pour qui le succès n'était pas tellement celui de l'entreprise, mais plutôt de la technologie », précise la chercheuse.

C'est aussi souvent davantage pour promouvoir leur technologie que par goût des affaires que les scientifiques se lancent. « Le maillage des PME n'est pas suffisamment structuré en France pour valoriser un objet technologique auprès d'un petit industriel. Souvent, les chercheurs n'ont pas

d'autre moyen que de créer une entreprise s'ils veulent accompagner leur technologie et garder une marge de liberté. Ce qui est rarement possible en transférant une découverte vers un grand groupe », constate Éric Mével. Une fois une start-up lancée, les liens qu'elle entretient avec son laboratoire tendent à diminuer avec le temps. L'étude du CNRS montre même que les liens avec l'organisme dans son ensemble se distendent encore davantage. Un ensemble de points faibles auxquels le CNRS souhaite remédier pour poursuivre la création de projets innovants collaboratifs. En mettant en place des réseaux d'entrepreneurs et d'incubation, l'organisme souhaite ainsi sensibiliser les chercheurs à la valorisation de leurs travaux via l'entrepreneuriat.

Vers de nouveaux modèles d'innovation ?

Dans les murs de CNRS Innovation, on observe d'ailleurs une nouvelle dynamique de chercheurs-entrepreneurs. « Les jeunes chercheurs se lancent plus aisément dans cette expérience que leurs aînés », remarque Jules Meunier. Pour eux, créer une start-up est une façon de mettre en vitrine l'impact de leurs travaux de thèse ou de post-doctorat et ainsi amorcer leur carrière.

Toutefois, les séquelles économiques de la crise sanitaire pourraient couper l'herbe sous le pied de la prochaine pépite française. Pour contrer ces effets, le gouvernement a annoncé le 3 septembre un plan de relance allouant sept milliards d'euros à des jeunes pousses¹⁰. Dans le détail, 2,4 milliards d'euros sont consacrés aux technologies de rupture sur lesquelles mise le CNRS. « Il est attendu, au regard des investissements conséquents de l'État, que l'on arrive à créer des licornes issues de la recherche. Cela prendra au moins une dizaine d'années, mais CNRS Innovation est bien structuré pour s'attaquer sereinement à ces projets », conclut Johanna Michielin. II

Événement

Le 25 novembre 2020, le CNRS

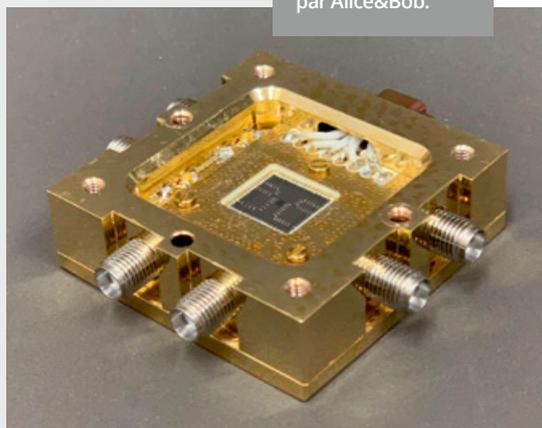
doit fêter sa 1500^e start-up au Palais de Tokyo, à Paris, en présence d'Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, et de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Entreprises, start-up, partenaires de valorisation, journalistes, figures politiques... De nombreuses personnalités sont conviées pour échanger sur les start-up du CNRS et plus largement sur les politiques en matière d'innovation. Cette célébration sera suivie de la cérémonie de remise des médailles de l'innovation 2020 du CNRS à Sophie Brouard, Daniel Hissel, Arnaud Landragin et Franck Molina (Lire CNRS le Journal n° 300, p. 50-51).

6. Par exemple BlaBlaCar, OVH, Doctolib, Voodoo, Deezer, Meero et Mirakl. 7. Propriété d'une molécule qui n'est pas superposable à son image dans un miroir plan. Deux formes chirales d'une molécule peuvent avoir des propriétés différentes. 8. Slogan de l'Exposition Universelle de Chicago en 1933. 9. Unité UMR CNRS/École Polytechnique/Mines ParisTech/Télécom Paris. 10. Unité CNRS/École Polytechnique/Mines ParisTech/Télécom Paris

Alice&Bob, correcteur de l'ordinateur quantique

Loués pour leur puissance extraordinaire, les premiers ordinateurs quantiques ne sont pas pour autant fiables. « Actuellement, ils ont dix milliards de milliards de fois plus de chance de commettre une erreur qu'un système classique à transistors, affirme Theau Peronnin, doctorant au Laboratoire de physique de l'ENS¹ et CEO d'Alice&Bob. Ces problèmes sont dus à des décohérences : des sortes de fuites entre le domaine quantique et l'environnement réel. C'est comme si la boîte du chat de Schrödinger était percée sans qu'on le sache. » L'équipe a obtenu expérimentalement un qubit de chat, c'est-à-dire un bit quantique dont le circuit est agrémenté d'un système de rétroaction qui corrige une partie des erreurs. L'objectif est, d'ici deux ou trois ans, de concevoir le tout premier qubit logique, aussi fiable qu'un transistor.

Si le projet semble très en amont, les enjeux colossaux autour de l'ordinateur quantique font qu'Alice&Bob a déjà levé trois millions d'euros et vise une équipe d'une quinzaine de personnes. « Nous trouvions absurde que la communauté française travaille si bien sur les problèmes quantiques, insiste Theau Peronnin, mais laisse ensuite les autres s'emparer de ses publications pour les amener au-delà de la preuve de principe. » ||

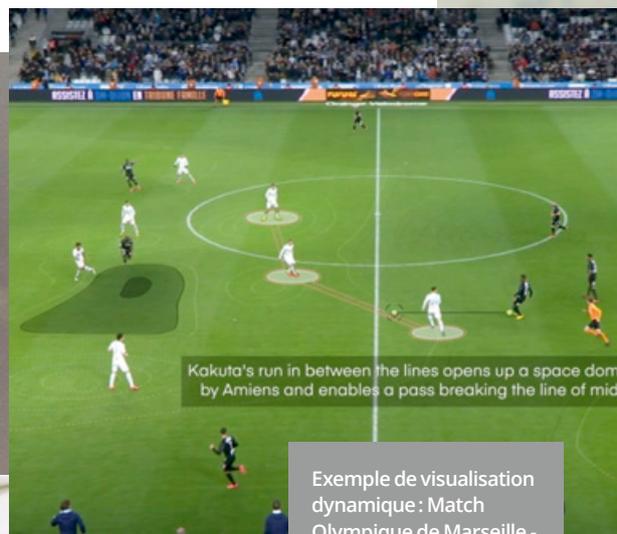


©ALICE&BOB

1^{ère} puce qubit quantique auto-correctrice réalisée par Alice&Bob.

5 jeunes pousses à suivre

© FABRIEN CARRÉ / YANN GICAUD / BIO INSPIRE / CNRS PHOTOTHÈQUE



©SPORTSDYNAMICS

Kakuta's run in between the lines opens up a space dominated by Amiens and enables a pass breaking the line of mid-

Exemple de visualisation dynamique : Match Olympique de Marseille - Amiens / Ligue 1

Vibiscus à l'assaut des nuisances sonores

« En France, l'Agence de la transition écologique (Ademe) estime le coût social du bruit à 58 milliards d'euros par an, en comptant des facteurs comme l'impact du stress et du manque de sommeil sur l'espérance de vie, ainsi que les pertes de productivité », indique Gaël Matten, l'un des quatre cofondateurs de Vibiscus et post-doctorant à l'Institut Femto-ST². Les solutions pour réduire les nuisances sonores sont habituellement de deux ordres : les matériaux passifs, comme une plaque de mousse absorbante, et le contrôle actif, par exemple un casque qui émet des fréquences spécifiques

©S. QUARROZ/FEFOTO-ST



Gaël Matten tenant une plaque couverte de petites membranes sensibles aux vibrations de l'air et mobiles qui permettent de changer à volonté l'acoustique d'une pièce.

pour masquer les sons alentour. La start-up Vibiscus se positionne à mi-chemin, grâce à un système de plaques couvertes de petites membranes qui changent de disposition selon les besoins. « On peut ainsi changer à volonté l'acoustique d'une pièce,

détaille Gaël Matten. Dans un restaurant ou un open-space, on veut parfois que tout le monde puisse écouter quelque chose, puis revenir à un état où on n'entend plus les autres. »

Les sons sont des vibrations de l'air. Or les modifications de forme de la surface absorbante affectent la vitesse et la pression de cet air, et transforment donc le son jusqu'à pouvoir le faire disparaître. Les systèmes de Vibiscus visent à équiper des locaux professionnels, mais

l'équipe réfléchit également à des solutions pour atténuer le bruit de l'air conditionné, ainsi que celui des machines bruyantes. ||



Système racinaire de la menthe aquatique dont Bio Inspir' étudie les vertus dépolluantes.

Bio-Inspir', la dépollution vertueuse

« Selon la même démarche qui anime le laboratoire de chimie bio-inspirée et innovations écologiques ³, on ne développe pas avec Bio-Inspir' une technologie particulière, mais une filière dans sa globalité, insiste Claude Grison, directrice scientifique des deux entités. Nous avons mis au point une technique de dépollution des systèmes aquatiques complètement naturelle, dont chaque élément est ensuite valorisé. » Tout est parti de l'étude de plantes invasives, considérées comme entièrement nuisibles et inutiles, qui ont révélé des propriétés étonnantes. Une fois leurs racines réduites en poudre et installées dans des colonnes d'eau, elles dépolluent les eaux usées jusqu'à atteindre, sans besoin

d'ajouter de produits chimiques, les normes actuelles de rejets. Une fois qu'il ne fonctionne plus, ce filtre végétal se retrouve généralement gorgé des métaux qu'il a absorbés. « Il peut alors remplacer les catalyseurs métalliques employés, entre autres, pour fabriquer des cosmétiques, précise Claude Grison. À la fin, il ne reste aucun déchet et chaque étape de Bio-Inspir' a eu un impact positif sur l'environnement. » La start-up, fondée en début d'année, se concentre sur deux sites pilotes : d'anciennes mines du Gard et de l'Aude dont les ruissellements contaminent toujours les eaux avec du zinc, du plomb ou encore de l'arsenic. Elle compte sept personnes et a déjà levé un million d'euros. ||



SportsDynamics amène ses analyses sur la pelouse

La dynamique des fluides a des applications bien surprenantes, jusqu'à étudier les mouvements des joueurs sur un terrain de football. La start-up SportsDynamics, fondée fin 2019 et qui a levé 400 000 euros, est ainsi issue du Laboratoire d'hydrodynamique ⁴, qui consacre une partie des travaux à différents sports. « Au football, beaucoup de statistiques sont déjà utilisées,

comme le nombre de frappes ou de passes vers l'avant, explique Arnaud Santin, CEO de SportsDynamics. Elles ne prennent cependant pas en compte l'ensemble des actions et mouvements qui ont lieu sur le terrain au même moment, c'est pourquoi nous proposons à la place des indicateurs dynamiques. » Par exemple, la méthodologie brevetée et les outils associés détectent toutes les opportunités de passe et calculent en permanence la possibilité de casser la ligne du milieu ou de défense adverse.

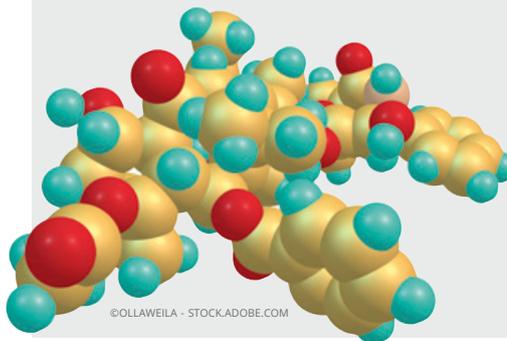
SportsDynamics offre, pour l'instant, ses services aux clubs professionnels de football. Lauréate du concours i-Lab, la start-up met l'accent sur son importante personnalisation, avec la possibilité de développer des indicateurs uniques pour un entraîneur et son staff, qu'il sera le seul à utiliser. Les médias pourraient également être intéressés et l'équipe envisage, à terme, d'étendre les outils à d'autres disciplines, dont les eSports. ||

Imescia couple polymères et molécules anti-tumorales

Certains médicaments en développement sont jusqu'à mille fois plus efficaces contre les tumeurs que les chimiothérapies actuelles... mais sont si puissants qu'ils attaquent aussi les cellules saines. Des effets indésirables lourds limitent alors leur utilisation. « Nous sommes les premiers à montrer que coupler ces anticancéreux à un polymère permet de contrôler les toxicités et d'injecter par la voie sous-cutanée, plus simple de prise en charge que la voie intraveineuse », explique Tanguy Boissenot, PDG d'Imescia.

Pour cela, Imescia synthétise des polymères inédits et les adapte à ces anticancéreux très prometteurs. « Après la thèse d'Alexandre Bordat dans notre laboratoire, nous avons eu envie de créer une start-up pour amener nos médicaments aux patients, se souvient Nicolas Tsapis, directeur de recherches CNRS à l'Institut Galien Paris-Saclay (IGPS) ⁵ et conseiller scientifique d'Imescia. Dès nos premiers résultats, nous avons su que ces travaux méritaient d'être poussés au-delà de la simple preuve de concept. » Alexandre Bordat supervise à présent le développement technologique d'Imescia, tandis que Julien Nicolas, directeur de recherche CNRS à l'IGPS, apporte son expertise sur les prodrogues polymères. Lauréate du concours i-Lab et soutenue par le programme Rise de CNRS Innovation, l'équipe est en train de finaliser sa première levée de fonds pour avancer jusqu'aux essais

cliniques. Elle cherche aussi de nouveaux partenaires industriels afin d'adapter ses polymères à leurs médicaments. ||



Le paclitaxel est l'une des molécules utilisées en chimiothérapie anticancéreuse sur lesquelles Imescia peut adapter ses polymères.

1. Unité CNRS/ENS Paris/Sorbonne Université/Univ. de Paris. 2. Institut Franche-Comté électronique mécanique thermique et optique - sciences et technologies (Unité CNRS/Univ. Technique Belfrot-Montbéliard/Univ. Franche-Comté/ENSM). 3. Unité CNRS/Univ. de Montpellier. 4. Unité CNRS/École Polytechnique. 5. Unité CNRS/Univ. Paris-Saclay.

ENTRETIEN Pour amener les innovations du laboratoire au marché, le CNRS a mis en place une véritable stratégie de valorisation et accompagne ses chercheurs dans la création d'entreprise. Explications avec son directeur général délégué à l'innovation, Jean-Luc Moullet.

«*La création d'entreprise, au CNRS, ça fonctionne*»

Le CNRS franchit le cap des 1 500 start-up issues des laboratoires placés sous sa tutelle. Pourquoi marquer cet événement ?

Jean-Luc Moullet : 1 500, c'est un chiffre symbolique avant tout ; et quel chiffre ! Nous sommes à la fois très fiers et très heureux de l'esprit d'entreprendre qui anime nos personnels de recherche et qui conduit à ce résultat. Nous souhaitons donc prendre le temps de célébrer ce moment, partager notre enthousiasme et faire savoir que la création d'entreprise, au CNRS, ça fonctionne. Une vraie dynamique est engagée pour aller vers le marché.



Jean-Luc Moullet, directeur général délégué à l'innovation du CNRS.

© CHRISTOPHE LEBEDINSKY/CNRS PHOTOTHÈQUE

Célébrer la création de la 1 500^e start-up, c'est l'occasion de démontrer qu'il existe un vivier extrêmement important d'opportunités de création de valeur dans les laboratoires sous tutelle du CNRS, qu'il existe un grand nombre d'idées à valoriser qui sont issues des travaux conduits par l'ensemble de nos personnels de recherche, chercheurs mais aussi ingénieurs et techniciens.

Comment s'inscrit le CNRS au sein du paysage de l'innovation français ?

J.-L. M. Le CNRS est totalement partie prenante du paysage français de l'innovation. On utilise souvent le terme de « millefeuille » pour décrire ce paysage car il est effectivement composé de multiples acteurs : organismes de valorisation des universités, équipes de valorisation des organismes nationaux de recherche, Satt, Bpifrance, incubateurs, sociétés de capital-risque, etc. Pour autant, nous travaillons généralement tous en bonne coordination et bonne intelligence. Le souci premier reste celui du succès du projet accompagné. La mise en place d'un certain nombre de dispositifs publics, comme le mandataire unique pour la gestion de la propriété intellectuelle, contribue à simplifier les choses et à cacher cette complexité, qui est réelle, aux entrepreneurs.

Quelles sont les difficultés inhérentes à un parcours d'entrepreneuriat et comment le CNRS aide-t-il les porteurs à les surmonter ?

J.-L. M. S'engager dans la création d'une start-up, c'est vraiment sortir de sa zone de confort. C'est rentrer dans un monde dont on ne dispose pas spontanément des codes et au sein duquel rien n'est assuré. À quel problème la solution que l'on souhaite développer va-t-elle répondre ? Pour quels clients ? Est-ce que cela représente un marché solvable ? Quel modèle d'affaires sera le plus pertinent ? Quelle équipe pluridisciplinaire réunir pour porter le projet ? Sur quelle base convaincre des investisseurs de son potentiel ? La réussite

“ S'engager dans la création d'une start-up, c'est vraiment sortir de sa zone de confort. C'est rentrer dans un monde dont on ne dispose pas spontanément des codes et au sein duquel rien n'est assuré. ”

technologique sera-t-elle au rendez-vous ? Les entrepreneurs rentrent dans un monde qui ne les attend pas nécessairement ; c'est ce qui fait le sel et le piment de la démarche entrepreneuriale, mais qui peut également être source d'une grande frustration.

Qu'en est-il des dispositifs que met en place la Direction générale déléguée à l'innovation (DGI) du CNRS pour les chercheurs qui souhaitent se lancer dans la valorisation ?

J.-L. M. Le CNRS a mis en place plusieurs dispositifs pour accompagner les porteurs de projet tout au long de cette aventure. Cela commence, en général, par la procédure de prématuration qui donne les moyens à quelqu'un qui a une bonne idée d'innovation de disposer d'une preuve de concept, premier élément tangible qui donne vie à son idée. Si cette étape reste principalement dans le domaine

technologique, on commence aussi à y aborder des sujets de marché et de positionnement produit. L'accompagnement financier, une centaine de milliers d'euros en moyenne par projet, permet souvent de recruter un ingénieur et/ou acheter du matériel complémentaire. Nous accompagnons en 2020 près de soixante-dix projets de la sorte.

Les Sociétés d'accélération du transfert de technologies (Satt) prennent ensuite le relais pour apporter un complément financier plus substantiel (quelques centaines de milliers d'euros) permettant de faire mûrir le projet et de développer un prototype. Le projet se structure technologiquement, on parle beaucoup d'adéquation produit/marché. ...

Laurent Hubard,
co-fondateur
et CEO de Tiamat



© BENOIT DECOUT

« Tiamat a pour ambition de révolutionner l'univers des batteries, en développant des batteries utilisant des ions sodium pour équiper des véhicules électriques, plus écoresponsables grâce à une grande vitesse de recharge et une durée de vie prolongée. Notre jeune société, née au sein d'un laboratoire CNRS en 2017, est couvée par l'organisme qui investissait avant même sa création dans le développement de cette technologie. Un an plus tard, le CNRS est entré au capital de Tiamat ce qui lui a permis d'obtenir un financement total de 3,6 millions d'euros. Pour les investisseurs, le CNRS c'est du sérieux. Cela nous donne une forte crédibilité en France et à l'international. Mais également une force de frappe au niveau de la protection de nos brevets, dont le CNRS est gestionnaire. »

Plus tard, lorsque le projet a bien gagné en maturité et que l'idée de création d'entreprise prend forme, tout en étant encore à douze ou dix-huit mois de la création d'une start-up, le CNRS fournit aux futurs entrepreneurs un accompagnement méthodologique important dans le cadre de son programme Rise. Il s'agit alors de réfléchir au modèle d'affaires, savoir comment rédiger un plan d'affaires, réaliser une étude de marché, s'entourer de compétences complémentaires, préparer des « pitches » pour approcher les premiers prospects commerciaux mais aussi pour aller présenter le projet à quelques investisseurs potentiels. Cet accompagnement méthodologique se fait dans le cadre d'une mise en réseau importante, avec l'aide de mentors, pour être introduit dans cet écosystème si particulier qui est celui des start-up. Créé en 2019, Rise a déjà montré de beaux résultats, et a accompagné quarante-deux projets en dix-huit mois.

Tous ces programmes sont la responsabilité de CNRS Innovation, bras armé du CNRS en la matière, qui suit les projets de bout en bout, du laboratoire au marché, au travers des différents programmes de valorisation qui sont en place.



Franck Barath,
co-fondateur et
CEO de G-Lyte

« Avec en ligne de mire l'éco-énergie et les smart cities, G-Lyte développe

une nouvelle génération d'électrolytes permettant d'augmenter la durée de vie des modules photovoltaïques utilisés sur les bâtiments, le mobilier urbain et les objets connectés. Notre start-up a suivi pendant deux ans le programme de maturation Satt qui a financé le programme de R&D de notre technologie et CNRS Innovation a piloté la valorisation. Lauréats du concours d'innovation i-Lab à la sortie de la maturation en 2019, nous avons créé la start-up, intégré la première promotion Rise et opéré une levée de fond de 460 000 euros. »

« Nous avons commencé le programme Rise en juin 2019 pour notre projet ChiralTrack, dont l'objectif est de développer un outil à destination des compagnies pharmaceutiques pour simplifier et accélérer les mesures de pureté de médicaments. En parallèle, nous avons débuté la prématuration. Cela nous a permis de cadrer le projet et de réaliser une étude de marché préliminaire. Grâce à la prématuration et à Rise, nous avons pu comprendre ce que c'est que de sortir du laboratoire et de la technologie pure pour aller vers le business. Cela nous a permis d'influencer notre produit pour bien prendre en compte le consommateur. »

Antoine Comby,
développeur du
projet ChiralTrack



© ALEXANDRE BERTRAND

Qu'en est-il de son programme de prise de participation ?

J.-L. M. Le programme de prise de participation du CNRS se fait par valorisation de l'accompagnement dont le projet a bénéficié de la part du CNRS, ainsi que par valorisation des créances issues des accords de licence de propriété intellectuelle. Notre objectif n'est pas de devenir un « gros » actionnaire ni de peser dans les choix stratégiques ultérieurs de la start-up, mais d'en détenir une part au capital qui cimenter nos liens, témoignage de l'investissement effectif, et permet d'espérer à terme, de participer au succès de l'entreprise. Nous avons jusque-là opéré une trentaine de prises de participation. C'est un chiffre appréciable, quoique limité au regard des 1 500 start-up dont on parle, car ces prises de participation répondent à des exigences de sélectivité assez fortes.

Présentation d'un prototype par un porteur de projet Rise au salon Vivatech 2019, à Paris, en présence de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.



Quelles sont les clés du succès ?

J.-L. M. De manière générale, nous sommes assez sûrs de nous quant à l'excellence du projet scientifique : une technologie issue d'un laboratoire CNRS est gage de sérieux et de qualité. Ce n'est pas pour autant une raison pour arrêter là tout investissement dans la science et la technologie. Maintenir et pérenniser la relation entre le laboratoire dont elle est issue et la start-up permet un accompagnement scientifique de long terme et le maintien d'un avantage compétitif dans un monde qui

« Le projet Collective Science, dont l'objectif est de déployer une plateforme de psychologie expérimentale open source et en accès libre, relève du champ de l'économie sociale et solidaire, ce qui en contraint les modalités d'exploitation. Avec la prématuration, j'ai pu réfléchir à ce nouveau modèle et fixer des objectifs pour mon innovation avec un comité de pilotage composé de CNRS Innovation, de représentants de mon institut, du service partenariat et valorisation du CNRS et de représentants en stratégie et propriété intellectuelle. De nombreux experts ont nourri et soutenu le développement de ce projet. »



Fabienne Cazalis,
fondatrice
du projet
Collective Science

l'entreprise finit par mourir. Ne pas réfléchir suffisamment au couple produit-marché, à la manière dont on répond aux besoins des futurs clients ou encore à la concurrence, est une faiblesse qui ne pardonne pas.

Mais à court terme, la principale clé du succès réside peut-être dans la capacité à réunir une équipe pluridisciplinaire et complémentaire capable de porter le projet. Il faut s'entourer des meilleurs dans leur domaine et placer à la tête de l'équipe un manager qui soit, bien sûr, capable de la gérer et de surmonter les inévitables crises qui vont advenir, mais qui puisse aussi gagner la confiance des investisseurs. Avant même les clients, ce sont eux qui vont permettre à la start-up d'exister !

Quels objectifs vous donnez-vous pour les années qui viennent ?

J.-L. M. On peut et on doit encore s'améliorer dans la manière dont on suscite et accompagne les projets de création. Le potentiel réuni dans les

laboratoires sous tutelle du CNRS est immense et, malgré la légitime satisfaction que l'on a à célébrer la création de la 1 500^e start-up, je ne peux m'empêcher de comparer ce chiffre au nombre total de laboratoires sous tutelle CNRS et me dire que la marge de progrès reste importante !

Créer une start-up n'est pas une fin en soi et afficher des objectifs quantitatifs ne fait guère sens. En revanche, continuer à distiller l'esprit d'entrepreneuriat au sein des laboratoires, mettre en œuvre de manière coordonnée des actions de sensibilisation auprès des personnels de recherche, expliquer le lien qui existe entre valorisation de la recherche et création d'activité économique et d'emplois, partager la nécessité pour notre pays de nourrir et développer ce lien... voici des objectifs qui me paraissent intéressants. Il ne s'agit à l'évidence pas de transformer chaque personnel de recherche en créateur de start-up, mais seulement de susciter le réflexe « valorisation de la recherche », dont la première étape passe par le dépôt d'un brevet préalable à une publication scientifique, en aidant à répondre à la question : comment est-ce que ce résultat de recherche peut-il avoir des applications concrètes, voire si l'on est un peu ambitieux, contribuer au progrès de la société ? ||



© RISE

évolue très rapidement. De façon générale, le facteur qui me paraît le plus important est sans doute celui qui vise à aligner vision technologique, souvent le fort des start-up *deep tech*¹, et vision de marché. Finalement, une start-up réussit son projet, ou non, selon sa capacité à vendre ses produits à des clients. On en revient aux fondamentaux de l'économie de marché, on a beau disposer de la solution basée sur la meilleure science au monde, si les clients ne l'achètent pas,

« Nous avons créé la start-up en 2020, au cours de notre participation au programme Rise, après un passage par la prématuration et l'accompagnement ERC Proof of Concept. Notre projet vise à développer des processeurs quantiques nouvelle génération, à la méthode de calcul bien plus large, et avec le nanotube de carbone comme matériau phare. Notre innovation date de 2017 et depuis, nous avons pu développer des brevets, développer la technologie et faire une formation Deeptech founders pour nous permettre de voir encore plus grand. Aujourd'hui, nous avons intégré un incubateur et nous continuons de faire évoluer notre projet. »

Matthieu Desjardins,
co-fondateur
de C12 Quantum
Electronics



© D.R.

1. Proposant des innovations de rupture basées sur des avancées scientifiques et technologiques.

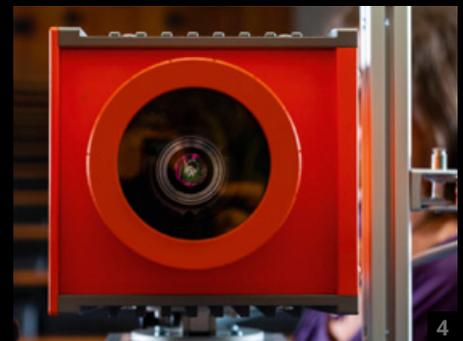


Retrouver les couleurs du siècle des Lumières

Elles utilisent la lumière pour plonger au cœur des œuvres de la Cité internationale de la tapisserie d'Aubusson. Pour tenter de déterminer les recettes exactes des teintures qui colorent les fils de laine et de soie composant ces œuvres monumentales, des physico-chimistes utilisent des caméras hyperspectrales. Leur objectif : retrouver, dans la lumière réfléctée, les indices qui révéleront la nature des éléments chimiques employés au XVIII^e siècle.

TEXTE NICOLAS BAKER PHOTO CYRIL FRÉSILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE





3 et 4. Aurélie Mounier calibre sa caméra hyperspectrale qui va enregistrer la réflectance des fibres de la tapisserie dans les longueurs d'onde correspondant au proche infrarouge.



1. Aurélie Mounier, ingénieure de recherche CNRS à l'Institut de recherche sur les archéomatériaux¹, et Hortense de La Codre, doctorante au sein du même laboratoire, étudient les teintures utilisées dans cette tapisserie commandée au XVIII^e siècle par une riche famille polonaise. Les instruments portatifs utilisés permettent de travailler sur place en évitant de prélever de la matière sur les œuvres.

1. IRAMAT-CRP2A (CNRS/Univ. Bordeaux Montaigne).

2. Ce spectromètre permet d'enregistrer les spectres de réflectance – c'est-à-dire la manière dont les ondes lumineuses sont réfléchies – dans le domaine du visible. Et de compléter ainsi certaines données acquises par ailleurs dans d'autres longueurs d'onde.



5. Chaque passage de la caméra produit une série de spectres, analysés par ordinateur. Certains matériaux produisent des spectres spécifiques révélant les éléments chimiques qui les composent.

6. Les fleurs de ce détail ont été réalisées avec du rouge extrait des rhizomes d'une plante vivace, la garance des teinturiers.





7 et 8 Charlotte Marembert, teinturière spécialiste des teintures naturelles, va reproduire des centaines de recettes potentiellement utilisées au XVIII^e siècle. Leur étude permettra de constituer une base de données de spectres associés à des recettes connues. Elle doit pour cela utiliser les ingrédients d'époque. Or certaines plantes sont désormais introuvables dans le commerce et doivent être cultivées pour le projet.



9. L'indigo, très employé pour teindre les fibres naturelles, se retrouve dans les fibres bleues et vertes.





10. Détail représentant un canard et un héron sur un fond bleu réalisé avec diverses nuances d'indigo.

11. Colorants et plantes séchées naturelles peuplent les étagères de l'atelier bruxellois de Charlotte Marembert.

12. Lorsqu'un échantillon produit la même signature spectrale que ce qui est révélé sur la tapisserie d'Aubusson, c'est qu'il s'agit bien de la recette employée il y a trois cents ans.



12

ÉPIDÉMIE Si les scientifiques sont mobilisés pour trouver des traitements contre le SARS-CoV-2, de nombreux projets, parfois inattendus, sont en cours pour mieux détecter le virus ou aider le personnel soignant. En voici cinq illustrations.

Covid-19 : du dépistage aux soins, la recherche monte au front

+

Retrouvez les articles de ce dossier dans leur version intégrale ainsi que plus de 80 articles et podcasts consacrés à l'épidémie sur lejournald.cnrs.fr/covid19

+

VIVANT

MATIÈRE

Pister le virus dans les eaux usées

Au 5 mars 2020, il n'y avait qu'une petite dizaine de patients Covid-19 identifiés à Paris. Pourtant, le nouveau coronavirus était déjà détectable dans les égouts de la ville. Au cours du mois, avec les services de santé sous haute tension, la concentration du virus dans les eaux usées parisiennes s'est multipliée par plus de cent. Puis, début avril, cette courbe ascendante s'est essoufflée pour retomber en quelques semaines à un niveau à peu près mille fois inférieur que lors du pic. Le confinement, avait bel et bien stoppé la propagation du pathogène.

Avoir un temps d'avance sur le virus

Ces observations, soumises pour publication dès avril (à paraître dans *Eurosurveillance*) par un consortium réunissant le laboratoire d'Eau de Paris, trois équipes de Sorbonne Université, l'Institut de recherche biomédicale des armées et le Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne, ont démontré que les eaux usées sont un excellent indicateur de la circulation du SARS-CoV-2. Mieux encore : elles pourraient être à la base d'un système d'alerte précoce. Et c'est là, justement, l'objectif du projet Obépine (Observatoire épidémiologique dans les eaux usées), soutenu par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la

Et si l'on détectait le SARS-CoV-2 dans l'eau des égouts pour anticiper de prochaines vagues ? C'est le but du projet Obépine.

PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

Recherche et de l'Innovation, et par Care, le Comité analyse, recherche et expertise créé par le gouvernement pour coordonner la recherche sur le SARS-Cov-2 au niveau national. Le projet regroupe aujourd'hui huit laboratoires¹.

Grâce à l'analyse d'échantillons provenant d'un large réseau de stations d'épuration, la mission d'Obépine est de surveiller la dynamique du virus sur tout le territoire français et d'en tirer des prévisions sur sa circulation. « Actuellement, nous avons des données pour trente villes en France. Mais le réseau s'agrandit avec l'ajout de nouveaux opérateurs de stations de traitement des eaux », explique Christophe Gantzer, directeur adjoint du Laboratoire de chimie physique et microbiologie pour les matériaux et l'environnement² de Nancy. Ainsi, Obépine devrait centraliser les données de cent cinquante stations d'épuration dès cet automne.

« Environ 50 % des personnes infectées rejettent le virus par les selles trois ou quatre jours avant même les premiers signes cliniques, explique Yvon Maday,

1. Laboratoire R&D d'Eau de Paris; Laboratoire microorganismes, génome et environnement (LMGE); Laboratoire de chimie physique et microbiologie pour les matériaux et l'environnement (LCPME); Laboratoire Jacques-Louis Lions (JLL); Centre de recherche Saint-Antoine; laboratoire Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols (Metis); Institut de recherche biomédicale des armées; Ifremer. 2. Unité CNRS/Université de Lorraine.



Station de traitement des eaux usées.

chercheur au Laboratoire Jacques-Louis Lions³ et directeur de l'Institut Carnot Smiles. *L'augmentation de la concentration du virus dans les eaux usées précède celle des hospitalisations.* » Obépine pourrait donc offrir une marge de manœuvre suffisante mais aussi contribuer à éclairer les pouvoirs publics dans leurs prises de décision et pour adapter la réponse sanitaire. Par exemple, dès le mois de juin, Obépine a pu observer la remontée de la circulation du virus. Cette remontée, qui confirme le caractère précurseur du signal présent dans les eaux usées, obéit toutefois à une dynamique différente de celle d'avant le confinement, du moins pour certaines villes. En effet, elle est beaucoup plus lente et régulière. Les chercheurs analysent ce phénomène comme pouvant être en lien avec les gestes barrières et la réduction de la mobilité des populations.

La mission a été confirmée par une dotation supplémentaire attribuée par la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation début juillet pour déployer le réseau dès l'automne 2020 en concertation avec le ministère des

Solidarités et de la Santé, le ministère de l'Intérieur et le ministère de la Transition écologique.

Une aquathèque des eaux usées

Pour remplir sa mission, Obépine devra recevoir au moins deux échantillons par semaine des stations d'épuration partenaires. En voici le parcours type : chaque station est dotée d'un préleveur automatique qui, goutte à goutte, rassemble en 24 heures un demi-litre de liquide dans un récipient réfrigéré. Celui-ci sera expédié vers l'un des laboratoires d'Obépine. Là, à l'aide de filtres ou de centrifugeuses, les micro-organismes présents dans l'échantillon seront concentrés. Ce concentrat de virus subira alors un test PCR (*polymerase chain reaction* ou réaction de polymérisation en chaîne) qui permettra non seulement de détecter la présence du SARS-CoV-2, mais aussi d'en mesurer la concentration, exprimée en nombre de génomes par litre.

Une fois ces résultats centralisés, les chercheurs auront à traiter les données, opération plus complexe qu'il n'y paraît. Par exemple, une pluie qui s'abattra sur une ville pourrait diluer

les eaux usées et donc abaisser la concentration du virus...

Au-delà de la situation sanitaire actuelle, l'observatoire s'inscrit dans le champ de recherche émergent de l'épidémiologie des eaux usées. « *Le virus de la poliomyélite est aujourd'hui en phase d'éradication grâce à l'utilisation massive du vaccin. Au cours de l'éradication, pour vérifier qu'un pays était exempt de poliovirus, on utilisait souvent les eaux usées, une méthode pratiquée depuis plus de trente ans,* explique Christophe Gantzer. *C'est parce que ces approches étaient déjà connues que, très rapidement, l'idée de l'adapter au coronavirus a émergé.* » L'une des propositions des chercheurs est de créer une banque d'eaux usées. Par exemple, si un nouveau pathogène venait nous menacer, cette « aquathèque » permettrait de remonter le temps pour déterminer le moment de son apparition et mieux comprendre sa propagation.

Obépine pourrait devenir une structure pérenne et un outil de recherche unique au service de l'épidémiologie. La préparation à la prochaine crise sanitaire passe aussi par là. ■

3. Unité CNRS/Sorbonne Université/Université de Paris/Inria.

VIVANT

MATIÈRE

Détecter le Covid-19 au bout du souffle

Une nouvelle méthode est testée pour détecter le Covid-19 dans l'air expiré. Elle pourrait aussi s'appliquer au dépistage d'autres pathologies respiratoires.

PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

Début juin, une boîte grise format réfrigérateur, munie d'un écran tactile et d'un long tube flexible, est apparue dans les services Covid-19 de l'hôpital de la Croix-Rousse, à Lyon. Des semaines durant, des chercheurs de l'Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon (Ircelyon)¹ ont invité les patients et le personnel soignant à souffler dedans. Leur espoir ? Obtenir une méthode de détection précise, immédiate et non invasive de la maladie.

L'appareil en question, un Vocus PTR-TOF, n'est autre qu'un spectromètre de masse du constructeur suisse ToFwerk, dont la sensibilité et la résolution inégalées dans le monde permettent d'identifier et de quantifier les molécules gazeuses d'un échantillon d'air. « Nous sommes les premiers à y avoir eu accès grâce au soutien de la région Auvergne Rhône-Alpes, des fonds européens de développement régional (Feder) et de l'État », se félicite Matthieu Riva, chercheur à l'Ircelyon.

Trouver la « signature » du Covid-19

À l'origine du projet, ces faits biologiques : l'air que nous expirons contient des milliers de molécules dont la composition varie selon notre état de santé. Lors d'une infection par exemple, nos cellules, asservies par le virus, s'emploient à fabriquer des protéines virales et délaissent une grande partie de leurs activités normales. Les molécules expulsées par une personne malade peuvent donc différer de celles d'une personne saine. Si l'on parvenait à identifier des composés volatiles typiques du Covid-19, une

sorte de « signature », on pourrait mettre au point une méthode de dépistage de la maladie *via* le souffle.

Simple comme un éthylotest

Les chimistes de l'atmosphère de l'Ircelyon se sont alliés aux spécialistes des virus du Centre international de recherche en infectiologie², aux spécialistes en chimométrie de l'Institut des sciences analytiques³ et aux médecins des services d'infectiologie et de réanimation de la Croix-Rousse. L'analyse des données récoltées a déjà validé leur approche : « Nous avons établi en septembre la preuve que le diagnostic par l'air expiré est possible »,

commente Christian George, directeur adjoint de l'Ircelyon.

Depuis l'éthylotest mesurant le taux d'alcool dans l'air expiré, mis au point en 1954, les chercheurs s'intéressent au diagnostic fondé sur le souffle. Mais les molécules volatiles pouvant servir de marqueur d'une pathologie étaient toujours en trop faible concentration. Pire : milieu humide et chaud, l'air expiré se prête mal aux mesures et met à mal la robustesse des résultats. La nouvelle génération de spectromètres de masse ouvre aujourd'hui cet horizon. La médecine devrait profiter en premier lieu de cette petite révolution technologique et notamment le dépistage du Covid-19. « On peut imaginer un instrument très simple, doté d'un logiciel de traitement des données, avec un voyant rouge et un voyant vert », explique Matthieu Riva. Il ne faudrait alors que quelques minutes pour recommander ou non à une personne un confinement.

Les molécules volatiles propres au Covid-19 pourraient aussi apporter des renseignements précieux sur les modifications métaboliques induites par le nouveau coronavirus. Et l'appareil pourrait faire partie du suivi des patients et informer les médecins sur l'effet des traitements. Les chercheurs veulent aussi transposer le concept à d'autres maladies comme la légionellose ou le cancer. Et ainsi donner, peut-être, un nouveau souffle au diagnostic médical... ■



Un membre du personnel soignant souffle dans le tube de prélèvement du spectromètre de masse Vocus, à l'hôpital de la Croix-Rousse à Lyon.

1. Unité CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1. 2. Unité CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1/Inserm/ENS de Lyon. 3. Unité CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1.

Une équipe de chercheurs de Strasbourg mise sur le flair canin pour aider au dépistage du coronavirus et combattre la pandémie.

PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

Des travaux très avancés ont déjà prouvé que les chiens, dont l'intérieur de la truffe est recouvert de 200 millions de cellules olfactives (contre seulement 5 millions chez l'humain), étaient capables de détecter le paludisme, voire certains cancers. Alors, pourquoi ne pas tenter le coup sur le Covid-19 ?

C'est ce que s'est dit Philippe Choquet, enseignant-chercheur au CHU de Strasbourg et au Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube)¹. Pour creuser l'idée, il s'est associé à Yves Rémond, chercheur au sein du même laboratoire et professeur à l'école de chimie de Strasbourg, et à Christophe Ritzenthaler, directeur de recherche au CNRS et virologue à l'Institut de biologie moléculaire des plantes du CNRS, toujours à Strasbourg. Tous trois ont lancé le projet Covidog, ouvert au financement participatif via la fondation de l'université de Strasbourg qui a déjà recueilli le soutien majeur des Hôpitaux universitaires de Strasbourg ainsi que de nombreux donateurs anonymes, et qui dispose maintenant d'un financement du CNRS. L'expérience a également reçu le soutien public de l'Académie de médecine et de l'Académie vétérinaire, qui appellent à poursuivre les travaux et saluent des premiers résultats encourageants.

Capter l'odeur du Covid

Le premier pas sera d'isoler non pas l'odeur du virus, mais celle de la maladie. À l'aide de cultures de cellules infectées, les chercheurs récupéreront le volatilome associé à l'infection, c'est-à-dire l'ensemble des molécules volatiles que ces cellules



Ce berger allemand fait partie des chiens entraînés pour démontrer la capacité canine à détecter le nouveau coronavirus.

© COVIDOG

libèrent dans l'air. « Le virus reprogramme la cellule pour qu'elle travaille pour lui. C'est une modification du tout au tout du métabolisme cellulaire. Donc, les cellules infectées ne libèrent pas les mêmes molécules que les cellules saines », explique Christophe Ritzenthaler. Cette différence pourrait constituer la signature olfactive de la maladie, celle que les chiens pourraient apprendre à reconnaître. Une fois l'odeur capturée, les scientifiques détermineront les molécules qui constituent sa signature. Pour cela, ils feront appel à la start-up strasbourgeoise Twistaroma, spécialiste de l'analyse des molécules organiques volatiles. Une autre start-up stras-

bourgeoise, Biodesiv, a quant à elle déjà inventé des tubes contenant un polymère qui capture les molécules volatiles puis les relâche progressivement. En mettant ce polymère au voisinage des cellules infectées, on pourra en récupérer l'odeur sans risque de contamination. Ainsi, ni les chiens ni leurs tuteurs ne seront exposés au virus lors de l'entraînement.

Six semaines pour convaincre

Entraînement qui, lui aussi, fera appel à des spécialistes. L'équipe s'est associée au Dr Nathalie Simon, experte du comportement canin, et a déjà contacté deux maîtres-chiens dans les rangs des sapeurs-pompiers. L'entraînement des animaux, en l'occurrence des border collie et des bergers allemands, durera environ six semaines. C'est à ce moment-là que l'on saura si cette méthode de détection est suffisamment sensible et spécifique. « Notre but est de faire la preuve de concept et de proposer un protocole d'entraînement des chiens. Si ça marche, ce sera aux autorités de décider comment mettre en place et diffuser la méthode », précise Philippe Choquet.

Mais déjà, les chercheurs voient plus loin. « Cette méthode pourrait être une révolution dans de nombreux domaines, avance Yves Rémond. On peut imaginer l'appliquer à d'autres virus, aux virus hépatiques par exemple, ou à la tuberculose. » ■

Les tubes Biodesiv sont capables d'absorber et de relarguer les odeurs de manière contrôlée.



© COVIDOG

1. Unité CNRS/ Université de Strasbourg/Insa Strasbourg/ENGEEES.



Médecins s'entraînant à pratiquer le décubitus ventral avec l'exosquelette Laevo, sur un patient simulé au poids réaliste, intubé et perfusé, à l'hôpital virtuel de Lorraine.

VIVANT

NUMÉRIQUE

Des exosquelettes pour soulager les soignants

Au pic de l'épidémie dans l'est de la France, l'unité de soins intensifs du CHRU de Nancy a vu sa taille doubler en seulement un mois, passant de 22 à 46 lits. Certains patients, déjà endormis et intubés, développaient un syndrome de détresse respiratoire aiguë à cause de la maladie, un cas grave où ils doivent être placés sur le ventre afin de mieux respirer. Cette manœuvre de retournement, appelée décubitus ventral, est cependant particulièrement complexe.

Une manœuvre épuisante

L'individu, inerte, doit être manipulé avec d'innombrables précautions car il est intubé, perfusé et câblé, en plus d'être contagieux. L'opération se déroule donc lentement et mobilise jusqu'à six personnes qui se retrouvent de longues minutes dans des positions inconfortables et avec de lourdes charges, sans compter le stress. Réalisée d'habitude seulement quelques fois par semaine, sa fréquence est passée à plusieurs dizaines de fois par jour. Bruno Chenuel, professeur de physiologie à l'université de Lorraine et chef de service au CHRU de Nancy,

Le projet ExoTurn propose d'aider les soignants avec des exosquelettes pour des manipulations lourdes sur les patients gravement atteints.

PAR MARTIN KOPPE

a alors réuni soixante-quinze soignants volontaires pour assister les équipes de réanimation. Les groupes se sont relayés, effectuant chacun de huit à quinze décubitus ventraux par jour, avec des pics au-delà de la vingtaine au plus fort de la crise. Le poids cumulé des personnes retournées dépassait les trente tonnes par jour.

Nicla Settembre, chirurgienne vasculaire au CHRU de Nancy et impliquée dans ces équipes de soutien, a alors contacté Serena Ivaldi, chargée de recherche Inria au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (Loria) ¹. « Nous avons toujours eu en tête d'utiliser des technologies de pointe pour aider les médecins », raconte Nicla Settembre. « Après discussion, nous avons décidé d'essayer des exosquelettes. » Elles ont ainsi lancé le projet pluridisciplinaire ExoTurn, rassemblant médecins et scientifiques du CHRU de Nancy, de

l'université de Lorraine, d'Inria, du CNRS et de l'Institut national de recherche et de sécurité. Ce dernier possède différents modèles commerciaux d'exosquelettes et une forte expertise sur leur usage au travail. Dédiés à l'assistance physique, ces appareils se portent comme un vêtement ou une armure, selon leur degré de complexité.

Soulager sans entraver

Pauline Maurice, chargée de recherche CNRS au Loria, a apporté ses compétences en analyse de mouvements, qu'elle avait déjà appliquées à l'étude d'exosquelettes. « Des capteurs mesurent comment l'exosquelette modifie les gestes et les efforts, mais il faut également vérifier ce qu'en pensent les personnes », insiste-t-elle. « Les capteurs ne peuvent pas répondre sur des questions de confort et de gêne. » Après une batterie d'essais, le modèle Laevo a été choisi. Utilisé en logistique, il accumule de l'énergie à travers un système de ressorts au niveau des hanches, ce qui lui permet de répartir la force exercée sur le dos vers les cuisses et le sternum lorsqu'on se penche en avant. Réduire l'effort de quelques pourcents suffit à énormément soulager le bas du dos.

Léger, cet exosquelette a également l'avantage de ne pas gêner les gestes du personnel soignant et d'être compatible avec les conditions d'une salle de réanimation. « Des exosquelettes avaient déjà été déployés sur des patients, mais c'est cependant la première fois qu'ils servent aux praticiens et ils les ont beaucoup aidés », explique Nicla Settembre. « Le succès de cette initiative nous incite à poursuivre cette collaboration pour approfondir, au-delà de la situation Covid-19, les bénéfices des exosquelettes pour les soignants. » ■

1. Unité CNRS/Université de Lorraine/Inria.



Un outil pour aider les services hospitaliers

Nicolas Vayatis, directeur du Centre Borelli, nous présente Onadap, un outil numérique d'aide à la décision et de suivi de la propagation de l'épidémie dans un hôpital.

PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

D'où est venue l'idée ?

Nicolas Vayatis : Parmi nos collègues du Centre Borelli ¹, des praticiens hospitaliers nous ont fait part dès le mois de mars de la difficulté d'organisation des services. Ils ont pensé qu'un outil donnant une vision géographique de l'épidémie dans l'hôpital et de l'état des équipes serait utile. Le projet ² était lancé...

Mais des outils de gestion du personnel existent déjà...

N.V. Oui. Mais en temps de crise, un outil plus léger, plus spécifique et prenant en charge l'information en temps réel devient nécessaire.

Que permet de faire la première version d'Onadap ?

N.V. D'abord de visualiser une carte de « chaleur » de l'hôpital montrant instantanément les services en surchauffe, les plus touchés par le Covid-19 et d'où le virus pourrait se propager. Cette vue remplace les tableaux de données. Ensuite, le logiciel fournit un rapport sur les soignants, prestataires et personnes circulant dans l'hôpital. Combien ont des symptômes ? ont été testés ? etc. Il fournit également des projections à



Service de soins en réanimation de l'hôpital Henri Mondor le 15 avril 2020.

quelques jours, compte tenu des dates de retour des soignants consignés chez eux.

Cette version a tout de suite été utilisée, en conditions de crise, à l'hôpital d'instruction des armées Percy.

Quelles sont les prochaines étapes et fonctionnalités à venir ?

N.V. Nous allons rendre plus fluide la collecte de données, améliorer l'interface et prévoir une version pour tablettes et mobiles. Nous ajouterons ensuite un volet sur les trajets des patients Covid dans l'hôpital. Le but est de mettre en évidence des zones à risque des bâtiments où l'on risque de s'infecter.

Enfin, le logiciel devra permettre de comprendre comment se propage le virus dans une structure hospitalière. L'accès privilégié à des données réelles et aux problématiques d'un hôpital dont nous disposons grâce à nos partenaires ³ nous aide à nous poser les bonnes questions.

Ce troisième volet ne correspond-il pas plutôt à un projet de recherche ?

N.V. Non. L'effort préalable de recherche s'impose. Nous voulons faire d'Onadap un outil d'aide à la décision, par exemple pour tester différents scénarios et émettre des recommandations pour contenir l'épidémie à l'échelle d'une structure de santé. Face à nouveau foyer, la direction peut envisager différentes stratégies, comme fermer des services ou renforcer les gestes barrières. L'outil permettra d'évaluer l'impact de ces mesures et les compromis à atteindre pour protéger les personnes à risque tout en maintenant les activités.

Onadap pourrait-il être utile hors de la crise Covid-19 ?

N.V. Il pourrait être adapté pour le suivi des maladies nosocomiales et être utile dans tout site sensible où il est important d'assurer un service avec des personnels, même en temps de crise, comme les porte-avions, base militaire, centrale nucléaire...

Quand l'outil sera-t-il prêt à l'emploi ?

N.V. La première version a été déployée sur des tablettes au sein de l'hôpital d'instruction des armées Percy dès septembre. Des discussions sont en cours avec l'AP-HP pour l'adapter à ses besoins et réaliser une expérimentation sur deux hôpitaux parisiens. Les différentes fonctionnalités seront intégrées au fur et à mesure jusqu'à fin 2021. ■

1. Unité CNRS/ENS Paris-Saclay/Univ. de Paris/Inserm/Service de santé des armées. 2. Sa réalisation a été rendue possible grâce à l'obtention d'un financement par l'Agence Innovation Défense, suite à un appel à projets d'avril dernier. 3. Le Service de santé des armées via la participation de l'hôpital d'instruction des armées Percy et de l'Institut de recherche biomédicale des armées, l'Institut européen d'administration des affaires (Insead) et la société Cyberzen.

EN ACTION



*Observer les orages depuis l'espace,
trouver des parades aux feux de forêts
et concevoir les futurs accélérateurs
de particules.*

ILLUSTRATION : FRED PEULT POUR CNRS LE JOURNAL

« Une nouvelle façon de financer le progrès du savoir »



@DÉLÉGATION PMA

RECHERCHE Créée fin 2019, la Fondation CNRS permet aux citoyens et aux entreprises de contribuer, grâce aux dons, à l'avancée de la connaissance scientifique.

Entretien avec son directeur général, Michel Mortier.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT

Pourquoi le CNRS a-t-il souhaité créer une fondation ?

Michel Mortier : La générosité du public est une contribution importante pour aider au progrès du savoir et financer une recherche libre, ambitieuse et de long terme. Le CNRS s'est doté d'une fondation permettant ainsi à chaque citoyen et citoyenne de contribuer à l'avancée des connaissances. À l'instar des grands établissements d'enseignement supérieur et de recherche en France et dans le monde, le CNRS souhaite bénéficier de la générosité publique, mais aussi de celle du monde de l'entreprise.

La Fondation CNRS en est l'outil adapté. Elle pourra offrir des ressources pérennes basées sur la constitution d'un capital, de manière à garantir des financements de moyen ou long terme sur des projets qui le nécessiteraient. Elle offre également différentes possibilités, telles qu'abriter des fonds dédiés ou des fondations sous égide pour des chercheurs ou mécènes souhaitant financer une opération emblématique.

Il faut bien noter que la fondation ne vient pas se substituer au financement par l'État, ni même compenser ses éventuelles fluctuations. En regard du budget d'un établissement public aussi grand que le CNRS, son intervention ne peut qu'être complémentaire. Elle offre une capacité nouvelle et différente de financer le progrès général du savoir et utilise exclusivement ses fonds au soutien direct de la recherche. Ainsi, la fondation contribuera au développement et à la promotion du CNRS, dans tous les

domaines correspondant à ses missions, ainsi que de la recherche scientifique et technologique, en France comme à l'international.

Quels types de projets seront soutenus ?

M. M. La prise de risque, le temps long, l'attractivité de nouveaux talents et l'accompagnement des talents naissants seront au cœur de l'action de cette fondation. Un soutien rapide sera également apporté aux sujets d'actualité si nécessaire, comme c'est le cas avec les projets de recherche autour du Covid-19. Mais les statuts de la Fondation CNRS offrent une gamme très large de modes d'intervention et la limite est essentiellement fixée par les moyens collectés. Les personnes ou entreprises qui souhaitent contribuer peuvent le faire en finançant des pro-

“La fondation contribuera au développement et à la promotion du CNRS, ainsi que de la recherche scientifique et technologique, en France comme à l'international.”

1. <https://fondation-cnrs.org/nous-soutenir/>



©CAROLINE GOUDON

► La Fondation a déjà permis de financer des projets de recherche sur le SARS-CoV-2, comme ici à l'Institut de recherche en infectiologie de Montpellier où les chercheurs travaillent à l'identification de molécules capables d'inhiber la réplication du virus.

jets de recherche spécifiques ou des développements technologiques dans tous les domaines de la science. Ils peuvent aussi soutenir des laboratoires entiers, avec ou sans partenaires industriels, ainsi que des coopérations européennes et internationales, des bourses, ou des actions de communication vers le grand public ¹.

Des entreprises ont déjà montré leur intérêt, notamment la Banque Populaire Casden qui a participé à hauteur de 50 000 euros aux projets de recherche de la fondation. Ce partenariat a contribué à soutenir deux projets sur le Covid-19, le premier visant à l'identification rapide d'antiviraux contre le SARS-CoV-2 et le second portant sur la distanciation sociale afin de dégager de nouvelles pistes d'action en matière de lutte contre la propagation de virus.

Les dons des particuliers bénéficient d'une fiscalité attractive...

M. M. En effet, et ce grâce à une réduction de l'Impôt sur le revenu (IR) et de l'Impôt sur la fortune immobilière (IFI) : 66 % du montant du don, à concurrence de 20 % du revenu imposable s'il est fait au titre de l'IR ; 75 % du montant du don, dans la limite de 50 000 euros, s'il est fait au titre de l'IFI. La Fondation CNRS est également habilitée à recevoir les legs, donations, usufruits et assurances vie en exonération totale de droits de succession.

Comment le mécénat d'entreprise s'inscrit-il dans les collaborations de recherche existantes avec des partenaires industriels, par exemple ?

M. M. Le CNRS entretient des relations fortes avec le monde de l'entreprise par le biais de structures com-

munes de recherche et des contrats de recherche partenariale. Cette recherche sur objectifs contribue directement à satisfaire les besoins en Recherche et développement des entreprises avec une obligation de moyens.

Le mécénat d'entreprise permet de contribuer volontairement, sans contrepartie directe, au progrès général de la connaissance et la Fondation CNRS y aura donc son rôle à jouer. L'entreprise voit sa contribution reconnue par le biais d'un programme de reconnaissance personnalisé selon les valeurs partagées et les domaines d'intérêt, notamment en termes de responsabilité sociétale de l'entreprise mécène afin de lui permettre de bénéficier de l'image de marque du CNRS. Ce programme favorisera notamment les rencontres avec des chercheurs et chercheuses de premier plan mais aussi avec des jeunes de grand talent. Que l'entreprise soit un partenaire régulier en recherche, ou pas, le mécénat au profit de la Fondation CNRS est un symbole fort de soutien à l'excellence de la recherche française.

Enfin, le régime fiscal du mécénat permet aux entreprises assujetties à l'impôt, sur le revenu ou sur les sociétés, de bénéficier d'une réduction d'impôt égale à 60 % du montant des dons versés jusqu'à 2 millions d'euros, et d'une réduction au taux de 40 % pour la fraction supérieure à 2 millions d'euros. L'ensemble s'inscrit dans la limite de 5 % du chiffre d'affaires, portée à un minimum de 10 000 euros par an pour les PME. ||

+

Pour en savoir plus
<https://fondation-cnrs.org>



Cinq robots aux talents fous !

1 La main aux doigts agiles

Avec ses trois doigts et un pouce possédant chacun quatre articulations, la main robotique développée à l'Institut P' (Pprime) du CNRS peut saisir des objets complexes : briquettes de bois, balle de tennis ou bouchon de plastique qu'elle dévisse haut la main... « *Surtout, c'est la seule en France également capable de manipuler l'objet une fois saisi grâce à des mouvements coordonnés des doigts seulement, et ce en lui imposant une trajectoire précise et sans à-coups. Elles ne sont qu'une poignée dans le monde, notamment en Allemagne, capables de manipuler un objet avec une telle minutie* », souligne Jean-Pierre Gazeau, ingénieur de recherche qui la développe avec ses collègues à l'Institut P'. Résultat : alors que les robots industriels sont généralement ultraspécialisés, cette main dextre de taille humaine, aussi capable d'évaluer les efforts de serrage sur l'objet et

déjà forte d'un dépôt de brevet CNRS, peut s'adapter à une large variété de tâches. En ligne de mire donc, un sérieux coup de main pour l'usine du futur où humains et robots devront travailler ensemble.

Ce sont ces situations d'interactions qu'explore le laboratoire commun Mach4¹, doté par l'Agence nationale de la recherche, pour rendre la collaboration humains/robots plus efficace, notamment grâce à un partenariat avec l'entreprise Iteca, spécialiste des environnements virtuels. Mais pas besoin d'attendre le futur pour obtenir de l'aide de cette main : une variante un peu plus grande, sans les capacités de manipulation, est déjà en cours d'adaptation pour l'archéologie sous-marine. Pour ce projet², elle sera attachée à un petit sous-marin et téléguidée afin de saisir des vestiges extrêmement fragiles avec une grande précision et dans des milieux difficiles d'accès, comme le feraient les archéologues-plongeurs avec une ou deux mains.

NUMÉRIQUE  MATIÈRE 

ROBOTIQUE À l'occasion de FutuRobot, la série d'événements du CNRS sur la robotique, découvrez les portraits de cinq robots au talent fou que l'on pourrait bientôt retrouver dans le domaine de la santé, l'industrie ou l'exploration sous-marine.

PAR MARTIN KOPPE ET CHARLINE ZEITOUN



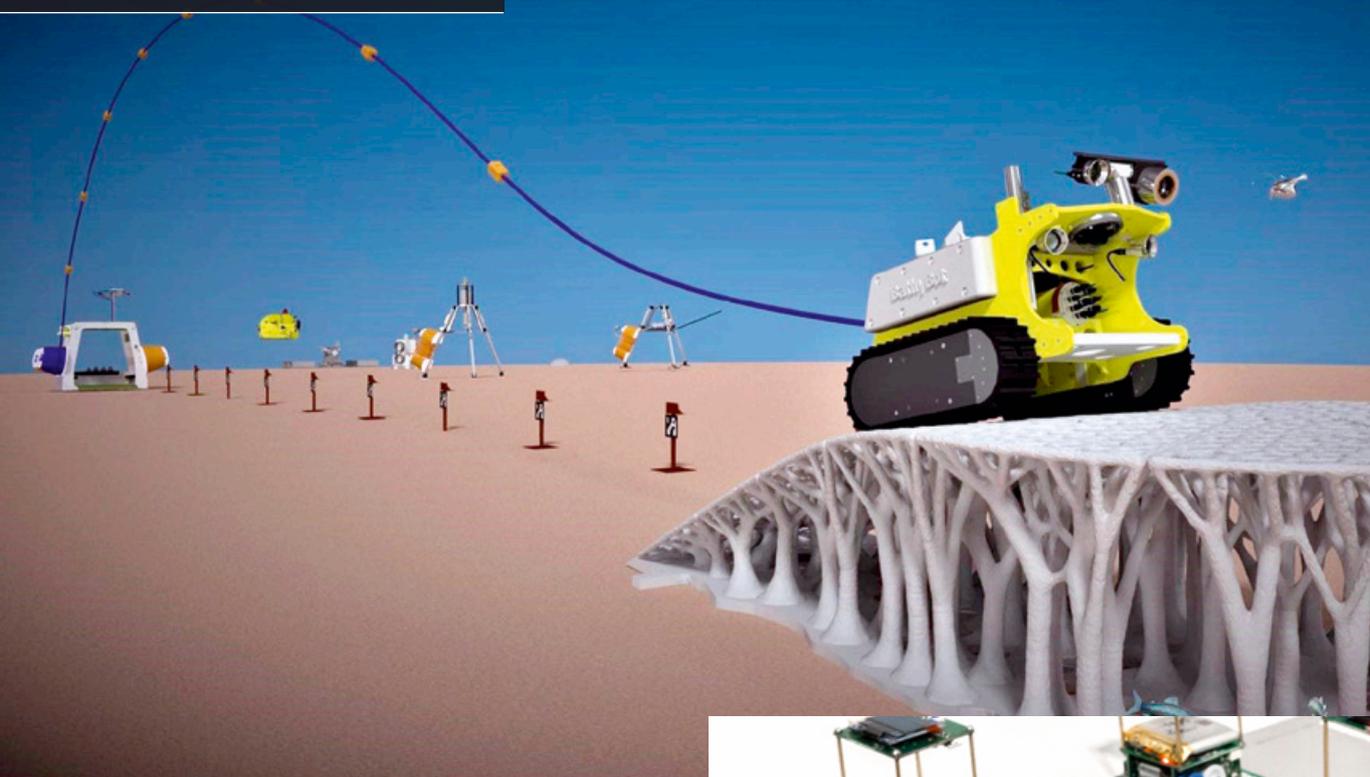
2 BathyBot, le rover des profondeurs

Il ne détonnerait pas sur Mars, mais BathyBot préfère les fonds marins. Rover au faux air de Wall-E (le robot éboueur du film éponyme), il descendra en effet à 2 500 mètres de profondeur au large de Toulon d'ici à quelques mois. Ses chenilles le propulseront sur le plancher océanique, tandis qu'un immense câble le maintiendra connecté et alimenté en permanence depuis la terre. « *BathyBot complète un observatoire profond³ comprenant aussi la ligne instrumentée Albatross déployée sur la colonne d'eau qui le surplombe. L'objectif est d'étudier l'impact du changement climatique, la biodiversité, la bioluminescence et les flux de particules, pour une durée minimale de dix ans* », expliquent Séverine Martini, post-doctorante à l'Institut méditerranéen d'océanologie⁴ et Christian Tamburini, directeur de recherche au CNRS au sein du même institut.

Rover sous-marin profond piloté à distance *via* Internet, le premier en Europe, BathyBot s'oriente à l'aide d'une caméra équipée d'une lumière blanche. Une seconde caméra scrutera la bioluminescence avec une telle sensibilité qu'elle n'aura pour seul éclairage qu'une lumière rouge connue pour ne pas effrayer les organismes des

▼ Développée à l'institut Pprime, cette main robotisée est l'une des plus habiles au monde.

1. Pour Contrôle et virtualisation machine pour l'industrie 4.0. Ce laboratoire associe l'Institut P', l'université de Poitiers et la société Iteca. 2. Projet ANR Seahand, en collaboration avec le Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier (CNRS/Université de Montpellier), le Département de recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (Drassm) et la société Becom-D. 3. Collaboration Emso/Meust/NUMerENV/KM3Net. 4. Unité CNRS/Aix-Marseille Université/Univ. de Toulon/IRD.



© CNRS DT/INSU

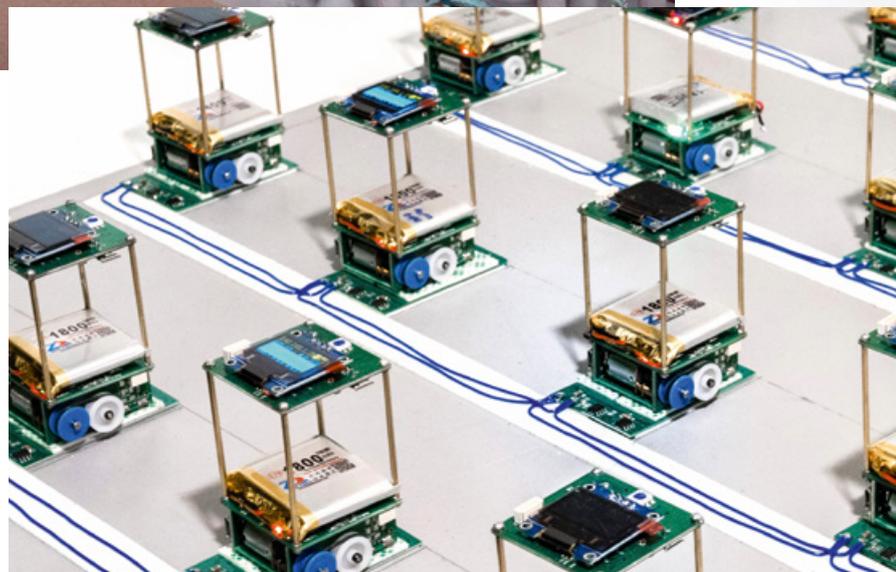
profondeurs. BathyBot « jouera » d'ailleurs avec le plancton grâce à plusieurs petites LED colorées afin de déterminer quelles teintes appâtent ou au contraire font fuir la faune du fond de la Méditerranée. Également équipé de capteurs de température, de salinité, d'oxygénation de l'eau, ainsi que d'un système d'imagerie pour détecter les particules et le plancton, il permettra de révéler avec une grande précision un environnement quasi inconnu.

Enfin, BathyReef ⁵, rampe ajourée en ciment bio-inspiré, permettra au rover de se surélever pour accroître son champ d'observation et elle concentrera les organismes à étudier puisque ceux-ci coloniseront la structure sur plusieurs années.

3 Un robot industriel en bois

Premier robot industriel en bois au monde ⁶, RobEcolo, fruit d'une collaboration entre le Laboratoire des sciences du numérique de Nantes (LS2N) ⁷ et l'École supérieure du bois de Nantes, est né en Loire-Atlantique. « Le stock mondial de robots s'accroît fortement, mais personne ne réfléchit à leur impact environnemental au-delà des questions d'économies d'énergie », constate le responsable du projet Sébastien Briot, chargé de recherche au LS2N. « Or le bois, extrait de forêts bien gérées, offre un excellent bilan écologique, surtout comparé aux matériaux qui l'ont remplacé au quotidien comme l'aluminium », commente-t-il.

Question anatomie, RobEcolo est composé de quatre segments formant un losange articulé capable de manipuler et positionner des objets sur une surface plane. L'électronique, la motorisation et les articulations sont en métaux et plastique, mais tout le reste est en hêtre imprégné d'acide acétique pour mieux résister aux variations de



© D. VILLA / SCIENCEIMAGE, CBI, CNRS, TOULOUSE

▼ Les microrobots Cuboids, développés dans le but d'étudier la coordination des individus dans un banc de poissons.

dimension liées à l'humidité. Au final, il affiche environ sept kilogrammes à la pesée, soit un ou deux kilogrammes de plus qu'un homologue en acier. « Certes la masse d'un robot joue sur sa consommation énergétique, mais, si besoin, il existe pour la réduire de nombreuses techniques que nous pourrions appliquer à l'avenir », commente le chercheur. Autre problème : le bois, matière vivante, présente des propriétés mécaniques très variables d'un arbre à l'autre, même au sein de la même espèce...

Pour compenser ces éventuelles variations sur les pièces dont il est fait, RobEcolo est doté d'une caméra qui lui permet de manipuler les objets avec une précision de 80 microns (soit moins d'un dixième de millimètre). Et ce robot « vert » n'a pas dit son dernier mot : non content d'améliorer encore ses performances, il devrait prochainement augmenter sa part de composants durables. De quoi convaincre les industriels !



► Images de synthèse du rover BathyBot, à gauche, grimpant sur la rampe ajourée BathyReef, et de RobEcolo, à droite, le robot industriel en bois.

4 Des robots mous pour arrondir les angles

Loin de l'habituelle raideur des machines, certains spécimens font sensation : ce sont les robots mous. Dotés d'articulations souples ou entièrement faits de matériaux facilement déformables, en forme de poulpe ou de chenille, ils lorgnent l'élasticité des tissus vivants. Intérêt : ils peuvent encaisser une perturbation ou un choc sans se casser ni en restituer brutalement l'énergie, qualité notable pour éviter de blesser les humains avec lesquels ils interagiront. Autre avantage : cette meilleure répartition des efforts mécaniques empêche de concentrer l'usure au niveau des articulations. « Plus besoin non plus d'éviter forcément les obstacles : un robot déformable peut rebondir au contact de son environnement et l'utiliser pour accomplir sa tâche », commente Christian Duriez, directeur de recherche Inria au Centre de recherche en informatique, signal et automatique de Lille⁸, et concepteur de nombreux prototypes dont des modèles recouverts de silicone. « Ils sont capables de manipuler les matériaux les plus fragiles et offrent de nombreuses applications médicales puisqu'ils ne présentent aucun risque de blesser les patients », ajoute le chercheur.

Christian Duriez participe d'ailleurs à la création d'un robot qui permettrait d'insérer un implant cochléaire plus facilement dans l'oreille interne. Un autre de ses projets : la conception de robots capables de scanner des tissus en pleine opération afin d'aider les chirurgiens à repérer ceux qui sont cancéreux. Mais la mise au point de robots mous est un terrain glissant ! L'absence d'un nombre fixe

d'articulations bien délimitées leur confère en effet une quasi-infinité de degrés de liberté dans leurs mouvements, ce qui demande des calculs particulièrement lourds. Reste donc à mettre au point des modélisations et des commandes *ad hoc*, repoussant les limites de la robotique classique...

5 Microrobots, la force du collectif

De la taille d'un dé à jouer, Alice sait trouver le chemin le plus court dans un labyrinthe. Ce robot format de poche n'erre cependant pas seul : il utilise des traces lumineuses⁹ laissées par d'autres robots identiques et qui doivent parfois s'y mettre à une bonne vingtaine ! Le principe est le même que chez les fourmis : quand l'une d'elles trouve une source de nourriture, elle dépose des phéromones en rentrant au nid. Le chemin ainsi balisé attire ses congénères qui laisseront à leur tour des molécules en rentrant. Au final, le chemin le plus court est le plus renforcé de phéromones car, durant le même laps de temps, il est forcément emprunté par une plus grande quantité d'insectes qu'une autre piste plus longue à parcourir¹⁰.

« Quand on veut créer des robots autonomes, le paradigme de l'intelligence artificielle classique consiste à construire une seule machine, très robuste et complexe, commente Guy Theraulaz, directeur de recherche au Centre de recherches sur la cognition animale¹¹. Mais, sur le modèle des insectes sociaux, on découvre que des essaims de robots beaucoup plus simples peuvent aussi accomplir de nombreuses tâches s'ils interagissent correctement », insiste l'éthologue qui s'inspire depuis longtemps des groupes d'animaux pour concevoir des algorithmes. Guy Theraulaz travaille aussi sur une nouvelle génération de microrobots, les Cuboids, dans le but d'étudier la coordination des individus dans un banc de poissons. « Ces études ont montré que des mouvements collectifs complexes pouvaient être régis par des interactions simples entre chaque robot et seul un ou deux de ses voisins », explique le chercheur. De quoi aider à rendre plus autonomes les essaims de robots, notamment ceux composés de drones, qui sont pour l'heure encore pilotés un par un. ||

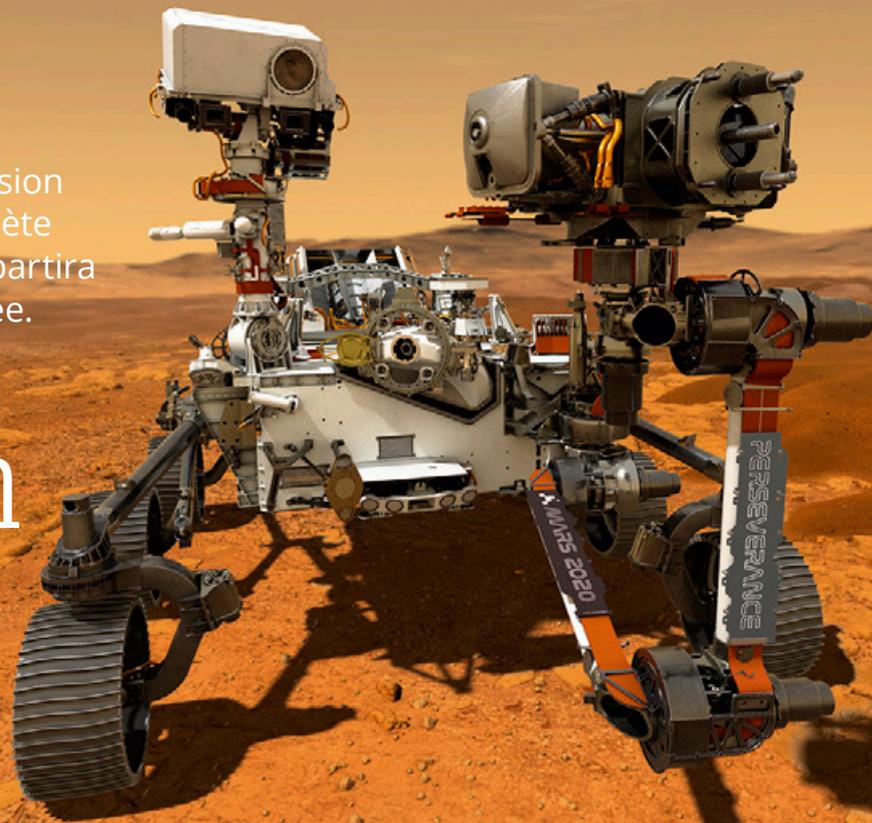
FutuRobot, une série d'événements à découvrir jusqu'en juin 2021 : <https://futurobot.cnrs.fr/>

5. Collaboration Tangram Architectes/Vicat/MIO. 6. Il est le premier dont les performances en précision et raideur sont garanties. 7. Unité CNRS/Centrale Nantes/Univ. de Nantes/IMT Atlantique. 8. Unité CNRS/Univ. de Lille/Centrale Lille Institut. 9. Les traces lumineuses sont projetées grâce à un vidéoprojecteur sur l'arène où évoluent les microrobots. 10. Ces observations ont conduit à l'algorithme de colonies de fourmis développé par le chercheur italien Marco Dorigo dans les années 1990. 11. Unité CNRS/Univ. de Toulouse Paul-Sabatier.

ASTROPHYSIQUE L'objectif de la mission Mars 2020 : acheminer sur la planète rouge le rover Perseverance, qui partira en quête d'indices d'une vie passée.

PAR GÉRGORY FLÉCHET

Bientôt un nouveau rover sur Mars



Depuis le début des années 2000, la Nasa a conduit avec succès huit missions ¹ destinées à étudier l'histoire géologique et climatique de Mars. C'est pour poursuivre ces investigations que l'imposante fusée Atlas V s'est élancée en juillet dernier de la base de Cap Canaveral, en Floride.

À l'affiche de cette nouvelle mission baptisée Mars 2020 : le robot mobile Perseverance qui doit atterrir sur la planète rouge le 18 février 2021. Bardé de caméras et d'instruments scientifiques de haute technologie, ce rover de la taille d'une voiture va tenter de répondre à la fameuse question : Mars a-t-elle pu abriter la vie ?

À la recherche de traces de vie

« Après nous être focalisés sur la présence d'eau et l'habitabilité de la planète, Mars 2020 inaugure le troisième et dernier volet d'un continuum de missions martiennes entièrement consacré à la recherche de traces de vie fossiles », résume Sylvestre Maurice, astronome à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap) ² de

Toulouse. Avec l'appui d'environ deux cents scientifiques, ingénieurs et techniciens issus de divers laboratoires associant le CNRS et les universités françaises ³, et du Centre national d'études spatiales (Cnes) ⁴, le chercheur a contribué au développement de la caméra laser SuperCam, l'un des sept instruments scientifiques qui équipent Perseverance.

Reprenant nombre de caractéristiques de la ChemCam du rover Curiosity déployée sur Mars en 2012, SuperCam a été enrichie de nouvelles fonctionnalités comme les spectromètres Raman et infrarouge. « Parce qu'elles permettent d'identifier les liaisons entre les atomes et la façon dont les molécules sont organisées entre elles, ces techniques, les premières de ce genre à être utilisées sur le sol martien, permettront de repérer des structures complexes qui favorisent la préservation de bio-signatures dans les cibles pointées par SuperCam », explique Sylvestre Maurice. Les scientifiques de la mission Mars 2020 ont choisi le cratère Jezero comme site d'atterrissage, une zone de 45 kilomètres de diamètre qui

abritait, il y a 3,5 milliards d'années, un vaste lac autour duquel convergeaient plusieurs deltas de rivières, soit un terrain particulièrement propice à la détection de traces vie.

Un concentré de technologie

Ce site jouit en outre d'une grande diversité géologique qui permettra de mener à bien l'autre objectif prioritaire de la mission : la collecte d'une trentaine de carottes de sol et de roches reflétant toute la diversité géologique de la planète. « Une fois encapsulés dans des tubes métalliques stockés à l'intérieur du rover, ces prélèvements seront scellés puis déposés à même le sol afin d'être rapportés sur Terre lors d'une prochaine mission de retour d'échantillons programmée à l'horizon 2030 », détaille Sylvestre Maurice.

Ce véritable concentré de technologie qu'est la caméra laser SuperCam aura nécessité cinq longues années de travail au sein de plusieurs laboratoires de recherche français : « Si de l'extérieur l'instrument ressemble à la ChemCam de Curiosity que notre équipe avait déjà contribué à concevoir, il ren-

SPECTROMÈTRE RAMAN

Appareil permettant de caractériser la composition moléculaire d'un échantillon en mesurant des modifications de la fréquence de la lumière qui les traverse.

1. Odyssey, MRO, Maven, Insight, Phoenix, Spirit, Opportunity et Curiosity. 2. Unité CNRS/Univ. Toulouse Paul-Sabatier/Cnes. 3. L'Irap, l'Observatoire Midi-Pyrénées (CNRS/Univ. Toulouse Paul-Sabatier/Météo-France/IRD), le Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (CNRS/Univ. de Bordeaux), le Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (CNRS/Observatoire de Paris-PSL/Sorbonne Université/Univ. de Paris) et le Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (CNRS/Univ. de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines/Sorbonne Université). 4. Le Cnes est maître d'ouvrage de la contribution française à SuperCam. 5. Unité CNRS/Observatoire de Paris-PSL/Sorbonne Université/Université de Paris.

En bref

Illustration du rover de la Nasa Perseverance, qui devrait atterrir sur Mars le 18 février 2021.

© NASA/JPL-CALTECH

ferme trois technologies d'analyse supplémentaires dans un volume identique, ce qui a nécessité la miniaturisation de nombreux composants », précise Pernelle Bernardi, ingénieure-système au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lesia)⁵ et lauréate de la médaille de cristal 2020 du CNRS pour son rôle décisif dans la fabrication de l'instrument. Achevée en juin 2019, cette version améliorée de la SuperCam a ensuite été acheminée jusqu'au Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la Nasa, en Californie, pour être fixée au sommet du mât du rover.

Quelques semaines avant le début de la crise du Covid-19, le rover entièrement assemblé avait rejoint le centre spatial Kennedy de Cap Canaveral pour être arrimé au véhicule de descente. Il a ensuite pris place dans la capsule qui pénétrera l'atmosphère martienne, cette structure étant elle-même attachée à un étage de croisière qui « conduira » l'ensemble jusqu'à sa destination finale. À l'abri derrière son bouclier thermique, Perseverance est désormais en route vers son objectif. ||

UNE ANNÉE AVEC LE CNRS

Le CNRS a publié son rapport d'activité 2019. Temps forts scientifiques, chiffres clés, Talents et distinctions, données chiffrées, science, innovation, ressources et 80 ans de l'établissement... Les actualités qui ont rythmé la vie de l'organisme en 2019 sont à retrouver dans ce document également disponible en ligne.

www.cnrs.fr/fr/rapport-dactivite

LE CNRS LAURÉAT DU FONDS POUR LA TRANSFORMATION DE L'ACTION PUBLIQUE

Le projet User First du CNRS, destiné à fournir aux chercheurs et à l'ensemble des personnels des outils numériques pour faciliter la vie des laboratoires de recherche, est l'un des seize lauréats 2020 retenus par le comité de sélection du Fonds pour la transformation de l'action publique (FTAP). Ce fonds accompagne les projets des administrations publiques, destinés à améliorer leur efficacité, la qualité du service délivré aux citoyens et aux entreprises ainsi que l'environnement de travail des agents publics.

UN SYNCHROTRON AUX PERFORMANCES INÉDITES EN EUROPE

Depuis le 25 août 2020, la communauté scientifique européenne a accès à un nouveau synchrotron aux performances inédites, installé à Grenoble, pour mieux explorer la matière. Le projet ESRF-EBS a abouti à un nouveau type d'accélérateur circulaire de particules, basé sur une configuration d'aimants inédite, qui permet à l'ESRF de devenir un synchrotron de quatrième génération à haute énergie, le premier au monde.

www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/un-synchrotron-nouvelle-generation-pour-leurope

LE CNRS 6^e DÉPOSANT DE BREVETS

Le CNRS conserve sa 6^e place dans le palmarès 2019 de l'INPI des déposants de brevets. L'organisme est le 1^{er} des établissements de recherche, d'enseignement supérieur et établissement de l'État déposants de brevets en co-dépôt avec des entreprises.

COMMENT LA CRISE IMPACTE-T-ELLE LA R&D ?

Face à la crise économique et sanitaire, le CNRS a mené en mai 2020 une étude réalisée auprès de 48 grands groupes, ETI et PME sur les nouveaux besoins des entreprises françaises en matière de recherche et développement.

www.cnrs.fr/sites/default/files/page/2020-08/impactsCrise_web.pdf

UN NOUVEAU LABO POUR LES NANOS

Concevoir de nouvelles sources de faisceaux d'ions pour explorer le nanomonde et développer des technologies et applications pour l'électronique du futur : telle sera la mission de Ciclop, un nouveau laboratoire commun, financé par l'Agence nationale de la recherche et associant le CEA, le CNRS, l'ENSICAEN, l'université de Caen Normandie et l'entreprise Orsay Physics. Ciclop sera implanté au Centre de recherche sur les ions, les matériaux et la photonique (CIMAP) à Caen.

UN ACCORD AVEC L'AGENCE POUR L'INNOVATION DE DÉFENSE

Le 7 septembre 2020, Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, et Emmanuel Chiva, directeur de l'Agence de l'innovation de défense, ont signé un accord de coopération pour pérenniser et renforcer la collaboration entre les deux institutions. Cet accord-cadre permet aux équipes de travailler ensemble et de mettre en place des groupes de réflexion stratégiques pour échanger autour de questions technologiques et scientifiques, ainsi qu'un réseau d'experts partagé. L'intelligence artificielle, les technologies quantiques, les systèmes électromagnétiques et acoustiques, ou les matériaux pour environnement à haute température font partie des sujets d'intérêt commun.



Lire l'intégralité de l'article sur lejournalcnrs.fr

UNIVERS

PHYSIQUE DES PARTICULES

Le LHC, le plus grand accélérateur de particules au monde, va-t-il être remplacé par un accélérateur encore plus grand ? Le Cern a précisé sa stratégie scientifique pour les décennies à venir.

PAR LAURE CAILLOCE

C'est là qu'a été observé le boson de Higgs pour la toute première fois, en 2012. Plus grand accélérateur de particules au monde, avec son anneau de 27 kilomètres situé sous la frontière franco-suisse, le LHC mis en service en 2009 doit déjà penser à sa future retraite... à l'horizon 2040. C'est qu'en matière de grands instruments scientifiques, l'anticipation est la clé ! Quelle machine lui succédera ? Pour quelles visées scientifiques ? C'est la question cruciale à laquelle le conseil du Cern, l'organisation européenne pour la recherche nucléaire, vient de donner une première réponse, avec sa « Stratégie européenne pour la physique des particules ».

Priorité aux Higgs

Deux années de concertation ont été nécessaires pour aboutir à ce document qui fixe deux grandes priorités pour le futur, comme l'explique Ursula Bassler, la présidente du conseil du Cern¹, l'organe de gouvernance de cette organisation internationale qui réunit pas moins de vingt-trois États-membres.

« Après la découverte du boson de Higgs, les scientifiques doivent désormais en étudier les caractéristiques les plus intimes. Pour cela, nous avons besoin de construire une "usine" à bosons de Higgs, un instrument qui permettra de produire des Higgs en grande quantité. Il faut savoir qu'au LHC, la probabilité de créer un Higgs est en effet d'une sur 1 milliard de collisions, c'est insuffisant pour amasser suffisamment de données... »

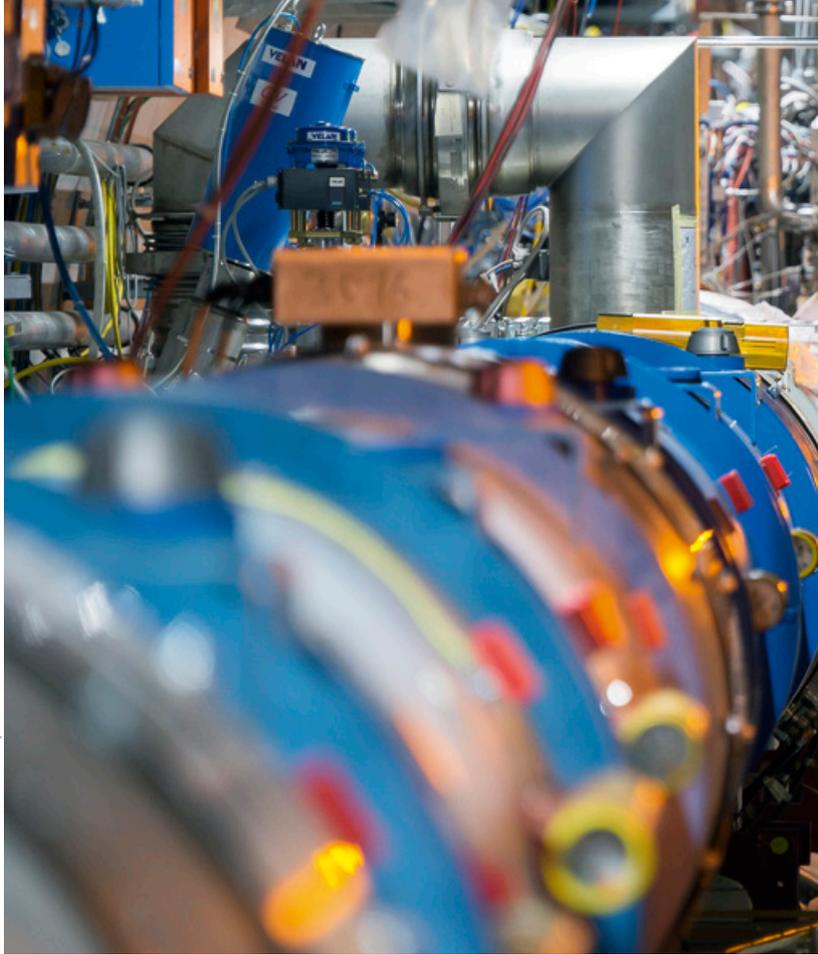
BOSON DE HIGGS

Cette particule dont l'existence a été postulée dès 1964, et qui a pu être observée pour la première fois au LHC en 2012, est censée conférer leur masse à toutes les autres particules.

Deuxième axe prioritaire : la stratégie insiste également sur la nécessité de poursuivre l'exploration dans les hautes énergies, afin de découvrir – les scientifiques l'espèrent – de nouvelles particules plus lourdes, impossibles à observer dans les conditions actuelles. « *Le modèle standard de la physique des particules, qui repose actuellement sur douze particules, comporte en effet des approximations et laisse de grandes questions sans réponses : de quoi est composée la matière noire, ou encore, pourquoi y a-t-il plus de matière que d'antimatière dans l'Univers, alors qu'elles étaient vraisemblablement à parts égales lors du big bang ?* », explique Ursula Bassler.

Idéalement, ces deux axes de recherche – Higgs et nouvelles

particules – pourraient se combiner au sein d'un seul et même instrument qui prendrait le relais du LHC à partir des années 2040. Son nom de travail ? Le FCC, pour Future Circular Collider. Cet anneau souterrain de 100 kilomètres de circonférence (plus de trois fois la taille du LHC donc !) pourrait dans un premier temps accueillir un accélérateur dédié aux collisions électrons-positrons, les plus à même de produire des Higgs en grande quantité, et se focaliserait dans un second temps – à partir des années 2050-2055 – sur les collisions de protons dans les hautes énergies. « *On parle ici de paquets de particules accélérés jusqu'à 100 téraélectronvolts (TeV), contre 13 TeV "seulement" pour le LHC actuel* », précise Ursula Bassler.



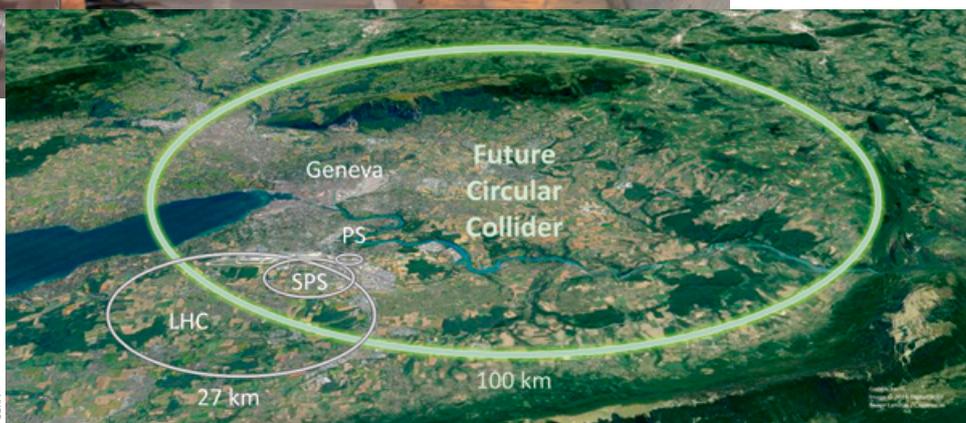
© CYRIL FRESILLON/LHC/CNRS PHOTOTHÈQUE

Quel successeur pour le LHC ?

1. Ursula Bassler est également chargée de mission à l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du CNRS.



► Situé à la frontière franco-suisse, le LHC (Large Hadron Collider), avec son tunnel de 27 km, devrait fonctionner jusqu'en 2040.



Décider de la construction d'un tel instrument demande cependant des études de faisabilité poussées. « Pour le moment, on ne sait pas encore si construire un tunnel de 100 km est possible en termes de génie civil, ni de coût. Même chose pour les milliers d'aimants qui seront nécessaires au futur collisionneur : ceux que l'on sait fabriquer aujourd'hui peuvent produire des champs magnétiques jusqu'à 11 teslas (ils sont de 8 teslas dans l'actuel LHC, Ndlr), alors qu'il faudra dépasser les 16 teslas pour le futur accélérateur de protons, précise Ursula Bassler. La construction d'un très grand instrument scientifique est toujours un pari sur l'avenir. »

Le chiffre de 20 à 25 milliards d'euros est évoqué pour l'enveloppe totale de construction de l'instrument, mais

demande lui aussi à être précisé. Une seule certitude : le FCC, s'il se fait, sera sur le même site que le LHC, à cheval entre la France et la Suisse.

Plusieurs scénarios à l'étude

Bien que le scénario du FCC soit aujourd'hui favorisé, des alternatives sont également à l'étude. « Si le tunnel de 100 km n'est pas réalisable tout de suite, pour des raisons techniques ou budgétaires, on pourrait décider de construire d'abord une simple usine à Higgs », indique Ursula Bassler.

Ce projet est déjà à l'étude au Cern : c'est le projet Clic, pour Compact Linear Collider. « On parle ici d'un tunnel linéaire de 11 km dans sa phase initiale qui permettrait des accélérations entre 250 et 380 Gigaélectronvolts (Gev). On n'a pas besoin de hautes énergies

pour faire des collisions électrons - positrons productrices de Higgs », complète Laurent Vacavant, directeur scientifique adjoint de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du CNRS. Une inconnue subsiste, néanmoins, car le Japon parle depuis plusieurs années déjà de construire sa propre usine à Higgs.

« Ce projet nommé ILC (pour International Linear Collider), c'est un peu l'arlésienne, commente Laurent Vacavant. Mais s'il se fait, Clic deviendrait de facto caduc, et les scientifiques européens participeraient alors à la fabrication des détecteurs de l'instrument japonais. » Quant aux autres technologies d'accélération également évoquées – collisionneur à muons, ou accélérateur à plasma laser – « bien que très intéressantes, elles ne seront probablement pas encore mûres et ne pourront être envisagées que pour la génération suivante de collisionneurs », précise le scientifique.

Un LHC plus « lumineux » dès 2027

Mais alors, quand le choix définitif du prochain accélérateur sera-t-il arrêté ? « Vraisemblablement dans la prochaine stratégie, qui sera publiée d'ici cinq à six ans », indique Ursula Bassler. En attendant, le travail ne manque pas au Cern : car outre les études de faisabilité des différents projets évoqués, le LHC lui-même doit subir un profond remaniement, une « jouvence » qui se terminera en 2027 et le transformera en HL-LHC, pour High Luminosity - Large Hadron Collider. « L'objectif est d'accroître de manière significative le nombre de collisions et, on l'espère, le nombre de collisions intéressantes, comme celles aboutissant à la création d'un Higgs », explique Ursula Bassler.

Pour ce faire, le faisceau va être concentré (il sera plus « lumineux ») : le nombre de paquets de protons qui entrent en collision ne changera pas – il sera toujours de 40 millions par seconde –, mais le nombre de protons par paquet sera plus important, ce qui devrait permettre de multiplier par dix le nombre d'interactions entre particules par rapport à aujourd'hui. De quoi offrir une deuxième jeunesse au LHC, et des données à profusion à la communauté de la physique des particules. II

► Le FCC, ou Future Circular Collider, serait construit à proximité de l'actuel LHC.

UNIVERS

ASTROPHYSIQUE Virgo et Ligo ont détecté un signal provenant de la source la plus ancienne et la plus massive jamais captée. Une découverte qui pourrait venir secouer les modèles d'évolution stellaire.

PAR YAROSLAV PIGENET

Le 21 mai 2019, l'interféromètre européen Advanced Virgo et les deux interféromètres américains Advanced Ligo ont simultanément détecté un signal, GW190521, d'une durée d'à peine un dixième de seconde. Quoique très bref, cet ébranlement du tissu de l'espace-temps s'est révélé si complexe que les astrophysiciens ont mis plus d'un an à l'analyser et le confronter à leurs modèles théoriques, recourant même à de nouveaux algorithmes développés pour décrypter les signaux « exotiques » afin d'en comprendre l'origine. Leur conclusion : ce qu'ils ont observé correspondrait à la formation, il y a sept milliards d'années, d'un trou noir d'une masse d'environ 142 fois celle du Soleil à partir de la coalescence de deux trous noirs de 65 et 85 masses solaires. Le tout libérant une énergie équivalente à 8 masses solaires sous la forme d'ondes gravitationnelles, ondes que nos interféromètres terrestres ont fini par capter !

Cette découverte exceptionnelle, qui prouve l'existence de trous noirs de masse intermédiaire, pourrait permettre de résoudre l'énigme de la formation des trous noirs supermassifs – tel celui qui trône au centre de notre Voie lactée –, mais aussi d'améliorer notre compréhension des étapes finales de la vie des étoiles massives. Elle est présentée dans deux articles cosignés par quatre-vingt-dix-neuf scientifiques de six équipes du CNRS et d'universités associées, publiés dans les revues *Physical Review Letters*¹ et *Astrophysical Journal Letters*².

« Contrairement aux coalescences de trous noirs habituellement captées, qui ressemblent à un sifflement de plus en plus aigu, GW190521 n'a duré qu'un dixième de seconde, rappelant plutôt un claquement, explique Nelson Christensen, directeur de recherche au CNRS et directeur du laboratoire Artemis³ à Nice. (...) Même si nous ne pouvons encore totalement exclure certaines hypothèses alternatives, le scénario le plus probable est que nous sommes devant la coalescence de trous noirs la plus massive jamais observée. »

Plus intéressant encore : les masses des deux trous noirs initiaux semblent exclure qu'ils soient de première génération. En effet, le modèle d'évolution stellaire communément admis prédit qu'en raison du phénomène quantique, l'« instabilité de paires », les étoiles dont la masse du noyau d'hélium se situe entre 65 et 130 masses solaires ne peuvent pas s'effondrer en trou noir mais finissent en une gigantesque supernova, dispersant tout leur contenu dans l'espace. Le fait que l'un, voire les deux trous noirs à l'origine de GW190521 se situent pile dans cet intervalle « interdit », intrigue – et enthousiasme – les astrophysiciens qui ont déjà commencé à explorer différentes hypothèses permettant d'expliquer leur formation : sont-ils issus de la fusion d'autres trous noirs ? S'agit-il de trous noirs primordiaux formés peu après le big bang ? Ou doit-on tout simplement revoir nos modèles d'évolution stellaire ? ||

1. "GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of 150M", *Physical Review Letters*, 2 sept. 2020. 2. "Properties and astrophysical implications of the 150M binary black hole merger GW190521", *Astrophysical Journal Letters*, 2 sept. 2020. 3. Unité CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur.

Les trous noirs nouveaux sont arrivés !

► Vue d'artiste
d'un système
binaire de trous
noirs sur le
point d'entrer
en collision.

+ Lire l'intégralité de l'article
sur lejournal.cnrs.fr

TERRE

NUMÉRIQUE

ENVIRONNEMENT Afin de mieux protéger les 15 millions d'hectares de forêts françaises, des scientifiques basés en Corse développent des outils d'aide à la décision pour la lutte contre les incendies.

PAR ANAÏS CULOT



© L. ROSSI

Des outils pour « prévoir » les feux de forêt ?

La saison des feux va-t-elle finir par durer toute l'année ? Les incendies de végétation se renforcent tant que les surfaces brûlées ont doublé en trente ans, malgré l'efficacité accrue des moyens de lutte. En cause ? Des conditions climatiques et météorologiques favorisant l'ignition de grands incendies – quand plus de 100 hectares sont brûlés – et ce même au cours de l'hiver, et partout dans le monde.

En Corse, la totalité de la région est potentiellement menacée par le feu. C'est pourquoi depuis plus de vingt ans, les chercheurs du laboratoire Sciences pour l'environnement (SPE)¹, à Corte, ont placé la problématique des incendies de végétation

au cœur de leurs recherches. « *L'éclosion de plusieurs dispositifs et résultats de notre équipe Feux nous permet aujourd'hui de sortir du laboratoire et de répondre aux besoins de la sphère opérationnelle* », indique Lucile Rossi, maître de conférences au sein du SPE.

Les drones à la rescousse

Si l'expertise d'un pompier est irremplaçable, la science peut malgré tout l'aider à l'affiner. L'utilisation de drones, qui peuvent faciliter la localisation des différents fronts de feu ou offrir une vision d'ensemble d'une situation, se démocratise à travers le monde. Dans le cadre de ses recherches, Lucile Rossi creuse leur potentiel sur le terrain en les équipant

de stéréovision : un système de deux caméras prenant des images décalées et simultanées d'un même phénomène, en infrarouge et dans le visible. À la clé, une représentation des flammes sous toutes leurs coutures en 3D, illustrant les caractéristiques essentielles à la dynamique d'un feu : forme, inclinaison, longueur et vitesse de propagation des flammes.

Depuis janvier 2020, ces drones sont également au cœur du projet corse multi-acteurs baptisé Goliat (Groupement d'outils pour la lutte incendie et l'aménagement du territoire)². Dans ce cadre, Lucile Rossi travaillera pendant les trois prochaines années sur la géolocalisation de points chauds (les endroits où pourrait repartir le feu après l'extinction des flammes) avec un traitement automatisé des images. Autre pratique de terrain à laquelle contribue la recherche dans le cadre de Goliat : le brûlage dirigé, qui consiste à brûler une partie de la végétation dans des zones à risque pour prévenir l'éclosion de futurs incendies. « *Des travaux pour identifier les bonnes pratiques (fréquence de réalisation, quantité de végétaux à brûler, etc.) et leurs impacts écologiques*

1. Unité CNRS/Université de Corse Pasquale Paoli. 2. Il regroupe de nombreux partenaires dont l'université de Corse, le CNRS, l'Office national des forêts, le Service d'incendie et de secours de Corse-du-Sud, le Service d'incendie et de secours de Haute-Corse, le syndicat mixte du Parc naturel régional de Corse, Aix-Marseille Université et la société Arobase.



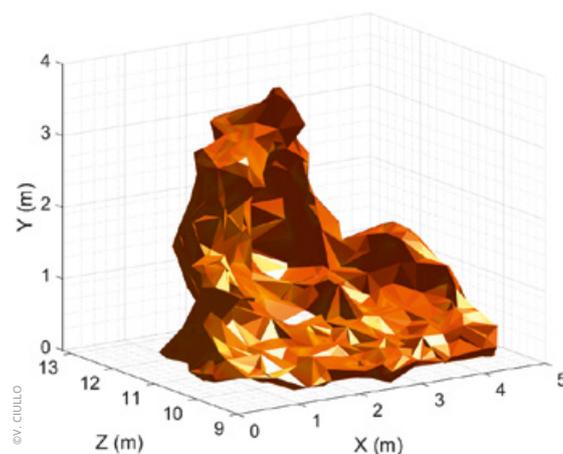
sont réalisés avec l'Office national des forêts », précise Lucile Rossi.

Goliat, c'est aussi le développement de plusieurs outils d'aide à la décision, notamment pour prédire le comportement des feux et leur impact. Thierry Marcelli, chercheur au laboratoire SPE, opte pour l'utilisation d'un modèle physique simplifié, rapide et robuste, qui prend en compte des phénomènes radiatifs et convectifs – soit deux modes de transferts d'énergie importants – afin de caractériser la dynamique d'un front de flammes. Cette approche permet en outre de prédire les conditions favorisant le déclenchement de feux éruptifs. Un premier outil³ basé sur ce modèle a été développé en 2018 avec les forestiers sapeurs de Corse-du-Sud. « Il permettait de représenter des zones de rayonnement sur une carte afin de vérifier la validité et la sécurité de zones d'appui à la lutte », précise Thierry Marcelli.

Ces zones correspondent à des bandes de végétation de plusieurs centaines de mètres de long et d'une centaine de mètres de large, que les pompiers brûlent ou défrichent volontairement pour freiner la progression

► L'utilisation de drones permet notamment aux chercheurs de modéliser le front de feu en 3D.

▲ Reconstruction 3D d'un front de feu à partir de plusieurs caméras portées par le drone.



d'un incendie en cours. Avec Goliat, le chercheur souhaite aller plus loin grâce à un outil de prédiction de comportement et d'impact. « Cet outil permettra de prédire la forme tridimensionnelle d'un incendie au cours de son évolution, ainsi que la chaleur reçue par des cibles potentielles environnantes », explique-t-il.

Le programme aidera donc à cibler les zones prioritaires de dangerosité ou encore la distance à laquelle déployer des hommes tout en minimisant leur exposition au rayonnement. À ce premier outil s'ajoutera une importante base de données d'historique des feux. Les données collectées pourront servir à l'identification de zones de feux récurrents, qui pourraient bénéficier d'un aménagement territorial dédié à réduire les risques d'incendie.

Simuler le front de flamme

La modélisation pourrait-elle permettre de prévoir les incendies ? « Un feu de végétation est un phénomène météorologique », précise Jean-Baptiste Filippi, chercheur CNRS spécialisé en simulation des incendies. Raison de plus pour élaborer un modèle de prévision prenant en compte le feu, la météorologie et leurs interactions mutuelles. En ce sens, le chercheur est à la tête du programme national Firecaster⁴, financé par l'Agence nationale de la recherche, qui coordonne les codes français de prévision d'incendie de végétation.

L'objectif ? Mettre en place une chaîne de calcul feu-atmosphère utilisée en cas d'urgence et pouvant être intégrée au système de prévision de Météo France lorsque les risques d'incendie sont importants. Pour cela, Jean-Baptiste Filippi utilise le simulateur *open source* de propagation, de comportement et d'impact du feu ForeFire, fonctionnant de manière automatique au sein d'une plateforme opérationnelle, Firecaster API, depuis juin 2020. En quelques secondes, cette dernière permet de simuler la position du front de flamme, sa puissance et sa vitesse pour des incendies de plusieurs hectares. Le tout avec une résolution de l'ordre du mètre ! Les cartes de prévisions générées par Firecaster API sont aussi des aides à la décision auprès des maires chargés d'enclencher l'évacuation de zones à risque en cas d'incendie.

Le modèle donne également la possibilité d'estimer ce qu'une lutte permet de préserver grâce à la comparaison de simulations de scénarios avec et sans action des pompiers. Ces derniers l'utilisent d'ailleurs dans leur plateforme de gestion des forêts OpenDFCI (Défense de la forêt contre les incendies). « Ils s'en servent pour inventer des scénarios dans lesquels ils choisissent les conditions météorologiques proches de la réalité du terrain et les appliquent à des cas d'entraînement », explique Jean-Baptiste Filippi. Bientôt, les pompiers pourront également simuler l'impact d'actions de lutte comme les largages de Canadair.

Afin de relier ces simulations à de nouveaux indicateurs, des indices économiques, humains et environnementaux sont développés dans le cadre d'un partenariat avec le laboratoire Lieux, identités, espaces, activités⁵. Le programme Firecaster, encore nouveau, et la disponibilité des infrastructures de calcul intensif devraient faire émerger d'autres usages en faveur de la lutte contre les incendies dans les années à venir. ■



Lire l'intégralité de l'article sur lejournal.cnrs.fr

3. Dimzal : Dimensionnement de zones d'appui à la lutte. 4. En partenariat avec le Centre national de recherches météorologiques (CNRS/Météo France), le Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique, le laboratoire Lieux, identités, espaces, activités (CNRS/Université de Corse Pasquale Paoli) et Inria. 5. cf note 4.



Auscouter la face cachée des orages

©CNES/ILL/SATTLER OLIVER, 2012

TERRE  UNIVERS 

Dans la mythologie celtique gauloise, Taranis désigne le dieu du ciel, de la foudre et du tonnerre. Rien d'étonnant donc si le Centre national d'étude spatiale (Cnes) a choisi d'attribuer le nom de cette divinité à un satellite dévolu à l'étude de phénomènes lumineux associés aux orages. Après avoir été reporté à maintes reprises, le lancement du satellite Taranis (Tool for the Analysis of RAdiation from lightNIng and Sprites) depuis le centre spatial guyanais de Kourou est désormais planifié pour le mois de novembre. Une fois atteinte l'orbite héliosynchrone à près de 700 km d'altitude ¹, le satellite aura pour mission d'étudier les transferts impulsifs d'énergie qui se produisent au-dessus des orages à la frontière entre la haute atmosphère terrestre et l'environnement spatial.

« Taranis sera non seulement dédié à la traque de tout un corpus de phénomènes lumineux transitoires rassemblés sous le terme générique de TLE (Transient

MÉTÉOROLOGIE La mission française Taranis doit décoller de Kourou en novembre prochain pour étudier les phénomènes lumineux qui se produisent au-dessus des orages. Objectif : mieux comprendre l'impact de ces événements sur la haute atmosphère de notre planète.

PAR GRÉGORY FLÉCHET

Luminous Events) mais aussi à celle de brèves bouffées de rayonnement gamma en provenance de la Terre appelées TGF (Terrestrial Gamma ray Flashes) durant lesquelles un orage se comporte comme un accélérateur de particules », détaille Jean-Louis Pinçon, chercheur CNRS au sein du Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace (LPC2E) ² et responsable scientifique de la mission.

Une découverte fortuite

Le tout premier TLE a été mis en évidence un soir d'été 1989. Cette découverte totalement fortuite a été

réalisée par des chercheurs de l'université du Minnesota souhaitant tester la sensibilité d'un nouveau modèle de caméra destiné à être installé sur une fusée-sonde. Pour cela, l'équipe avait dirigé l'appareil vers une étoile de luminosité bien connue depuis un poste d'observation terrestre sans savoir que l'astre visé cette nuit-là se situait juste au-dessus d'un orage. De retour au laboratoire, les scientifiques ont découvert avec étonnement que leur caméra avait capté d'étranges flashs lumineux au-dessus de la masse orageuse. Il s'agissait en fait de la toute première image d'un sprite.

1. Située entre 400 et 900 km, l'orbite héliosynchrone permet à un satellite évoluant sur cette trajectoire de passer toujours au-dessus du même point du globe à la même heure. De cette manière, il est possible d'observer les modifications subies par la région survolée en ayant toujours les mêmes angles pour la lumière et les ombres. 2. Unité CNRS / Cnes / Université d'Orléans.

Illustration du satellite Taranis en train d'observer des elfes.

Au cours des années 1990, trois autres catégories de phénomènes lumineux transitoires liés aux orages vont être identifiées : les elfes, qui se caractérisent par un anneau lumineux en expansion se formant à près de 100 km du sol ; comme leur nom le laisse deviner, les jets bleus se matérialisent par des panaches de couleur bleutée ; à la fois plus rares et importants que les précédents, les jets géants se développent quant à eux entre 15 et 90 km d'altitude.

« Bien qu'on estime à plusieurs centaines de milliers le nombre de TLE se produisant chaque jour dans la haute atmosphère, ils ne peuvent être observés depuis le sol qu'à la condition de se trouver en hauteur et à une grande distance du foyer orageux en raison de la barrière visuelle constituée par le nuage d'orage, explique Jean-Louis Pinçon. L'éloignement combiné à l'absorption par les couches denses de la basse atmosphère rendent par ailleurs très difficile l'obtention de données pertinentes pour l'étude de la microphysique de ces phénomènes à partir de la surface terrestre. »

Une batterie d'instruments

En venant se positionner à plusieurs centaines de kilomètres au-dessus des nuages, Taranis va donc pouvoir collecter des données beaucoup plus précises et complètes sur tous ces phénomènes. Pour mieux percer les mystères qui les entourent, ce micro-satellite de 180 kg regroupe six expériences scientifiques distinctes³.

Constituée de deux caméras associées à quatre photomètres, l'expérience MCP (MicroCameras et Photomètres) sera entièrement dédiée à la caractérisation des TLE selon la longueur d'onde de leur spectre lumineux et à celle des orages qui leur donnent naissance. En tant que détecteur gamma, l'instrument XGRE (X-ray, Gamma-Ray et Electrons relativistes) aura pour objectif de

déterminer les différentes composantes des flashes de rayonnement gamma terrestres. « Contrairement aux détecteurs gamma actuels, qui ont été développés pour identifier les sources lointaines de rayonnement cosmique, XGRE sera extrêmement rapide afin de repérer la moindre particule de lumière en provenance des orages se formant à quelques kilomètres de la surface terrestre », souligne Jean-Louis Pinçon.

Une masse de données inédite

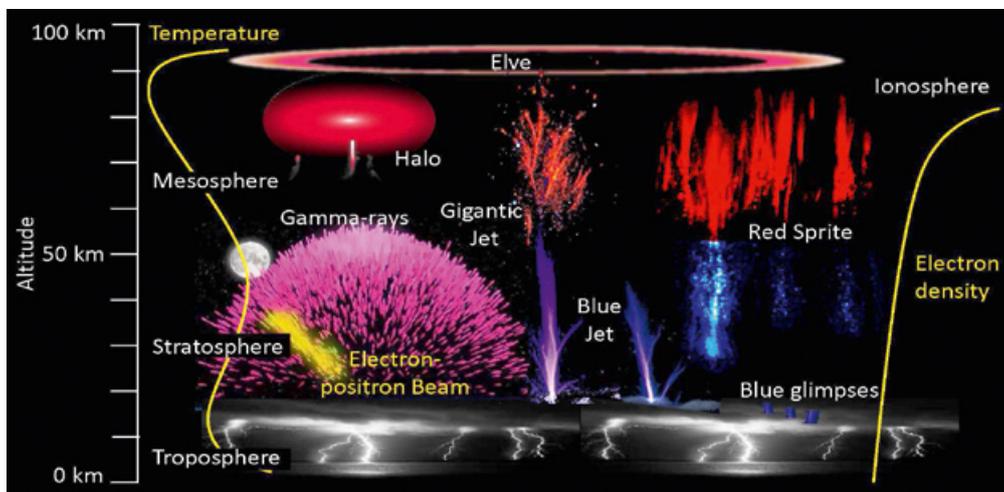
Outre ce détecteur gamma ultrarapide, le satellite disposera de détecteurs d'électrons énergétiques ainsi que de capteurs électriques et magnétiques qui permettront d'enregistrer les signatures électromagnétiques et celles des particules associées aux TLE et aux TGF. « L'ensemble de ces appareils aura la particularité de fonctionner en simultané et de façon synchrone pour ne rien rater des caractéristiques de ces événements dont la durée peut être inférieure au millième de seconde », complète le chercheur.

À raison de quatorze orbites terrestres quotidiennes, Taranis sera en mesure d'identifier chaque jour

des centaines d'événements liés à des transferts impulsifs d'énergie tout en enregistrant leurs données physiques et le contexte dans lequel ils se produisent. À l'issue de la mission, qui devrait s'achever fin 2024, le satellite aura ainsi accumulé une masse d'informations sans précédent sur les phénomènes lumineux transitoires et les flashes de rayons gamma terrestres. Une fois analysées, ces données contribueront ensuite à clarifier leurs mécanismes de génération tout en identifiant les signatures électromagnétiques et les différentes particules impliquées dans ces processus.

« En croisant les informations recueillies par Taranis au nadir des orages avec les mesures obtenues en parallèle par les réseaux d'observation terrestres, nous serons capables de déterminer dans quelles circonstances et avec quelle intensité ces événements et les mécanismes physiques qui les sous-tendent peuvent affecter la constitution chimique et la dynamique de la haute atmosphère », conclut Jean-Louis Pinçon. II

Illustration inventoriant les principaux phénomènes énergétiques que les orages provoquent dans la haute atmosphère.



3. Outre le LPC2E, la conception des différents instruments de Taranis repose sur le travail de chercheurs et d'ingénieurs du CEA, de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap - CNRS/Univ. Toulouse Paul Sabatier/Cnes), du Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (Latmos - CNRS/Univ. de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines/Sorbonne Université), du Laboratoire astroparticule et cosmologie (APC - CNRS/Univ. de Paris), de l'université de Stanford (États-Unis), de l'université Charles de Prague, de l'Institute of Atmospheric Physics de Prague (République Tchèque) et du Space Research Centre de l'Académie polonaise des sciences.

Stockage de données : les promesses de l'ADN synthétique

MATIÈRE

INGÉNIERIE Le projet OligoArchive travaille à établir des preuves de concept pour le stockage de données sur de l'ADN synthétique. Un support en théorie très prometteur, mais qui souffre encore de limitations économiques et techniques.

PAR MARTIN KOPPE

Deux millions de milliards de milliards de bits d'ici à 2025. L'explosion d'Internet et des réseaux sans fil a entraîné une accumulation extrême de données. « Si l'on devait réunir toutes nos données actuelles sur des Blu-ray, nous aurions vingt-trois piles de disques allant jusqu'à la Lune », décrit Marc Antonini, directeur de recherche au laboratoire d'Informatique, signaux et systèmes de Sophia Antipolis (I3S) ¹.

Dans la quête de systèmes de stockage plus adaptés, le chercheur a choisi de se pencher sur l'ADN, dont un seul gramme peut théoriquement contenir jusqu'à 455 exabits d'informations, soit 455 milliards de milliards de bits. Toutes les données du monde tiendraient alors dans une boîte à chaussure ! « L'ADN a l'avantage d'être extrêmement compact et de résister au passage du temps, avance Marc Antonini. On parvient à séquencer de l'ADN de mammouths vieux de dizaines de milliers d'années, alors que les systèmes sur disque dur doivent être recopiés par sécurité tous les cinq ans, et ceux sur bande magnétique tous les vingt ans. »

Avec son équipe, il travaille sur OligoArchive ², un projet de trois ans financé à hauteur de trois millions d'euros par la Commission européenne et qui rassemble l'I3S, l'Institut de pharmacologie moléculaire et cellulaire ³, l'école d'ingénieurs Eure-



© LABORATOIRE IS - EASTMAN KODAK COMPANY



► Images numériques après codage et synthèse sur ADN. À gauche, le résultat obtenu avec la solution de compression développée par le projet OligoArchive.

com, l'Imperial College à Londres (Royaume-Uni) et enfin la start-up irlandaise HelixWorks Technologies Limited. Ensemble, ils visent à obtenir une preuve de concept pour chaque étape du stockage sur ADN : synthétiser et stocker les données, puis être capable de les extraire le plus efficacement possible.

Réduire les coûts

Parmi les principaux écueils à surmonter : le prix. Qu'il soit naturel ou synthétique, l'ADN est composé de séquences de quatre nucléotides appelés A, C, G et T. À l'heure actuelle, synthétiser deux cents nucléotides coûte un dollar, sachant qu'encoder une seule image réclame plusieurs milliers de nucléotides. Pour réduire les coûts, une piste serait de diminuer la quantité de nucléotides nécessaires

pour stocker une même quantité d'information. Une technique simple consiste à leur attribuer chacun deux chiffres binaires : A pour 00, C pour 01, G pour 10 et enfin T pour 11. On parle alors de transcodage.

Réparer les erreurs

Cependant, si le code ADN synthétique généré pour représenter une donnée numérique ne contient aucune information génétique compréhensible par le monde du vivant, il reste soumis à certaines de ses règles. Par

exemple, si un nucléotide est répété trop de fois de manière ininterrompue, son séquençage va subir un certain nombre d'erreurs. Un transcodage simple ne permet ni de gérer cela facilement ni de contrôler la longueur, et donc le coût, des séquences ADN générées.

Pour pallier ces problèmes, les chercheurs proposent d'intégrer un système de codage directement au niveau de la compression des données numériques. Ils conçoivent également des algorithmes qui corrigent automatiquement les erreurs liées au processus de séquençage du code ADN lors du décodage. L'équipe se donne trois ans pour apporter ses premières preuves de concept et ainsi ouvrir la voie à un usage concret du stockage sur ADN artificiel. ||

1. Unité CNRS/Univ. Côte d'Azur. 2. <https://oligoarchive.eu> 3. Unité CNRS/Univ. Côte d'Azur.

LES IDÉES



Où l'on réfléchit à la dignité des personnes vulnérables, à l'utilité des robots pour les enfants autistes et à une nouvelle encyclopédie des sciences.



Régis Aubry

Benoît Eyraud

SOCIÉTÉS

ENTRETIEN Interdiction des visites dans les Ehpad, isolement dans les chambres... Certaines mesures de protection des personnes âgées ou vulnérables prises durant la pandémie de Covid-19 posent question. Entretien avec le gériatre Régis Aubry et le sociologue Benoît Eyraud.

PROPOS RECUEILLIS PAR CARINA LOUART

« Le risque est d'oublier la dignité des personnes vulnérables »

Le 11 mars, les visites ont été interdites dans les établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad). Le 28 mars, des directives d'isolement des résidents dans leurs chambres furent demandées, avant que des visites soient de nouveau autorisées le 20 avril. Que pensez-vous de ces décisions ?

Benoît Eyraud¹ : Durant cette période, l'inquiétude s'est focalisée sur les capacités sanitaires et la nécessité de protéger la filière de soins. Les pouvoirs publics ont vite répondu aux alertes des services hospitaliers et notamment des urgentistes qui disposent de relais forts, contrairement aux établissements médico-sociaux (Ehpad, foyers d'accueil spécialisés...) qui peinent à se faire entendre. L'adaptation des mesures sanitaires y a, au final, été plus lente. Cela illustre la difficulté de notre pays à apporter une réponse qui ne soit pas seulement hospitalo-centrée.

Régis Aubry² : Les personnes vivant dans les établissements médico-sociaux ont en effet été les grands oubliés du système de santé. Ces lieux sont pourtant des foyers de contamination importants car ils concentrent les sujets les plus à risque. On aurait pu imaginer qu'ils soient protégés en priorité. Sans qu'on le dise, les personnes les plus vulnérables ont été laissées au bord du chemin...

C'est ce qui vous a incité à créer une unité de soins palliatifs Covid-19 au CHU de Besançon ?

R. A. Oui. Il était impératif de penser aux patients âgés et fragiles trop faibles pour supporter les traitements en réanimation. Ils méritent autant que tout autre d'être traités avec humanité et accompagnés en fin de vie. Certains, qu'on croyait perdus, ont d'ailleurs pu être sauvés. Le risque avec ces crises sanitaires, c'est qu'au motif de sauver des vies, on oublie le respect de la dignité humaine, pour les personnes les plus vulnérables notamment.

Vous avez aussi initié une cellule d'écoute téléphonique à destination des acteurs de la prise en charge à domicile, des établissements médico-sociaux et des médecins libéraux...

R. A. Cela avait été recommandé par le Comité consultatif national d'éthique (CCNE). L'idée était d'aider ces professionnels à assumer leurs décisions, à analyser les situations, au travers du prisme de l'éthique et d'apporter des réponses adaptées, par exemple pour maintenir un patient dans la structure ou l'hospitaliser. L'objectif était aussi d'accompagner la prise en charge de la détresse respiratoire asphyxique pour ceux qui décédaient dans ces structures. Cette cellule a reçu une cinquantaine d'appels par jour.

¹. Chercheur au Centre Max Weber (CNRS/ENS de Lyon/Univ. Jean Monnet Saint-Étienne/Univ. Lumière Lyon 2), chercheur associé au CEMS (CNRS/EHESS/Inserm), maître de conférences à la faculté de sociologie et d'anthropologie de l'université Lyon 2, initiateur de la démarche de recherche citoyenne Capdroits. ². Médecin-chef du pôle Autonomie-Handicap du CHU de Besançon, membre du Comité consultatif national d'éthique, président de la Plateforme nationale de recherche sur la fin de vie. ³. Au 7 mai 2020, ils étaient 9 600 dans les Ehpad eux-mêmes et 3 400 après un transfert à l'hôpital, soit déjà 13 000 au total, selon « Coronavirus : les résidents d'Ehpad représentent la moitié des décès comptabilisés en France », *Le Monde*, 8 mai 2020.



©PHILIPPE LOPEZ / AFP

Les décès de résidents d'Ehpad³ représentent près de la moitié des 30 661 décès à ce jour en France. Que pensez-vous de ces chiffres ?

R. A. Au regard de l'état dramatique de certains établissements, la situation aurait même pu être pire... On s'est adapté, mais on aurait pu faire beaucoup mieux si le plan Grand âge, annoncé en janvier 2020 dans la perspective d'un projet de loi présenté l'été suivant, avait été enfin mis en place ! Dans les pays du nord de l'Europe qui ont une autre politique, dirigée vers le maintien à domicile des personnes âgées dès que possible, le nombre de décès a été beaucoup plus bas. Il est urgent de penser à des alternatives aux Ehpad en France.

Des familles endeuillées saisissent la justice et certaines ont créé le Collectif 9 471, d'après le nombre de morts recensés dans les Ehpad au 5 mai 2020...

R. A. L'absence de masques explique pour partie la contagion dans les Ehpad. Le personnel soignant a été fortement touché d'où un fort absentéisme dans ces structures. Associé aux mesures de confinement, cela a eu de graves répercussions chez les résidents parfois privés de soins de base, comme la toilette, du fait de la

► Résidents et personnels de l'Ehpad Herold, à Paris, écoutent le concert offert par deux membres de l'Orchestre de Chambre de Paris, le 18 Mai 2020.

raréfaction des personnels. Certains résidents très dépendants n'étaient plus assistés par leur proche pour les repas et d'autres étaient totalement délaissés dans leur chambre. Cette absence de soins de base peut s'apparenter à une forme d'abandon ou de maltraitance. Il y a une sorte de déni collectif autour des situations de vieillissement et de fin de vie. Espérons que la mise en place du plan Grand âge va s'imposer avec notamment des moyens mis pour le maintien à domicile. Aujourd'hui, on contraint des personnes à vivre dans des endroits où elles n'ont souvent pas envie d'aller. Et au nom de la sécurité, on les prive de leur ultime liberté.

Les mesures sanitaires ont-elles été suffisantes et adaptées ?

B. E. Elles sont venues s'abattre de manière administrative et verticale, renforçant encore le sentiment de relégation et de disqualification des plus vulnérabilisés. Il aurait été judicieux de consulter aussi les professionnels (aides-soignants, auxiliaires de vie, travailleurs sociaux, médecins...), les personnes résidant en hôpitaux psychiatriques ou en établissements médico-sociaux et leurs familles. Cette attention participative aurait facilité une appropriation et un ajustement plus rapides des règles.



©SEBASTIEN ORTOLA / REA

R. A. Pour les 60 à 70 % des résidents en Ehpad qui souffrent de troubles cognitifs, parfois sévères, ces mesures de confinement n'étaient pas comprises et ne pouvaient être respectées. L'interdiction des visites et le maintien dans les chambres ont été vécus comme une agression, ce qui a eu pour effet d'augmenter fortement leurs troubles du comportement. Nous devons mener une réflexion sur ce que signifie être confiné quand on a des troubles cognitifs.

Les mesures prises pour la protection des personnes vulnérables s'apparentent-elles à celles qui prévalent pour les personnes mises sous tutelle ?

B. E. Selon quelques retours, des résidents d'établissements médicaux sociaux ont éprouvé un fort sentiment d'infantilisation, proche de ceux de nombreuses personnes mises en protection juridique. En les qualifiant de « vulnérables », les pouvoirs publics ne se sont pas rendu compte qu'ils disqualifiaient leurs capacités à s'approprier et à ajuster les nouvelles règles sanitaires.

Il fallait pourtant mettre en place des mesures de protection...

B. E. Certes, mais au lieu de les surprotéger, on aurait dû les aider à appréhender ces règles, en tenant compte de leurs besoins et de leurs capacités à exercer leurs droits. C'est tout l'enjeu de notre manifeste « Toutes et tous vulnérables ! Toutes et tous capables ! »⁴ et de notre démarche de recherche citoyenne Capdroits⁵ qui vise à faire participer les personnes vulnérabilisées aux décisions dans la perspective d'un meilleur respect des droits humains.

R. A. Il faut veiller à ne pas considérer les personnes âgées comme incapables de décider et de comprendre au prétexte qu'elles sont plus lentes et moins réactives. Cet âgisme⁶ est une forme de ségrégation qui a exacerbé un

À l'Ehpad Fontaudin, à Pessac, un sas a été aménagé pour les visites avec des vitres en plexiglas.



À lire :
Choisir et agir pour autrui ? Controverse autour de la convention de l'ONU relative aux droits des personnes handicapées,
B. Eyraud, J. Minoc et C. Hanon, Doin, coll. « Polémiques », 2018, 312 p.

sentiment d'inexistence et d'inutilité lors de cet épisode. En leur répétant qu'elles devaient être mises à distance de toute forme de relation sociale et n'auraient pas accès à des soins susceptibles de les guérir, les personnes âgées ont été sur-vulnérabilisées.

L'interdiction de visite aux résidents d'Ehpad a été levée en urgence le 21 avril...

R. A. Famille et amis des résidents sont souvent leur raison essentielle de vivre et le seul lien avec le monde extérieur. Les en priver durablement risquait de provoquer une altération irrémédiable de leur santé. Si la logique est de ne prendre aucun risque, sa contrepartie produit misère et souffrance. La responsabilité du politique, c'est justement de savoir prendre des risques. Il faut toujours mettre en tension ce qui est pertinent sur le plan de la santé publique et ce qui l'est sur le plan de la santé individuelle.

L'unité de soins palliatifs Covid-19 que vous avez créée au CHU de Besançon était sans doute la seule en France à autoriser les visites : pourquoi ce choix ?

R. A. On sait que plus que la médecine, c'est la présence humaine qui prime à ce moment essentiel de la vie. Il nous semblait important de ne pas ajouter à la souffrance et de ne pas priver de ce qui peut encore donner du sens, à savoir le contact avec ceux qu'on aime. Et pour les proches, voir le défunt facilite la séparation et évite les deuils pathologiques.

Cette expérience aurait pu être reproduite ailleurs...

R. A. C'est une des leçons à tirer. Une société qui oublie d'être solidaire ou qui ne respecte pas la dignité de toute vie est une société qui va droit dans le mur.

B. E. Cette crise a montré la nécessité de réduire la dimension sur-protectionnelle, paternaliste et très verticale des autorités à l'égard des plus fragiles. Il faut réintroduire de la démocratie sociale et solidaire, faire confiance aux résidents d'établissements médico-sociaux et s'appuyer sur les expertises de chacun, professionnels comme usagers, pour favoriser le dialogue et accompagner chacun dans l'exercice de ses droits.

Quels enseignements pourrait apporter l'étude sur la fin de vie et la mort dans les Ehpad que vous êtes en train de terminer ?

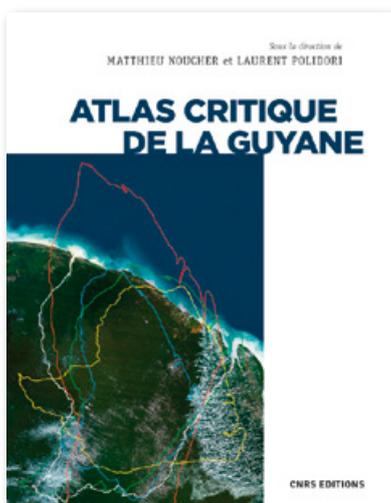
R. A. Cette recherche vise à collecter des données de terrain. Elle est coordonnée par la Plateforme nationale pour la recherche sur la fin de vie⁸ et menée dans six régions, à raison de quatre à cinq Ehpad par région. Elle permettra d'apporter des éléments susceptibles d'influencer les politiques d'accompagnement du vieillissement et de solidarité envers les personnes vulnérables. Un suivi des familles permettra de faire un focus sur les situations de deuil qui vont, à mon sens, devenir un problème de santé publique. ||

4. <https://confcap-capdroits.org/2018/06/06/manifeste-tou-te-s-vulnerables-tou-te-s-capables/> 5. <https://confcap-capdroits.org/>
6. « COVID-19 outbreak: organisation of a geriatric assessment and coordination unit. A French example », *Age and Ageing*, vol. 49, n° 4, juillet 2020, p. 516-522. 7. <https://www.plateforme-recherche-findevie.fr/etude-covidehpad> 8. <https://www.plateforme-recherche-findevie.fr>



Lire l'intégralité de l'entretien sur lejournal.cnrs.fr

À lire



Guyane

Plus de 80 géographes, cartographes, sociologues, historiens, anthropologues, archéologues, linguistes, ethnobotanistes, etc. nous invitent dans ce bel ouvrage collectif à renouveler notre regard sur la Guyane. Pour ce faire, les scientifiques se livrent à une lecture critique des cartes existantes de ce territoire, allant de l'urbanisme aux frontières en passant par la biodiversité. L'ouvrage passionnant et instructif se clôt par une postface de Christiane Taubira.

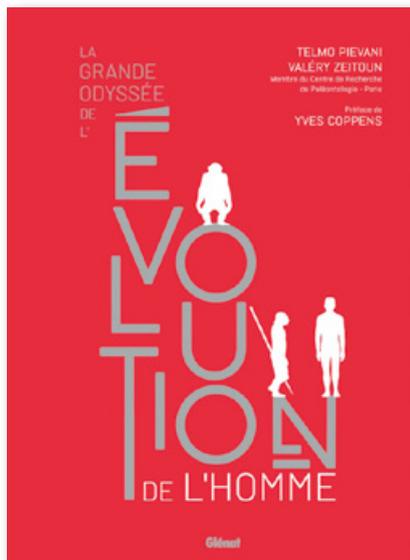
Atlas critique de la Guyane, Matthieu Noucher et Laurent Polidori (dir.), CNRS Éditions, août 2020, 336 p., 29 €.



Odyssée

Comme son titre l'indique, ce beau livre se propose de suivre l'évolution et les migrations de l'espèce humaine depuis les premiers hominés d'Afrique jusqu'à la conquête du monde par *Homo sapiens*. À travers l'assemblage synthétique de cartes, de tables synoptiques et de textes thématiques, cet atlas géographique du peuplement humain nous fait découvrir les pérégrinations du genre *Homo* depuis plus de deux millions d'années et nous permet de mieux comprendre d'où nous venons, comment nous nous sommes répandus sur la planète, et pourquoi nous sommes à la fois si différents et si uniques.

La grande odyssée de l'évolution de l'Homme, Telmo Pievani et Valéry Zeitoun, Glénat, septembre 2020, 192 p., 30 €.



Science et politique

La pandémie de coronavirus a rendu explicites l'importance et l'ambiguïté du lien qu'entretiennent scientifiques et décideurs politiques, nous interpellant sur le rôle que peuvent jouer la connaissance et l'expertise scientifique en démocratie. Car si la science a, à plusieurs reprises dans l'Histoire, contribué à changer notre vision du monde et, parfois, à améliorer nos conditions de vie, son rôle dans la décision politique est aujourd'hui de plus en plus souvent contesté. En montrant comment les méthodes scientifiques permettent, ou pas, de faire émerger le « vrai », cet ouvrage propose plusieurs pistes pour rendre plus constructif le dialogue entre recherche, élus et citoyens.

La Démocratie a-t-elle besoin de la science ?, Pierre Papon, CNRS Éditions, septembre 2020, 336 p., 15 €.



Inventions

Véritable ancêtre des brevets, le système des plis cachetés mis en place au XVII^e siècle par l'Académie des sciences permettait à chacun de déposer – sous un pli cacheté et signé – le résultat d'une recherche, innovation ou invention afin de pouvoir en revendiquer la primauté le cas échéant. À ce jour, plus de 18 000 de ces plis ont été déposés à l'Académie, dont la commission des plis cachetés continue d'en enregistrer une trentaine chaque année. Cet ouvrage, coordonné par le président actuel de cette commission, présente les plus remarquables de ces plis qui – de l'invention du coton-tige à la découverte de Lucy en passant par de nouvelles méthodes chirurgicales – permettent de retracer une histoire des sciences et des techniques, ainsi que les préoccupations des époques qui les ont vu naître.

Sous le sceau du secret. Les plis cachetés de l'Académie des sciences, Edgardo-D. Carosellia (dir.), CNRS Éditions, septembre 2020, 240 p., 25 €.



SOCIÉTÉS

Autisme et Alzheimer : des robots médiateurs ?

Par **Sophie Sakka**, chercheuse en robotique au Laboratoire des sciences du numérique de Nantes (LS2N) ¹.

La médiation robotique consiste à utiliser un robot comme intermédiaire entre une personne et le monde qui l'entoure.

Dans le cadre des programmes Rob'Autisme et Rob'Zheimer, initiés par l'association loi 1901 Robots !, notre équipe mène depuis 2014 des recherches sur la médiation robotique dans l'accompagnement thérapeutique d'adolescents présentant des troubles du spectre autistique (TSA) et de personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer. Une progression jugée spectaculaire des participants en termes d'habiletés sociales a été constatée dès les premiers ateliers. Innovation internationale, la façon dont nous utilisons les machines est bien particulière, en marge du robot dit « compagnon » souvent décrié du point de vue éthique et qui a montré ses limites.

L'intérêt pour un médium robotique est apparu dans les années 1990 et, en 2000, la chercheuse anglaise Kerstin Dautenhahn introduisit le concept jugé prometteur de robot compagnon, avatar mécanique en mesure de solliciter son interlocuteur comme le ferait un thérapeute. Les recherches qui ont suivi depuis ont proposé des déclinaisons d'exercices classiques se concentrant sur la communication volontaire, la concentration, le soin aux objets ou aux personnes, la gestion des émotions, etc.

Les limites du robot compagnon

Le projet Aurora mettait quatre robots à disposition : deux véhicules à roues et deux humanoïdes à visages expressifs. D'autres robots d'apparence animale ont également été utilisés en dehors du projet. Toutes machines



© ASSOCIATION ROBOTS !

confondues, l'analyse montre que les affinités entre l'enfant TSA et le robot sont bien plus fortes avec la forme humanoïde. Mais aucun lien n'a été établi avec la capacité verbale de la machine (toutes se limitaient aux sons, clignotements de différentes couleurs et mouvements).

Selon les observations, la progression de la communication des enfants a été plus rapide qu'avec une médiation reposant sur des animaux ou une musicothérapie. L'évolution cependant reste lente, estimée de plusieurs mois à plusieurs années pour en voir les effets en dehors des séances, alors que les publications scientifiques relatant ces expériences mentionnent souvent des temps d'interaction courts et peu fréquents. Enfin, les expériences publiées ne concernent qu'un à cinq participants, pour un nombre d'interactions limitées en face-à-face avec la machine, avec des conclusions généralement tirées sur peu de séances et souvent mal décrites.

► L'association Robots ! propose les ateliers Rob'Autisme depuis 2014.

Difficile donc de conclure sur les recherches utilisant le robot compagnon. De fait, il n'existe pas de réel programme thérapeutique d'interaction construit sur celui-ci et permettant d'être reproduit. Pour la systématisation des exercices, des entreprises développent plutôt des « auticiels », programmes informatiques pour supports numériques variés. Et une importante question demeure : comment obtenir la même qualité de réponse et d'interaction entre le participant et l'être humain qu'avec le robot compagnon ? Ou encore : comment réintroduire l'être humain dans la démarche de communication avec la personne autiste ou souffrant de troubles cognitifs ?

Une aide à la communication

En 2014, notre équipe a proposé une alternative : le robot extension. Plutôt qu'un interlocuteur robotique qui sollicite le participant, le robot extension est vu comme une prothèse en communication : le participant le programme pour lui faire dire ou faire tout ce qu'il veut, dans les limites technologiques de la machine. Si le participant ne le programme pas, le robot ne fait rien.

Très rapidement, le LS2N et l'École centrale de Nantes sont devenus des soutiens au projet expérimental. Alors que le monde médical considère que l'accompagnement individuel est nécessaire, les ateliers Rob'Autisme, réalisés tous les ans depuis 2014, se



Une fois par mois, retrouvez sur lejournal.cnrs.fr les Inédits du CNRS, des analyses scientifiques originales publiées en partenariat avec Libération.

¹. Unité CNRS/Centrale Nantes/Univ. de Nantes/IMT Atlantique/Inria. ². "A robotic puppet master application to ASD therapeutic support", S. Sakka, R. Gaboriau, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, vol. 11, 2017, p. 1483-1491. ³. "Rob'Autism: how to change autistic social skills in 20 weeks", S. Sakka, R. Gaboriau *et al.*, *International Workshop on Medical and Service Robots*, 2016.

composent d'une microsociété de six adolescents présentant des TSA, d'un responsable opérationnel (doctorant LS2N), de trois accompagnants et de deux référents techniques, et ce sans limitation à une partie spécifique du spectre autistique si ce n'est la notion de lettre. Ils sont accompagnés pendant 20 heures d'ateliers pour co-construire un spectacle mettant en scène un ou plusieurs robots et restitué publiquement en fin de programme. Les vingt ateliers alternent à parts égales activités de construction du spectacle (son, décors, histoire, contexte et voix) et activités de programmation des robots. Les effets sur les participants montrent une amélioration rapide et permettent en quelques semaines d'en constater des effets à l'extérieur des séances^{2,3}.

Des progrès significatifs et rapides

Le travail de recherche mené sur ces ateliers a également permis de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu, le rôle du robot dans l'évolution des participants, et, lors de Rob'Zheimer portant sur la maladie d'Alzheimer, les apports exacts du robot. Grâce à ce programme-ci, les participants ont montré un apaisement conséquent de l'angoisse découlant de leurs ruptures cognitives, donc une augmentation de la capacité à se socialiser : meilleure capacité pour se concentrer et se rappeler, augmentation de la communication volontaire, du suivi de conversation cohérente, avec plus de soin aux objets et personnes les entourant pour lier des relations affectives, etc. Une participante Alzheimer a même reconnu son fils, ce qui ne lui était pas arrivé depuis deux ans. Ils ont ainsi pu reconstruire, au travers de la microsociété, un groupe soudé où la place sociale de chacun était redéfinie. Ils ont retrouvé un sens de l'humour et un désir de séduire l'autre, s'identifiant mieux et en conséquence l'identifiant mieux.

Loin du robot compagnon, avatar auquel on cède le rôle de thérapeute, nos robots extensions gardent leur place de machine et permettent de réintroduire l'être humain dans la démarche de communication. C'est ainsi qu'ils semblent en mesure d'apporter le plus de bienfaits à l'accompagnement thérapeutique. ||

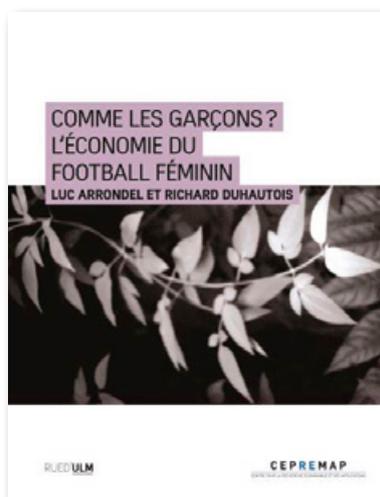
À lire



Musique

Des pop-idoles japonaises (à qui l'on demande surtout de ne pas sortir du rang, de sourire et d'être célibataires...), au reggae (souvent « message » de résistance au service de luttes émancipatrices), en passant par l'Eurovision, les musiques occitanes et le métal, cette nouvelle publication de la revue *Hermès* fait le tour des musiques du monde. Musicologues, chercheurs en communication, anthropologues et philosophes ont voix au chapitre pour interroger cet objet universel qui peut servir à endoctriner comme à résister. Leur question centrale : dans quelle mesure la mondialisation de la musique démultiplie-t-elle les facteurs d'(in)communication ?

Autant de musiques, autant de mondes, Damien Ehrhardt, Tom Dwyer et Éric Dacheux, Hermès, n° 86, CNRS Éditions, août 2020, 350 p., 25 €.



Médias

Rumeurs et légendes urbaines avant les *fake news*, *puff* (promotion tapageuse *via* des hommes-affiches) avant le buzz, plagiat artisanal avant l'ère « industrielle » du copier-coller, cet amusant ouvrage s'attache à montrer que tout ce que nous croyons directement lié à notre modernité, à Internet et aux réseaux sociaux a existé, à d'autres échelles, depuis des décennies ou parfois des siècles. Signé sous le pseudonyme de Roy Pinker, collaborateur fictif de l'hebdomadaire *Détective*, créé par Gallimard en 1928, il a en réalité été commis par trois universitaires spécialistes de l'histoire de la presse.

Fake news & viralité avant Internet, Roy Pinker, CNRS Éditions, mai 2020, 234 p., 20 €.



Économie du sport

Après avoir connu ses premières heures de gloire au sortir de la Première guerre mondiale, le football féminin est tombé dans l'anonymat avant de redevenir l'objet, ces dernières années, d'un réel intérêt. À ce titre, la Coupe du monde en France en 2019, véritable succès populaire et économique, a sans doute marqué un tournant. Deux économistes décortiquent dans ce livre l'économie du football féminin, rappelant l'histoire de ce sport avant de dresser un panorama de ses structures, des budgets, des salaires, sans oublier l'analyse des leviers permettant d'envisager un développement d'ampleur.

Comme les garçons ? L'économie du football féminin, Luc Arrondel et Richard Duhautois, Éditions Rue d'Ulm, en librairie le 22 octobre 2020, 184 p., 12 €.

À voir



BIOMIMÉTISME

Imiter le vivant, ses formes, ses matières, ses structures ou ses règles de fonctionnement pour en tirer des solutions ingénieuses n'est pas une idée nouvelle. « Apprenez de la nature, vous y trouverez votre futur », préconisait déjà Léonard de Vinci, sans doute le pionnier du biomimétisme. « C'est cette démarche vertueuse, de compréhension du vivant et de durabilité, qui est au cœur de la nouvelle exposition présentée à la Cité des sciences et de l'industrie », explique Philippe Grandcolas, directeur de l'Institut de systématique, évolution, biodiversité¹ et membre du comité scientifique de l'exposition. On y comprend que la bio-inspiration n'est pas seulement une solution d'innovation industrielle, à l'image de la fleur de bardane qui a pu inspirer le scratch. Elle nous invite surtout à porter un autre regard sur notre environnement et sur le vivant, à habiter le monde autrement ».

Immergé dans trois écosystèmes naturels – un récif corallien et son appareil

de phyto-épuration, une mangrove et ses palétuviers, un sol forestier et son jardin en permaculture –, le visiteur découvre certains rouages du vivant ainsi que des technologies alternatives auxquelles ceux-ci pourraient donner naissance, tels que des solvants inspirés... par les moules.

« L'objectif de ce parcours immersif est aussi de faire passer le message au cœur de la philosophie de la bio-inspiration : la sobriété, qui règne en maître dans la nature, est la première des solutions bio-inspirées à adopter », conclut Philippe Grandcolas.

Bio-inspirée, une nouvelle approche

exposition permanente à la Cité des sciences et de l'industrie, Paris. En partenariat avec le CNRS et Inrae. Pour en savoir plus : cite-science.fr



Lire notre article complet sur lejournal.cnrs.fr

Sciences, une encyclopédie contemporaine

CULTURE SCIENTIFIQUE

Sciences. C'est le titre donné à une encyclopédie en construction dont les premiers volumes sont parus en septembre 2020. Ce travail de titan réunira à terme 20 000 auteurs pour dresser l'état des savoirs.

PAR MURIEL FLORIN

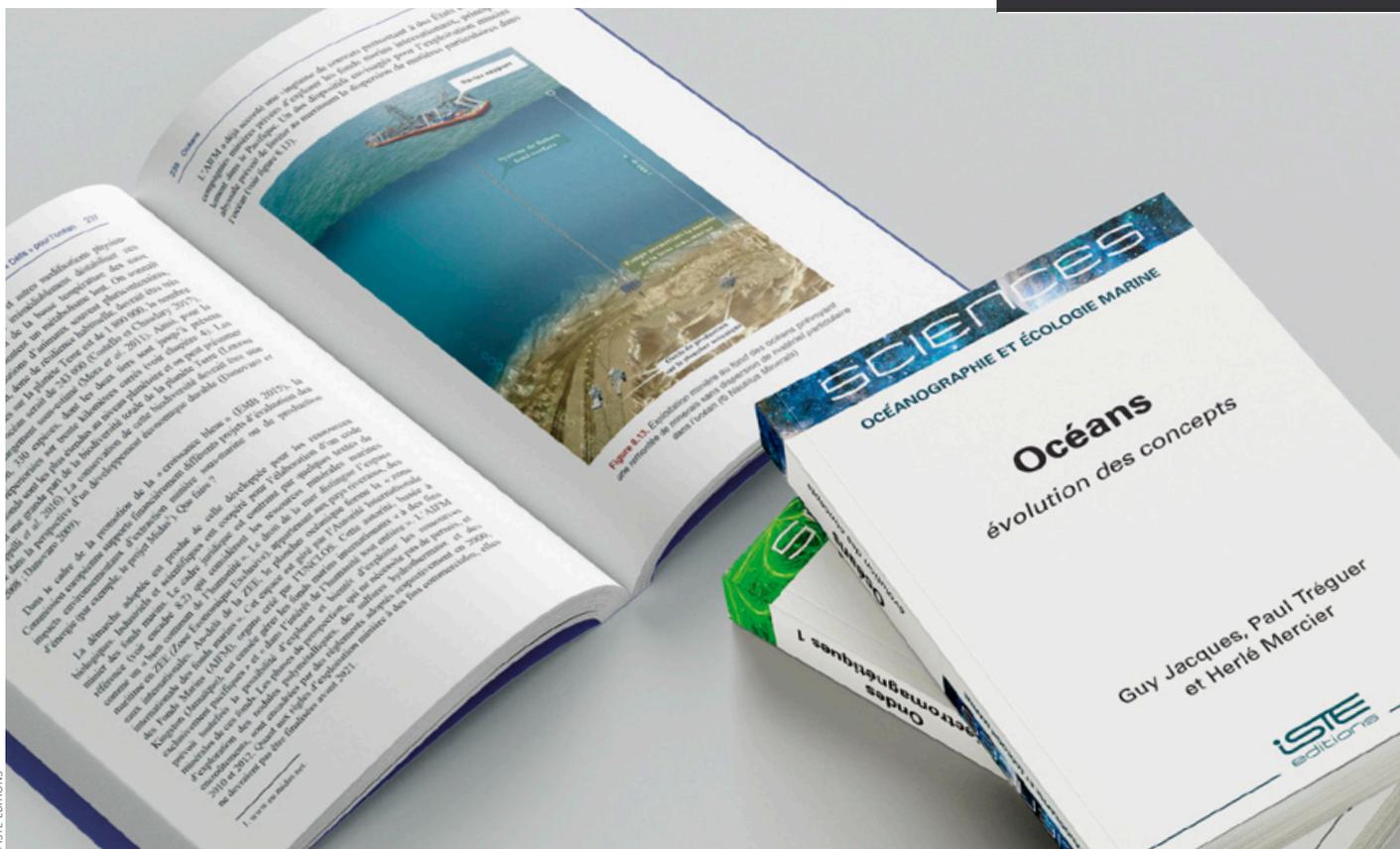
Encyclopédie. Si le mot renvoie encore au siècle des Lumières, c'est bien une encyclopédie du XXI^e siècle, qui se dessine depuis trois ans et dont les premiers volumes sont parus en septembre 2020. À l'heure où la curiosité se satisfait plus souvent d'un clic sur Internet que d'une lecture approfondie, et même si l'édition scientifique française a vu fondre ses tirages, ce pari un peu fou est né dans la tête de Sami Ménascé, le président d'Iste, maison d'édition spécialisée dans les ouvrages scientifiques.

« Ce n'est pas un état des connaissances sous forme alphabétique, mais des livres, écrits par plusieurs auteurs, dont chaque chapitre traite un point de la science », expose Jean-Charles Pomerol, président du conseil scientifique d'Iste. Ce professeur d'informatique et d'intelligence artificielle, qui a présidé l'université Pierre et Marie Curie entre 2006 et 2011, insiste sur « l'organisation hiérarchique » de ces connaissances. Il explique la méthode : « À la tête de chaque grand domaine de recherche, un responsable définit des thèmes de la science, de la technologie et des humanités, puis recrute des spécialistes de ces thèmes qui vont eux-mêmes assurer la coordination d'un ou plusieurs ouvrages, avec les auteurs les plus pointus du domaine, des chercheurs et enseignants reconnus dans le monde entier, dont de nombreux Français ». Bien sûr, des propositions d'article ou d'ouvrage peuvent émaner du bas de cette pyramide, et remonter, validées par les spécialistes du thème.

800 ouvrages en perspective

Fruits du travail entamé il y a trois ans, les premiers titres sont parus fin septembre. « L'encyclopédie souhaite répondre aux questions dans tous les champs du savoir, par exemple sur l'énergie, les océans, la biologie et l'écologie pour reprendre des problématiques très actuelles », précise Jean-

1. Unité CNRS/MNHN/Sorbonne Université/EPHE.



► Pages intérieures du volume consacré aux océans.

Charles Pomerol qui vise un public « *curieux et éduqué* ». L'ensemble est divisé en neuf départements, trente-quatre domaines, et environ trois cents thèmes. Une traduction en anglais est prévue, d'autres, en espagnol et japonais, envisagées. « *Le modèle classique, ce sera un livre de trois cent cinquante pages en une dizaine de chapitres, écrit chacun par un ou deux auteurs* », détaille Gilles Pijaudier-Cabot¹. Ce professeur à l'université de Pau et des Pays de l'Adour, spécialiste de la géomécanique, a en charge l'ensemble des sciences pures et appliquées. « *Si on regarde l'édition scientifique internationale, personne ne propose cela. Soit on se tourne vers des ouvrages grand public qui ne permettent pas vraiment de comprendre les choses, soit vers des ouvrages trop techniques* ». La machine est lancée : « *Une quarantaine de volumes sortiront d'ici la fin 2020, puis le travail se poursuivra au rythme de 150 à 200 ouvrages par an, jusqu'à 800 au total. À terme, nous réunirons autour de 20 000 auteurs* », s'enthousiasme-t-il.

« *Nous souhaitons être le plus exhaustif possible* », explique Bernard Reber, son alter ego pour les sciences humaines et sociales. *Sciences* n'oubliera pas l'économie, la géographie, les sciences du langage, l'architecture, l'éducation, la sociologie et autres disciplines sous-développées au XVIII^e siècle. « *Nous avons tous besoin de la science et de la technologie pour comprendre le monde dans lequel nous vivons et sortir des impasses actuelles, avance le philosophe, directeur de recherche au Centre de recherches politiques de Sciences Po². C'est devenu encore plus évident avec la crise du Covid-19 et les polémiques plus*

ou moins étayées qui l'accompagnent. Les sciences humaines et sociales apportent leur éclairage, que ce soit sur les questions climatiques, l'impact des technologies sur les sociétés, la façon dont les sciences contribuent à l'innovation, ce qu'on peut espérer ou ce qu'on risque. »

Une vision pluraliste des savoirs

Gilles Pijaudier-Cabot et Bernard Reber avancent le caractère collectif et exigeant des ouvrages. « *Nous présentons un état de l'art consolidé. Et c'est plus facile avec plusieurs auteurs. Le devoir d'une encyclopédie, c'est de faire la part des choses, de proposer une vision pluraliste. Nous ne cherchons pas à imposer notre conviction ou celle d'une école, nous ne livrons pas une vérité toute faite, mais nous apportons les bases, les raisonnements tenus par les uns et les autres avec des éléments de connaissance. Ensuite, ce sont les lecteurs qui se positionneront à partir de ces éléments scientifiques* », souligne le premier.

« *Les auteurs ne sont pas des gens qui donnent des avis, mais des avis argumentés. Lorsqu'il y a plusieurs argumentations pour défendre tel ou tel point de vue, elles seront à disposition du lecteur. Ces argumentaires seront très bien documentés sur le plan scientifique et sur le plan moral et éthique quand il y a lieu* », renchérit le second, avant de conclure : « *L'encyclopédie sera utile pour des étudiants, des chercheurs, mais aussi tout citoyen honnête, qui cherche de l'information certifiée, documentée, ou qui veut mettre à l'épreuve ce qu'il croit savoir* ». II

1. Laboratoire des fluides complexes et leurs réservoirs (CNRS/Université de Pau Pays de l'Adour/Total SA). 2. Unité CNRS/Sciences Po Paris.







Steve N'Guyen, ingénieur au Laboratoire bordelais de recherche en informatique (Labri) ¹

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

...de Psikharpax, le robot-rat autonome que j'ai développé lors de ma thèse, il y a plus de dix ans à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique². Ce petit robot bioinspiré reproduisait le plus fidèlement possible les mécanismes neurobiologiques du rat, l'animal de référence en neurosciences. Psikharpax est doté de trois sens : l'audition, pour détecter et reconnaître

les sources sonores ; la vision, pour identifier les formes qui l'entourent ; et le toucher, à travers ses vibrisses, des moustaches en tige carbone, pour percevoir les textures et les formes des objets. Nous avons également reconstitué un museau sensible, recouvert d'une peau artificielle capable de ressentir les déformations et les vibrations de son environnement. Ici,

il est en train d'évoluer dans le couloir d'un labyrinthe parcouru d'obstacles. Après un temps d'adaptation, il était capable d'explorer et d'apprendre tout seul de son environnement et de construire, par apprentissage, sa propre carte cognitive. Aujourd'hui, je travaille toujours avec des robots, mais humanoïdes ceux-là³...”

PHOTO : © BENOIT RAJAN/ISIR/CNRS PHOTOTHÈQUE

¹. Unité CNRS/Bordeaux INP/Université de Bordeaux. ². Unité CNRS/Sorbonne Université. ³. Steve N'Guyen participe à la Robocup, la coupe du monde de football robotique, avec l'équipe Rhoban du Labri, déjà quadruple championne du monde.



de Denis Guthleben,
historien au CNRS

L'héritage de Robert Chabbal

Robert Chabbal vient de nous quitter, le 14 septembre 2020, à 93 ans. Pendant trois années, de 1976 à 1979, il a dirigé notre établissement. Mais son engagement pour le CNRS et, plus largement, pour la recherche française et internationale, s'étend sur plus de sept décennies depuis la fin des années 1940.

Paris, Meudon et Orsay

Robert Chabbal est alors un jeune agrégé chargé de cours à la faculté des sciences de Paris – il n'y en avait qu'une, à l'époque. Ses travaux en spectroscopie optique le conduisent en 1949 vers les hauteurs de Meudon, au laboratoire du grand électro-aimant, bientôt rebaptisé du nom de son fondateur, Aimé Cotton, après son décès en 1951. Ce n'est pas sans émotion que Robert Chabbal évoquait ses premiers pas au CNRS. Sans oublier une pointe d'ironie, qui lui était familière : « *Mon premier article a été publié dans Le Journal des recherches de Bellevue* », une revue confidentielle, disparue depuis belle lurette, mais qui continue de faire le bonheur des historiens.

“Devenu directeur général du CNRS en 1976, Robert Chabbal continue de promouvoir les relations internationales, de même que les liens avec les acteurs de l'économie.”

Pierre Jacquinot, qui prend la suite d'Aimé Cotton à la tête du laboratoire, ne tarde pas à remarquer ce jeune chercheur talentueux. Ensemble, ils organisent en 1957 un colloque international dédié à la spectroscopie interférentielle. Aux yeux de Robert Chabbal, cet événement est un « électrochoc » : pour avancer, la recherche doit dépasser les frontières, un constat qu'il ne cessera de scander *CNRS et orbi* dans ses fonctions ultérieures. Devenu professeur en 1959, il est désigné à la direction adjointe du LAC, puis il succède à Pierre Jacquinot en 1962, lorsque celui-ci est appelé aux commandes du CNRS.

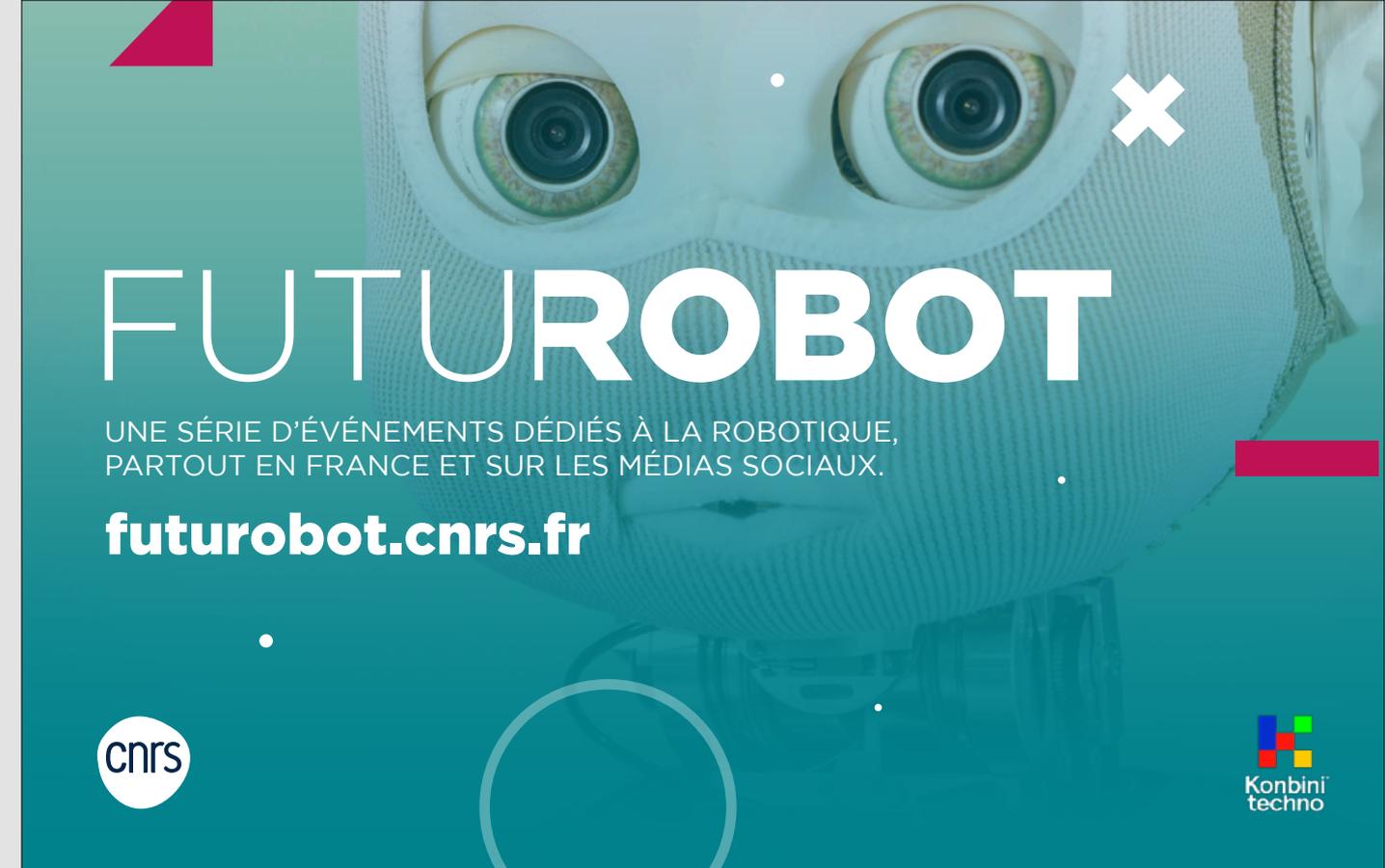
En mars 1965, Robert Chabbal accueille le général de Gaulle, à l'occasion d'une visite du chef de l'État qui découvre à Bellevue des chercheurs qui trouvent. Deux chantiers accaparent alors le physicien : la création des laboratoires associés, précurseurs des UMR, une réforme à laquelle il travaille d'arrache-pied avec Pierre Jacquinot, et le déménagement de son propre laboratoire à Orsay. À peine installé dans ses murs, il est appelé en 1969 par Hubert Curien, le nouveau directeur général du CNRS, à la tête des sciences physiques de l'organisme.

Le rôle socio-économique du CNRS

L'œuvre qu'il accomplit dans cette fonction est considérable. Il participe au lancement des « actions thématiques programmées », un dispositif visant à encourager les recherches émergentes. Il est aussi à l'origine de la reconnaissance d'un secteur scientifique promis à un bel avenir, celui des sciences de l'ingénieur. Et, sans prétendre à l'exhaustivité, il crée encore en 1975 un programme interdisciplinaire de recherche pour le développement de l'énergie solaire, le Pirdes, qu'il dirige pendant plusieurs mois : cette initiative a contribué à placer la France à la pointe des pays solaires, une avance que des orientations de politique nationale se sont acharnées à nous faire perdre ensuite...

Devenu directeur général du CNRS en 1976, Robert Chabbal continue de promouvoir les relations internationales, de même que les liens avec les acteurs de l'économie. Mais, de son propre aveu, les trois années qu'il a passées aux commandes de l'organisme n'ont pas été les plus heureuses de sa carrière. Diriger le CNRS n'est en effet pas toujours une sinécure, surtout quand la politique s'en mêle et... s'emmêle : victime collatérale d'un conflit à couteaux tirés entre la ministre des Universités Alice Saunier-Seïté et le secrétaire d'État à la Recherche Pierre Aigrain, Robert Chabbal quitte ses fonctions sans regret pour rejoindre l'Otan, comme secrétaire général adjoint pour les affaires scientifiques jusqu'en 1983.

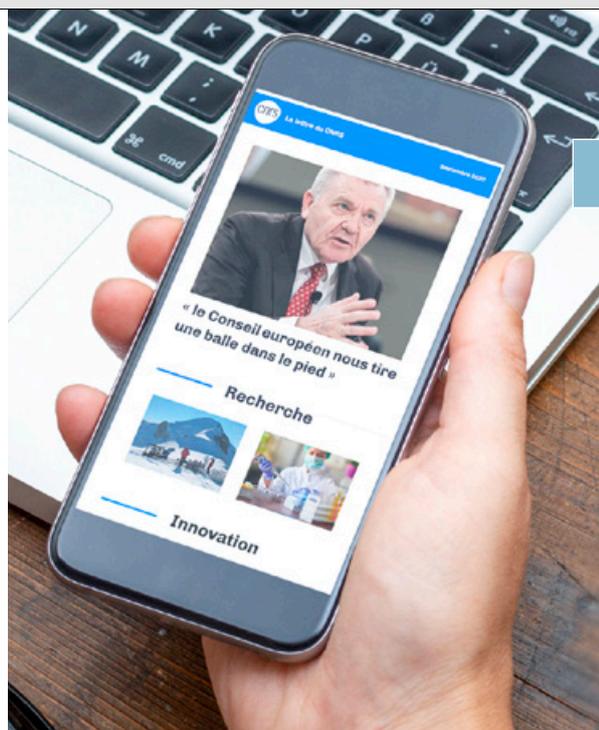
Associé à plusieurs reprises aux réflexions du ministère de la Recherche, comme président de la mission scientifique et technique de 1983 à 1987, ou plus récemment dans le cabinet de François Goulard, il a continué de mener à bien de nombreux projets. Il s'est ainsi investi inlassablement dans la formation des ingénieurs et a été à l'initiative des Instituts Carnot. Mais Robert Chabbal est resté attaché au CNRS, où il a toujours accepté de venir témoigner de ses nombreuses expériences. Il restera parmi les personnalités qui, depuis 1939, ont profondément et durablement marqué notre établissement. ■



FUTUROBOT

UNE SÉRIE D'ÉVÉNEMENTS DÉDIÉS À LA ROBOTIQUE,
PARTOUT EN FRANCE ET SUR LES MÉDIAS SOCIAUX.

futurobot.cnrs.fr



NOUVEAU !

**POUR TOUT CONNAÎTRE DE
L'ACTUALITÉ DU CNRS EN FRANCE
ET À L'INTERNATIONAL : RECHERCHE,
INNOVATION, PRIX, NOMINATIONS**

ABONNEZ-VOUS À LA LETTRE DU CNRS
www.cnrs.fr/fr/les-newsletters-du-cnrs



CHAQUE MOIS SUR VOS ÉCRANS

**POUR CONSTRUIRE LES MONDES
DE DEMAIN, NOUS AVONS BESOIN
DE VOUS.**



**Du 3 décembre 2020 au 7 janvier 2021,
le CNRS recrute plus de 200 chercheurs
et chercheuses.**

[carrieres.cnrs.fr](https://www.carrieres.cnrs.fr)

