

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS

#6

DOSSIER

SPORT ET SCIENCE

l'union fait la force

Valérie Masson-Delmotte,
une voix pour le climat

Sur la trace des potiers
de Pompéi

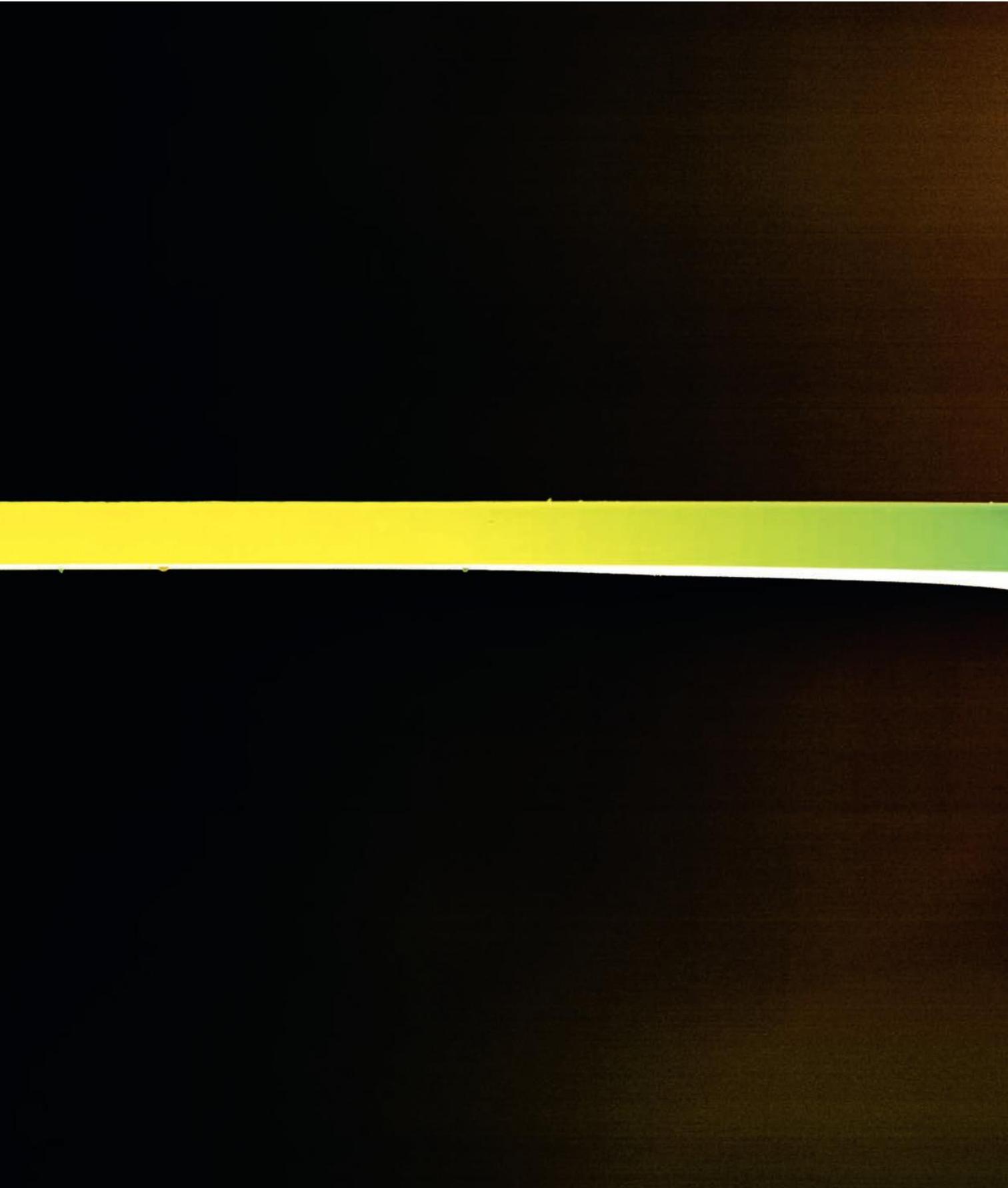
Enquête sur la douleur

Un autre regard sur
l'Afrique



Nouveaux mondes

Enfant posthume du Front populaire, le CNRS est né en toute discrétion le 19 octobre 1939 de la volonté du jeune ministre Jean Zay couplée à l'opiniâtreté du Nobel de physique Jean Perrin, dans une France tout juste entrée en guerre. Quatre-vingts ans et une flopée de Nobel et de découvertes plus tard, les scientifiques continuent de fourbir leurs armes pour gagner les combats d'aujourd'hui. Contre le changement climatique qui remodèle notre planète, lutte à laquelle se consacre Valérie Masson-Delmotte, la pollution plastique qui étouffe les océans, la douleur face à laquelle les médecins manquent de solution ou encore les idées reçues sur l'histoire du continent africain, que François-Xavier Fauvelle nous invite à regarder autrement. Depuis toujours, la recherche a montré qu'elle avait partie liée avec le progrès et l'innovation, comme l'illustrent les recherches menées sur le sport, entre décryptage d'un fait social d'ampleur et avancées permanentes au service du bien-être et de la performance. Ce sixième numéro des *Carnets* s'en fait l'écho et vous invite sur le terrain aux côtés des scientifiques de toutes les disciplines. Bonne lecture !





Les sillons de l'invisible

Par Romain Hecquet

Suspendu la tête en bas, ce pic alpin n'est autre qu'une pointe de microscope à force atomique (AFM). Mis au point dans les années 1980 pour s'affranchir des limites de la microscopie optique et atteindre l'infiniment petit, ces microscopes « touchent » au lieu de « regarder ». Tel le bras de lecture d'une platine vinyle, la pointe de quelques nanomètres de hauteur effleure la surface explorée. La façon dont elles interagissent fait osciller le levier duquel la pointe, généralement en silicium, est solidaire. Ces mouvements sont scrutés par un laser, permettant d'analyser la surface à l'échelle de l'atome. Cette pointe-là s'agite dans l'un des laboratoires de l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux de Montpellier¹.

► © Bertrand Rebière/IGCM/CNRS Photothèque

[1] Unité CNRS/Université de Montpellier/École nationale supérieure de chimie de Montpellier.

6**Enquête sur la douleur**

Par Laure Cailloce

16**Coquillages, les sentinelles des océans**

Par Gaël Hautemulle

28**Le CNRS, 80 ans d'histoire - épisode 1/2**

Par Denis Guthleben

42**Les migrations, à rebours des idées reçues**

Entretien avec François Héran par Laure Cailloce

52**Nos souvenirs, c'est pour la vie!**

Par David Riccio et Pascale Gisquet-Verrier

57**Portfolio : La face cachée de la pollution plastique****73****Un autre regard sur l'histoire de l'Afrique**

Entretien avec François-Xavier Fauvelle par Fabien Trécourt

80**DOSSIER****Sport et science, l'union fait la force****82****Le sport, miroir de nos sociétés**

Par Philippe Testard-Vaillant

90**Bon pour la santé : c'est prouvé!**

Par Anaïs Culot

96**Innové sur tous les terrains**

Par Léa Galanopoulo et Martin Koppe

104**JO 2024 : décrocher les médailles**

Entretien avec Christophe Clanet par Stéphanie Arc

110**Des algorithmes pour dépister le dopage**

Par Vahé Ter Minassian

114**Valérie Masson-Delmotte, une voix pour le climat**

Par Philippe Nessmann

124**Le solaire brille déjà**

par Anne-Sophie Boutaud

129**Portfolio : Au pic du Midi, la tête dans les étoiles**

Par Laure Cailloce

145**L'impossible modélisation de la société**

Entretien avec Pablo Jensen par Mathieu Grousson

150**En Arizona, la Terre sous cloche**

Par Anaïs Culot

156**Bonnes feuilles : Au cœur du vivant**

Par Nicole Le Douarin

164**« Je me souviens »**

Par Pierre Hantzpergue

166**Gérard Noiriel, pour une histoire sociale**

Propos recueillis par Lydia Ben Ytzhak

176**Les sucres, matériaux du vivant**

Par Anne Imberty et Serge Pérez

180**Sur la trace des potiers de Pompéi**

Par Laetitia Cavassa



« Je sens une lame de fond, notamment de jeunes qui observent le réchauffement climatique et veulent préserver l'environnement. »

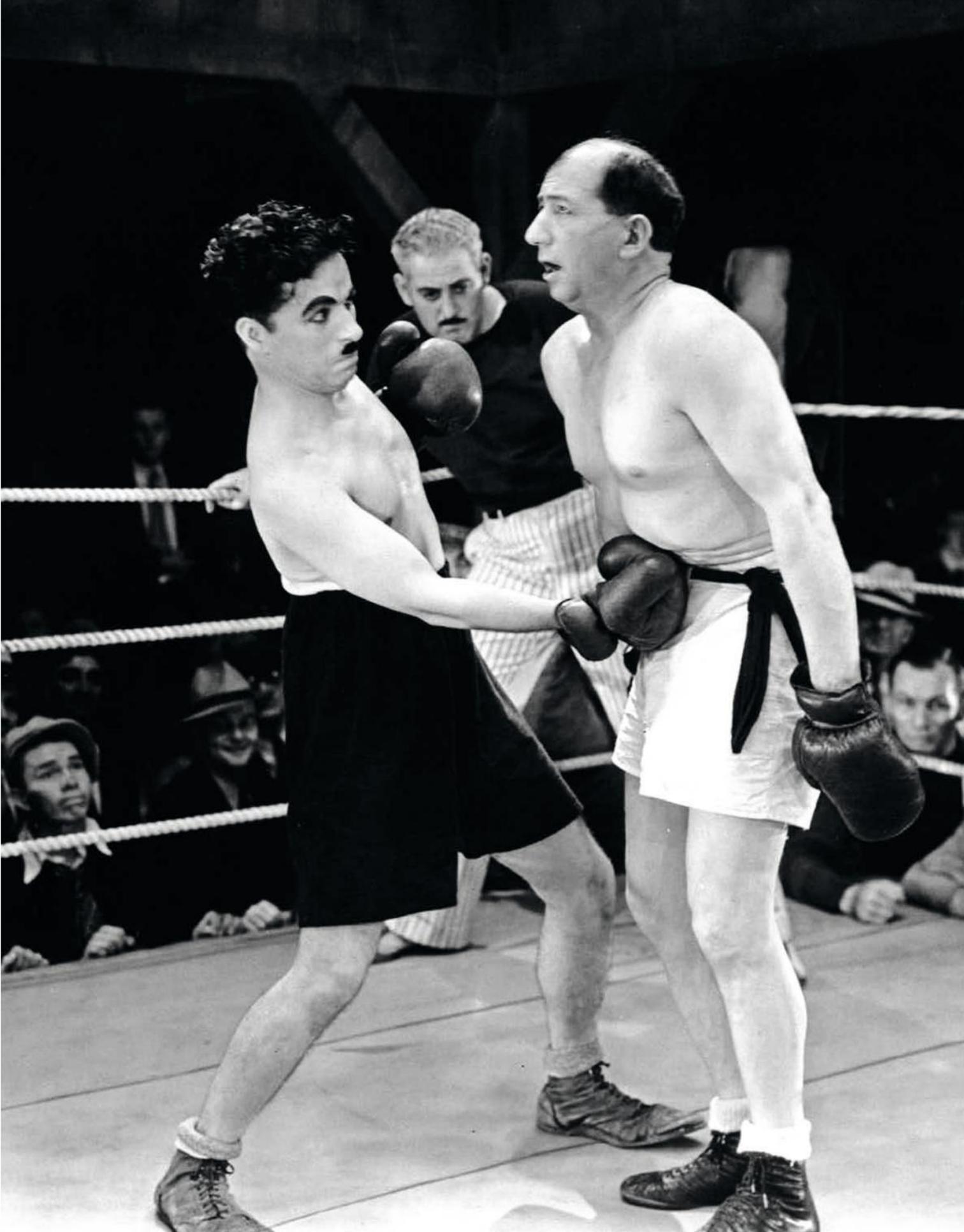
*Valérie Masson-Delmotte
lire page 114*

Enquête sur la douleur

par Laure Cailloce

**Prendre un coup ou se blesser n'est pas
douloureux en soi. C'est l'interprétation
qu'en fait notre cerveau qui l'est.
Aujourd'hui, on en sait plus sur les circuits
de la douleur, mais aussi sur
sa composante émotionnelle, clé
de la compréhension du phénomène.**

▾ Une scène du film *Les Lumières de la ville*
(*City Lights*), de Charles Chaplin, 1931.
© Bridgeman Images



▲ Mesure de la sensibilité à la pression mécanique, grâce à un appareil de Randall-Selitto.

© Cyril Fréssillon/CNRS Photothèque

Qu'est-ce que la douleur, à quoi sert-elle et comment la faire taire ? C'est à cette question bien plus complexe qu'il n'y paraît que tentent de répondre les biologistes et les neuroscientifiques, armés des dernières techniques d'exploration : IRM ou magnéto-encéphalographie pour voir fonctionner le cerveau, études électrophysiologiques pour suivre la propagation du signal électrique dans le système nerveux... « *Les progrès limités faits dans les traitements contre la douleur nous ont conduits à revoir nos approches expérimentales et à aller beaucoup plus loin dans nos connaissances du phénomène* », constate Michel Barrot, chercheur à l'Institut des neurosciences cellulaires et intégratives (Inci)¹.

La définition de la douleur elle-même a été profondément révisée. Pour l'International Association for the Study of Pain, qui regroupe tous les médecins et chercheurs spécialistes de la douleur, la douleur est décrite comme une « *expérience sensorielle ET émotionnelle désagréable en lien avec une lésion tissulaire réelle ou potentielle* ». L'organisme, via les fibres qui innervent la totalité de la peau et des organes, envoie un signal électrique au cerveau pour le prévenir qu'une lésion (coupure, brûlure, choc) vient d'avoir lieu ou est imminente. C'est un véritable système d'alarme qui préserve notre intégrité corporelle. « *Les gens insensibles à la douleur – c'est une pathologie génétique –, ont une vie courte : sans douleur, on se blesse, on se mutile...* », rappelle Jean-Philippe Pin, qui est neuropharmacologue à l'Institut de génomique fonctionnelle².

La nouveauté dans cette approche de la douleur, c'est la composante émotionnelle, longtemps sous-estimée par les scientifiques. « *Quand on se coupe le doigt, il n'y a pas de douleur au bout du doigt. L'information électrique remonte jusqu'au cerveau, et c'est le cortex qui interprète ce signal comme étant douloureux* », explique Michel Barrot, qui précise :



« *Si on n'est pas dans une expérience émotionnellement désagréable, on ne parle pas de douleur mais de nociception*³. »

Une quarantaine de récepteurs identifiés

Grâce aux recherches menées ces dernières décennies, on connaît bien désormais les circuits de la douleur, c'est-à-dire l'ensemble des mécanismes neuronaux qui capturent et transmettent les stimuli reçus par notre peau et nos organes. À ce jour, on a dénombré une quarantaine de récepteurs et de voies spécialisées : certains sont sensibles au chaud – il en existe qui sont spécifiquement sensibles aux températures supérieures à 47 °C –, d'autres au froid, d'autres sont sensibles à la pression mécanique, d'autres sont plus généralistes et exercent une veille sur le « bruit de fond » du corps. « *Dans la vie réelle, lorsque vous mettez la main sur une plaque électrique, plusieurs récepteurs et voies se déclenchent en même temps, ceux qui sont actifs à plus de 40 °C, ceux qui se déclenchent à 47 °C, ceux qui sont sensibles à la pression*



▲ La douleur varie d'un individu à l'autre. Le seul moyen de l'évaluer, chez le patient enfant comme adulte, est de la noter sur une échelle subjective.

© MAY/BSIP

« Les progrès limités faits dans les traitements contre la douleur ont conduit les chercheurs à revoir leurs approches expérimentales et à aller beaucoup plus loin dans leurs connaissances du phénomène. »

exercée lorsque vous avez appuyé la main... », précise Luis Garcia-Larrea, neurophysiologiste à l'hôpital neurologique Pierre-Wertheimer de Lyon.

Le signal électrique produit au niveau des récepteurs remonte tout d'abord jusqu'à la moelle épinière, où il est analysé. À ce stade, la moelle épinière peut déclencher une réaction réflexe et provoquer le retrait de la main avant même qu'il y ait une sensation de douleur. On parle alors d'arc réflexe. Deuxième possibilité : le message est encodé par la moelle épinière, qui le transmet au cerveau pour interprétation. « Grâce à l'imagerie cérébrale, on sait aujourd'hui que le message atteint à la fois les zones du cerveau spécifiquement dédiées aux informations sensorielles et des zones non spécifiques de la douleur que sont les zones de l'attention, les zones de l'émotion responsables de la déplaisance ou les zones de la mémoire qui cherchent si l'on a déjà été confronté à une douleur identique, explique Luis Garcia-Larrea. Ce sont ces dernières régions qui font accéder le stimulus à notre conscience et en font une véritable expérience. »

▲ Cartographie cérébrale de la douleur.

Lors d'un stimulus douloureux, une quinzaine de régions s'activent dans le cerveau : des zones spécifiquement dédiées aux informations sensorielles, mais aussi les zones de l'attention, de l'émotion ou de la mémoire.

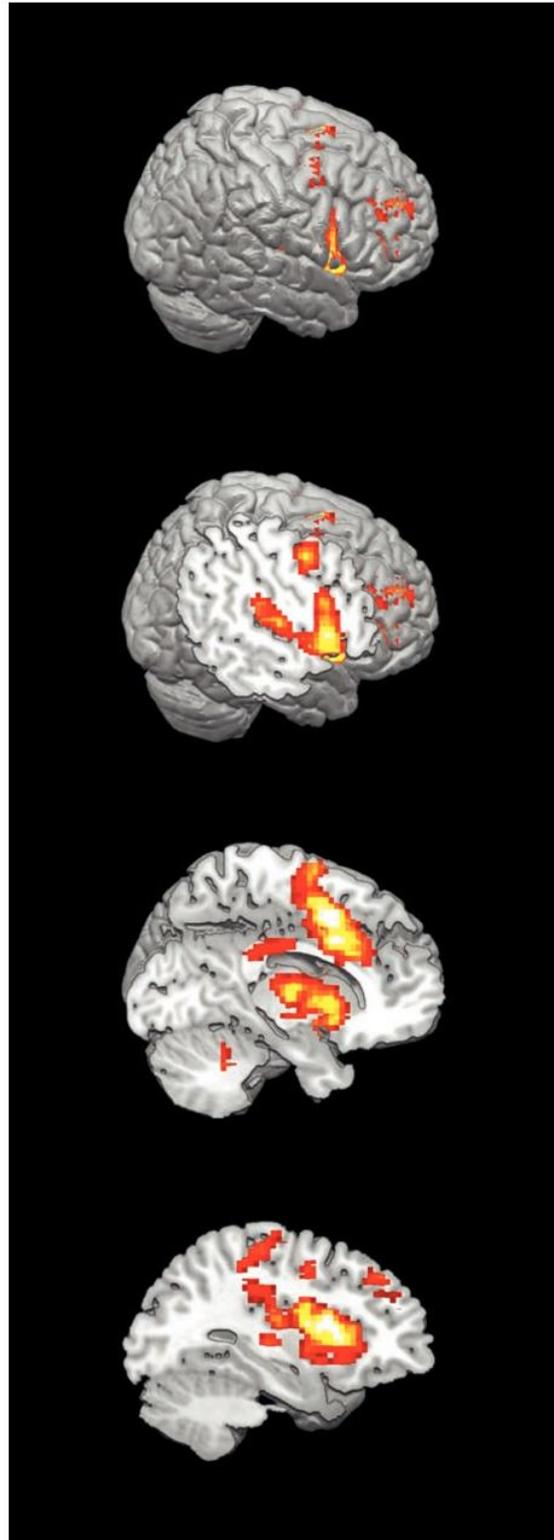
© I. Faillenot/CRNL/CNRS

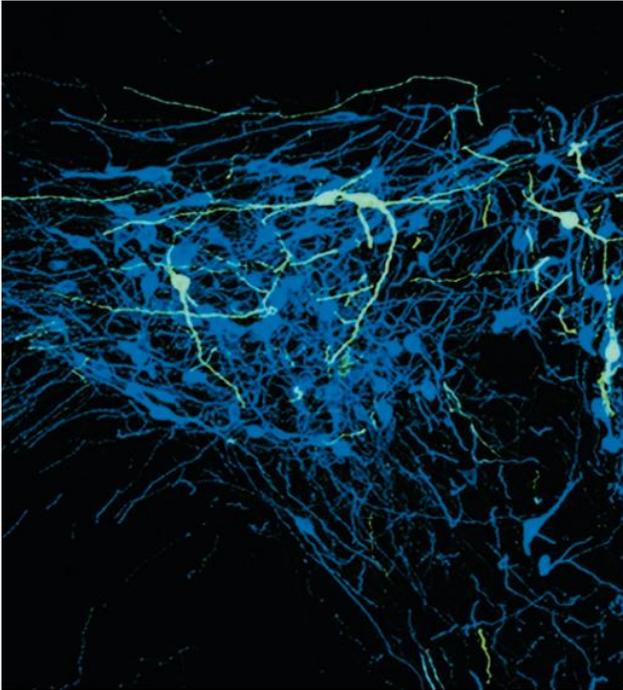
On dispose aujourd'hui d'une cartographie cérébrale précise de la douleur : « *Quand on observe les régions cérébrales actives lors d'un stimulus douloureux, on observe une "matrice douloureuse" qui comporte environ une quinzaine de régions dans le cerveau, sans que l'on sache encore bien dans quel ordre ces dernières s'allument* », détaille Luis Garcia-Larrea. Pour la partie émotionnelle, deux zones corticales sont particulièrement importantes, le cortex cingulaire antérieur et le cortex insulaire antérieur, sans oublier l'amygdale située dans la zone sous-corticale. Une chose est sûre cependant : si dans le cerveau, les circuits empruntés par le signal douloureux sont séparés, l'expérience ressentie au final par l'individu est bien globale.

Une expérience éminemment subjective

L'imagerie cérébrale ne permet en revanche ni de diagnostiquer la douleur chez un patient, ni de la quantifier. « *La douleur est une expérience éminemment subjective, et un même stimulus va être ressenti différemment chez une personne ou chez une autre, sans que l'on sache bien si la différence se joue au niveau des circuits de la nociception qui véhiculent le message sensoriel, ou au niveau du cortex cérébral lui-même* », indique Michel Barrot. Le seul moyen d'évaluer la douleur à ce jour, c'est de demander au patient de la noter sur une échelle subjective (généralement de 0 à 10), une pratique de plus en plus répandue dans le milieu médical qui n'a pas toujours bien pris en compte la souffrance des patients.

Mais les informations sensorielles ne se contentent pas de remonter de la périphérie vers le cerveau. On sait aujourd'hui que le cerveau lui-même est capable de moduler la façon dont la moelle épinière traite et encode l'information : c'est le contrôle descendant de la douleur. « *Un bon exemple de contrôle descendant est celui de la proie blessée qui s'enfuit pour échapper à son prédateur*, explique





► Le cerveau peut moduler la façon dont la moelle épinière traite l'information douloureuse. Soit via un signal électrique, soit via des hormones comme l'ocytocine, dont la libération est coordonnée par trente neurones situés dans l'hypothalamus (notre image).

© Alexander Charlet/Valery Grinevich/INCI/DKFZ/CNRS Photothèque

« On connaît bien désormais les circuits de la douleur, c'est-à-dire l'ensemble des mécanismes neuronaux qui capturent et transmettent les stimuli reçus par notre peau et nos organes. »

Michel Barrot. *Elle n'a pas conscience de la douleur le temps de la fuite, car l'information est pour ainsi dire bloquée par le cerveau qui a alors une seule priorité : la survie de l'animal. Mais dès que le danger immédiat est écarté, la douleur réapparaît.* » Le même mécanisme de priorisation s'applique dans le cas de douleurs simultanées, par exemple lorsque l'on a mal au dos et que l'on se blesse la main avec un couteau de cuisine : la deuxième douleur supplante momentanément la première.

Ce contrôle descendant de la douleur s'exerce généralement sous forme électrique, la plus rapide, mais peut aussi emprunter des voies hormonales. Des chercheurs de l'Inci viennent de montrer comment l'ocytocine – l'hormone de l'attachement, aussi responsable des contractions lors de l'accouchement et de l'éjection du lait maternel – parvient à atténuer une sensation douloureuse en agissant à la fois sur les neurones périphériques qui envoient le message au cerveau et sur la moelle épinière où le signal est codé en intensité. Les chercheurs ont précisément

identifié trente neurones situés dans l'hypothalamus qui coordonnent la libération d'ocytocine dans le sang et la moelle épinière. « L'ocytocine n'est malheureusement pas utilisable en thérapeutique, car elle joue de nombreux autres rôles dans l'organisme, précise Michel Barrot. On sait néanmoins que des médecins qui en ont délivré en péridurale ont réussi à atténuer la douleur d'un patient. »

Si les circuits de la douleur aiguë ont de moins en moins de secrets pour les chercheurs, il n'en est pas de même pour la douleur chronique ou pathologique : la douleur qui n'est pas provoquée par une lésion des tissus, ou qui dure bien après que les lésions tissulaires ont disparu. Il s'agit des neuropathies liées à une lésion du système nerveux lui-même – c'est le cas des douleurs fantômes qui hantent près de 15% des personnes amputées d'un membre, ou encore des neuropathies diabétiques ; des douleurs du côlon irritable ; ou encore des fibromyalgies, ces douleurs musculo-squelettiques généralisées qui touchent principalement les femmes.

▲ Aux États-Unis, la crise des opioïdes a fait 74 000 morts en 2017. De plus en plus utilisées pour traiter les douleurs chroniques, les molécules comme la morphine, la codéine, le tramadol... provoquent une forte accoutumance et des décès par surdosage.

© Spencer Platt/Getty Images/AFP

Difficiles à cerner, les mécanismes de la douleur chronique focalisent désormais toute l'attention des chercheurs. « *La douleur chronique a une communauté de voies avec la douleur aiguë. Toutefois, on remarque une plus forte mobilisation émotionnelle dans la première* », avance Luis Garcia-Larrea. Son rôle même continue d'interroger les scientifiques : à quoi sert-elle, sachant qu'il n'est plus question ici de protéger son organisme contre un danger immédiat ? Sa prise en charge, enfin, reste encore insatisfaisante.

« *Certains antidépresseurs, mais aussi des anti-épileptiques, sont utilisés depuis les années 1960 et réussissent à soulager 30 à 50 % des patients qui souffrent d'une douleur neuropathique* », note Michel Barrot. Longtemps mystérieuse, leur action commence à être mieux comprise, notamment grâce aux travaux menés au sein de son laboratoire. « *Bien qu'elles soient classées comme antidépresseurs, ces molécules – comme la duloxétine ou l'amitriptyline – n'agissent pas que sur le système nerveux central*, explique le chercheur. *Elles influent également sur les contrôles descendants de la douleur et sur les mécanismes de neuro-inflammation qui accompagnent les lésions nerveuses.* »

La dérive des opioïdes

Depuis la fin des années 2000, les médicaments opioïdes, jusqu'alors réservés aux douleurs aiguës très fortes et aux soins palliatifs, sont de plus en plus prescrits pour la prise en charge des douloureux chroniques. Mais ils ne sont pas sans danger : les molécules comme la morphine, la codéine, le tramadol... voient leur efficacité diminuer au fil du temps (d'où la tentation d'augmenter les doses) et provoquent une forte accoutumance et des effets secondaires tels que nausées, constipation et détresse respiratoire pouvant entraîner la mort. Aux États-Unis, où ils sont très prescrits, ces médicaments auraient provoqué 74 000 décès par surdose pour la seule année 2017.

« La douleur chronique a une communauté de voies avec la douleur aiguë. Toutefois, on remarque une plus forte mobilisation émotionnelle dans la première. »

L'une des pistes à l'étude aujourd'hui pour répondre à cette crise des opiacés pourrait être l'utilisation d'« opiacés biaisés ». Une molécule mimant la morphine, mais sans provoquer ses effets négatifs, est ainsi à l'étude aux États-Unis. « *La morphine est comme une clé qui active deux voies différentes dans la cellule, la voie A antidouleur et la voie B, à l'origine de l'accoutumance et des effets respiratoires*, explique Jean-Philippe Pin. *L'idée, c'est de créer une molécule qui ressemble à la morphine, mais à laquelle manque le bout de clé qui active les effets d'accoutumance.* »

Les nanomédicaments pourraient également offrir une alternative à la morphine, comme vient de le montrer une équipe de chercheurs français⁴ de l'Institut Galien Paris-Sud⁵. En liant un peptide (la leu-enképhaline, habituellement dégradée en quelques minutes dans l'organisme) à un lipide naturel (le squalène), ces scientifiques ont réussi à créer des nanoparticules actives jusqu'à 48 heures, capables de cibler les récepteurs des opiacés et de faire disparaître une douleur liée à



une inflammation prolongée chez le rat. Avantage de ce traitement, s'il venait à prouver son efficacité chez l'homme : « Contrairement à la morphine, ces nanoparticules sont trop grosses pour passer la barrière hémato-encéphalique et ne pénètrent donc pas le système nerveux central, indique Patrick Couvreur, qui cosigne l'étude. On évite ainsi les phénomènes d'addiction et la détresse respiratoire. »

« Dans le cas de douleurs neuropathiques comme les douleurs des neuropathies diabétiques, des traumatismes des nerfs ou même de membres fantômes, on peut également utiliser des anesthésiques locaux comme la lidocaïne qu'on applique en pâte sur la zone douloureuse », précise Luis Garcia-Larrea. Des préparations à base de capsaïcine, la molécule active du piment, montrent aussi une certaine efficacité. « La douleur du patient paraplégique ou amputé qui dit avoir mal aux jambes provient en réalité du fait que le système nerveux essaie de régénérer les fibres sectionnées sans y parvenir, ce qui aboutit à surexciter tout le système, précise le médecin. Or les scientifiques ont

découvert que TRPV1, un récepteur périphérique sensible à la chaleur, répondait très bien à la capsaïcine à des concentrations très fortes. » Objectif : surexciter ces récepteurs au point de les inactiver, et offrir un répit de quelques semaines au patient qui souffre.

Glutamate et amygdale

À l'Institut de génomique fonctionnelle, le chercheur Cyril Goudet se focalise lui sur l'amygdale, cette structure du cerveau qui joue un rôle important dans les réponses au stress et à la douleur. Il a montré chez la souris souffrant de douleur neuropathique – en l'occurrence, une inflammation durable de la patte –, qu'on pouvait supprimer la douleur en agissant sur des récepteurs sensibles au glutamate situés au niveau de l'amygdale. « Le problème des études sur la douleur avec des modèles comme le rat ou la souris, c'est qu'on ne peut pas reproduire les mêmes protocoles chez l'homme pour vérifier nos hypothèses. Par le passé déjà, des traitements efficaces chez la souris se sont révélés sans effet chez



« Des alternatives aux médicaments se développent pour atténuer le ressenti des douloureux chroniques, comme la neuromodulation qui modifie l'activité électrique à des endroits précis du système nerveux. »

l'homme», tempère Jean-Philippe Pin, qui explore également chez la souris la piste des médicaments contrôlés par la lumière : des molécules délivrées au cœur du cerveau qui pourraient être activées par des micro-leds implantées dans le cortex et allumées par réseau wifi.

Face aux limites actuelles de la pharmacologie, d'autres pistes se développent pour atténuer le ressenti des douloureux chroniques. C'est le cas de la neuromodulation, qui consiste à modifier l'activité électrique à des endroits précis du système nerveux – soit dans la moelle épinière, soit directement dans le cortex cérébral – et qui soulage environ la moitié des patients. *« On sait aujourd'hui qu'il n'y a pas un, mais plusieurs centres de la douleur dans le cerveau, explique Luis Garcia-Larrea. L'objectif est de modifier l'activité électrique de trois ou quatre régions du cortex qui provoquent la déplaisance. »* Pour ce faire, soit on y implante des électrodes – c'est la stimulation neurochirurgicale à effet direct, ou TCDS –, soit on stimule l'intérieur du cerveau au moyen d'une

► Utilisée ici au CHU de Nantes, la stimulation magnétique transcranienne permet de modifier l'activité électrique de zones précises du cerveau. Elle soulage environ la moitié des douloureux chroniques.
© Amélie Benoist/BSIP

bobine électromagnétique – c'est la stimulation magnétique transcranienne répétitive, ou rTMS. « *Si elle est moins invasive que la stimulation par électrodes, cette dernière est aussi moins puissante car on est plus loin des centres visés* », précise Luis Garcia-Larrea.

La piste de l'hypnose et de la méditation

D'autres méthodes sont également explorées, qui jouent directement sur le vécu de la douleur : c'est le cas de la méditation et de l'hypnose, aujourd'hui prises très au sérieux par les scientifiques. « *L'idée n'est pas de supprimer la cause, mais le ressenti, en jouant sur deux régions particulièrement importantes du cortex, activées lors d'une expérience douloureuse : l'insula et le cortex cingulaire antérieur*, explique Rémy Schlichter, professeur de neurosciences à l'Université de Strasbourg. *Ces régions aident en effet le système nerveux central à décider si un stimulus est important ou pas.* » L'objectif des pratiques comme l'hypnose ou la méditation est de brouiller le système pour empêcher qu'une information potentiellement douloureuse arrive à notre conscience.

« *Le cerveau ne peut traiter qu'un nombre limité d'informations en parallèle, environ six ou sept*, précise Rémy Schlichter. *La méditation de pleine conscience, en focalisant l'attention sur la respiration, ou telle ou telle partie du corps, modifie l'état cognitif du cerveau. Tout occupé à traiter ces nouvelles informations, il se retrouve incapable d'en traiter d'autres.* » L'hypnose suit une autre logique : il s'agit ici de dissocier l'aspect sensoriel (les circuits de la nociception) du ressenti émotionnel et de réassocier un autre contexte au stimulus, afin d'en changer l'interprétation.

« *L'hypnose était considérée comme du charlatanisme jusqu'à récemment par de nombreux médecins, rappelle le scientifique, mais elle a été sauvée par les progrès de l'imagerie médicale.* » De plus en plus employée dans la prise en charge des douleurs chroniques, elle s'invite également au bloc

opératoire où elle peut, dans certains cas et chez des personnes particulièrement réceptives aux suggestions hypnotiques, remplacer l'anesthésie générale. C'est le cas notamment d'une opération de la thyroïde réalisée à l'hôpital Henri-Mondor de Créteil sous hypnose avec une simple anesthésie locale : la patiente, une chanteuse professionnelle, a pu chanter sur la table d'opération, et ainsi éviter que les cordes vocales ne soient touchées durant l'intervention. Pour autant, les mécanismes physiologiques de l'hypnose sont encore à préciser. « *Les régions que l'on voit s'activer ou se désactiver dans le cerveau lors d'une séance d'hypnose ne sont pour la plupart pas spécifiques* », indique Rémy Schlichter, ce qui complique l'étude du phénomène. Si les pistes d'étude sont nombreuses, la douleur est loin d'avoir livré tous ses secrets. ▽

[1] Unité CNRS/Université de Strasbourg.

[2] Unité CNRS/Institut national de la santé et de la recherche médicale/Université de Montpellier.

[3] Mécanismes permettant la détection et la transmission des stimulations susceptibles de porter atteinte à l'intégrité de l'organisme.

[4] www.cnrs.fr/sites/default/files/press_info/2019-02/CP%20Nanome%CC%81dicament%20douleur.pdf

[5] Unité CNRS/Université Paris Sud.

Pollution, température de l'eau, concentration en oxygène... Coquilles Saint-Jacques et autres bivalves constituent de précieuses archives sur l'environnement et le climat. Des chercheurs bretons, à l'origine de cette découverte, parcourent les mers pour les étudier. Cet été, une grande exposition à Brest permettra de découvrir leurs travaux aux pôles.

Coquillages, les sentinelles des océans

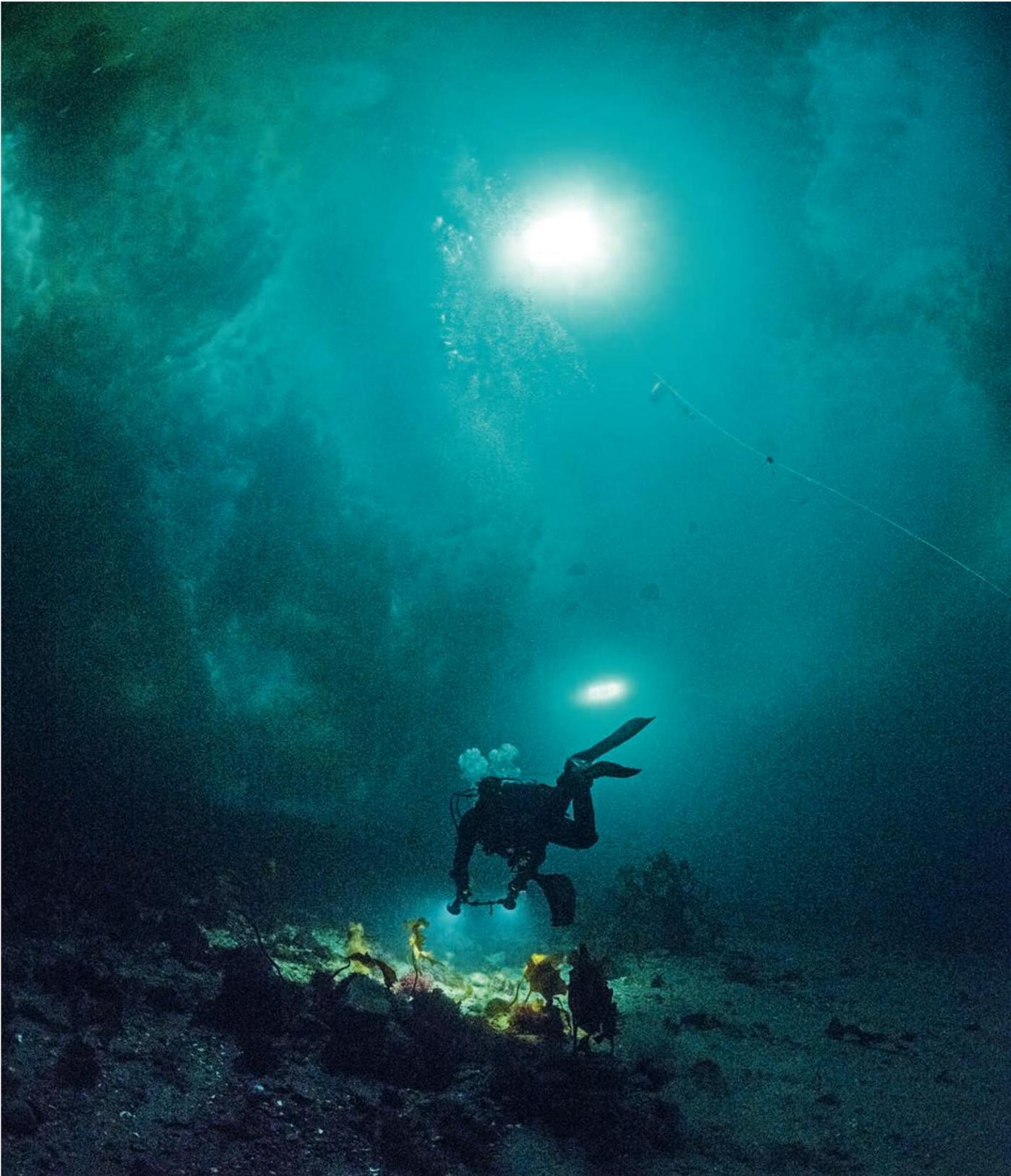
par Gaël Hautemulle

Brest, à la pointe ouest de la Bretagne. Tout commence dans le Finistère. Depuis ce bout du monde avancé dans l'océan Atlantique, les chercheurs du Laboratoire international associé Benthic Biodiversity Ecology, Sciences and Technologies (LIA BeBest)¹ partent régulièrement explorer les mers du globe, de l'île d'Ouessant au Maroc, de la Nouvelle-Calédonie à l'Antarctique en passant par la Mauritanie. Leur quête est surprenante : ils sont à la recherche de mollusques bivalves de la famille des pectinidés. Notamment, les célèbres coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*) et leurs cousines, les pétoncles. Non par gourmandise, mais par soif de connaissances. Car depuis plus de vingt ans, ils ont découvert et démontré qu'il était possible d'utiliser ces animaux comme des archives environnementales.

Température et salinité de l'eau, concentrations en oxygène ou en contaminants, état du phytoplancton dans leur environnement naturel... « *Leur squelette externe, c'est-à-dire leur coquille, enregistre toutes sortes d'informations écologiques très utiles à la compréhension des écosystèmes côtiers* », explique Laurent Chauvaud directeur de recherche au Laboratoire des sciences de l'environnement marin² et coordinateur de BeBest. À la clé, des quantités de données très utiles pour reconstituer les climats du passé, suivre le réchauffement actuel mais aussi les épisodes de pollution. Avec un sens du détail inédit : aujourd'hui, les bivalves nous renseignent sur l'environnement marin avec plus de précision temporelle que les cernes annuels de croissance d'un arbre sur Terre, ou que les strates d'une carotte de glace pour les pôles!

▼ La quête d'indices sur le réchauffement climatique conduit les chercheurs jusqu'aux eaux froides du Groenland.

© E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque





Chaque jour, par exemple, *Pecten maximus* enregistre la température de l'eau de mer, à 0,5 °C près, à l'instar d'un thermomètre médical. Mieux encore : les chercheurs, dont le jeune docteur Pierre Poitevin de l'Université de Bretagne occidentale, ont appris à faire parler le pétoncle géant de l'archipel Saint-Pierre-et-Miquelon, dans l'Atlantique. L'analyse de sa coquille livre des informations détaillées, et précises au quart d'heure près, sur son environnement !

Eau mitigée et nourriture équilibrée

Pour en arriver là, Laurent Chauvaud et son équipe ont appris année après année à décoder les informations archivées par les coquillages. Ils ont observé et mesuré les distances entre les microstries présentes à la surface des coquilles. Et sous la loupe binoculaire, ils ont enchaîné les

découvertes : chaque distance séparant ces microstries est le résultat de la croissance journalière de la coquille observée et la diminution de ces distances est liée aux facteurs d'altération de cette croissance. Par exemple, un refroidissement de l'eau de mer.

La mise en évidence de cet impact de la température de l'eau remonte à l'an 2000, lors d'une plongée à Bergen, en Norvège. Plus pauvre en nitrates et autres sels nutritifs que les baies bretonnes, ce littoral nordique leur a permis de corrélérer des ralentissements de croissance avec des jours précis d'*upwelling* (remontées brutales d'eau froide), le temps d'une journée d'été, sous l'effet de forts vents de nord-est, parallèles à la côte³.

« Les coquilles norvégiennes présentaient, ces jours-là, des accidents de croissance, se souvient le chercheur. Comme tétanisées

► Pour faire parler le pétoncle géant, les scientifiques l'équipent d'un accéléromètre pour enregistrer ses mouvements et mesurent les distances entre chaque microstrie à la surface de la coquille.

© (de gauche à droite)

E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque ;
Jean Gaumy/Magnum Photos



▼ Dans le lagon de Nouvelle-Calédonie, ce bémotier, équipé d'un accéléromètre, livrera peut-être des informations sur les modifications comportementales dues à des stress environnementaux.
© E. Amice/IRD/CNRS Photothèque

par l'eau froide, elles n'avaient grande que de l'équivalent d'une strie d'hiver en plein mois de juillet!» Une nouvelle approche était née: l'étude des stries des Saint-Jacques.

Nos Champollion des océans ont découvert un autre facteur jouant sur la distance entre les stries: une dégradation brutale de la nourriture des mollusques. En effet, quand survient une efflorescence (ou un *bloom*) d'algues toxiques ou, comme souvent en Bretagne, un excès de phytoplancton (dû aux nitrates des effluents agricoles), pourtant le plat préféré des Saint-Jacques, leur coquille croît moins vite, voire plus du tout. «*Vous pouvez adorer la choucroute, explique Laurent Chauvaud. Si le plat devient copieux au point de vous empêcher de respirer, vous risquez de ne plus avoir envie de vous nourrir!*»

Oui, mais alors comment faire pour ne pas confondre tous ces indices (en l'occurrence la température de l'eau et le régime alimentaire) qui s'offrent à nos scientifiques? «*Ici, la schlérochimie entre en jeu, répond Laurent Chauvaud. Nous nous sommes intéressés, non plus seulement à la structure de la coquille, mais à sa composition chimique.*»

L'étude de la composition chimique

Ce sont les travaux du biogéochimiste et écologue Julien Thébaud, en Nouvelle-Calédonie, qui ont permis cette avancée. Sur place, les chercheurs voulaient savoir si l'exploitation de la réserve de nickel avait contaminé l'un des plus beaux lagons du monde, abritant 25 espèces de pectinidés. Or en croisant leurs données, ils se sont aperçus que des traces de métaux, comme

le baryum et le molybdène, dans les coquilles, étaient corrélées aux efflorescences du phytoplancton, ses excès ou encore sa sédimentation. En 2005, ils démontrent que les isotopes⁴ de la calcite des coquilles donnent a posteriori des informations journalières précises sur la température de l'eau. Et que la présence d'isotopes d'éléments traces⁵ (métalliques), contenus dans la coquille, nous éclaire sur la dynamique du milieu. La révolution scientifique est en marche, faisant de la Saint-Jacques et de ses congénères, des thermomètres enregistreurs journaliers et, plus largement, des témoins de l'environnement à travers le temps. Rapidement, les chercheurs prennent conscience des précieuses archives qui leur tendent les bras. Car ces coquillages sont présents, à foison, du Maroc à la Norvège, jusqu'à 500 mètres de profondeur, et depuis 25 millions d'années ! De quoi les aider dans leurs « enquêtes » sur le réchauffement climatique ou l'histoire des écosystèmes de la planète.

Durée de vie trop courte

Mais les précieuses informations que fournit la coquille Saint-Jacques ne suffisent plus à satisfaire l'appétit de connaissances des chercheurs du LIA BeBest. En cause ? Sa courte durée de vie : de quatre à cinq ans. À la recherche d'archives contenant des périodes de temps longues, qui permettront de statuer sur l'impact de changements globaux, comme l'actuel réchauffement climatique, les scientifiques convoient

désormais des bivalves longévives : la *Laternula* d'Antarctique, quadragénaire ; l'amande de mer *Glycimeris glycimeris* de la rade de Brest, dont la durée de vie est comprise entre 70 et 80 ans ; la mye *Mya truncata* de l'Arctique, l'astarte ou le pitot *Cyrtodaria siliqua*, de fringants centenaires ; et, surtout, la palourde noire de Saint-Pierre-et-Miquelon, *Arctica islandica* : 500 ans de durée de vie !

L'indic qui venait du froid

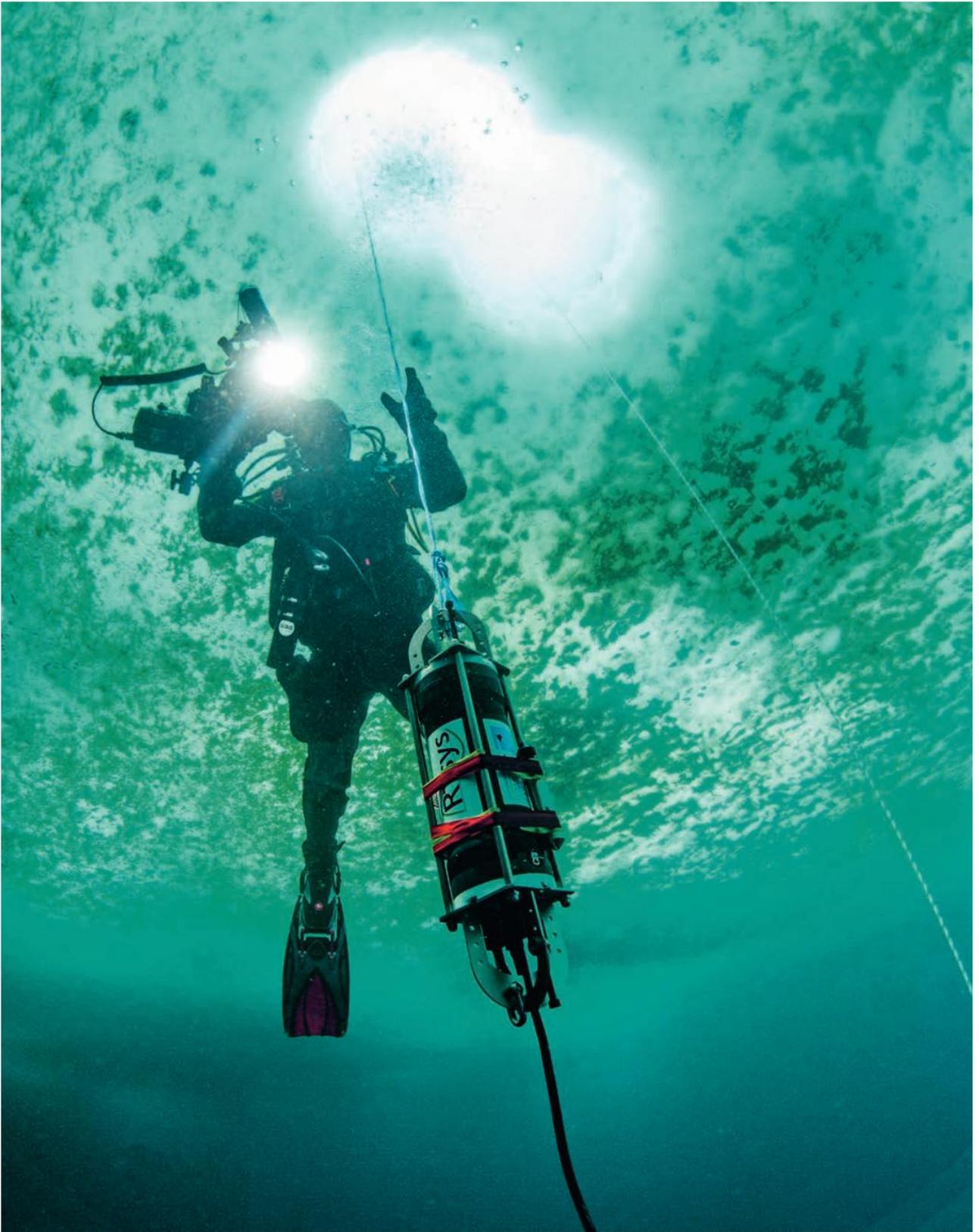
Largement répandue sur les fonds sableux de l'archipel, celle-ci détient le record de longévité d'une espèce animale non coloniale, c'est-à-dire coraux exceptés. « *Arctica islandica* est un véritable parchemin ! s'enthousiasme Laurent Chauvaud. Depuis plusieurs siècles, cet animal endogé (qui vit dans le sol, NDLR), filtreur et immobile, enregistre, dans le carbonate de calcium de sa coquille, et au rythme d'une strie annuelle, des informations qui vont permettre de décrire l'environnement des eaux de la façade ouest de l'Atlantique nord. »

C'est d'ailleurs cet « indic » que les chercheurs sont partis interroger à Saint-Pierre-et-Miquelon. Aux confluences du Saint-Laurent, des courants du Labrador et du Gulf Stream, l'archipel connaît l'un des plus forts réchauffements actuels. Grâce aux informations biologiques enregistrées, année après année, strie après strie, par *Arctica islandica* dans sa coquille, les scientifiques veulent reconstituer le climat local durant les siècles passés. Et contribuer à élaborer un scénario pour le siècle à venir. Et les pôles, alors ? En Antarctique, les chercheurs s'intéressent

La coquille Saint-Jacques et ses congénères sont des témoins de l'environnement à travers le temps.

▼ En Antarctique, sous la banquise, un plongeur contrôle et récupère un hydrophone, appareil utilisé pour enregistrer le paysage sonore sous-marin.

© E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque





à un pétoncle austral circumpolaire et à ses cousines, les myes. Les archives environnementales livrées par ces animaux renseignent sur les variations saisonnières de la glace et donc sur l'impact du réchauffement climatique. Sous la banquise, privées de lumière pendant les cinq ans d'une absence de débâcle, non loin de la base scientifique de Dumont d'Urville, les algues phytoplanctoniques sont rares et les algues laminaires disparaissent. Mais pas les pétoncles, malgré la raréfaction de leur nourriture! Pour les ausculter, les plongeurs-chercheurs, qui n'ont froid ni aux mains ni aux yeux, ont développé, avec leur voisin brestois, l'Institut Paul-Émile-Victor, toute une culture de la recherche sous-marine en milieu polaire, « faite d'ingéniosité, de ratages et de bricolage ». Ils ont appris à creuser des trous de 12 m²

dans la banquise pour accéder à l'eau libre, sous 1 mètre de neige et 3 mètres de glace, avant de plonger dans une eau à $-1,8^{\circ}\text{C}$, au milieu des icebergs, d'y faire des photos et des manipulations fines. « Tout cela, avec des gants de boxe! » plaisante Laurent Chauvaud.

Principaux témoins des pollutions

Si les mollusques recèlent de précieuses données climatiques, ils peuvent aussi être déserts sur les pollutions qui touchent leur environnement. C'est d'ailleurs le point de départ des travaux de nos scientifiques. Au début des années 1980, confrontés à la raréfaction des populations de Saint-Jacques, les pêcheurs de la rade de Brest alertent les enseignants-chercheurs de l'Université de Bretagne occidentale et les chercheurs du Centre national d'exploitation des océans (Cnexo,

Pour ausculter les palourdes dans des eaux à $-1,8^{\circ}\text{C}$, les plongeurs-chercheurs ont développé toute une culture de la recherche sous-marine en milieu polaire.



► Pour plonger sous la banquise, au milieu des icebergs, les chercheurs doivent d'abord creuser des trous pour accéder à l'eau libre, sous 1 m de neige et 3 m de glace.

© Jean Gaumy/Magnum Photos

▼ La palourde noire de Saint-Pierre-et-Miquelon peut vivre jusqu'à... 500 ans! Un record de longévité qui en fait une mine d'informations sur les climats passés et un allié de taille pour élaborer des scénarios pour l'avenir.

© Benjamin Deroche

futur Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, ou Ifremer), afin de comprendre pourquoi cette espèce a disparu d'un écosystème pourtant si favorable à l'origine. Les chercheurs identifient les causes : rejets en excès de nitrates et efflorescences d'algues toxiques.

Depuis ces premiers pas, les cas d'étude se sont multipliés, souvent à la demande des professionnels et des élus locaux. Les scientifiques ont par exemple étudié les coquillages de Belle-Île-en-Mer, dans le Morbihan, ayant vécu au début du XXI^e siècle, pour en apprendre davantage sur la pollution sous-marine consécutive au naufrage du pétrolier *Erika*, en décembre 1999. Parfois, le hasard permet aussi d'identifier des pollutions inattendues. Ainsi, en 2018, Jean-Alix Barrat, géologue spécialiste des micrométéorites, a mis au jour un

lien entre la prescription de contrastants IRM aux patients de l'hôpital de Brest et la présence de gadolinium, métal faisant partie des terres rares, dans les coquilles Saint-Jacques de la rade.

De la forme à la croissance

Pour Laurent Chauvaud, cela ne fait aucun doute : mollusques et coquilles constituent un trésor scientifique dont il faut prendre soin. En témoigne la « *pectothèque* » comme l'appelle le chercheur, bien à l'abri dans les caves de l'Université. « *Trente années de coquilles Saint-Jacques y sont aujourd'hui archivées. Autant d'indicateurs fiables, et journaliers, de leur croissance, de la température de l'eau, de la variation du phytoplancton !* » Leur archivage pourrait aussi ouvrir de nouvelles voies. Développant de nouveaux modèles mathématiques, Jennifer

▲ Plongeur lors d'une mission
au Groenland, en 2018.
© E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque

Coston-Guarini les étudie par exemple pour comprendre le lien entre la forme des coquilles et la croissance. « *La coquille n'est que temps qui passe* » : un chercheur écossais, D'Arcy Wenworth Thompson, a érigé cette idée en loi fondamentale. Mais pour la chercheuse, il n'avait pas pris en compte les contraintes de l'environnement, omettant que la forme, elle aussi, témoigne des propriétés des environnements côtiers dans lesquels les individus grandissent. Autrement dit, après la distance entre les stries et la composition chimique, les scientifiques pourront peut-être bientôt déduire des informations environnementales de la forme d'un mollusque !

Le chant des mollusques

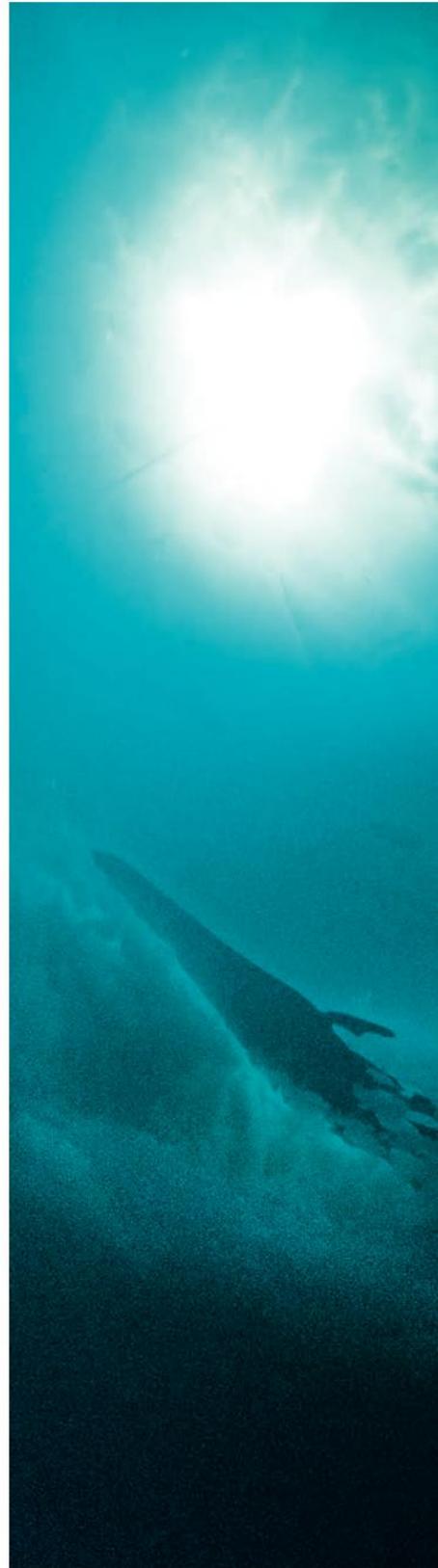
Mais ce n'est pas tout : les scientifiques scrutent aussi les modifications comportementales entraînées par des stress environnementaux. À commencer par les mouvements des mollusques... Ces derniers se voient par exemple équipés d'accéléromètres, semblables à ceux de nos téléphones portables, bricolés grâce à des Lego fixés sur la coquille, et qui enregistrent les déplacements du bivalve à chaque seconde. Pour moins « déranger » l'animal, les chercheurs ont eu l'idée de déployer des hydrophones. Tels des paparazzis en quête de sons indiscrets, ils souhaitent capter, sous l'eau, le bruit des mouvements des animaux, plutôt que les mouvements eux-mêmes. Aujourd'hui, les plongeurs du LIA BeBest tendent leurs micros pour encore mieux observer la faune sous-marine. Et font

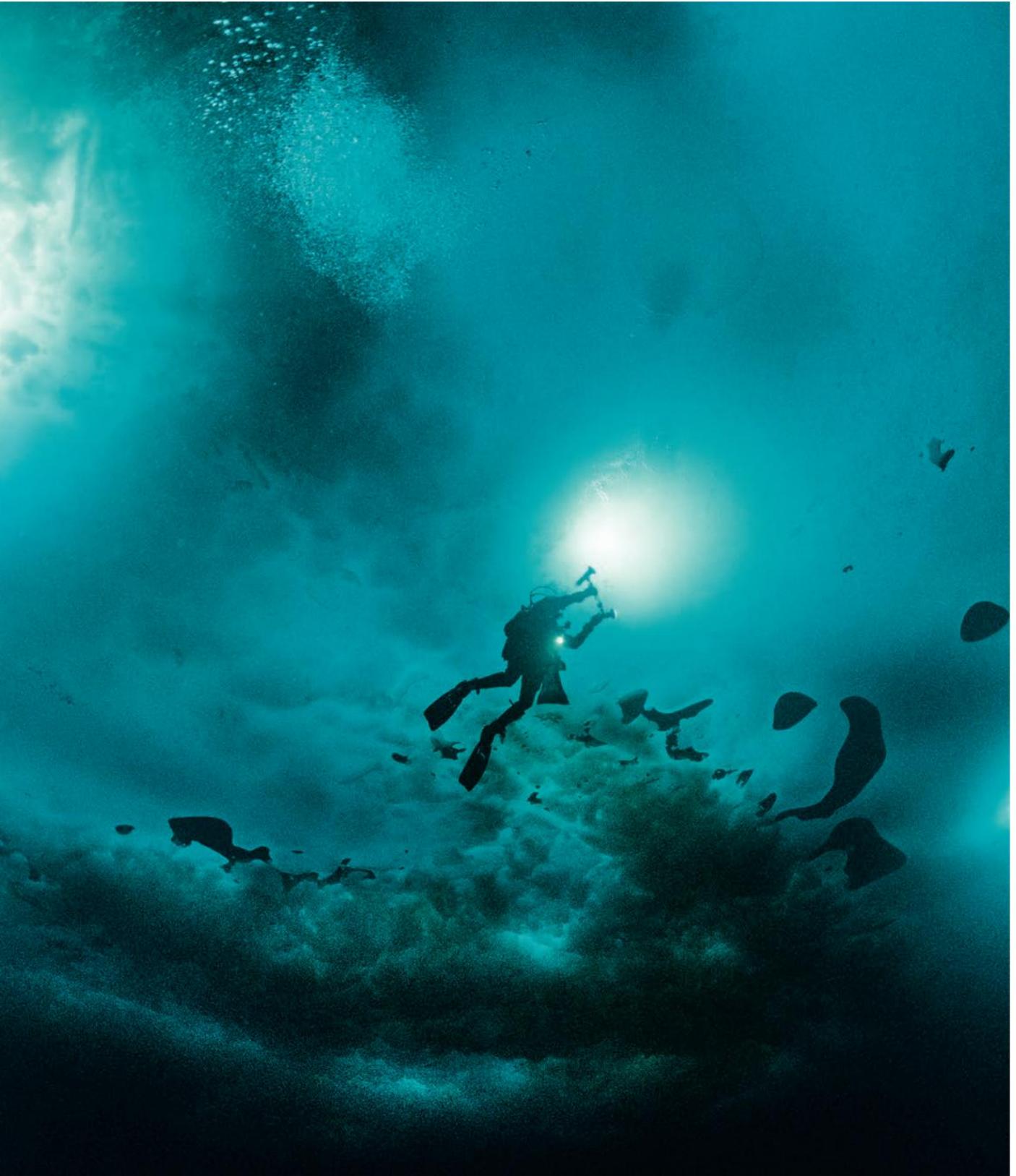
écouter au visiteur l'étrange chant des homards et langoustes, morses, mollusques et oursins...

Cette nouvelle approche trouve écho auprès d'autres pêcheurs, cette fois de la baie de Saint-Brieuc, dans les Côtes-d'Armor, où les coquilliers s'inquiètent : quels seront les impacts, sur la ressource, du parc éolien de la société Ailes Marines ? « *Le programme IIMPAIC étudie les effets acoustiques complexes des battages de pieux sous-marins sur le recrutement des larves dans la colonne d'eau* », explique Frédéric Olivier, chercheur du Muséum national d'histoire naturelle, au sein du laboratoire Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques⁶, associé au LIA BeBest.

Pour cela, ce spécialiste de l'analyse des lipides (acides gras essentiels dont les bivalves se repaissent) a installé une batterie de haut-parleurs dans l'écloserie du Tinduff à Plougastel-Daoulas, près de Brest, avant de scruter les retards de croissance des naissains de coquilles Saint-Jacques. L'idée a fait des émules. Qui pointent dorénavant leurs hydrophones dans de nombreuses directions. « *De la rade de Brest, il sera bientôt possible de dessiner un paysage sonore sous-marin* », promet Laurent Chauvaud, un sourire aux lèvres.

Un peu à l'étroit dans son bureau dont le luxe est de donner à contempler la houle de noroît (vent du nord-ouest) dans le goulet de Brest, le benjamin du LIA BeBest, Youenn Jézéquel, défriche des pans entiers de la recherche en acoustique passive, forçant au passage







le respect de l'un des pionniers en la matière, Jelle Atema, du laboratoire américain de Woods Hole où réside aussi un ami du groupe, Julien Bonnel. Youenn Jézéquel pointe ses hydrophones vers les sons à basses fréquences (100 Hz) émis par les homards... Et décrit avec passion le son étourdissant, pour ses proies, de la crevette pistolet.

À la croisée des regards

Mais pour Laurent Chauvaud, le travail du scientifique ne doit pas s'arrêter là. Sa mission est bien sûr de transmettre mais aussi d'alerter les citoyens des changements, des risques en cours. Le déclic se fait durant une plongée polaire où il est saisi d'effroi. « *L'effroi devant la certitude de la catastrophe* », précise-t-il. Comment, pour un scientifique qui n'en a pas l'habitude, trouver les mots, dépasser son inconfort

émotionnel, raconter sa stupeur devant l'énormité d'un changement climatique? « Pleine mer », une exposition de l'agence Magnum Photos, lui apporte une réponse: « *Tout ce que je cherchais alors à exprimer était présent, sous mes yeux, dans une photographie de Jean Gaumy!* » C'est pour lui une révélation : des artistes doivent partager leurs missions scientifiques. Depuis sept ans, avec la société Fovearts, qui assure la direction artistique et le pilotage de ces résidences, les scientifiques du LIA BeBest emmènent, au Groenland, au Spitzberg, à Saint-Pierre-et-Miquelon, tantôt les photographes Jean Gaumy et Benjamin Deroche, tantôt la plasticienne Sandrine Paumelle et Emmanuelle Léonard, tantôt le vidéaste Jean-Pierre Aubé ou l'écrivain Jean-Manuel Warnet. Qui écrit dans *Avant la débâcle* : « *On ne veut pas être happé par*

► Une amande de mer, entre science et art...

© E. Amice/LEMAR/CNRS Photothèque

l'eau glacée. Alors, on lève le regard sur l'immensité du vide. On avale la lumière. Le silence est bleu. » Laurent Chauvaud est formel : « *Les artistes partagent le terrain d'expérience et d'humilité des scientifiques.* » À Brest, à partir de juin, une grande exposition permettra au grand public de découvrir ces recherches grâce aux images, aux installations et aux créations sonores de ces artistes (*lire ci-contre*). Et de changer notre regard sur ces précieux témoins qui peuplent les littoraux et les fonds marins du monde entier. ↴

[1] Au carrefour des sciences de l'ingénieur et de celles de l'environnement, le LIA BeBest associe des chercheurs de toutes les disciplines, des entreprises privées et des artistes. S'appuyant sur la collaboration entre le CNRS, pour la France, et l'Ismer, pour le Québec, et sur leurs réseaux de partenaires, il s'insère dans le cadre de l'Institut maritime France-Québec avec le soutien du CNRS et de l'Université de Bretagne occidentale (UBO), et met en commun les moyens de recherche, les savoir-faire et les capacités de formation de deux groupes de recherche, canadien (Ismer-Uqar, à Rimouski) et français (IJEM-UBO, Lemar, à Brest).

[2] Unité CNRS/UBO/IRD/l'Ifremer.

[3] Cet effet de thermocline a été étudié, puis modélisé, à Saint-Pierre-et-Miquelon, par l'océanographe et physicien, Pascal Lazure, chercheur de l'Ifremer, au sein du Laboratoire d'océanographie physique et spatiale, associé à BeBEST.

[4] Atome qui possède le même nombre d'électrons et un nombre différent de neutrons.

[5] Élément présent à l'état de trace dans le sol, appartenant à un ensemble comprenant des métaux (cadmium, cuivre, mercure, plomb...), ou des éléments non métalliques (arsenic, fluor), ou des oligo-éléments.

[6] Unité CNRS/MNHN/Sorbonne-Université/Université de Caen Normandie/IRD.

[7] *Avant la débâcle*, Jean-Manuel Warnet, Éditions autonomes, 2018.

Arctic Blues : les pôles s'exposent à Brest

Cet été, les Ateliers des Capucins à Brest accueillent l'exposition Arctic Blues, construite autour des missions aux pôles de l'équipe du LIA BeBest¹. Les recherches de l'équipe de Laurent Chauvaud, directeur de recherche au Laboratoire des sciences de l'environnement², y seront mises en récit au travers des œuvres des artistes qui accompagnent les chercheurs sur le terrain depuis de nombreuses années. Les visiteurs pourront ainsi admirer les photos de Jean Gaumy, de Benjamin Deroche et d'Erwan Amice, plongeur au CNRS, ou encore la vidéo de Jean-Pierre Aubé. Au cœur de cette exposition, un dôme spectaculaire, immersif, plongera le visiteur dans les créations sonores et visuelles réalisées par trois musiciens, Maxime Dangles, Vincent Malassis et François Joncour. Ce projet est réalisé en collaboration avec La Carène, scène des musiques actuelles de Brest. Le CNRS, aux côtés des Ateliers des Capucins, de Brest Métropole et d'autres institutions, est partenaire de cet événement, dont le commissariat est assuré par Emmanuelle Hascoët.

Le CNRS, 80 ans d'histoire

épisode 1/2

Par Denis Guthleben

Le 19 octobre 1939, le CNRS était créé autour de valeurs fortes : liberté de la recherche, ouverture sur le monde, progrès social, innovation, diffusion de la culture scientifique... En cette année de célébration, l'historien Denis Guthleben nous fait le récit de son histoire. Dans ce premier épisode, retour sur la genèse et les quarante premières années du centre.

▼ Turbine d'une soufflerie, photographiée devant le bâtiment principal du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) à Meudon-Bellevue, le 21 juillet 1947.

© Fonds historique/CNRS Photothèque



▼ Ministre de l'Éducation nationale de 1936 à 1939, Jean Zay est l'un des deux pères fondateurs du CNRS, avec Jean Perrin.

© Archives Nationales

▲ Manifestation de solidarité après l'attentat contre Léon Blum, en présence des savants Jean Perrin et Paul Langevin et du philosophe Victor Basch, le 16 février 1936, à Paris.

© Marcel Cerf/Roger Viollet

Alors que nous célébrons ses 80 ans, on oublie parfois que le CNRS, le plus grand organisme public de recherche en Europe, a vu le jour en toute discrétion. Il faut reconnaître que le contexte n'était pas à la fête lorsque le président Albert Lebrun a signé son décret fondateur, le 19 octobre 1939 : dans cette France qui venait d'entrer en guerre contre le III^e Reich et d'assister à l'écrasement de la Pologne, l'initiative est presque passée inaperçue ! D'ailleurs les circonstances ont souvent été invoquées comme justification : le CNRS devait avant tout veiller, selon le décret, à « *la mobilisation scientifique* » du pays. Mais se contenter de cette explication conduit à omettre l'essentiel. Car si le CNRS est né en sourdine dans un monde en guerre, il est surtout le fruit d'une longue genèse, dont il faut dire un mot.

Bien avant 1939, il y a eu 1870. La défaite face à la Prusse de Guillaume I^{er} et de Bismarck rassemble les savants français autour d'un constat : le pays n'a pas été battu sur les champs de bataille, mais devant les pailles. Il n'y a aucun doute pour Louis Pasteur : « *La faiblesse de notre organisation scientifique* » est la cause des « *malheurs de la patrie* »¹. De ce constat découlent, dès les débuts de la Troisième République, plusieurs réformes de l'enseignement supérieur, une hausse des budgets des facultés et des établissements – le Collège de France, le Muséum national d'histoire naturelle, etc. – et des initiatives prises par les savants eux-mêmes, dont la création de l'Institut Pasteur en 1888, l'un des exemples les plus notoires.

Et l'organisation scientifique ? Elle peine à s'établir, malgré quelques tentatives : en 1901, une Caisse des recherches scientifiques est instituée, mais son budget est famélique². Le député Edmé Bourgoïn, pourtant professeur de médecine, avait averti ses confrères de la Chambre : « *Ceux qui veulent se livrer à des recherches ne doivent pas tendre la main à l'État...* » Même après avoir répondu à l'appel de la Nation

En 1927, le physicien Jean Perrin lance un laboratoire de pointe : l'Institut de biologie physico-chimique (IBPC). Entre ses murs, physiciens, chimistes et biologistes doivent « percer les secrets les plus dissimulés de la Nature ».

pendant la Grande Guerre³, les savants retournent ainsi à leur misère en 1918. Le mot est-il abusif ? Peut-être, mais le fait est qu'il revient sans cesse dans les archives, et apparaît jusque sous la plume de Maurice Barrès : « *La misère de nos laboratoires est quelque chose de prodigieux* », elle est « *indigne de la France, indigne de la science* », déplore l'écrivain nationaliste dans un ouvrage paru en 1925⁴.

Science recherche organisation

L'année suivante, le physicien Jean Perrin obtient le prix Nobel « *pour ses travaux sur la discontinuité de la matière* ». Avec le soutien d'une fondation créée par le banquier Edmond de Rothschild, il lance en 1927 un laboratoire de pointe : l'Institut de biologie physico-chimique (IBPC). Entre ses murs œuvrent des « chercheurs » dont la seule mission est de percer, comme l'a annoncé Jean Perrin, « *les secrets les plus dissimulés de la Nature* ». En outre, l'IBPC, qui regroupe physiciens, chimistes et biologistes, doit réunir les disciplines et favoriser leur fécondation



▲ En 1950, au laboratoire Terres rares, installé sur le campus du CNRS de Meudon-Bellevue, on réalise des manipulations de séparation par échanges d'ions.

© Fonds historique/CNRS Photothèque

réciproque. Il s'agit d'un institut « interdisciplinaire » avant même que le mot ne fasse son apparition !

La formule, un formidable succès, ne tarde pas à soulever une question : pourquoi ne pas l'élargir à l'ensemble du pays ? Jean Perrin en fera sa croisade pendant une décennie. Il obtient d'abord, du gouvernement Herriot, la création d'une Caisse nationale des sciences en 1930 – rebaptisée Caisse nationale de la recherche scientifique, la CNRS, en 1935. Le physicien pousse ensuite le gouvernement Daladier à établir, en 1933, un Conseil supérieur de la recherche, destiné à donner les orientations d'une politique scientifique en gestation.

L'année 1936 pose un jalon. Les élections législatives voient la victoire des partis du Front populaire. Léon Blum compose son gouvernement et désigne, à l'Éducation nationale, un député de 32 ans, Jean Zay. À ses côtés, un sous-secrétariat d'État à la recherche scientifique est prévu, une première dans notre histoire ! Irène Joliot-Curie y est tout d'abord désignée, mais elle renonce vite à ses fonctions. Jean Perrin la remplace dès septembre : « *Ce sous-secrétaire d'État septuagénaire et glorieux déploya aussitôt la fougue d'un jeune homme, l'enthousiasme d'un débutant, non pour les honneurs, mais pour les moyens d'action qu'ils fournissaient* », note Jean Zay dans ses mémoires⁵.

Pendant quelques mois, les réalisations se succèdent. Un Service central de la recherche est inauguré au ministère de l'Éducation nationale. Les budgets de la CNRS, en forte hausse, lui permettent de construire plusieurs instituts – l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP), l'Institut de recherche et d'histoire des textes (IRHT), etc. Une organisation bien huilée se met en place : le Conseil délibère et propose, le Service décide et exécute, la Caisse finance. Déjà, l'opportunité de les regrouper dans un « centre unique » est évoquée, mais la chute du gouvernement Blum et les tensions sur la

La chute du gouvernement Blum et les tensions sur la scène internationale retardent sa création : le CNRS, enfant posthume du Front populaire, ne voit le jour qu'en 1939.

scène internationale retardent sa création : le CNRS, enfant posthume du Front populaire, ne voit le jour qu'en 1939. En somme, si la guerre lui a donné un coup de pouce, elle ne forme que l'écume de la genèse d'un organisme qui doit surtout « *provoquer, coordonner et encourager les recherches de science pure ou appliquée* » à travers le pays.

Mobilisé, occupé, libéré

Mais la guerre est bel et bien là, et le CNRS subit, à partir de mai 1940, la débâcle puis l'Occupation. Confronté aux pénuries, isolé de la recherche internationale, il endure le pillage de son matériel par l'Allemagne nazie. Premières victimes de ce dénuement, ses personnels paient aussi un lourd tribut aux mesures d'exclusion : les lois antijuives privent les laboratoires de nombreux chercheurs et techniciens, frappés dans leur activité, voire dans leur existence même. Sans faire le catalogue des destins individuels, il suffit de rappeler le sort de ses deux fondateurs : Jean Perrin s'éteint en exil à





New York le 17 avril 1942 ; Jean Zay, lui, est emprisonné par cet « État français » qui siège à Vichy, et ne voit sa captivité prendre fin, le 20 juin 1944, que pour être lâchement assassiné par la Milice. Les deux hommes sont aujourd'hui réunis au Panthéon : Jean Perrin qui y repose depuis 1948 y a été rejoint par Jean Zay en 2015. Le CNRS peut ainsi se prévaloir d'être le seul établissement de recherche dont les pères reposent dans le temple de la Nation.

À la Libération, il voit arriver à sa tête des personnalités soucieuses de rompre avec les pratiques autoritaires de Vichy. Frédéric Joliot-Curie, de 1944 à 1946, puis Georges Teissier, jusqu'en 1950, entendent associer les scientifiques à la définition des enjeux de la recherche, et plaident en faveur de la création d'un « Parlement de la science ». Le chimiste Henri Moureu, qui participe à cette renaissance, ne s'y trompe pas : « *Vous pensez en somme nous mettre en république !* » C'est bien un projet de « république des savants » qui se forme alors, et se concrétise en 1945 au travers de la création du Comité national

de la recherche scientifique, une instance promise à un bel avenir.

Un campus à Meudon, puis à Gif-sur-Yvette

Passé la période de l'immédiat après-guerre, le CNRS connaît une croissance régulière. Il crée des formations en Île-de-France et de plus en plus en province – à Grenoble, à Marseille, à Strasbourg, à Toulouse... Il inaugure aussi ses premiers campus : après celui de Meudon-Bellevue, où il s'est installé dès 1939 à la suite d'un Office national des recherches scientifiques et industrielles et des inventions⁷, le premier à voir le jour est celui de Gif-sur-Yvette, en 1946, pour encourager notamment la génétique, un champ de recherche que l'Université peine à accueillir.

L'Université ? On l'avait presque oubliée, tant elle et le CNRS ont suivi des chemins distincts ! En accueillant le troisième cycle d'études supérieures en 1954, en investissant dans ses laboratoires, en se plaçant au centre des débats du colloque sur l'enseignement



▼ François Jacob, Jacques Monod et André Lwoff de l'Institut Pasteur reçoivent le prix Nobel de physiologie ou de médecine, le 14 octobre 1965.
© Ullstein Bild/Roger-Viollet

▼ Frédéric Joliot-Curie, directeur général du CNRS de 1944 à 1946, visite le chantier de l'Institut de physique nucléaire (IPN) d'Orsay, qu'il a fondé avec Irène Joliot-Curie.
© Institut Curie

▼ Charles de Gaulle, président de la République, visite les laboratoires de Meudon-Bellevue, en mars 1965. À droite, Pierre Jacquinot, directeur général du CNRS.
© Denise Fautret/CNRS Photothèque

et la recherche scientifique organisée à Caen en 1956, sous le patronage de Pierre Mendès France, elle entreprend une grande rénovation. Longtemps critiquée pour ses carences en matière de recherche, elle en devient une actrice à part entière. Un défi se pose alors : comment conjuguer les efforts de cette vieille dame en pleine cure de jouvence et ceux du jeune et sémillant CNRS ? Ce sera l'un des enjeux majeurs des années 1960...

Mai 1958. La France traverse une crise politique grave. Il faut, en préambule, dire un mot de ce contexte : il va peser comme jamais auparavant sur l'organisation de la recherche dans notre pays. Certains parlent de coup d'État, voire de putsch – terme consacré lorsqu'un militaire s'empare du pouvoir dans des circonstances, disons, exceptionnelles... D'autres évoquent un retour aux affaires, comme si la quinzaine d'années depuis la Libération n'avait été qu'une parenthèse. Question de sensibilités ! Toujours est-il qu'en toile de fond de la tragédie algérienne dans laquelle la Quatrième

▲ Au Laboratoire des hautes pressions dirigé par Boris Vodar, à Meudon-Bellevue, le 26 février 1959.
© Fonds historique/CNRS Photothèque

République s'est enlisée, le général de Gaulle reprend en main le destin du pays et obtient un véritable plébiscite pour en établir une Cinquième. Ah! Les Français et l'homme providentiel...

Entretenir « un climat favorable à la recherche »

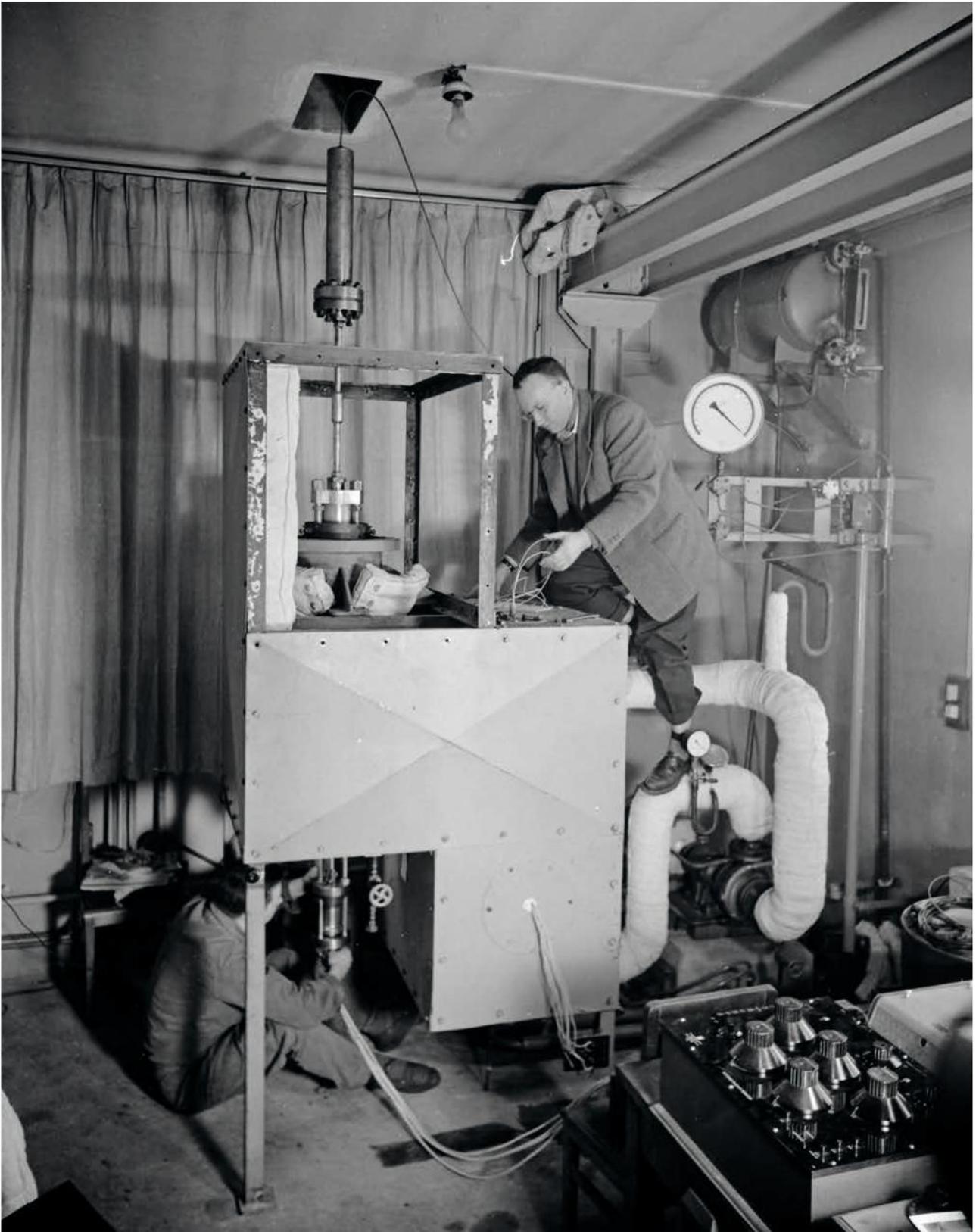
Le nouveau régime tout juste installé, et le président de la République solidement campé à sa tête – « *Une importante majorité du peuple français a voulu se donner un roi. Elle l'a* », constate Françoise Giroud dans *L'Express*... –, la recherche scientifique apparaît d'emblée comme une priorité nationale. Les raisons sont multiples. Avant tout, une science forte participe de la grandeur et de l'indépendance du pays. Dans ce domaine, le général de Gaulle partage l'opinion de Frédéric Joliot-Curie, qui vient de disparaître : un pays qui n'investit pas dans la recherche est condamné à devenir « *une colonie de l'étranger* » ! Il y a aussi le programme nucléaire militaire : le chef de l'État est impatient de le voir aboutir, en poussant un « *hourra pour la France* » au cœur du Sahara.

Un ministre d'État, un comité interministériel présidé par le Premier ministre, une délégation générale chargée d'encourager les champs émergents comme celui de la biologie moléculaire... les institutions qui se mettent en place confirment cette ambition. Certes, le régime gaullien n'a pas tout inventé : il s'inspire de réflexions menées au milieu des années 1950 autour de Pierre Mendès France, mais que l'éphémère président du Conseil n'a pas eu le temps de mettre en œuvre. Un comité consultatif à la recherche, composé de scientifiques de renom que l'on baptise vite « les douze sages », est également inauguré dès novembre 1958. L'un de ses membres, le médecin Jean Bernard, a laissé un témoignage : « *Une ou deux fois par an, le général de Gaulle reçoit les douze à l'Élysée. À chacun de nous, il demande de commenter les progrès survenus depuis notre dernière rencontre. Je n'ai jamais tant eu*

La recherche scientifique apparaît d'emblée comme une priorité nationale de la Cinquième République : une science forte participe de la grandeur et de l'indépendance du pays.

l'impression de passer une nouvelle fois mon baccalauréat...⁸ » Et de Gaulle lui-même, lors d'un discours prononcé à Toulouse le 14 février 1959, donne le ton : « *L'État a le devoir d'entretenir dans la nation un climat favorable à la recherche et à l'enseignement ; l'État, qui, dans le flot des besoins et le flot des dépenses, a la fonction de doter les laboratoires et de pourvoir l'enseignement⁹.* »

Pour le CNRS, cette fonction est remplie sans pinailler : le conseil d'administration de l'établissement, qui avait enregistré une dotation publique de 8 milliards de francs en 1958, constate qu'elle a bondi à plus de 15 milliards en 1960 – les administrateurs du CNRS, comme bien des Français, s'expriment encore en « anciens francs », alors que les « nouveaux » viennent d'entrer en circulation. Un budget qui a presque doublé en deux ans ! Certes, il faut prendre en compte l'inflation. Mais, en valeur constante, l'augmentation reste tout de même de l'ordre de 75 % et la progression atteint ensuite 15 % chaque année jusqu'à la fin de la décennie. Au





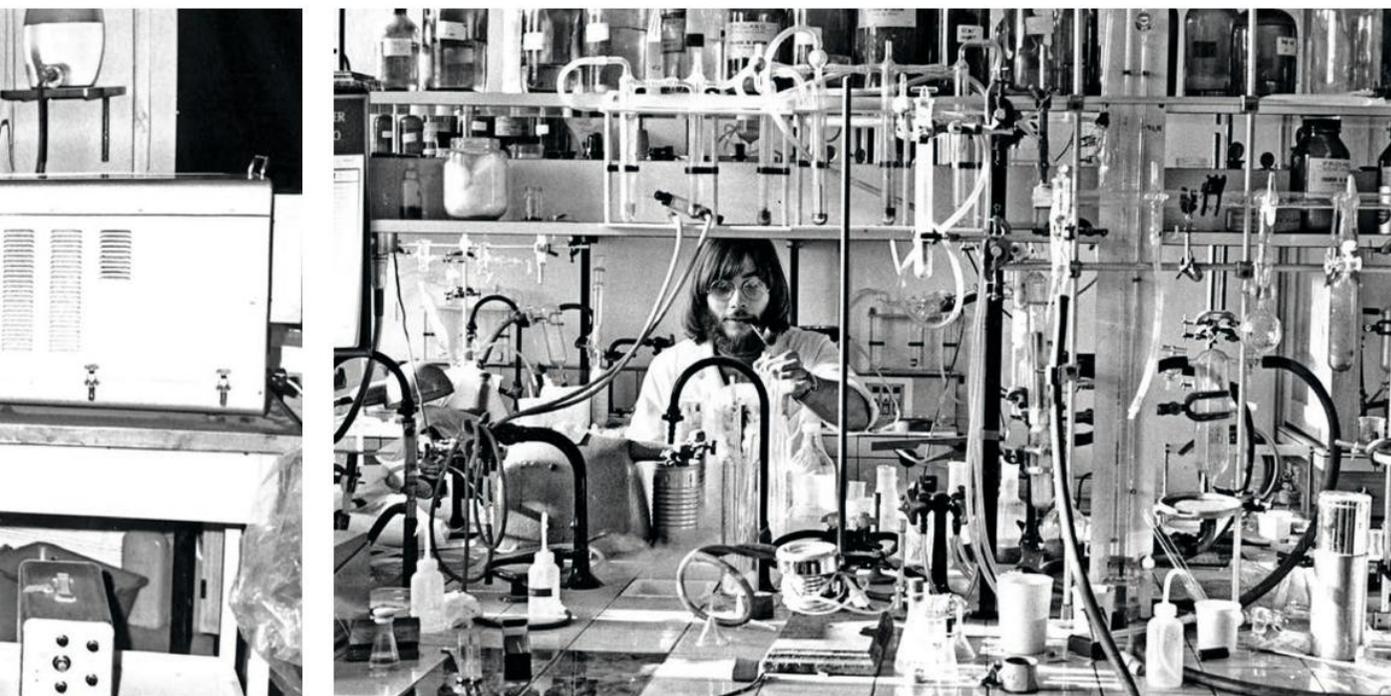
CNRS, on ne s'y trompe pas : un administrateur parle de « *l'évolution frappante des crédits* », un autre « *d'aisance financière* », tandis que l'un des patrons de la biologie est pris de vertige : « *Mais que vais-je faire de tout cet argent ?* »

CNRS-Université : un mariage de raison

Vaine inquiétude : les scientifiques savent toujours quoi faire avec l'argent ! Au CNRS, ils érigent des laboratoires, les équipent, et recrutent des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens pour les faire fonctionner – un peu moins de 6 000 personnes travaillent au sein de l'organisme en 1958, un peu plus de 13 000 dix ans plus tard. Dans le même temps, des instituts nationaux sont mis en chantier : celui d'astronomie et de géophysique (Inag, ancêtre de l'Insu, l'Institut national des sciences de l'Univers) voit le jour en septembre 1967, et celui de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) aboutit cinq ans plus tard. Moins connu, l'Institut national pour la valorisation de la recherche (Invar)¹⁰ les a même précédés,

dès janvier 1967. Initiative pionnière, conçue autour du directeur du CNRS Pierre Jacquinot par des scientifiques et pour les scientifiques, elle offre un pied-de-nez à ce préjugé, hélas persistant, sur une prétendue incapacité historique de la recherche publique à se préoccuper de la valorisation de ses travaux!

La réforme majeure demeure celle qui conduit à la création des laboratoires associés, le 1^{er} janvier 1966. Elle constitue la première réponse ambitieuse à la question des relations entre les deux grands artisans de la science française, le CNRS et l'Université, ainsi que des liens avec d'autres établissements – anciens, comme l'Institut Pasteur, ou plus récents, à l'instar de l'Inserm qui a vu le jour deux ans plus tôt, ou de l'Iria (futur Inria) qui est dans les tuyaux. Elle est à l'origine d'un mouvement qui ne s'est pas démenti : cette association, qui concernait quarante laboratoires le 1^{er} janvier 1966, en commençant par l'Institut de recherche mathématique avancée de Strasbourg, s'étend désormais à plus d'un millier d'unités mixtes de recherche...

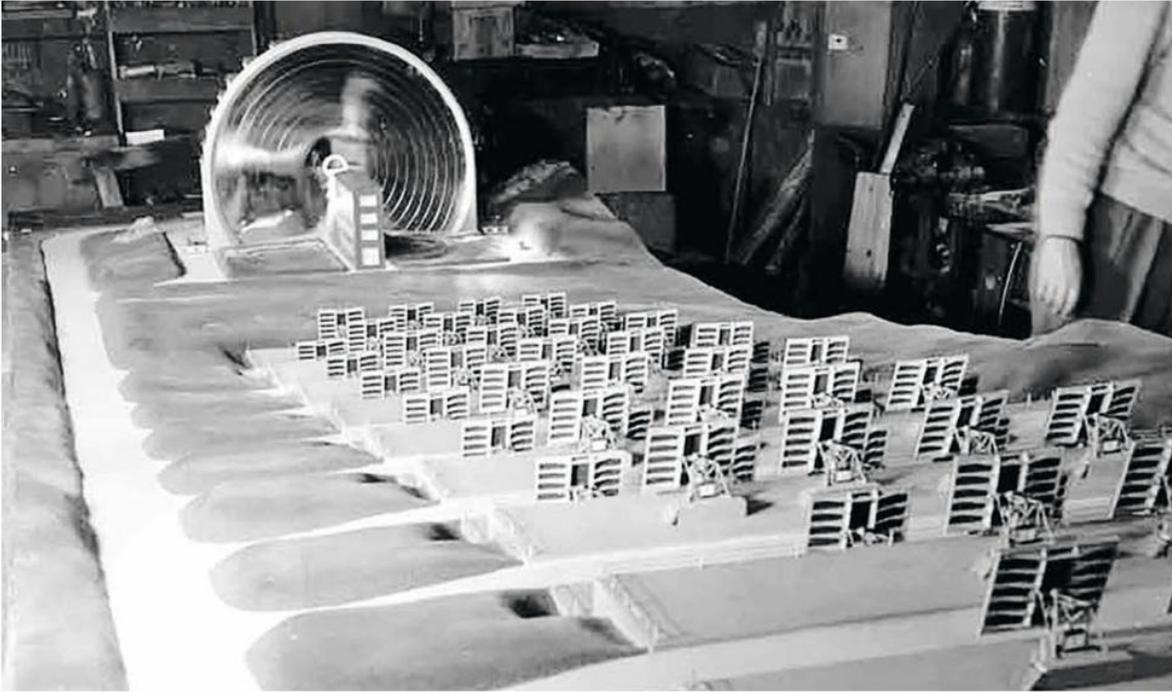


► Un appareil de résonance paramagnétique électronique au Centre de recherche sur les macromolécules de Strasbourg, en décembre 1963.
© Alice Bommer/CNRS Fonds historique

► Dans les années 1960, l'Institut de biologie physico-chimique (IBPC) s'équipe de matériel de pointe pour l'étude de la photosynthèse.
© Chevojon/IBPC

▼ Un chercheur de l'Institut de chimie des substances naturelles, fondé en 1959, à Gif-sur-Yvette.
© Jean-Noël REICHEL/ICSN /CNRS Fonds historique

Dans ce contexte, la recherche française, qui avait paru marquer le pas depuis la Libération, semble reprendre de la vigueur. Certains signes ne trompent pas : dans ce pays qui n'avait plus remporté de prix Nobel scientifique depuis celui d'Irène et de Frédéric Joliot-Curie en 1935, François Jacob, André Lwoff et Jacques Monod sont récompensés en 1965, Alfred Kastler en 1966 et Louis Néel en 1970. Certes, les travaux qui leur ont valu ces distinctions sont parfois antérieurs aux années 1960, début de la décennie précédente pour le pompage optique de Kastler, bien plus tôt encore pour la découverte de l'antiferromagnétisme et du ferrimagnétisme par Néel. Mais tout le monde se rejoint sur un constat : la France vient de renouer avec sa longue tradition scientifique ! Les années 1970 s'inscrivent dans le prolongement de la décennie gaullienne, en héritant des transformations que Mai 1968 a apportées dans le monde de la recherche¹¹. Certes, l'évolution des budgets du CNRS enregistre un coup d'arrêt après le départ du



général de Gaulle en 1969 : son successeur, Georges Pompidou, se révèle moins enthousiaste vis-à-vis de la recherche, et un poil rancunier face à la « *chienlit* » qui s'est emparée des laboratoires au cours des « *événements* ». De plus, l'établissement subit, à l'instar de tout le pays, le contrecoup du choc pétrolier de 1973 qui l'atteint au portefeuille : on est frappé, à la lecture des archives de l'époque, du nombre de plaintes lancées par des responsables d'unité devant leurs factures énergétiques.

Attentes et défis des années 1970

L'établissement reste cependant en mesure d'insuffler une puissante dynamique dans plusieurs directions. L'année 1975 est, à ce titre, révélatrice. Elle voit simultanément l'inauguration des « programmes interdisciplinaires de recherche », dont le premier, et ce n'est évidemment pas une coïncidence, est consacré au « développement de l'énergie solaire¹² », la prise en compte de la spécificité du domaine des « sciences pour l'ingénieur », avec la

création d'un secteur scientifique ad hoc et promis à un bel avenir au sein de l'établissement¹³, et une ouverture croissante vers l'industrie nationale, marquée entre autres par la signature d'accords-cadres avec de grandes entreprises – Rhône-Poulenc est la première d'une longue liste.

Un autre programme interdisciplinaire ne tarde pas à être initié, en 1979 : le « Piren », cette fois-ci autour de la recherche sur l'environnement, une préoccupation qui, comme chacun sait, ne cessera de croître au fil du temps. Toujours plus à l'écoute des attentes de la société, le CNRS parvient ainsi à se frotter de manière pionnière aux grands défis globaux – bien que ces attentes et ces enjeux soient souvent antagonistes, hélas... Mais là aussi, la recherche va avoir son mot à dire : l'histoire du CNRS n'en est à ce moment-là qu'au milieu de son parcours! ¶



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes

Le CNRS célèbre ses 80 ans

Visiter un observatoire perché sur le pic du Midi, assister à une conférence sur la culture punk ou à des rencontres musicales dédiées à la santé de nos oreilles... À l'occasion des 80 ans du CNRS, les laboratoires se sont mobilisés pour faire découvrir leurs travaux au plus grand nombre. Plusieurs centaines d'événements sont ainsi prévues toute l'année, en France mais aussi à l'étranger. Découvrez le programme complet et de nombreuses ressources sur le site anniversaire : 80ans.cnrs.fr

► Maquette d'un projet pour le four solaire d'Odeillo qui sera construit à Font-Romeu, dans les Pyrénées-Orientales.
© Promes

▼ Vue de nuit du four Odeillo, éclairé par des projecteurs.
© Cyril Frésillon/Promes/CNRS Photothèque

[1] *Quelques réflexions sur la science en France*, Louis Pasteur, Gauthier-Villars, 1871.

[2] *La Science au Parlement : les débuts d'une politique des recherches scientifiques en France*, Michel Pinault, CNRS Éditions, 2006.

[3] Lire « La science, entre tranchées et paillasses » : <https://lejournal.cnrs.fr/billets/les-scientifiques-entre-tranchees-et-paillasses>

[4] *Pour la haute intelligence française*, Maurice Barrès, Plon, 1925.

[5] *Souvenirs et Solitude*, Jean Zay, Belin, 2011.

[6] Procès-verbal de la réunion des comités directeurs du CNRS, 18 septembre 1944, Archives nationales.

[7] *Rêves de savants. Étonnantes inventions de l'entre-deux-guerres*, Denis Guthleben, Armand Colin, 2011.

[8] Cité par Alain Chatriot et Vincent Duclert (dir.), in *Le Gouvernement de la recherche. Histoire d'un engagement politique, de Pierre Mendès France à Charles de Gaulle (1953-1969)*, La Découverte, 2006.

[9] Pour une transcription complète du discours, lire *La Revue pour l'histoire*

du CNRS, n° 1, 1999 (<https://journals.openedition.org/histoire-cnrs/484>).

[10] Cet institut est vite accaparé par le ministère de l'Industrie, pour devenir l'Anvar. Lire « CNRS-industrie : un mariage de raison », in *Entreprises de haute technologie, État et souveraineté depuis 1945*, Denis Guthleben, ministère de l'Économie et des Finances, 2013.

[11] Lire « Sous les pavés, la science » : <https://lejournal.cnrs.fr/billets/sous-les-paves-la-science>

[12] « Coup de soleil au CNRS. La genèse du Pirides », Denis Guthleben, *La Revue pour l'histoire du CNRS*, n° 17 (été 2007) (<https://journals.openedition.org/histoire-cnrs/2221>)

[13] *Les Sciences pour l'ingénieur. Histoire du rendez-vous des sciences et de la société*, Girolamo Ramunni, CNRS Éditions, 1998.

À suivre

Retrouvez la suite de l'histoire du CNRS dans notre prochain numéro.



Les migrations à rebours des idées reçues



Le démographe François Héran, titulaire de la chaire Migrations et sociétés au Collège de France, bat en brèche nos idées reçues sur les migrations. Il revient sur l'accueil des réfugiés en Europe lors de la récente crise migratoire.

par Laure Caillolce

Vous êtes démographe et vous avez passé la majeure partie de votre carrière entre l'Institut national d'études démographiques (Ined) et l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Depuis quand travaillez-vous sur les migrations ?

François Héran : J'ai découvert ce sujet en 1976. Après des études de philosophie, j'ai fait une thèse d'anthropologie sur les transformations de la grande propriété agraire en Andalousie depuis le XVIII^e siècle, ce qui m'a amené à m'intéresser aux micropropriétaires qui vivaient en marge du système et qui, à cette époque, étaient nombreux à émigrer. J'ai étudié les facteurs qui poussaient à l'émigration les habitants de huit villages de montagne, dans l'arrière-pays de la Costa del Sol. Et ce que j'ai découvert m'a surpris : les plus pauvres, les analphabètes, les chargés de famille migraient peu ou seulement au sein de la région ; c'étaient les plus instruits, les plus jeunes, qui migraient au loin, vers la France ou l'Allemagne. Il y avait alors peu de travaux sur la migration, et les grands sociologues français tels Pierre Bourdieu, Raymond Boudon ou Alain Touraine ne l'abordaient guère, si ce n'est parfois à travers le prisme de la pauvreté. On ne parlait d'ailleurs pas d'immigrés mais d'étrangers.

C'est seulement à partir de 1993, lorsque j'ai pris la tête de la division des Enquêtes et des études démographiques de l'Insee, que j'ai retrouvé le sujet des migrations, et je ne l'ai plus quitté depuis : mon équipe élaborait les grands indices démographiques de la France, et notamment le solde migratoire. Notre travail n'était pas simple

► Arrivée de réfugiés syriens à Detroit, aux États-Unis.
© Salwan Georges/The New York Times-REDUX-REA



à l'époque. C'était juste après la chute du Mur de Berlin (*novembre 1989, ndlr*), et des rumeurs persistantes annonçaient l'arrivée massive de migrants depuis l'est de l'Europe. Pourtant, nous avons beau scruter les indicateurs, nous ne voyions rien venir. Pour la première fois, j'ai touché du doigt le décalage qui pouvait exister entre les craintes sur les migrations et la réalité statistique.

Vous évoquez le décalage entre la perception que l'on peut avoir des mouvements migratoires et la réalité des chiffres. Que disent aujourd'hui les statistiques sur le phénomène des migrations dans le monde ?

F. H. : J'aimerais rappeler ici la définition de l'immigré retenue par l'Organisation des Nations unies (ONU), l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ou la Banque mondiale, qui produisent ces recensements internationaux : les immigrants qu'un pays

enregistre sur son sol à un moment donné sont « *les personnes nées étrangères à l'étranger, qui ont passé la frontière dans l'intention de s'installer dans le pays hôte pour une durée d'au moins un an* ». La seconde génération, née sur le sol du pays hôte, n'est pas immigrée selon cette définition. Les immigrants naturalisés, en revanche, restent des immigrants aux yeux des statisticiens. Selon les derniers chiffres disponibles, on dénombre aujourd'hui près de 260 millions de migrants dans le monde. C'est 100 millions de plus qu'en 1990, mais il faut se souvenir que la population mondiale n'a cessé de croître sur cette période... En proportion, les immigrants représentaient 2,9 % de la population mondiale en 1990. Ils sont aujourd'hui 3,4 %, ce qui est peu. On peut majorer ce chiffre à 4 % pour tenir compte de la migration non déclarée. Cela veut dire que plus de 95 % de la population mondiale n'a pas bougé. On est donc loin du raz-de-marée décrit par certains.

▲ Le Loisaida Festival, fête des communautés portoricaine et hispanique à New York. Les États-Unis restent à ce jour le pays le plus attractif au monde.

© Edu Bayer/The New York Times-REDUX-REA

De même, l'idée selon laquelle ce sont les pauvres des pays du Sud qui fuient vers les pays riches du Nord est à nuancer fortement...

F. H. : La fameuse phrase que Michel Rocard a prononcée en 1989, selon laquelle « *on ne peut pas accueillir toute la misère du monde* » continue de sonner comme un slogan, mais elle ne décrit pas la réalité. Contrairement aux idées reçues, ce ne sont pas les populations des pays les plus pauvres, où l'on gagne en moyenne moins de 1 005 dollars par an et par personne, qui migrent le plus. Car pour migrer, il faut un minimum de moyens. Ce sont les pays aux revenus « moyens faibles » ou « moyens élevés », selon les catégories de la Banque mondiale, qui migrent le plus, soit entre eux, soit vers les pays aux revenus « élevés » affichant en moyenne 12 000 dollars de revenus annuels par personne. Au final, on a relativement peu de migration directe des pays les plus pauvres vers les pays les plus riches. La métaphore mécanique, qui voudrait que les flux de migrants s'écoulent des contrées pauvres vers les contrées riches ou des espaces surpeuplés vers les espaces sous-peuplés, ne décrit aucunement la réalité.

Quels sont les principaux couloirs migratoires dans le monde aujourd'hui ?

F. H. : Le plus important, de loin, est celui qui va du Mexique aux États-Unis : 12 millions d'immigrés mexicains sont aujourd'hui présents sur le sol états-unien. Les États-Unis restent le pays le plus attractif au monde. Ils accueillent également des diasporas considérables de Chinois, Philippins, Indiens ou Portoricains. Autre grand couloir, celui qui relie la Syrie à la Turquie et compte 3,3 millions de personnes. En Asie, celui qui relie l'Inde aux Émirats arabes unis représente 3,3 millions de personnes, et celui qui va du Bangladesh à l'Inde 3,1 millions. L'Afrique

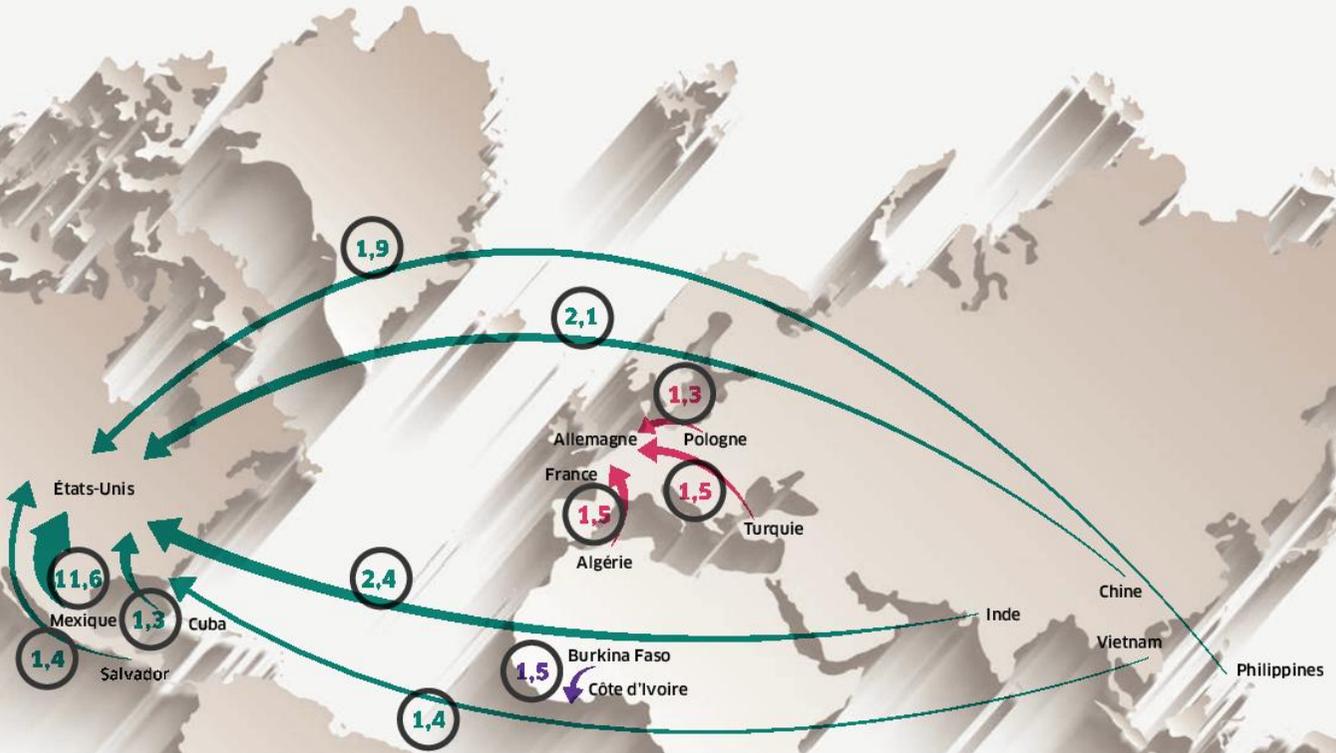
n'a, elle, qu'un seul grand couloir migratoire : il mène du Burkina Faso à la Côte d'Ivoire et recense 1,3 million de personnes. L'Afrique subsaharienne migre assez peu en dehors du continent africain : 75 % de la migration subsaharienne reste cantonnée à la zone Afrique, tandis que 16 % de cette migration seulement est recensée en Europe.

Quelle est la situation migratoire en France ?

F. H. : La France est une terre d'immigration depuis la deuxième moitié du XIX^e siècle, ce qui fait d'elle une exception au sein de l'Europe. Au XIX^e siècle, en effet, les autres pays européens étaient tous des terres d'émigration, vers le Nouveau Monde notamment. Les Belges ou les Italiens au XIX^e siècle, suivis des Polonais à partir des années 1930, des Espagnols, puis des Marocains et des Algériens dès les années 1950 sont venus travailler dans nos fermes, nos usines, nos mines... Depuis la crise pétrolière et l'interdiction en 1974 de la migration de travail dans notre pays (sauf dérogation), nous ne recevons plus désormais qu'une migration alimentée par les droits de l'homme. Elle est liée aux différentes conventions internationales que nous avons signées, comme la Convention européenne des droits de l'homme, qui établit qu'un immigré a le droit d'avoir sa famille auprès de lui, ou la Convention de Genève sur le droit d'asile. En France, moins de 10 % des titres de séjour sont délivrés chaque année pour le motif du travail (20 000 titres en moyenne). Le reste se répartit entre les étudiants (90 000 par an), le regroupement familial et le mariage d'un Français avec un non-national (90 000 par an), et les personnes accueillies pour des raisons humanitaires (moins de 20 000 par an avant la crise ouverte en 2015). Ces chiffres sont restés

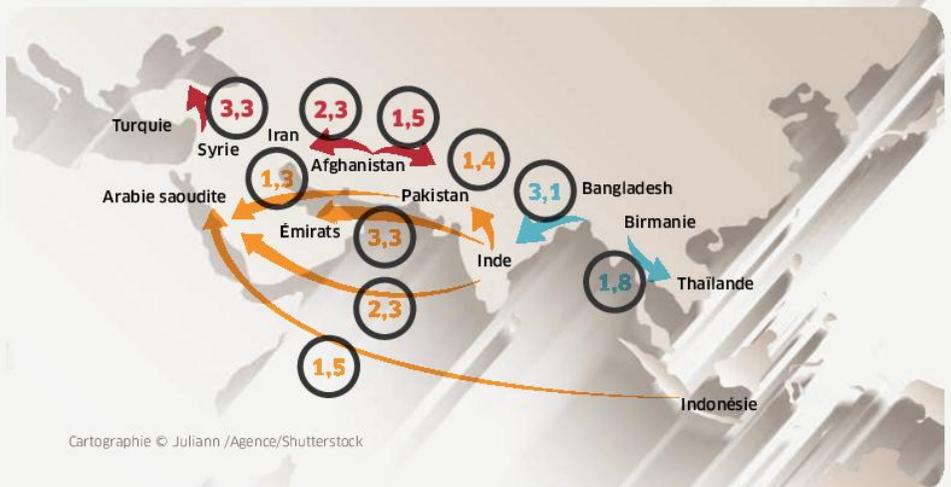
Les principaux couloirs migratoires dans le monde

(en millions de personnes installées dans le pays de destination)



Les démographes ne disposent pas de données sur les flux de migrants. Les chiffres fournis ici désignent toutes les personnes nées à l'étranger et installées dans le pays-hôte depuis au moins un an. Par exemple, il y a actuellement 11,6 millions d'immigrés mexicains sur le sol américain.

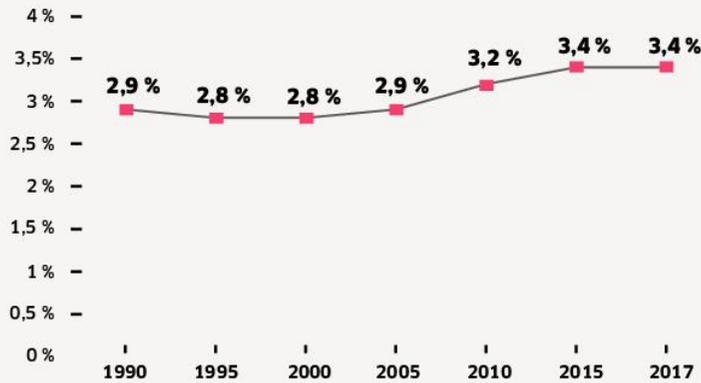
Source : Base bilatérale des migrations (ONU, Banque mondiale, FMI, OCDE), année 2015



Cartographie © Juliann /Agence/Shutterstock

La proportion de migrants dans le monde

(en pourcentage de la population totale)



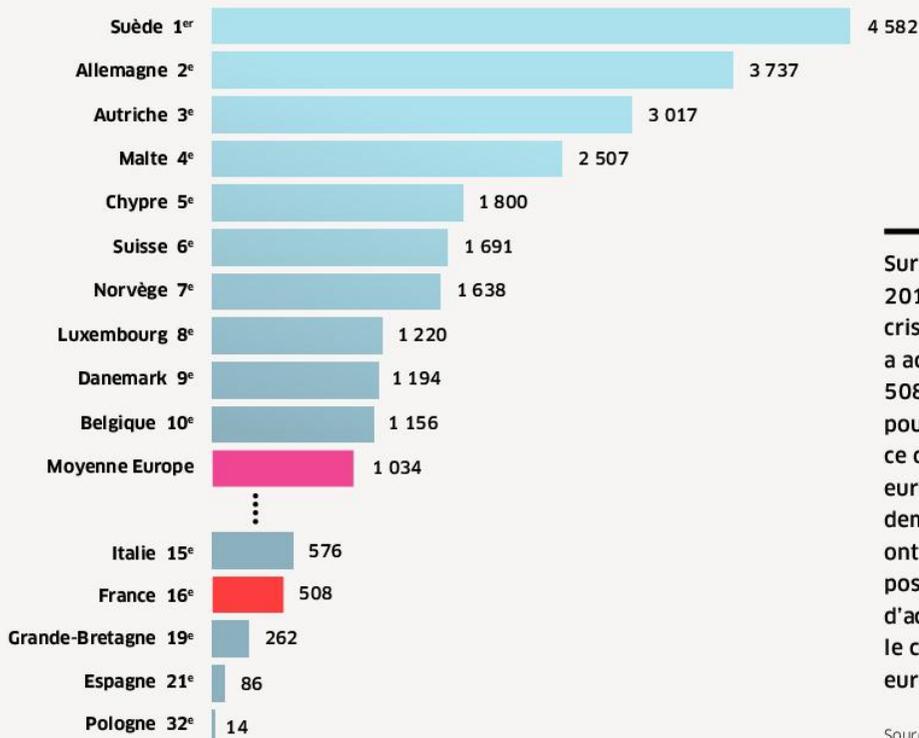
La proportion de migrants dans le monde par rapport à la population totale est restée relativement stable depuis les années 1990.

Leur nombre absolu est quant à lui passé de 152,5 millions de migrants en 1990, à 257,7 millions pour l'année 2017.

Source : ONU, division de la population, révision 2017

Crise des migrants en Europe statuts de réfugiés accordés en 2015-2016-2017

(nombre de décisions par million d'habitants)



Sur la période 2015-2017, au plus fort de la crise migratoire, la France a accordé seulement 508 statuts de réfugiés pour 1 million d'habitants, ce qui la place au 16^e rang européen. Seules 25 % des demandes d'asile déposées ont reçu une réponse positive en France - un taux d'acceptation faible si on le compare à la moyenne européenne, qui est de 53 %.

Source : Eurostat / F. Héran



stables depuis le début des années 2000, au contraire de l'Allemagne, par exemple, où chaque crise migratoire (guerres de l'ex-Yougoslavie, conflit du Kosovo, conflit syrien...), provoque une affluence spectaculaire de migrants que les Allemands s'efforcent d'accueillir.

Certains représentants politiques français réclament la mise en œuvre, comme au Canada, d'une politique de quotas et d'une immigration « choisie ». Est-ce réalisable dans notre pays ?

F. H. : Contrairement à la France, le Canada accueille une importante migration de travail : 28 % des titres de séjour sont attribués pour cette raison, auxquels s'ajoutent 34 % de titres attribués d'emblée aux conjoints et aux enfants – soit 62 % de tous les titres de séjour accordés. Si le Canada sélectionne en effet les personnes qu'il accueille au titre du travail, c'est sur une liste de critères (niveau de langue, niveau d'études, type d'emploi

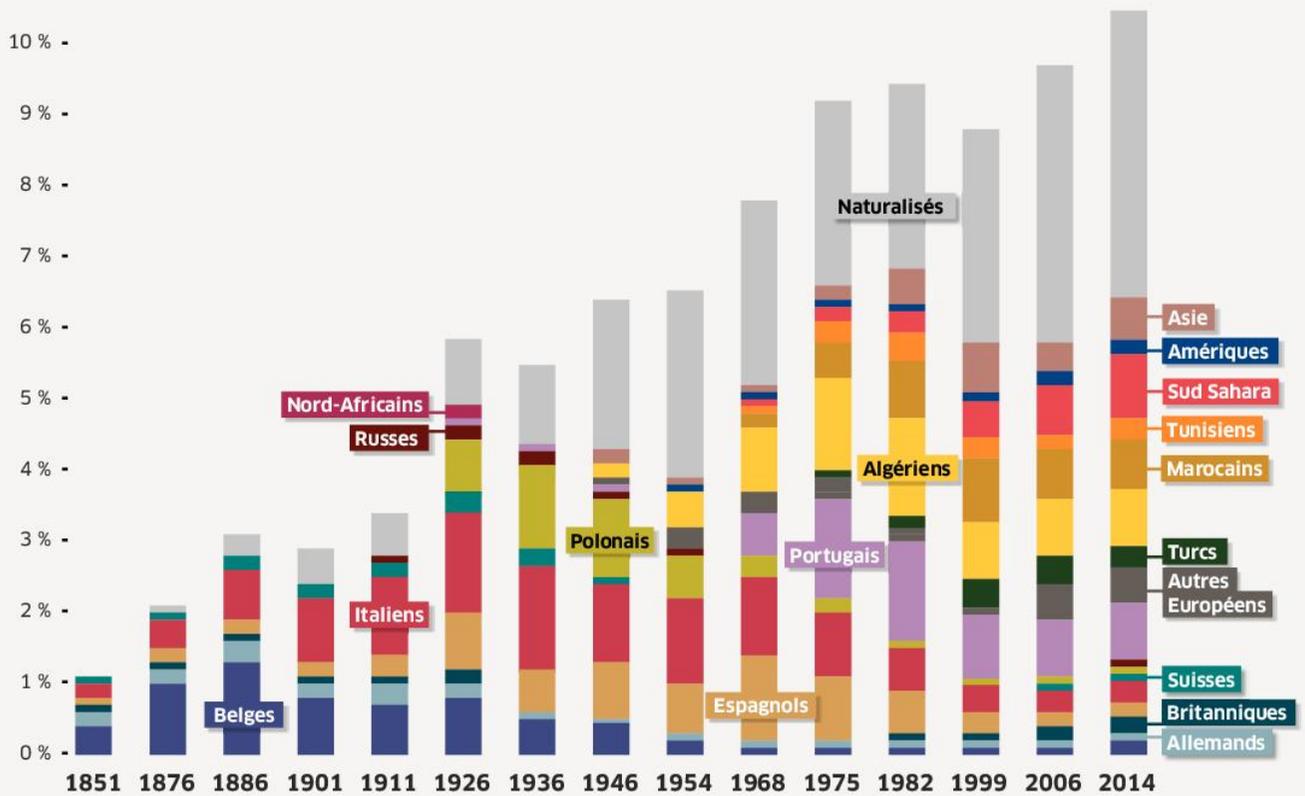
recherché...) qui ne tient pas compte du pays d'origine. Les Canadiens ne parlent d'ailleurs pas de « quotas » mais d'« objectifs » à atteindre, fixés à des niveaux très élevés : 300 000 entrées par an, en moyenne. Rien à voir avec l'idée de quotas agitée par certains parlementaires français, qui y voient tout au contraire un plafond à fixer au plus bas. C'est un paradoxe : les Canadiens sélectionnent fortement la migration de travail, mais pour en accueillir cinq à six fois plus que nous, compte tenu des différences de population.

Revenons sur l'accueil des réfugiés, qui divise l'Europe depuis 2015 et le début de la « crise migratoire ». Quel en est le bilan en Europe, et en France en particulier ?

F. H. : Si l'on cumule les années 2015, 2016 et 2017, l'Union européenne a accordé le statut de réfugiés à 1 million de demandeurs d'asile. Les deux pays qui ont accordé le plus de statuts de réfugiés relativement à la taille de

Les immigrés en France depuis 1851

(en pourcentage de la population totale)



La France est une terre d'immigration depuis la deuxième moitié du XIX^e siècle, ce qui fait d'elle une exception au sein de l'Europe. La plupart des autres pays, Italie, Belgique, Allemagne, Grande-Bretagne, Irlande, Espagne... , étaient des terres d'émigration, pour des raisons essentiellement économiques ou religieuses.

Source : Insee / F. Héran

► Demandeurs d'asile soudanais et érythréens à Nantes, en 2018. Depuis l'interdiction en 1974 de la migration de travail dans l'Hexagone (sauf dérogation), la France ne reçoit plus désormais qu'une migration alimentée par les droits de l'homme.
© Sébastien Salom Gomis/AFP



leur population sont la Suède (4580 protections accordées pour 1 million d'habitants) et l'Allemagne (3 740 protections pour 1 million d'habitants). La moyenne européenne s'établit à 1030 statuts de réfugiés accordés pour 1 million d'habitants. La France, pour sa part, s'est contentée d'accorder 508 protections pour 1 million d'habitants, ce qui nous place au 17^e rang européen. Peut-être avons-nous été moins sollicités que d'autres pays, me direz-vous... Pour le savoir, il faut regarder le taux d'acceptation des demandes d'asile en Europe sur ces trois années. Il s'établit, en moyenne, à 53 % pour l'ensemble de l'Europe, le maximum est atteint par les Pays-Bas (68 %) et le minimum par la Pologne (13 %). La France n'a accepté pour sa part que 25 % des demandes d'asile déposées, ce qui nous place au 27^e rang européen. Certes, les Syriens représentaient seulement 4 % des demandeurs d'asile en France, contre 33 % en Allemagne, mais cette différence ne suffit

pas à expliquer une position aussi basse dans le classement.

On le comprend, le sujet des migrations est plein de nuances et supporte mal les généralisations. Quel est, selon vous, le rôle de la recherche sur ces questions ?

F. H. : Le niveau de connaissance de la société est très faible sur les questions migratoires. Peu de nos concitoyens et de nos politiques savent par exemple que la France, proportionnellement à sa population, accueille finalement très peu de demandeurs d'asile. Les taux d'acceptation sont pourtant tirés des données d'Eurostat, établies grâce aux chiffres communiqués officiellement par chaque pays ! Les chercheurs doivent unir leurs efforts pour établir les faits, en croisant leurs points de vue, qu'ils soient géographes, sociologues, historiens, économistes, spécialistes en santé publique... C'est l'objectif de l'Institut convergences migrations¹ que je dirige depuis

► Comme l'Australie et la Nouvelle-Zélande, le Canada accueille une importante migration de travail. Si ce pays sélectionne les migrants qu'il accueille (niveau de diplôme, emploi recherché...), il fixe des objectifs à atteindre élevés : 300 000 entrées par an.

© Peter Dasilva/The New York Times-REDUX-REA

sa création, fin 2017, et qui fédère 280 chercheurs issus de 120 laboratoires différents. D'ailleurs, nous échangeons régulièrement avec les journalistes qui sont des maillons essentiels de cette diffusion de la connaissance. Nous avons également ouvert, à l'automne 2018, un nouvel espace sur notre site, baptisé « De facto », sur lequel nous publions chaque mois des données destinées au grand public.

La première série de données, publiée en novembre 2018 sur « De facto », est consacrée au thème du retour dans le pays d'origine. On y apprend que plus on ferme les frontières, plus le taux de retour des migrants diminue.

F. H. : C'est ce qui se passe depuis que l'on a arrêté la migration de travail, en 1974. Les migrants qui faisaient des allers-retours avec leur pays d'origine ont eu peur de ne plus pouvoir revenir en France et ont commencé à faire venir leur famille. Le regroupement familial s'est consolidé et a fixé ces immigrés sur notre sol. L'idée de l'« appel d'air » créé par une politique de visas trop généreuse se révèle donc fautive : la fermeture des frontières accroît le nombre des immigrés au lieu de le réduire. Cela a été confirmé il y a peu par la grande enquête européenne *Migrations entre l'Afrique et l'Europe*, menée dans les pays de départ et d'arrivée. Les chercheurs y montrent clairement que le taux de retour en Afrique des Africains a diminué depuis que l'on a réduit le nombre des visas.

Vous souhaitez, avec d'autres, la création d'un Giec des migrations. Une première réunion de travail a d'ailleurs été organisée le 10 décembre 2018 à Paris. De quoi s'agit-il plus précisément ?

F. H. : Trois chercheuses, Virginie Guiraudon², Hélène Thiollet³ et Camille Schmall⁴, sont

à l'origine de cet appel qui a été relayé par l'Institut convergences migrations et signé par huit cents spécialistes du domaine. L'idée est de constituer un groupe d'experts européen et on l'espère, à terme, mondial, sur la question des migrations et de l'asile. Vu la complexité des questions migratoires et la diversité des situations d'un pays à l'autre, nous pensons qu'il est nécessaire de créer un réseau de référence fort au niveau européen pour répondre à des interrogations simples. Par exemple, quel est le bilan de l'accueil des demandeurs d'asile en Europe ? Quel est le bilan de l'intégration des immigrés et comment la mesurer efficacement ? Que peut-on faire pour combler nos lacunes sur la mesure des migrations irrégulières ou sur leur ampleur ? Nous voulons aussi étudier la possibilité de lancer des expérimentations, notamment sur l'effet d'une politique de visas circulants facilitant les allers-retours entre pays d'accueil et pays d'origine. Le défi est immense, car la politique migratoire relève encore de la souveraineté des États. ▽

[1] L'Institut convergences migrations, créé fin 2017, fédère 280 chercheurs issus de 120 laboratoires. icmigrations.fr

[2] Centre d'études européennes et de politique comparée (CNRS/Sciences-Po Paris).

[3] Centre de recherches internationales (CNRS/Sciences-Po Paris).

[4] Géographie-cités (CNRS/Université Paris-1 Panthéon-Sorbonne/Université Paris-Diderot).

Contrairement à ce que l'on pensait, il suffit de quelques secondes pour qu'un souvenir se forme. Une fois enregistré, celui-ci peut être modifié ou rendu inaccessible, mais il ne s'efface pas. Explications avec Pascale Gisquet-Verrier et David Riccio dont les récents travaux reviennent ainsi sur le dogme de la consolidation de nos souvenirs.

Nos souvenirs, c'est pour la vie !

Les auteurs David Riccio enseigne la psychologie à l'Université du Kent, dans l'Ohio. Pascale Gisquet-Verrier est directrice de recherche à l'Institut des neurosciences Paris-Saclay¹.

[1] Unité CNRS/Université Paris-Sud/Université Paris-Saclay.

Avoir la mémoire qui flanche, cela peut arriver à n'importe qui... oui mais pourquoi ? Depuis les années 1960, un modèle domine la littérature en neurosciences pour expliquer le stockage des souvenirs : l'hypothèse de la consolidation, devenue véritable dogme. Selon celui-ci, une information ne se fixe pas immédiatement dans notre mémoire, mais progressivement : elle se fait par étapes, longues et complexes. Si on interrompt ce processus, en perturbant l'activité cérébrale, l'« enregistrement » d'un souvenir tout frais serait compromis... Nos récents travaux¹ montrent que ce dogme mérite une sérieuse révision.

Le « dogme » de la consolidation des souvenirs

Nous avons étudié l'ensemble des publications ayant conduit au modèle de la consolidation, à commencer par celles des années 1960. Nombre d'entre elles exposent des expériences conduites sur les animaux (rats, souris, etc.) auxquels on administre des traitements perturbant le fonctionnement cérébral (des électrochocs ou un produit anesthésique par exemple) juste après les avoir poussés à apprendre quelque chose (trouver le bon chemin dans un labyrinthe, etc.). Résultat : le traitement conduit à une amnésie d'autant plus forte qu'il est délivré dans un délai court

▼ Selon les récents travaux de Pascale Gisquet-Verrier et David Riccio, de nombreuses expériences sur la mémoire menées ces dernières décennies sur des rongeurs ont été mal interprétées.

© Rubberball/Mike Kemp/Getty Images

NOS SOUVENIRS, C'EST POUR LA VIE!



après l'apprentissage. Et si le délai dépassait une à deux heures, le souvenir n'était pas perturbé du tout. L'interprétation proposée fut que tout souvenir est fragile pendant une période d'une à deux heures après sa formation et que sa fixation peut être compromise par des traitements délivrés pendant cette phase dite de « consolidation ».

Plus tard, dans les années 1980-1990, les recherches se sont focalisées sur les bases biologiques de ce modèle de consolidation. Les neurones du cerveau et les molécules échangées au niveau des synapses (boutons de connexions, plus ou moins fortes, entre les neurones) y jouent un rôle capital. Les travaux de cette époque ont en effet conclu que les cascades moléculaires qui se mettent en place après un apprentissage conduisent à l'établissement d'un réseau neuronal largement distribué dans le cerveau et stabilisé grâce à l'élaboration de nouvelles protéines permettant la création de nouveaux contacts synaptiques. En conséquence, ce réseau, aux contacts synaptiques renforcés par la consolidation, serait bien le substrat biologique des souvenirs.

Dans les années 2000, des études ont ensuite suggéré l'existence d'un processus similaire appelé « reconsolidation ». Celui-ci prend place lors du rappel de souvenirs anciens : une odeur, la vue d'un détail, un goût particulier (comme celui des madeleines pour Marcel Proust...), etc. réactiverait certains souvenirs et permettrait leur mise à jour. Cela signifie que lorsqu'un souvenir, déjà consolidé, est réactivé, il redeviendrait fragile et modifiable avant d'être restabilisé (reconsolidé) dans la mémoire. Selon ce dernier scénario, il serait même possible, via des agents amnésiants (électrochocs, substances pharmaceutiques, etc.) d'effacer des souvenirs anciens, ce qui a conduit à des espoirs thérapeutiques, notamment pour des souvenirs pathologiques comme les troubles de stress traumatique².

La dépendance de l'état

C'est ce modèle de consolidation/reconsolidation qui vient d'être remis en question. Notre étude, qui synthétise et complète différents résultats précédents, montre en effet que les données de la littérature scientifique sur lesquelles repose cette hypothèse n'ont pas été analysées correctement. Dans ces expériences, on constatait aussi que donner une deuxième fois le traitement censé perturber la consolidation produisait un résultat inattendu : aucune amnésie n'était plus constatée ! Ce second traitement est donné juste avant de tester l'animal pour savoir s'il se souvient de ce qu'on

Certains événements, comme l'état induit par des drogues, sont tellement importants qu'en leur absence, le sujet n'est pas capable de retrouver le souvenir.



▼ Dans le film *Eternal Sunshine of the Spotless Mind* (Michel Gondry, 2004), le personnage interprété par Jim Carrey fait appel à une étrange clinique spécialisée dans l'effacement des souvenirs.

© Focus feature/Anonymous content/DR/
Collection Christophe L

lui a appris. Cela signifie qu'en réalité, le souvenir existe bel et bien, mais que pour y avoir accès, il faut replacer le sujet dans le même état que celui dans lequel il se trouvait au moment de l'enregistrement de ce souvenir. En somme, le traitement utilisé comme perturbant (drogue, électrochocs, etc.) « fait partie » du souvenir, ou plutôt : il modifie l'état du sujet et c'est cet état qui est intégré au souvenir. C'est un phénomène bien connu appelé « dépendance de l'état ». On sait depuis longtemps que les informations acquises sous l'emprise de l'alcool ou d'une drogue sont mieux retenues lorsque le sujet est de nouveau sous l'influence de ces produits, qu'en leur absence. Comment se fait-il qu'on ne l'ait pas découvert plus tôt ? Nous expliquons dans notre publication que cette hypothèse a été formulée il y a très longtemps, mais elle n'a pas été retenue tant le scénario de la consolidation était cohérent et populaire. Surtout, il faisait parfaitement écho aux premières études sur les bases cellulaires et moléculaires de l'apprentissage et sur le modèle de la plasticité synaptique³ (la potentialisation à long terme), découvert pendant les mêmes périodes. Une autre raison pour laquelle cette hypothèse n'a pas été retenue est que contrairement aux études sur la dépendance de l'état, dans le cas de l'amnésie, la drogue est administrée après l'apprentissage, et non avant.

Il faut donc admettre qu'une des grandes caractéristiques des nouveaux souvenirs n'est pas leur fragilité mais leur malléabilité, c'est-à-dire leur capacité à intégrer des informations contemporaines de l'événement à mémoriser. Certains de ces événements, comme l'état induit par des drogues, sont tellement importants qu'en leur absence, le sujet n'est pas capable de retrouver le souvenir. Ce qui est très intéressant, c'est que cette période de malléabilité que l'on constate au moment de la formation du souvenir est également obtenue lorsque l'on réactive un souvenir ancien. C'est grâce à ce processus que l'on peut actualiser nos souvenirs, en ajoutant de nouvelles informations qui n'effacent pas les premières, mais viennent en complément.

Des souvenirs malléables

Ce processus d'intégration fondé sur la malléabilité des souvenirs actifs (état des souvenirs pendant leur formation initiale et leur réactivation) constitue la caractéristique majeure de la mémoire et permet d'expliquer l'ensemble des modulations de souvenirs décrits dans la littérature, comme l'amnésie expérimentale, l'interférence, les faux souvenirs, et permet de nouveaux espoirs thérapeutiques que nous avons commencé à explorer avec succès.

Au final, le concept d'intégration que nous défendons modifie considérablement la donne. Selon celui-ci, la formation des souvenirs est très rapide (elle s'évalue probablement en secondes et non en heures). Elle ne dépend pas de la synthèse de nouvelles protéines. Les modifications synaptiques qui accompagnent la formation des souvenirs ne constituent pas le support de la trace mnésique, mais témoignent seulement de l'activité de la région. Les souvenirs ne sont pas fragiles et ne peuvent pas être effacés. Mais les souvenirs anciens peuvent être modifiés et rendus inaccessibles. Ce concept rend à la mémoire son caractère dynamique et flexible qui caractérise le fonctionnement cérébral. 7

[1] « *Memory integration: An alternative to the consolidation/reconsolidation hypothesis* », *Progress in neurobiology*, P. Gisquet-Verrier, D. Riccio, mis en ligne le 18 octobre 2018.

[2] Ces expériences marchent très bien chez l'animal mais ne sont pas utilisées chez l'humain compte tenu de la toxicité de la plupart des traitements. Seul le propranolol (un bêtabloquant) a permis divers succès et est actuellement testé dans l'étude Paris MEM réalisée sur les personnes impliquées dans l'attentat du Bataclan. Notre équipe a par ailleurs commencé à explorer d'autres traitements chez l'animal et chez l'humain, en collaboration avec le service de psychiatrie de l'hôpital Saint-Antoine, à Paris, avec de premiers résultats très encourageants.

[3] Propriété que les synapses (connexions entre les neurones) ont de pouvoir se former ou disparaître, se renforcer ou s'affaiblir.

La face cachée de la pollution plastique

Bidons, bouteilles, tongues... Ces déchets que l'on trouve en nombre sur les plages du monde entier ne sont que la partie visible de la pollution plastique qui frappe les océans. On y trouve aussi de nombreux plastiques invisibles à l'œil nu, dont les nanoplastiques, inférieurs au millième de millimètre. Les scientifiques du projet Pepsea, coordonné par Julien Gigault du laboratoire Géosciences Rennes¹, mènent l'enquête en Guadeloupe pour mieux comprendre l'origine et la transformation de ces fines poussières de plastique ainsi que leur impact sur les écosystèmes.

[1] Unité CNRS/Université de Rennes-1.





Chaque année dans le monde, plus de 9 millions de tonnes de déchets plastiques sont déversées dans les océans. Pour étudier l'impact des nanoplastiques sur un écosystème, la Guadeloupe est un terrain d'étude précieux : un territoire limité, des sites variés (plages, mangroves) et des sources diverses de pollution (courants océaniques, décharge).



A person wearing a blue t-shirt with a 'MONT BLANC VALLEY' logo, a blue cap with 'NVA' on it, and light-colored shorts is kneeling on a beach. The beach is heavily littered with dark brown seaweed and numerous pieces of colorful plastic waste, including bottle caps and small fragments. The person is holding a black plastic bag, likely to collect the trash. In the background, the ocean is a vibrant turquoise color, and the sky is a clear, pale blue. The overall scene illustrates the impact of plastic pollution on coastal environments.

Cette plage est ainsi exposée au gyre de l'Atlantique Nord, un vaste ensemble de courants océaniques accumulant d'immenses quantités de plastiques. Parmi tous ces déchets, ce sont les nanoplastiques, dont le comportement et l'impact sont mal connus, qui intéressent les chercheurs du projet Pepsea.



Pour connaître précisément les origines de ces fragments, les scientifiques analysent les métaux qui leur sont associés. La quantité et la nature de ces derniers sont autant d'indices sur le cheminement des nanoplastiques jusqu'à cette plage.

A person wearing a blue bucket hat is partially submerged in clear, turquoise ocean water. They are holding a black electronic device with a white probe, likely a water quality meter, which is submerged in the water. The background shows the vast expanse of the ocean under a bright sky.

Des mesures du pH, de la conductivité et de la teneur en oxygène de l'eau complètent ces données. Les scientifiques veulent aussi cerner la capacité des nanoplastiques à piéger des métaux et donc à véhiculer d'autres types de polluants.



A person wearing a light-colored long-sleeved shirt, blue pants, and a light-colored bucket hat is seen from behind, sitting in a bright yellow kayak on a narrow waterway. The water is dark green and reflects the surrounding dense mangrove forest. The trees have thick, dark green foliage and visible prop roots extending into the water. The scene is captured in a cinematic style with soft lighting.

Pour les chercheurs, les mangroves représentent un véritable laboratoire à ciel ouvert qu'ils parcourent avec leur instrument de mesure installé sur une planche de surf. Les conditions physico-chimiques de l'eau (salinité, température, pH) y sont très variables en fonction de la distance à la mer. Autant de paramètres qui influent sur le devenir des nanodéchets.





Pour comprendre l'impact des nanoplastiques sur le vivant, les scientifiques examinent différentes espèces, notamment les palétuviers et leurs racines.



Tetra
Marine Salt
NEW!

FL



Des moules vont être prélevées, mais aussi des gastéropodes, des crabes ou encore des huîtres. Des analyses en laboratoire permettront de savoir si ces organismes ont été affectés par des nanoplastiques.





Grâce aux données récoltées, les scientifiques peuvent étudier en laboratoire le comportement des nanoplastiques dans un contexte bien contrôlé. Ils espèrent ainsi répondre à de nombreuses questions en suspens sur cette pollution particulière et encore mal cernée.



Photos © Cyril Frésillon/Pepsea/CNRS Photothèque
sauf première et dernière © Bruno Kancel/Aéro Worx

Historien et archéologue spécialiste de l'Afrique, François-Xavier Fauvelle vient d'être élu professeur au Collège de France : une nouvelle occasion pour lui de combattre les préjugés sur ce continent et d'en rafraîchir la représentation.

Un autre regard sur l'histoire de l'Afrique

Propos recueillis par Fabien Trécourt

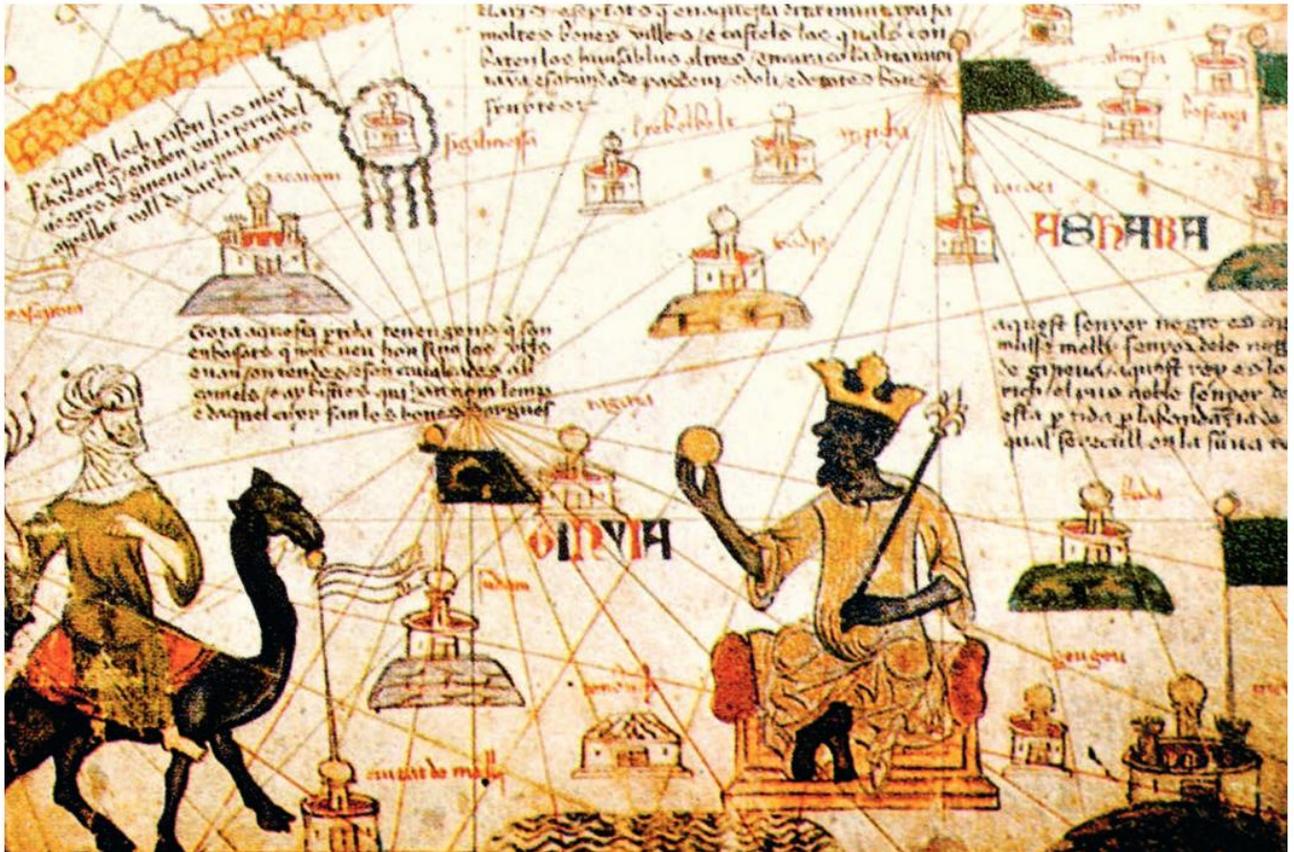


Photo d'ouverture L'*Atlas catalan* (détail), réalisé vers 1375 par des cartographes juifs de Majorque aux Baléares, est aujourd'hui conservé à la Bibliothèque nationale de France. Il figure le monde périméditerranéen, et notamment les pays du Sahel. Le sultan Musa, qui arbore une boule d'or dans la main, est décrit comme le détenteur des mines d'or d'Afrique de l'Ouest qui alimentaient le commerce transsaharien.

© Pictures from History/AGK-Images

Vous venez d'être élu au Collège de France. Quels sont les enjeux de l'enseignement de l'histoire africaine ?

François-Xavier Fauvelle¹ : C'est une énorme responsabilité, je suis heureux mais aussi très intimidé ! L'Afrique passe pour un continent qui « ne serait jamais sorti de l'histoire » ou qui ne serait rien de plus que le berceau à jamais primitif de l'humanité. Tout l'enjeu est de lutter contre ces clichés, en tenant un discours à la fois pédagogique et à la pointe de la recherche. Je pense y être parvenu dans mes conférences et mes ouvrages de vulgarisation, notamment le dernier² qui retrace vingt mille ans d'histoire africaine et rassemble les contributions des meilleurs spécialistes au monde. J'aimerais dans cet esprit organiser des séminaires collectifs et inviter de nombreux chercheurs au sein de cette formidable vitrine qu'est le Collège de France. Nous devons montrer que les recherches sur l'Afrique sont un champ dynamique et pluriel, à l'image de la diversité des récits historiques que l'on peut en faire. Car, de même qu'une « histoire de l'Europe » serait parcellaire, celle d'un espace trois fois plus grand ne peut se réduire à quelques généralités au mieux naïves, et parfois méprisantes.

Comment souhaitez-vous combattre ces idées reçues ?

F.-X. F. : Avec pédagogie, d'autant qu'une large partie du public a soif de connaissances. Dire que l'Afrique n'a pas d'histoire est tout simplement faux d'un point de vue factuel : on peut parfaitement faire le récit de ses régimes politiques, de ses activités économiques et culturelles, ou encore de sa démographie et de ses mouvements de population. Une autre idée reçue est plus insidieuse car faussement bienveillante : l'Afrique serait essentiellement le « continent

des origines ». D'une part, c'est oublier que l'histoire s'y est poursuivie jusqu'à aujourd'hui ! Il y a toute une préhistoire, un Moyen Âge et une modernité à raconter. D'autre part, et c'est sans doute plus grave, cette image tend à enfermer le continent dans une représentation primitive, naturalisée et ethnicisée – que l'on retrouve jusque dans les scénographies de nos musées d'ailleurs. L'homme africain passe ainsi pour le « bon sauvage », encore en proie aux caprices de son environnement, toujours un peu démuné sans l'aide de colons blancs et européens pour lui apporter la civilisation et le progrès... Ces stéréotypes doivent beaucoup au fait que l'histoire africaine a longtemps été conçue et jaugée à l'aune de celle de l'Europe. Cela revient à plaquer une grille d'analyse inadaptée sur ce territoire, au lieu de se laisser porter par sa spécificité.

Pourquoi les histoires de ces deux continents ne seraient-elles pas comparables ?

F.-X. F. : Vous pouvez tout comparer, mais interpréter des réalités locales à la lumière de ce qui s'est passé ailleurs est une source d'erreurs. Prenons un exemple : dans l'espace eurasiatique, les sociétés sont généralement passées par les mêmes stades de développement. Les chasseurs-cueilleurs inventent les premiers outils, puis commencent à se sédentariser, à développer l'agriculture et l'élevage, etc., si bien que, au Moyen Âge, ils ont totalement disparu. Cette trajectoire est presque partout la même en Eurasie, l'ordre des révolutions ne change quasiment pas. Mais l'Afrique, elle, n'obéit pas du tout à ce schéma ! Le continent se caractérise au contraire par une incroyable diversité d'évolutions et de trajectoires socio-culturelles, irréductibles à la dynamique de l'histoire européenne – Paléolithique, Mésolithique,



▼ François-Xavier Fauvelle.
© Hannah Assouline/Opale via Leemage

▼ Homme et femme Khoïsan ou Hottentot, une société pastorale d'Afrique du Sud, gravure tirée du Voyage de François Le Vaillant dans l'intérieur de l'Afrique, par le cap de Bonne-Espérance, 1790.

© Musée national des arts africains et océaniens/De Agostini/Getty Images



▲ Un prêtre orthodoxe tourne les pages d'un manuscrit dans l'église de Na'akuto La'ab, située à 4 kilomètres au sud-est de Lalibela, dans l'Amhara, en Éthiopie.
© Eric Lafforgue/Art in All of Us/Corbis via Getty Images

Néolithique... Si vous plaquez cette évolution sur le continent, vous ne comprenez plus rien ; et un mauvais réflexe à longtermes consisté à en déduire que l'Afrique n'avait pas évolué, que « le sens de l'histoire » en était absent – comme s'il devait être unique. En réalité, tout l'enjeu est d'apprendre à inventer de nouvelles grilles d'analyse pour l'Afrique, mais aussi à renverser nos perspectives : pourquoi l'histoire eurasienne présente-t-elle une si forte uniformité des trajectoires, des techniques, des systèmes de parenté ou encore des langues ? L'exemple africain nous montre pourtant qu'une autre voie était possible.

Dans le contexte actuel, faut-il entendre ces analyses comme un plaidoyer pour une meilleure reconnaissance des particularismes et contre un universalisme qui serait aveugle à son propre ancrage culturel ?

F.-X. F. : Pas nécessairement. J'ai fait par exemple couler beaucoup d'encre parce que je parlais de « Moyen Âge africain ». Cette dénomination chronologique correspond certes plutôt à une réalité européenne, mais l'enjeu essentiel n'était pas là à mes yeux. Pour toute période donnée, les régions du monde restent nécessairement connectées les unes aux autres. Les situer dans une même réalité temporelle, un « Moyen Âge global » pour ainsi dire, est paradoxalement une façon de valoriser une conception multipolaire de l'histoire. Car il est vrai que nous devons encore nous départir d'une vision trop centrée sur l'Europe, qui fait de l'Afrique une sorte de « province du monde ». En réalité, l'une est la périphérie de l'autre selon le point de vue que vous adoptez. C'est cela qui est important, plus qu'un débat sémantique sur nos conventions chronologiques... S'agissant plus généralement des questions identitaires et des conflits de mémoire

« Tout l'enjeu est d'apprendre à inventer de nouvelles grilles d'analyse pour l'Afrique, mais aussi à renverser nos perspectives. »

qui traversent notre société, il me semble que nous gagnerions à accepter une pluralité dans la narration que nous faisons de notre histoire. Tout le monde choisit ses ancêtres dans sa généalogie, en fonction des enjeux présents. Chaque collectif, famille ou nation se construit ainsi une mémoire, un roman historique qui est assez ouvert pour incorporer des événements et des personnages. Ces récits ne remettent nullement en cause la capacité de la communauté à se projeter dans un « nous » qui reste toujours à redéfinir.

Votre pratique de l'histoire jongle elle-même entre les faits, leur représentation et leur cristallisation dans la mémoire collective...

F.-X. F. : Cela me vient sans doute de ma formation d'origine en philosophie ! J'en ai gardé une forte sensibilité pour les enjeux méthodologiques et la nécessité de varier les points de vue. Lorsque j'ai repris des études en histoire, après une interruption de thèse



et des petits boulots en tous genres, mes travaux ont porté sur la représentation des populations Khoisan dans les sources européennes, entre les XV^e et XIX^e siècles³. Les fameux Hottentot, longtemps exhibés et caricaturés sur nos rives, en font partie. Cela m'a appris à faire une histoire qui soit d'abord celle de nos représentations, plus que des événements. Celle de l'Afrique est, peut-être plus que toute autre, polluée par des catégories qui n'ont rien de naturel : des « races » et ethnies, des groupes linguistiques ou encore des frontières n'ayant à l'origine aucun sens pour les populations locales – même si certaines ont fini par se les approprier. Ce premier travail m'a appris à me familiariser avec l'élaboration de ces « savoirs » ou de ces « faits », qui finissent par brouiller notre perception des choses. Faire l'histoire de l'Afrique revient toujours au fond à se heurter à une série d'obstacles épistémologiques, puis à les déconstruire pour dévoiler – autant que possible ! – un pan de réalité.

En somme, vous préconisez de faire une « histoire de l'histoire ». Le récit narratif n'a-t-il aucune place dans la recherche ?

F.-X. F. : Si bien sûr, la recherche narrative fait partie de la recherche historique. Elle consiste à chercher la forme de récit qui rend le mieux justice aux faits. Un exemple : on relate le plus souvent l'histoire dans l'ordre chronologique. Mais l'enquête historique, elle, part du présent. Elle s'appuie sur une source nécessairement actuelle, un vestige ou une archive, pour remonter vers le passé. L'ordre « naturel » de notre accès aux événements n'est donc pas, paradoxalement, celui du récit chronologique. Si l'on veut raconter non pas comment l'événement s'est passé mais comment je le sais, il faut raconter l'enquête. Rien de révolutionnaire dans tout cela : c'est la méthode archéologique. C'est d'ailleurs pourquoi je me suis orienté très tôt vers cette discipline. Je voulais me rapprocher des sources matérielles, déjouer les strates interposées entre le passé et le présent.



Non pas que ces vestiges représenteraient des « faits historiques » plus authentiques, car il faut également les décoder, comprendre comment ils sont parvenus jusqu'à nous. Mais les matérialités permettent d'élargir la documentation. J'ai ainsi vécu plusieurs années en Afrique du Sud et en Éthiopie. Ce séjour m'a permis de faire mes armes à la tête du Centre français d'études éthiopiennes (CFEE), de coordonner des travaux collectifs et de monter des missions. En outre, il possède un formidable potentiel pour l'étude du Moyen Âge.

Pourquoi vos recherches en Éthiopie vous tiennent-elles tant à cœur ?

F.-X. F. : C'est un pays étonnant. Tous les grands mouvements culturels semblent s'y être côtoyés durant la période médiévale – qu'il s'agisse de l'islam, du christianisme ou de sociétés païennes... C'est aussi l'une des rares régions où l'utilisation de l'écriture est continue depuis le VIII^e siècle avant notre ère. Hormis l'Afrique du Nord, l'Égypte

par exemple, il n'y a pas d'équivalent sur le continent. C'est déjà une énigme en soi. En outre, la présence de nombreuses sources manuscrites facilite considérablement notre reconstitution du passé. Avec le risque, cependant, de faire de l'Éthiopie une sorte d'isolat. C'est souvent un biais lorsque l'on peut accéder à plus d'informations sur un pays que sur les autres : l'accumulation donne une image toujours plus fine et précise du pays, tandis que notre représentation de ses voisins reste plus grossière... Il faut être conscient de cette singularité documentaire pour ne pas tomber dans le particularisme. D'ailleurs, vous ne pouvez rien comprendre au christianisme ou à l'islam éthiopiens si vous les déconnectez de leurs pendants méditerranéens, orientaux ou africains. De la même façon, on sait que de nombreux systèmes d'écriture ont existé en Afrique, mais que la plupart des sociétés ont privilégié des traditions orales. Et là encore, ce serait une erreur de considérer l'écriture comme une étape

▲ Mur en terre du XVI^e-XVIII^e siècle, surmontant les vestiges de la cité médiévale en ruine de Sijilmassa.
© Vivienne Sharp/Heritage Images/Getty Images

« naturelle » dans le développement d'une culture. La question est plutôt : pourquoi l'écrit n'a-t-il pas été jugé nécessaire alors qu'il était disponible ? Quels systèmes politiques et usages sociaux ont pu émerger dans ce cadre ?

Vous travaillez également beaucoup sur le Maroc...

F.-X. F. : Je dirige en effet plusieurs projets sur le site de Sijilmassa. Cette ville islamique médiévale était une porte d'entrée pour les caravanes qui souhaitaient traverser le Sahara. Mes travaux ont toujours porté sur ce que l'on pourrait appeler « l'Afrique connectée » : celle des flux commerciaux, culturels ou encore idéologiques. Le commerce transsaharien, toujours trop peu documenté, témoigne de cette interconnexion entre toutes les régions du continent. D'ailleurs, contrairement à une idée reçue, il serait artificiel d'opposer une Afrique supposément blanche et méditerranéenne à une « Afrique noire » ou subsaharienne qui en serait totalement différente. Les ruines de Sijilmassa permettent ainsi de les relier au sein d'une géographie plus complexe. En même temps, ce site déjoue beaucoup d'espérances : il est très érodé, il a été pillé à travers les siècles... et surtout, il a été fortement idéalisé dans les récits de voyageurs ou dans les sources documentaires que nous retrouvons. Nous avons encore beaucoup de difficultés à synchroniser l'ensemble de ces informations, à produire une vision cohérente de ce que pouvait être cette ville au Moyen Âge et de son influence sur le reste du continent. Mais nous prendrons le temps qu'il faut. Le Maroc a l'avantage d'être un pays relativement stable politiquement et de pouvoir nous offrir plusieurs années de recherches en perspective.

Que reste-t-il à découvrir en Afrique ?

F.-X. F. : Beaucoup de choses ! Par définition, nous ne savons parfois même pas ce qu'il faudrait chercher. Mais il y a aussi des sites que nous connaissons de réputation et n'avons pas trouvés. Certains sont mentionnés dans des sources écrites mais n'ont pas pu être localisés, comme la capitale du royaume du Mali au XIV^e siècle. C'était l'un des plus fameux royaumes de l'époque et pourtant personne n'est capable d'affirmer avec certitude où cette ville se trouve. C'est un cas typique des recherches sur l'Afrique : parfois, le site est sous notre nez mais nous n'avons pas les moyens de le relier aux sources écrites. Parfois, on s'obstine à chercher dans la mauvaise région parce que cela colle avec nos présupposés. Parfois, la ville a pu simplement disparaître parce qu'elle était dans un environnement fragile. Tous les spécialistes de l'Afrique ancienne ont eu leur idée sur la capitale du Mali, mais elle continue de nous échapper. Cela sert d'aiguillon pour nous rappeler que nous aurons toujours besoin de pluridisciplinarité, de compétences variées, mais aussi d'humilité face à ce formidable continent d'histoire. ▽

[1] François-Xavier Fauvelle est directeur de recherche au CNRS et directeur du laboratoire Traces - Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (unité CNRS/ Université Toulouse Jean-Jaurès/Institut national de recherches archéologiques préventives/ Ministère de la Culture/École des hautes études en sciences sociales).

[2] *L'Afrique ancienne - De l'Acacus au Zimbabwe* (collectif, éd. Belin, 2018). À lire également : *Le Rhinocéros d'or* (Alma Éditeur, 2013) et *À la recherche du sauvage idéal* (éd. du Seuil, 2017).

[3] *L'Invention du Hottentot - Histoire du regard occidental sur les Khoïsan (XV^e-XIX^e siècle)*, éd. de la Sorbonne, 2002 ; rééd. en poche, 2018.



Dossier

SPORT ET SCIENCE, L'UNION FAIT LA FORCE

82

**Le sport, miroir
de nos sociétés**

Par Philippe Testard-Vaillant

90

**Bon pour la santé :
c'est prouvé!**

Par Anaïs Culot

96

**Innover sur tous
les terrains**

Par Léa Galanopoulo
et Martin Koppe

104

**JO 2024 :
décrocher les médailles**

Entretien avec Christophe Clanet
par Stéphanie Arc

110

**Des algorithmes
pour dépister le dopage**

Par Vahé Ter Minassian

En 2024, la France accueillera les Jeux olympiques d'été pour la première fois depuis cent ans. Un gigantesque rendez-vous festif qui montre l'importance du sport dans nos sociétés et stimule intensément la recherche, qu'il s'agisse d'en analyser les dimensions économiques, les effets bénéfiques sur la santé ou encore d'améliorer les performances des athlètes comme des amateurs. Analyse avec nos experts fédérés dans le nouveau Groupement de recherche sur le sport et l'activité physique créé par le CNRS début 2019.

Du sport-spectacle au sport bien-être, de l'agressivité au sens du collectif, du marketing effréné à la démocratisation des installations, du machisme à la mixité, quelles valeurs et quelles faiblesses le sport révèle-t-il de nos sociétés actuelles ?

LE SPORT, MIROIR DE NOS SOCIÉTÉS

Par Philippe Testard-Vaillant

Certes, la France, qui verra la flamme olympique briller dans le ciel de Paris pendant l'été 2024, ne caracole pas en tête des nations européennes les plus sportives, contrairement aux Pays-Bas et à l'Allemagne. Il n'empêche ! Selon la dernière grande enquête sur la pratique sportive dans l'Hexagone, commanditée par le ministère des Sports (2018)¹, près des deux tiers des Français âgés de 15 ans et plus s'adonnent de manière soutenue à une activité physique ou sportive au moins une fois par semaine. Un chiffre rassurant, lorsqu'on sait que ces adeptes n'étaient que 30 % dans les années 1960. Chaque week-end, par ailleurs, des dizaines de milliers d'aficionados assistent à des joutes sportives, payantes ou non. Et jamais la faim d'images n'a été aussi forte ni l'offre, tous supports confondus, aussi foisonnante. L'exploit des Bleus en finale de la Coupe du monde de football, le 15 juillet 2018, a été regardé en direct par 19,9 millions de téléspectateurs sur TF1 et beIN Sports (soit 34,6 % de la population), et par plus d'un milliard de Terriens.

▾ Le sport brille par son omniprésence sociale et médiatique. La victoire des Bleus en finale de la Coupe du monde de football de la Fifa, au stade Loujniki à Moscou le 15 juillet 2018, a été regardée par un milliard de Terriens.
© K. Miura/Yomiuri/The Yomiuri Shimbun/AFP



▾ Ultra-trail qui se déroule chaque été au Mont-Blanc. De plus en plus d'espaces naturels – quoique très aménagés – sont utilisés pour des activités physiques et sportives.
© F. Charton/hemis.fr

▲ Boutique officielle du FC Bayern de Munich, en Allemagne. Dans nos sociétés, le sport est devenu un levier économique important.
© M. Mueller/Bongarts/Getty Images/AFP

Qu'on le pratique ou non, comme un loisir ou dans un cadre éducatif, en amateur ou en professionnel, le sport baigne notre quotidien. Il brille par son omniprésence sociale et médiatique. *« Quand on ouvre un journal, on y trouve des informations sur le sport dans les pages spécialisées, bien sûr, mais aussi dans les pages économie, politique, international, culture, fait divers... »,* observe Thierry Terret, délégué ministériel aux Jeux olympiques et paralympiques 2024. *Le sport moderne, qui a vu le jour dans les écoles de l'élite anglaise au milieu du XIX^e siècle, quand les enseignants ont transformé les concours de jeu de ballon brutaux et chaotiques en compétitions organisées pour discipliner les jeunes élèves turbulents, occupe une place centrale dans notre société. Cela en fait un excellent miroir de son fonctionnement, de son idéologie, de ses valeurs, de ses choix en matière de politiques publiques, de ses faiblesses, de ses dérives... »*

Tout à la fois vecteur de bien-être, idiome mondial générateur d'émotions collectives, machine à fabriquer des héros, locomotive de croissance, outil du prestige national, levier de l'action diplomatique ou reflet de l'état des relations internationales, *« le sport est devenu une sorte de culture majoritaire en Occident »*, renchérit Jean-Paul Callède, du Groupe d'études des méthodes de l'analyse sociologique de la Sorbonne (Gemass)² et membre du comité d'histoire des ministères chargés de la Jeunesse et des Sports. *Nous mobilisons de moins en moins l'énergie corporelle dans le travail productif et les tâches laborieuses (industrie, agriculture...) et de plus en plus dans l'effort sportif*. Cette « sportivisation » des mœurs et des corps a partie liée avec *« l'effondrement des grandes transcendances religieuses et politiques, le triomphe du matérialisme et l'hypervalorisation du corps »*, avance pour sa part Isabelle Queval, de l'Institut national supérieur de formation et de recherche pour l'éducation des jeunes handicapés et les enseignements adaptés (INSHEA), et membre associée de l'Institut

« Le sport est un excellent miroir de notre société, de son fonctionnement, de son idéologie, de ses valeurs, de ses choix en matière de politiques publiques, de ses faiblesses, de ses dérives... »

interdisciplinaire d'anthropologie du contemporain (IIAC)³. Jadis refoulé, ravalé au rang d'enveloppe tout juste bonne à redevenir poussière, le corps a changé radicalement de statut en quelques décennies. Il s'est transformé en vaisseau amiral de l'identité, capital à préserver.

Produire du lien social

Loin d'avoir pour fonction prioritaire de préparer les jeunes gens à leur futur rôle de citoyen et de soldat, comme dans la Grèce antique, le sport pratiqué de nos jours par Monsieur et Madame Toutle-Monde dit moyen d'entretenir sa forme à tout âge, valorisation de l'effort-plaisir, dérivation de l'agressivité, respect des règles, sens du collectif, entraide, fraternité... bref, production de lien social. *« En même temps, le sport peut être instrumentalisé à des fins antidémocratiques, stigmatisantes, tempère Thierry Terret. Les exemples dans l'histoire abondent. L'Allemagne nazie a utilisé le sport comme moyen d'éducation de "l'Aryen" et d'encadrement des masses*



▲ Virginie Dedieu et Benoît Beaufils, au premier Championnat du monde de duo mixte libre de natation synchronisée, en 2015, à Kazan en Russie. Les disciplines sportives où la mixité est admise sont très rares.
© F. X. Marit/AFP

dont les Juifs étaient bannis. Les Jeux olympiques de Berlin, en août 1936, ont été l'occasion d'exposer aux yeux du monde la "réussite" de son organisation et la puissance de son idéologie totalitaire. » La capacité du sport à unir, à « civiliser », est au moins aussi forte que sa capacité à produire de la violence, de l'exclusion, du nationalisme. *« Le sport n'a pas de valeurs en soi, insiste Thierry Terret. Il n'a que celles qu'on lui prête et qui peuvent être contradictoires. »*

De fait, autant le sport de masse (ou sport loisir) est généralement ludique, autant le haut niveau rime souvent avec culte du corps, victoire à tout prix, cadences infernales, blessures chroniques, dopage, périodes post-carrière sombres et idolâtrie des champions. *« Tous les paramètres, dans le sport d'élite, sont poussés à l'extrême : les matériaux, les matériels, les entraînements, le suivi médical, la diététique, la préparation psychologique et stratégique, les supporters... », analyse Isabelle Queval. Le sport de haut niveau incarne une forme de démesure. Il est le lieu de l'excès. »* Ce travers tend même à rejaillir, par mimétisme, sur le sport amateur où « s'éclater », « se défoncer » relèvent du vocabulaire courant.

Un haut niveau... de discriminations

Mais, selon la chercheuse, alors que dans d'autres instances sociales, comme l'école ou l'entreprise, le culte de la performance fait depuis une trentaine d'années l'objet de critiques dénonçant la surenchère d'évaluations et de concurrence, *« ce contre-discours n'existe pas dans le sport de haut niveau, assure-t-elle. Il ne peut d'ailleurs pas exister puisque le dépassement de soi, au risque de mettre sa santé en péril, est son essence même ».*

Autre caractéristique du sport d'élite, créé historiquement par des hommes et pour des hommes, sa tendance à entretenir, voire à renforcer la bicatégorisation des genres, autrement dit la division des êtres humains en deux sexes bien définis et exclusifs l'un

« Le sport n'a pas de valeurs en soi. Il n'a que celles qu'on lui prête et qui peuvent être contradictoires. »

de l'autre. Les disciplines associées à la force physique, la vitesse, la prise de risque (sports de combat, football, rugby, sports mécaniques, de pleine nature, de glisse) restent essentiellement pratiquées par les hommes, celles qui réclament de la souplesse, des compétences « artistiques » (gymnastique, équitation...), majoritairement par des femmes. *« Les disciplines où la mixité est admise sont très rares et, dans les cas où elle est la norme, comme en danse sportive ou en patinage artistique, les couples de même sexe ne sont pas autorisés, note Antoine Le Blanc, maître de conférences à l'Université du Littoral-Côte-d'Opale. La binarité demeure dominante, ce qui contribue entre autres à vulnérabiliser les personnes transgenres. »* Sans oublier, machisme oblige, que le nombre de présidentes à la tête de clubs, de ligues, de fédérations nationales ou internationales est ridiculement faible. Quant à l'homophobie dans le milieu sportif, elle *« reste très présente, même si elle a tendance à reculer dans le monde occidental, juge le même chercheur. En France, aucun athlète masculin de haut*



niveau en exercice n'a encore osé faire son coming out, contrairement aux États-Unis ».

Lutter contre les discriminations et le dopage, soutenir le handisport, mieux accompagner les meilleurs sportifs, tels sont quelques-uns des maîtres mots du modèle sportif français dont les fondements ont été posés à la Libération et, surtout, à l'avènement de la V^e République. « L'État s'est alors investi dans la construction d'installations sportives (gymnases, piscines, terrains...) pour combler le retard accumulé dans ce domaine. Et la débâcle de la délégation française aux Jeux olympiques de Rome, en 1960, a conduit à une restructuration du sport de haut niveau, rappelle Jean-Paul Callède. Dans les décennies suivantes, plusieurs lois ont été promulguées pour démocratiser plus encore l'accès à la pratique sportive, favoriser l'augmentation du nombre de licenciés et promouvoir, déjà, l'activité physique comme moyen de lutte contre les méfaits de la sédentarité, l'obésité, le vieillissement... »

Mais depuis le début des années 2000, la politique sportive française obéit à une injonction

contradictoire : mieux faire avec moins de moyens. « Cette réduction de voilure, pudiquement baptisée la "nouvelle gouvernance du sport", est appelée à s'incarner prochainement dans une Agence nationale du sport associant l'État, le mouvement sportif, les collectivités territoriales et le secteur économique. Reste à savoir, commente Jean-Paul Callède, ce que sera l'équilibre des forces entre ces quatre composantes, leur articulation avec les territoires, et ce pour l'avenir du sport en France, pas seulement pour réussir les JO. »

La grande métamorphose des JO

Une chose est sûre : les Jeux, comme toute grande manifestation sportive internationale, métamorphosent peu ou prou le visage de la ville qui les accueille. Construction d'infrastructures (stade, village olympique, village des médias...), conversion d'installations existantes en sites de compétitions, développement et reconfiguration du réseau de transport... : organiser l'événement le plus médiatique au monde transforme nécessairement

l'environnement physique, y compris l'eau des fleuves. L'épreuve de nage du triathlon, en 2024, se déroulera dans la Seine, ce qui suppose d'améliorer sa qualité microbiologique. « *Faire de Paris une ville "baignable" va permettre à ses habitants de se réapproprier leur fleuve d'ici 2024 et après les Jeux. Cela répond aux aspirations des citoyens qui souhaitent avoir la "nature" au plus près de leur espace de vie,* analyse Agathe Euzen, du Laboratoire techniques, territoires et sociétés (Latts)⁴. *Cette forme de marketing urbain, à l'œuvre dans d'autres capitales européennes (Berlin, Londres), s'inscrit dans un contexte de compétition entre les métropoles mondiales soucieuses d'améliorer leur qualité environnementale, de se forger un statut de villes durables et d'accroître leur attractivité touristique.* »

Et l'argent ?

Plus largement, le sport et les aménagements qu'il nécessite rejaillissent sur l'organisation des espaces, urbain et naturel, et modifie le rapport des individus à ces espaces. « *La multiplication des sites sportifs forme un véritable maillage sur l'ensemble du territoire,* explique Jean-Pierre Augustin, du laboratoire Passages⁵. *Dans les villes, l'essor des sports classiques favorise l'édification de lieux artificiels conçus à leur intention (stades, gymnases, courts de tennis, patinoires...). Et des lieux publics a priori non dédiés aux activités physiques (parkings, places, berges, parcs...) offrent des possibilités de loisirs sportifs peu contraignants auto-organisés (jogging, roller, skate, vélo...).* » De même, un nombre croissant d'espaces « naturels » (bords de mer ou de lacs, montagnes, gorges des rivières, explorations souterraines, déserts...) servent de supports à des activités physiques.

Les retombées économiques de la filière, c'est-à-dire l'argent dépensé pour l'achat de vêtements, de chaussures et de matériels de sport, la construction et l'entretien d'équipements, le sponsoring ou

l'obtention de droits de diffusion font davantage penser à un haltérophile poids lourd qu'à un coureur de 10 000 mètres. « *En France, cette dépense avoisine aujourd'hui 37 milliards d'euros, soit 1,8 % du produit intérieur brut,* assure Wladimir Andreff, président du conseil scientifique de l'Observatoire de l'économie du sport, chercheur émérite au Centre d'économie de la Sorbonne⁶. *Les ménages y contribuent pour environ 50 %, les collectivités locales pour 31 %, les entreprises pour 10 % et l'État, en premier lieu le ministère des Sports, pour 9 %. Entre 1990 et 2008, avant que n'éclate la crise des subprimes, l'économie du sport affichait le deuxième taux de croissance le plus élevé de l'économie française après la "e-économie".* » Quant aux Jeux olympiques, attribués par enchères, les villes qui candidaient en espèrent des retombées sonnantes et trébuchantes. Or les experts s'accordent à dire qu'en termes purement budgétaires, accueillir des Jeux se solde presque toujours par des pertes. « *Les villes, pour être désignées, minimisent leurs coûts ou plutôt les sous-estiment,* explique Wladimir Andreff. *Une fois désignées, elles réévaluent leurs dépenses largement à la hausse. Les économistes ont une expression pour désigner ce phénomène de dépassement presque systématique des budgets : la malédiction du gagnant des enchères. On remporte les enchères mais on perd de l'argent. En moyenne, l'addition finale dépasse le budget initial de 100 %.* » Les Jeux de Paris 2024 échapperont-ils à cette malédiction ? « *À ce jour, tout semble indiquer qu'à défaut de battre des records de rentabilité, les "Jeux du centenaire"⁷ ne seront pas un gouffre financier comme Athènes en 2004, Pékin en 2008 ou Rio en 2016,* conclut Wladimir Andreff. 7

À lire

- « Paris 2024 : quel projet, quels enjeux ? », Jean-Paul Gallède, in *Cahiers français*, n° 403, mars-avril 2018.
- *Histoire du sport*, Thierry Terret, coll. « Que sais-je ? », éd. PUF, 2016.
- *Le Sport – Une géographie mondialisée*, Jean-Pierre Augustin, coll. « La Documentation photographique », éd. La Documentation française, 2016.
- *Philosophie de l'effort*, Isabelle Queval, éd. Cécile Defaut, 2016.
- *Mondialisation économique du sport*, Wladimir Andreff, éd. De Boeck, 2012.

[1] *Baromètre national des pratiques sportives 2018*, Injep, coll. « Notes et rapports », 2019.

[2] Unité CNRS/Lettres Sorbonne Université/ Fondation maison des sciences de l'homme.

[3] Unité CNRS/École des hautes études en sciences sociales.

[4] Unité CNRS/École des Ponts ParisTech/ Université Paris-Est Marne-la-Vallée.

[5] Unité CNRS/Université de Bordeaux/Université Bordeaux-Montaigne/Université de Pau et des Pays de l'Adour/École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux.

[6] Unité CNRS/Université Paris-1 Panthéon-Sorbonne.

[7] Les derniers Jeux olympiques d'été qui se sont déroulés en France remontent à 1924.

Les chercheurs mobilisés

« *Qu'il s'agisse de sport bien-être ou de haut niveau (pour améliorer les performances des athlètes), des liens avec le développement durable, les questions de genre ou le regard porté sur le handicap, le but est d'embrasser le sport dans toutes ses dimensions* », insiste Vincent Nougier, directeur du Groupement de recherche (GDR) sur le sport et l'activité physique créé par le CNRS en janvier 2019. L'enjeu : fédérer l'ensemble des acteurs en mettant en synergie les laboratoires de recherche, les industriels ainsi que les fédérations sportives et leurs athlètes. Le GDR rassemble plus de 1000 chercheurs et 140 laboratoires impliquant principalement le CNRS, l'Inserm, le CEA, l'Inra, l'Inria et les universités. Sciences des matériaux, biomécanique, économie, neurosciences, physiologie, robotique, sciences de l'environnement, etc., toutes les disciplines vont dialoguer entre elles. « *L'interdisciplinarité est capitale, commente Vincent Nougier, par exemple, si la biologie et la médecine recommandent d'avoir une activité physique régulière, la sociologie et la psychologie montrent que les Français décrochent en moyenne à 18 ans, et qu'on peut lutter contre cette tendance en aménageant l'espace urbain avec des pistes cyclables.* »

En ligne, le site du GDR :
<https://timc-gdrsport.imag.fr>

Dépression, cancer, maladies cardiovasculaires, diabète...
une expertise récente conclut au pouvoir curatif et préventif
de l'exercice physique dans le cadre des maladies chroniques.
À condition de mettre en place des programmes adaptés!

BON POUR LA SANTÉ : C'EST PROUVÉ !

Par Anaïs Culot

Il faut prescrire et intégrer l'activité physique dans le parcours de soins de tous les patients qui présentent une pathologie chronique. Telle est la conclusion sans équivoque rendue en février par l'expertise collective de l'Inserm incluant plusieurs laboratoires du CNRS¹. Les maladies chroniques, non transmissibles, touchent actuellement une personne sur quatre et le chiffre grimpe à trois sur quatre après 65 ans. « *L'intérêt de l'exercice physique est majeur d'un point de vue médical, sociétal et économique. On doit substituer une partie de la médecine curative par de la médecine préventive* », affirme ainsi Cédric Moro, chercheur à l'Institut des maladies métaboliques et cardiovasculaires (I2MC)² et spécialiste des maladies métaboliques.

« *Désormais, l'enjeu est de sensibiliser les professionnels de santé et les patients sur la mise en place de programmes d'activité physique adaptée* », ajoute François Carré, cardiologue du sport au CHU de Rennes et chercheur au sein de la structure de recherche Biosit : biologie, santé, innovation

▾ Robert Marchand, en janvier 2017, après son exploit : 22,547 kilomètres en une heure, soit le nouveau record dans la catégorie des « Master des plus de 105 ans ». À 107 ans aujourd'hui, il pratique toujours le cyclisme.

© J. Saget/AFP

BON POUR LA SANTÉ : C'EST PROUVÉ!

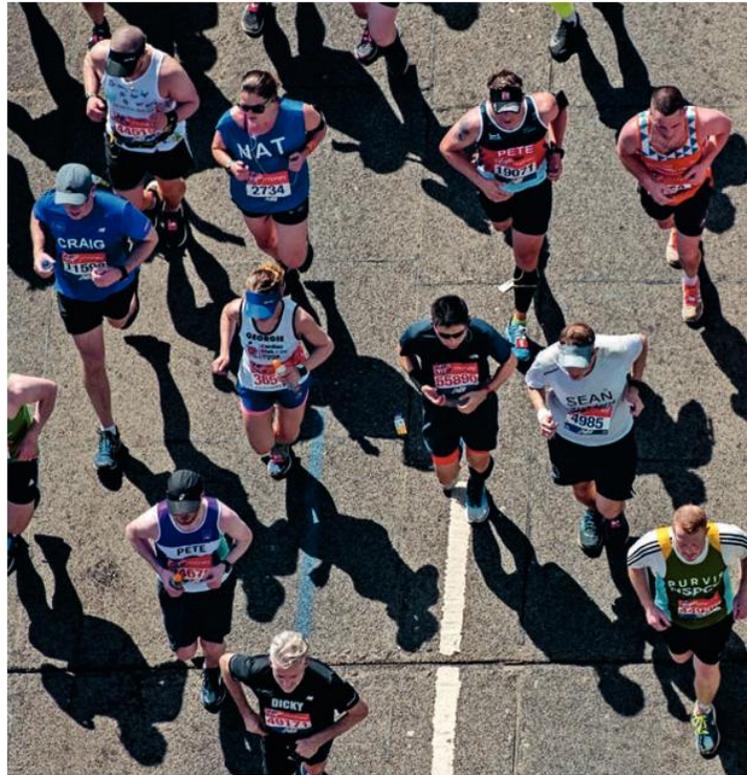


technologique³. Car marcher, courir ou jardiner active des mécanismes métaboliques, autrement dit des réactions biologiques, se déroulant dans notre corps, que les experts décryptent parfois jusque dans nos cellules.

Mais l'inactivité, le manque de motivation, la fatigue et la peur de bouger entraînent un déconditionnement physique exacerbé chez les malades chroniques, plus sédentaires que la moyenne. Sortir de ce cercle vicieux nécessite un reconditionnement à travers des exercices adaptés d'endurance d'une part et de renforcement musculaire d'autre part. L'endurance est en effet bénéfique d'un point de vue énergétique, elle est par exemple adaptée pour le patient diabétique et dans le cadre de certaines maladies cardiovasculaires. Le renforcement musculaire, lui, sert à prévenir la perte de muscle, fréquente chez les malades du cancer par exemple. En jouant sur ces deux composantes, les médecins peuvent prescrire d'efficaces programmes personnalisés.

Booster la rémission du cancer

Le cancer, première cause de mortalité devant les maladies cardiovasculaires, fait bien entendu partie des maladies analysées dans l'étude. Le nombre de cas a doublé au cours des trente dernières années. Et si une personne sur deux est guérie, plus de 50 % présentent des séquelles, notamment une fatigue invalidante cinq ans après la guérison. Or, la combinaison d'un programme progressif d'endurance avec un renforcement musculaire permet de contrer ces effets (notamment la fatigue) à condition que l'effort soit modéré pendant les traitements. « Plus tôt le patient commence l'activité physique après son diagnostic, mieux il arrive à contrer les effets secondaires », témoigne Béatrice Fervers, oncologue au Centre Léon-Bérard et chercheuse au Centre de recherche en cancérologie de Lyon⁴.



Par exemple, bouger modifie la composition corporelle (diminution de l'adiposité viscérale et maintien, voire amélioration de la masse musculaire) ainsi que la force musculaire. Les conséquences possibles de la pratique régulière de l'activité physique sur les mécanismes impliqués dans la prolifération tumorale s'expliquent : les effets les mieux documentés concernent le cancer du sein et relèvent de la régulation glycémique, de l'augmentation de la sensibilité à l'insuline, d'un effet anti-inflammatoire et d'une régulation hormonale. Selon les chercheurs, l'activité physique va très probablement jusqu'à réduire les risques de récurrences et de mortalité liés aux cancers du sein et du côlon. Alors qu'en est-il de la mise en place de programmes adaptés en France ? « Un cap a été passé dans les grands centres de soins mais il y a encore beaucoup de chemin à faire entre le fait de dire aux patients de bouger et leur proposer un accompagnement et une prise en charge pour intégrer l'activité physique de façon pérenne dans leur mode de vie », déplore l'oncologue.



► Sans aller jusqu'à courir le marathon (comme ici à Londres, en avril 2018), les sports d'endurance sont recommandés dans le cadre de certaines maladies cardiovasculaires.

© C. J. Ratcliffe/Getty Images

▲ Des centaines de personnes ont participé à cette séance de yoga sous la tour Eiffel en juin 2015.

© T. Samson/AFP

Du côté des maladies cardiaques, les facteurs de risques sont bien connus : tabac, stress, hypertension et... inactivité. Après un infarctus, limiter les risques de récurrence signifie changer les habitudes du patient. « *Cela passe par une réadaptation physique et nous n'en sommes plus à nous demander quelle activité recommander, mais surtout à quelle intensité ?* », résume François Carré. Ainsi, l'entraînement fractionné, alternant pics à haute intensité et phases de repos, s'est avéré le plus efficace en réadaptation post-infarctus.

On sait aussi qu'en dessous d'un seuil de VO_2 max, soit la quantité maximale d'oxygène que le corps consomme lors d'un effort intense, un insuffisant cardiaque doit être transplanté. « *Avec l'activité, on améliore sa capacité physique et on peut l'extraire de la zone rouge qui se situe au-dessus de 5 METs (équivalents à la capacité de marcher à 4-5 km/h pendant quelques minutes, NDLR)* », rapporte Thibaut Guiraud, chercheur en physiologie à l'12MC. Sachant par ailleurs que l'activité physique

présente un intérêt pour les insuffisants cardiaques. Mais, « *après un infarctus, seuls 30 % des patients sont envoyés en centre de réadaptation, parmi lesquels 30 % poursuivent l'activité physique un an après* », déplore le chercheur.

Jeu, set et match contre la dépression

Autre recommandation tirée de l'expertise : à raison de trois séances supervisées de trente minutes minimum par semaine, de préférence en groupe pour des effets de soutien social, l'activité physique est à prescrire en première intention avant tout traitement médicamenteux contre les dépressions légères à modérées. La raison en est simple : les chercheurs rapportent des effets tout simplement équivalents entre les antidépresseurs et l'activité physique sur cette pathologie. Une observation cohérente avec le fait que l'activité physique stimule la production d'**endorphines** (*lire lexique p. 95*) et favorise l'activation du **circuit de la récompense** (*lire lexique*). « *Il y a visiblement des effets sur le système limbique (le*



siège des émotions, NDLR) qui font diminuer le stress sur l'axe corticotrope (axe hypothalamo-hypophysosurrénalien), justement hyperactif chez le patient dépressif», explique Cédric Moro. Mais ce cocktail de molécules produites au niveau du cerveau implique des mécanismes méconnus et encore peu étudiés par la recherche.

Le fonctionnement des muscles fait aussi l'objet de toutes les attentions. Car le muscle peut produire certaines hormones, les myokines, ayant des effets métaboliques à distance sur plusieurs organes. « Chez un patient obèse, le muscle comporte un peu de graisse. Faire de l'exercice la fait fondre et l'insuline devient alors plus efficace pour alimenter le muscle en sucre. Cela limite notamment l'apparition du diabète de type 2 », décrit Cédric Moro dont l'équipe a notamment identifié une hormone (GDF15) qui influence l'utilisation des graisses par notre corps dans le cadre du diabète. Autre exemple abordé dans l'expertise : certaines myokines, comme l'interleukine6, stimulent la production d'interleukine10,

connue pour ses vertus anti-inflammatoires. L'inflammation étant un facteur impliqué dans de nombreuses maladies chroniques, la production de cette hormone par le muscle peut engendrer un effet anti-inflammatoire et une réduction des douleurs dans le cadre des maladies ostéo-articulaires et du cancer.

Lutter contre le vieillissement

Et si l'activité physique pouvait aussi contrer certains effets cognitifs du vieillissement ? L'équipe de Fabien Pifferi, chercheur au laboratoire Mécanismes adaptatifs et évolution⁵, a étudié les effets de la restriction calorique sur la durée de vie de certains primates, les microcèbes. Ils ont observé une augmentation de la longévité de ces animaux, mais ceux-ci présentaient également une atrophie cérébrale plus importante que la normale⁶. « Or, on sait que l'activité physique permet de réduire cette atrophie cérébrale. Nous venons donc de débuter une nouvelle expérience, dans le cadre de la thèse de Julie Royo :

► Le renforcement musculaire, en faisant du gainage par exemple, permet de prévenir la perte de muscle, fréquente chez les malades du cancer.
© Image Source/BSIP

cette fois, la restriction calorique est moindre mais elle est complétée par une dépense énergétique sous forme d'exercice», informe Fabien Pifferi. Par exemple, au lieu de leur enlever 200 calories de nourriture, on ne les restreint que de 100 calories et ils pratiquent un exercice qui correspond aux 100 autres. Objectif de cette nouvelle étude : identifier si l'activité physique empêche les désordres métaboliques qui impactent les fonctions cognitives avec l'âge, et notamment la neurogenèse, notre capacité à remplacer des neurones manquants.

En attendant les prochains résultats, intégrer l'activité physique au quotidien des patients, ou même dans un cadre préventif, fait déjà figure d'enjeu sociétal. Dans la continuité de la loi de 2016 incitant les médecins à prescrire de l'exercice pour traiter les affections de longue durée, cette expertise collective espère marquer un tournant. *« La situation est favorable car le message est le même pour toutes les pathologies chroniques. Bien que la conjoncture ne soit pas en faveur des dépenses de santé supplémentaires, un engagement organisationnel et économique est nécessaire pour intégrer efficacement l'activité physique dans la prévention et la prise en charge des maladies chroniques »*, conclut Béatrice Fervers. ▽

Lexique

— ENDORPHINE

Hormone qui agit comme la morphine (elle provoque un sentiment d'euphorie) mais qui est sécrétée par notre organisme, c'est-à-dire de manière endogène. Produite lors d'un effort physique intense, elle a un effet anxiolytique et régule l'intensité des messages nerveux au niveau des synapses (boutons de connexion entre les neurones) grâce à son pouvoir inhibiteur.

— CIRCUIT DE LA RÉCOMPENSE

Ensemble de neurones du cerveau qui relaie les informations liées aux satisfactions : nourriture, chaleur, plaisir sexuel, etc. Il fait partie du système limbique qui est le siège des émotions. Le circuit de la récompense implique de nombreux neurotransmetteurs (ou « messagers ») dont le principal est la dopamine. La libération de cette dernière déclenche une sensation de plaisir qui est vécue comme une « récompense ».

[1] Cette expertise s'appuie sur une analyse critique de la littérature scientifique internationale réalisée par un groupe pluridisciplinaire de treize chercheurs experts dans différents domaines relatifs aux pathologies chroniques, à la médecine du sport et à la psychosociologie. *Activité physique. Prévention et traitement des maladies chroniques*, éd. EDP Sciences, 2019.

[2] Unité Inserm/Université Toulouse-3 Paul-Sabatier.

[3] Unité CNRS/Inserm/Université Rennes-1.

[4] Unité CNRS/Inserm/Université Claude-Bernard Lyon-1/Centre Léon-Bérard.

[5] Unité CNRS/Muséum national d'histoire naturelle.

[6] La mort d'une partie des neurones avec l'âge est un phénomène naturel.

Fans de surf ou de foot, champions de vélo ou simplement soucieux de protéger les corps dans l'effort ou face aux blessures, les chercheurs innovent tous azimuts dans le domaine du sport.

INNOVER SUR TOUS LES TERRAINS

Par Léa Galanopoulo et Martin Koppe

De nombreux travaux innovants seront présentés en 2019 aux **Innovatives Sport** qui auront lieu à Paris, en novembre (<http://innovatives.cnrs.fr>). Tandis que le salon **Sport Unlimitech** fera dialoguer le sport et l'innovation à Lyon, du 19 au 21 septembre (www.sportunlimitech.com/fr). En attendant, nous vous présentons six dispositifs pour les athlètes confirmés ou les sportifs du dimanche. Au menu : des protections pour éviter les blessures, un modèle pour évaluer les meilleurs casques, un algorithme pour décider de faire jouer ou non un footballeur, une planche connectée pour apprendre le surf, un vélo pour les personnes en situation de handicap et une plateforme de motion capture pour optimiser ses gestes face à un adversaire.

▾ © Illustration Pablo Grand Mourcel





Football : un algorithme pour éviter les blessures

Quel footballeur faire entrer sur le terrain ? C'est le dilemme de tout entraîneur confronté au risque de blessure de ses joueurs. Pour l'aider dans sa prise de décision, la start-up IPA Technologies et le Laboratoire de mathématiques Blaise-Pascal (LMBP) de l'Université de Clermont-Auvergne¹ se sont attelés, il y a deux ans, au développement d'un modèle prédictif. « *L'objectif du modèle mathématique est de fournir un risque individuel de blessure musculaire sans qu'il y ait eu contact avec un autre joueur* », explique Pierre Druilhet, chercheur au LMBP. Pour ce faire, le club fournit quotidiennement, via la plateforme Playsharp, des données précises sur l'activité de ses joueurs, par exemple le temps qu'ils passent sur le terrain ou la charge de leur entraînement. « *Le logiciel se fonde à la fois sur un modèle de type explicatif (à partir des connaissances actuelles du domaine) et sur l'apprentissage automatique (à partir des données récoltées sur les joueurs)* », commente le chercheur. La principale difficulté ? « *Le nombre de blessures effectivement observées est relativement modeste, d'autant qu'un joueur ayant un risque élevé peut justement être exempté de match. Cela nécessite d'adapter les techniques de modélisation existantes.* » À terme, l'objectif sera aussi d'ajuster les modèles à la prévention dans d'autres sports, « *voire de les étendre au plus grand nombre, sportifs amateurs comme malades chroniques* », espère le mathématicien. **L.G.**

▀ Le logiciel qui évalue les risques de blessures aurait-il pu éviter à Marcus Thuram de quitter le stade de Nîmes sur une civière le 26 septembre 2018 ?
© P. Guyot/AFP

[1] Unité CNRS/Université Clermont-Auvergne.

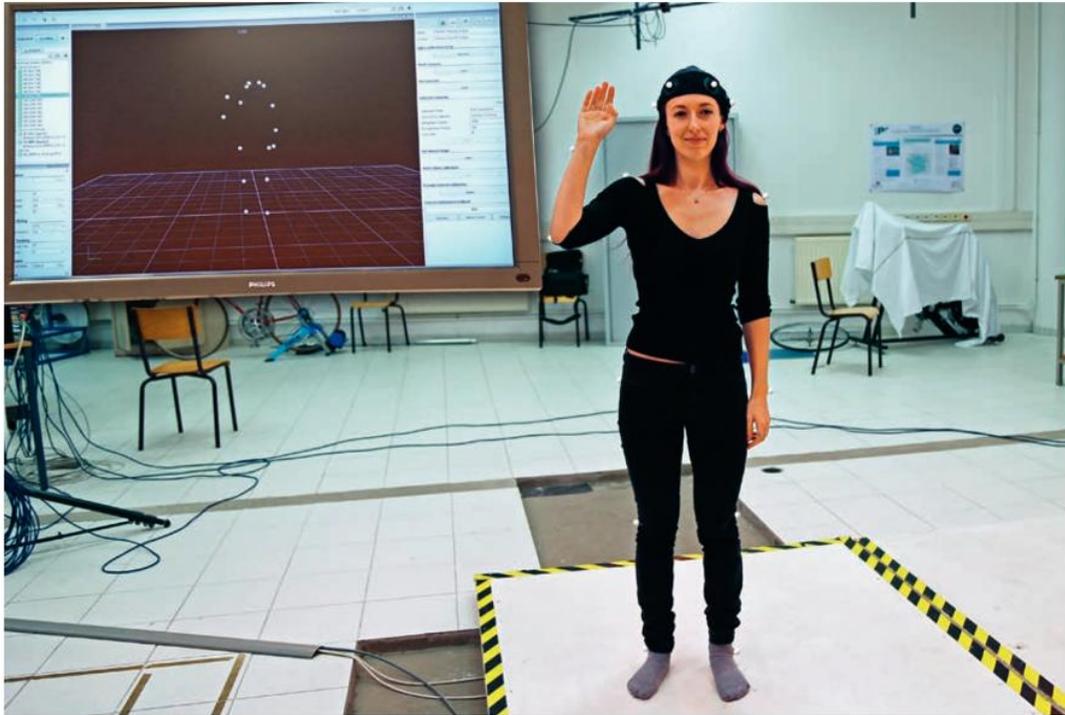


Apprendre à surfer grâce à une planche connectée

▼ Avant de prendre la vague comme ce surfeur, vous pouvez vous entraîner sur une planche connectée qui indique le meilleur moment pour se mettre debout sur les flots.
© Westend 61/hemis.fr

Les surfeurs débutants en savent quelque chose : il faut en moyenne un an de pratique pour se mettre debout sur la planche. Prendre correctement une vague ne coule donc pas de source, et les chercheurs de l'Institut de mécanique et d'ingénierie de Bordeaux¹, eux-mêmes adeptes de glisse, l'ont bien compris. Ils ont ainsi mis au point un dispositif embarqué sur la planche qui indique aux apprentis surfeurs le meilleur moment pour se lever via un signal lumineux. Fruit de quatre années de recherche, la technologie est aujourd'hui commercialisée par la start-up By the wave. Pour développer cet outil, les chercheurs ont analysé les mouvements d'une planche de surf, via des capteurs, afin d'enregistrer son accélération, sa vitesse et le positionnement du sportif. Le tout en tenant compte de l'environnement de la planche. « *L'ensemble des mesures réalisées en temps réel permet de connaître le comportement de la planche par rapport à la vague* », explique Jean-Luc Barou, cofondateur de By the wave. L'innovation a été déclinée pour intégrer un algorithme de coaching qui analyse en temps réel les mouvements du corps et édite des conseils personnalisés. By the wave a désormais ouvert une école de surf 100% connectée. Prochaine étape : adapter cette technologie à d'autres sports, « *au travers de la marque Ride+* », indique Jean-Luc Barou. **L.G.**

[1] Unité CNRS/Université de Bordeaux/Arts et Métiers ParisTech/Institut national de la recherche agronomique/Bordeaux Aquitaine INP.



Une plateforme d'analyse des mouvements

La capture de mouvements n'est pas réservée au cinéma et aux jeux vidéo. La plateforme PLAViMoP¹, développée par le Centre de recherches sur la cognition et l'apprentissage (Cerca)² et l'Institut P' (ou Pprim) du CNRS, s'appuie sur cette technique pour enregistrer en 3D gestes, expressions et démarches d'êtres humains, mais aussi de robots et, à terme, d'animaux. « Nous élaborons une base de données participative de mouvements globaux et plus fins, explique Arnaud Decatoire, ingénieur de recherche à l'Institut P'. Ensuite, chaque utilisateur peut piocher une séquence particulière et la transformer selon ses objectifs. » Selon Christel Bidet-Ildei, maîtresse de conférences au Cerca, qui l'utilise déjà pour étudier les liens entre le langage et la perception du mouvement, PLAViMoP pourrait aussi servir à la rééducation motrice (en présentant des postures adaptées aux patients) ainsi que pour l'apprentissage et l'optimisation des gestes dans le domaine du sport. L'intérêt de la plateforme serait en effet de visualiser l'action pour anticiper les gestes de l'adversaire dans le cas des disciplines qui se pratiquent « en duel » (combats, tennis...). Les chercheurs sont en contact avec différentes fédérations sportives pour démarrer des collaborations. **M.K.**

En cours de développement, la plateforme PLAViMoP devrait permettre d'optimiser un geste technique, en particulier face à un adversaire.
© Y. Almécija/CNRS

[1] Pour plateforme de visualisation et de modification de séquences de points lumineux (*Point light action visualization and modification platform*). En accès libre, la plateforme est financée par le Fonds européen de développement régional (Feder), CPER Numeric et Equipex Robotex.

[2] Unité CNRS/Université de Tours/Université de Poitiers.



Un vélo propulsé par électrostimulation

▼ Vance Bergeron, ici en pleine course au Cybathlon 2016 de Zurich (Suisse), a mis au point un vélo qui permet à une personne tétraplégique de pédaler.
© ETH Zurich/N. Pitaro

Après avoir été renversé à vélo, Vance Bergeron, directeur de recherche au Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon¹, devient tétraplégique. Il décide de mettre de côté ses travaux en physico-chimie pour se concentrer sur la rééducation neurologique, à la recherche d'un dispositif permettant aux personnes en situation de handicap de pédaler. En plus d'un moyen de se déplacer, le but est en effet de favoriser l'activité physique, indispensable pour éviter l'atrophie musculaire et stimuler la circulation sanguine. C'est le projet Circles, porté par la Satt² Pulsatys. Avec son équipe, le chercheur développe alors un prototype de vélo³ propulsé par électrostimulation grâce à des électrodes placées sur trois groupes musculaires des jambes : les quadriceps, les ischio-jambiers et les fessiers. Le courant, envoyé dans un ordre précis dans les différentes électrodes, permet aux muscles de se contracter et de réaliser un mouvement de pédalage. Désormais, l'équipe met au point un algorithme pour repérer quelle séquence de stimulation est la mieux adaptée à chacun. À terme, l'idée est de mettre le vélo à disposition des kinésithérapeutes, des patients dans le coma et des usagers des salles de sport développées par l'association Ants, créée par Vance Bergeron. D'ici à la fin de l'année, une start-up devrait voir le jour. « L'objectif est de mettre le vélo en vente dès 2020. Et nous serons catégoriques sur son prix : le plus bas possible afin d'être accessible au plus grand nombre », insiste Vance Bergeron. **L.G.**

[1] Unité CNRS/ENS de Lyon/Université Claude-Bernard Lyon-1.

[2] Pour Société d'accélération du transfert de technologies.

[3] Financé par la Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires dans le cadre du défi Auton.



Évaluer les meilleurs casques pour les cyclistes

Lors de l'étude de chocs à la tête et de résistance des casques, les mannequins de *crash test* ne permettent pas de décrire tout ce que subit le cerveau. Comme un impact à 10 km/h suffit à causer des blessures graves, la protection quant aux traumatismes crâniens devient vitale pour les cyclistes et les motocyclistes. Afin d'y contribuer, Rémy Willinger, responsable de l'équipe Matériaux multi-échelles et biomécanique du laboratoire ICube¹, a décidé de coupler les tests expérimentaux avec une modélisation numérique du cerveau. « *Nous avons besoin de modèles pour reconstituer des traumatismes crâniens, élaborer des critères de blessures* », explique le chercheur dont les travaux sont réalisés en partenariat avec la Fondation Maif et la Mutuelle des Motards. Sur leur plateforme, Certimoov, le casque subit un impact et l'accélération de la fausse tête est introduite dans le modèle numérique où le cerveau est représenté par un fin maillage de 5300 éléments. Surtout, contrairement aux normes en cours, cette nouvelle méthode d'évaluation biomécanique² prend en compte les impacts qui surviennent de manière oblique, au lieu des seuls chocs rectilignes, et ce avec trois types de rotation et autant de translations. « *Les forces tangentielles induisent une accélération angulaire de la tête, or le cerveau est très sensible aux rotations* », souligne Rémy Willinger. Certimoov teste déjà de nombreux casques disponibles à l'achat puis diffuse gratuitement les résultats en ligne pour aider le public dans ses choix de protection optimale. **M.K.**

▼ Certimoov permet de tester les casques des cyclistes et des motards face aux chocs de manière plus réaliste que les normes en cours.

© S. Audras/REA

[1] Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (Unité CNRS/ENGEEES/Institut national des sciences appliquées de Strasbourg/Université de Strasbourg).

[2] Elle a valu à Rémy Willinger le prix innovation sécurité routière 2019.



Des protections contre les chutes et les chocs

▼ Dans une mêlée, comme lors de ce France/Nouvelle-Zélande en novembre 2018 à Grenoble, la colonne vertébrale est souvent mise à rude épreuve.
© J.-P. Clatot/AFP

Préserver la colonne vertébrale et la moelle épinière en cas de chute ou de choc, dans une mêlée ou un combat, est un enjeu important auquel s'intéresse le laboratoire international associé iLab-Spine, qui réunit chercheurs et médecins de Marseille et de Montréal (Canada). Ainsi, côté français, les équipes du Laboratoire de biomécanique appliquée (LBA)¹ et du Centre de résonance biologique et médicale² y mêlent approche expérimentale, simulations numériques et imagerie médicale avancée. Ils étudient les risques de lésions, tout en améliorant les procédures d'évaluation des matériels de protection. « *Il s'agit de comprendre comment la colonne vertébrale peut subir des blessures et de mieux évaluer la gravité des dégâts occasionnés lors de chocs et de fractures* », commente Pierre-Jean Arnoux, directeur du iLab-Spine et du LBA. Les modèles numériques sont appliqués à de nombreux sports comme le rugby, le ski ou la moto, dans le cas de dommages aigus ou de traumatismes chroniques. L'équipe du iLab-Spine a également été sollicitée par le Cirque du Soleil afin de réfléchir à un exosquelette pour soutenir la colonne de leurs acrobates, lorsque ceux-ci doivent porter plusieurs personnes sur leurs épaules. « *Comprendre comment les gens se blessent permet d'imaginer de nouveaux dispositifs pour les protéger* », conclut Pierre-Jean Arnoux. **M.K.**

[1] Unité Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux/ Aix-Marseille Université.

[2] Unité CNRS/Aix-Marseille Université.

Optimiser les performances des athlètes français et contribuer à leur succès aux prochains Jeux olympiques et paralympiques à Paris, tel est l'objectif de Sciences 2024. Son directeur, Christophe Clanet, physicien au CNRS, nous explique les enjeux de ce projet de recherche inédit.

JO 2024 : DÉCROCHER LES MÉDAILLES

Propos recueillis par Stéphanie Arc

En quoi consiste Sciences 2024?

Christophe Clanet¹ : C'est le programme que nous avons lancé à l'École polytechnique début 2018 avec Frank Pacard, directeur de l'enseignement et de la recherche, en vue de la préparation des Jeux olympiques et paralympiques (JOP) de Paris en 2024. Destiné à aider les athlètes dans leur quête de performances, dans les quarante disciplines olympiques et les vingt disciplines paralympiques, il rassemble une cinquantaine de chercheurs et une centaine d'étudiants en sciences dures issus de onze grandes écoles² et, bientôt, des universités. Les équipes sciences et techniques des activités physiques et sportives, et les sciences médicales étaient déjà impliquées auprès des athlètes. Mais c'est la première fois, en France, que des physiciens, des mécaniciens et des mathématiciens s'engagent collectivement dans ce domaine. Durant les cinq prochaines années, l'objectif est de traiter cinq cents questions au travers de cent projets de recherche et

▾ Teddy Riner, judoka français, dix fois champion du monde (comme ici à Paris, en août 2011) et triple médaillé olympique, à Rio en 2016, Londres en 2012 et Pékin en 2008.
© B. Langlois/AFP



▾ Les anneaux géants sur le parvis du Trocadéro, face à la tour Eiffel, célèbrent Paris comme ville hôte des JO 2024.
© Elliott Piemont/REA

▴ Pour les athlètes qui, comme Markus Rehm, sautent sur leur prothèse, il s'agit de concevoir la prothèse la mieux adaptée à chacun.
© Anke Waelischmiller/Sven Simon/DPA/AFP

quatre cents projets étudiants. En juillet, cinquante projets ont déjà été sélectionnés par notre conseil scientifique, dont deux menés à l'École des ponts et à l'École centrale de Lyon sur la cadence optimale en course de natation et sur le choix des pneus en course en fauteuil.

L'ambition de ces olympiades, formulée par l'ex-ministre des Sports Laura Fessel, est élevée...

C.C. : L'objectif est d'obtenir quinze médailles aux Jeux paralympiques et de doubler le nombre de médailles olympiques, qui est de quarante depuis six olympiades. Jusqu'ici, les seuls pays qui ont doublé leur nombre de médailles en deux olympiades sont l'Australie, à Sydney en 2000, et la Grande-Bretagne, à Londres en 2012. Nous ne prétendons pas que la science est la clé de voûte de la réussite sportive, mais elle peut y contribuer en complétant les dispositifs existants.

Comment la physique et les mathématiques aident-elles les sportifs à monter sur les podiums ?

C.C. : Quelle que soit la discipline, l'écart entre le premier et le deuxième est inférieur au pourcent : il est de l'ordre d'une main en natation (20 cm sur 100 m, soit 0,2 %), de l'ordre d'un bateau en aviron (20 m sur 2 km, soit 1 %) ou d'un pied au biathlon, comme lors de la course remportée par le biathlète Martin Fourcade aux Jeux de Corée en 2018. Gagner ne serait-ce que 15 cm sur 15 km (soit 0,01 %), en réduisant par exemple la friction des skis sur la neige, permet donc de passer de deuxième à premier. Il y a deux ans, mon laboratoire et celui de Lydéric Bocquet, à l'École normale supérieure, à Paris, ont ainsi été sollicités par l'équipe de Martin Fourcade pour concevoir un fart adapté aux conditions de température

et d'humidité de la Corée. Caroline Cohen et Luca Canale ont beaucoup travaillé et progressé sur ce sujet. Optimiser le matériel en fonction du sportif peut lui permettre de gagner ces précieux pourcents.

Comment déterminez-vous vos objectifs de recherche ?

C.C. : Nous commençons par une journée d'immersion dans la discipline où nous observons un entraînement et échangeons avec les entraîneurs et les athlètes. Ensemble, nous identifions les questions sur lesquelles les sciences dures peuvent apporter des réponses. Nous travaillons ensuite dans nos laboratoires, puis nous revenons vers eux. Leurs besoins sont de trois types : développer un outil de mesure (nouveau capteur), valider leurs croyances ou déterminer un optimum. Par exemple, en aviron, où il est très important que les sportifs rament à l'unisson, nous travaillons sur la conception d'un outil qui permette de mesurer la synchronisation des rameurs et des rames.

Vous leur donnez ainsi la possibilité de vérifier si leurs intuitions sont bonnes...

C.C. : Oui. Depuis des années, par exemple, certaines équipes nationales d'aviron frottent leur bateau avec de la toile émeri, car elles sont persuadées qu'une coque rugueuse glisse mieux qu'une coque lisse. Cette question est un problème de friction, aux frontières des connaissances actuelles sur l'impact des textures et du mouillage sur la friction hydrodynamique. La forme optimale des coques qui permet de minimiser cette friction est aussi un très beau sujet. À terme, nous espérons fabriquer ce bateau avec un constructeur français (actuellement les constructeurs de coques de haut niveau sont italiens ou allemands).





Vous identifiez pour eux des équipements ou des conditions d'utilisation idéales.

C.C. : En effet, les sportifs souhaitent que nous puissions aussi définir pour eux des optimums. En course en fauteuil, par exemple, ils se demandent quel type de pneus et quelle pression utiliser pour diminuer les frictions sur le Tartan. Trop larges ou sous-gonflés, les pneus entraînent une importante surface de contact. Trop fins et surgonflés, ils s'enfoncent dans le revêtement de la piste et cela développe une friction importante. Nous cherchons donc à élaborer une règle pour trouver un optimum sur chaque piste. Autre exemple, en saut en longueur paralympique, où, en s'inspirant de Franck Barré, tous les athlètes sautent sur leur prothèse, il s'agit de concevoir la prothèse la mieux adaptée aux propriétés physiologiques de chacun. Une question que l'on ne peut négliger lorsque l'on sait que le champion olympique allemand Markus Rehm saute quasiment un mètre plus loin que le deuxième...

N'y a-t-il pas là une forme d'inégalité dans la compétition ?

C.C. : Dès lors qu'un sport nécessite une « machine », il faut définir ce qui relève de la « triche » ou du dopage technologique. Comme dans le cyclisme, où l'on interdit les sources d'énergie extérieures, batterie ou moteur cachés, la lutte antidopage technologique va devenir un enjeu au même titre que la lutte contre le dopage médical. La question est de savoir si l'on donne le même matériel à chaque équipe ou si chaque nation a le droit d'utiliser le sien, comme c'est déjà le cas. Dans cette voie, chaque pays a la possibilité d'optimiser les équipements de ses sportifs... à condition de pouvoir financer les recherches. Ce n'est pas un hasard si les classements des pays selon leur nombre de médailles et selon leur PIB sont quasiment identiques. Et si la Grande-Bretagne occupe aujourd'hui la 2^e place en nombre de médailles alors qu'elle était à la 36^e en 1996, c'est parce qu'elle a financé ce secteur. En France,

► Les scientifiques travaillent sur un outil pour mesurer la synchronisation des rameurs. Ici, l'arrivée de la finale féminine « deux de couple » des derniers Championnats d'Europe, à Glasgow, en Écosse, le 4 août 2018.
© Jack Thomas/Getty Images

cela se met en place. Pour Sciences 2024, nous menons une levée de fonds pour financer les projets de recherche (thèses et post-doctorats). Une dizaine de thèses Sciences 2024 vont ainsi être lancées dès janvier 2019.

Cette collaboration sportifs-chercheurs porte-t-elle ses fruits à d'autres niveaux ?

C.C. : Oui, car au-delà des performances réalisées par les athlètes aux JOP, ce projet se prolonge par le développement d'innovations techniques, telles que les prothèses ou les fauteuils élaborés en paralympisme, et par la création de start-up telles que Phyling, spécialisée dans le développement de capteurs spécifiques au haut niveau, la collecte de données et leur analyse. La typologie des fibres musculaires que nous avons réalisée chez les haltérophiles va aussi nous permettre d'identifier les pathologies précoces du muscle, en collaboration avec l'hôpital de Garches (Hauts-de-Seine). Enfin, avec les mallettes pédagogiques Roxana, Sciences 2024 vise la promotion de l'enseignement des sciences dans les collèges et les lycées au travers d'exemples tirés du sport. Ce projet amorcé par Roxana Maracineanu, ministre des Sports (nommée en septembre 2018) est développé par des enseignants de classes préparatoires avec les équipes de Sciences 2024. L'ensemble de ces actions constituera l'héritage de Sciences 2024. ▽

[1] Christophe Clanet est directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'hydrodynamique (unité CNRS/École polytechnique).

[2] Soutenu par le CNRS et le Centre national des sports de la défense, un accord a été signé le 4 juillet 2018 entre l'École polytechnique, l'École normale supérieure de Paris, Lyon et Rennes, l'École centrale de Lyon, l'École des ponts ParisTech, l'École nationale supérieure d'arts et métiers, l'École nationale supérieure de techniques avancées ParisTech, l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris, l'École navale et l'Institut national des sciences appliquées Lyon.

La recherche dans les starting-blocks

Pour battre le record de médaillés français lors des Jeux olympiques et paralympiques de Paris, le gouvernement a décidé de faire appel aux scientifiques de toutes les disciplines ! Lancé cette année, le Programme prioritaire de recherche « Sport de très haute performance » associera ainsi des chercheurs, des fédérations sportives, des athlètes au potentiel de médaille et éventuellement des entreprises autour de projets de recherche très variés. Ceux-ci auront notamment pour but d'optimiser le geste, le matériel, l'environnement ainsi que la préparation physique et mentale des athlètes. Le pilotage scientifique de ce programme, doté d'environ 20 millions d'euros, est confié au CNRS.

La lutte antidopage se dote d'un tout nouvel outil : un modèle informatique qui, à partir de l'historique des performances d'un sportif, permet de repérer s'il s'est dopé. Il a été développé au laboratoire I3S qui a reçu en décembre¹ un trophée de l'Institut national de la propriété industrielle (Inpi).

DES ALGORITHMES POUR DÉPISTER LE DOPAGE

Par Vahé Ter Minassian

Voici une nouvelle arme numérique dans la lutte contre le dopage! Une équipe du CNRS, en collaboration avec des médecins de l'International Association of Athletics Federations (IAAF)², a développé un outil numérique capable de détecter un éventuel usage de substances illicites par un sportif. Maria João Rendas, chargée de recherche CNRS au Laboratoire d'informatique, signaux et systèmes de Sophia Antipolis (I3S)³ et ses collègues (Asya Metelkina, post-doctorante, et Luc Pronzato, directeur de recherche CNRS) affirment que, grâce à leur modèle informatique, il leur est possible de repérer les athlètes dont les performances ont évolué de façon anormale à partir des banques de données recensant plusieurs années de résultats de compétitions internationales. Cela, avant même d'engager l'ouverture d'une enquête.

De nos jours, le combat contre les tricheurs dans le sport a tout d'une épreuve d'endurance. L'Agence mondiale antidopage préconise qu'il s'appuie à la fois sur une série de contrôles réalisés selon un

▾ © Illustration Pablo Grand Mourcel



protocole précis et sur la mise en place d'un « passeport biologique », appelé Passeport biologique de l'athlète (ABP)⁴. Ce passeport, propre à chaque athlète de haut niveau, rassemble les résultats de tous les prélèvements biologiques officiels auxquels ce dernier a été soumis durant sa carrière. En permettant un suivi pluriannuel de divers indicateurs clés, tels que les taux d'hémoglobine ou de jeunes globules rouges (réticulocytes) dans le sang – et bientôt, la concentration en stéroïdes dans les urines –, il peut faciliter la découverte de cas suspects. Depuis la mise en place de ce système en 2009, les résultats issus de l'ABP ont abouti à la suspension de plusieurs dizaines de sportifs, principalement en athlétisme et en cyclisme !

Problème : l'ABP a un coût. Et ce dernier est prohibitif. Résultat : le nombre d'athlètes suivis par ce procédé et la fréquence des prélèvements qu'ils subissent sont très limités. D'où le souhait de l'IAAF de disposer d'un outil complémentaire qui lui permettrait de réaliser des contrôles plus ciblés parmi les centaines de sportifs de haut niveau qui, chaque année, doivent faire l'objet de cette surveillance.

Modéliser l'évolution des performances

C'est ce qu'a réalisé l'équipe du laboratoire I3S dans le cadre d'une collaboration conduite entre juin 2017 et juin 2018 avec la Fédération internationale d'athlétisme. Spécialisée dans le traitement de l'information, elle n'en était pas à sa première expérience dans le domaine du sport.

Ces scientifiques avaient précédemment travaillé sur les tables de plongée utilisées par les plongeurs. Il s'agissait alors de concevoir des modèles de formation de bulles dans le sang en vue de déterminer s'il serait possible d'adapter ces tables aux capacités de chaque individu.

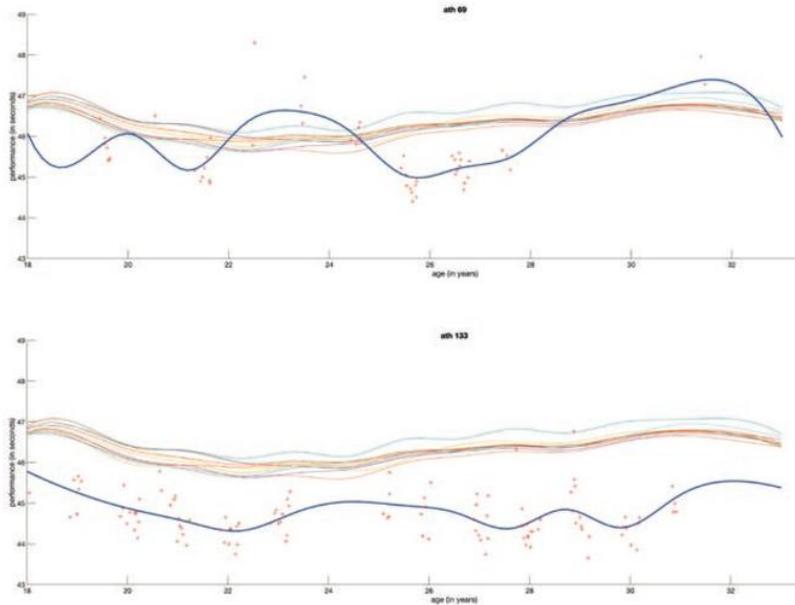
Cette fois-ci, ces chercheurs ont exploré les banques de données de résultats sportifs de l'IAAF, afin d'en



tirer des modèles puis des courbes montrant comment les performances d'un athlète évoluent en fonction de son âge. L'idée étant que le recours au dopage se traduirait probablement pour un sportif par une progression différente de celle des autres athlètes. Et qu'il serait possible, par ce moyen, sinon de prouver une fraude, du moins de repérer des performances anormales.

L'exercice était moins évident qu'il n'y paraissait. « En effet, un lanceur de poids de haut niveau, tout comme un coureur du 400 mètres, participe à plusieurs compétitions par an, explique Maria João Rendas. Mais d'une épreuve à l'autre, les performances qu'il réalisera seront différentes. L'état de fatigue lié à l'avancée de la saison, la nature du terrain, la météo et d'autres facteurs, comme des événements survenus dans sa vie privée, vont introduire des variations. » Et toute la difficulté pour les chercheurs a été de réussir à modéliser le phénomène en tenant compte de l'existence de ces variations conjoncturelles.

Le résultat confirme l'intuition de départ : dans une discipline donnée, les performances des sportifs suivent des courbes de progression de formes assez similaires et, cela, indépendamment de leur niveau. Ainsi, les temps réalisés par un sprinteur du 400 mètres connaîtront une rapide amélioration



► Finale du 400 mètres haies hommes lors des Jeux olympiques d'Athènes, en 2004.

© Tim de Waele/Corbis via Getty images

▲ L'outil des chercheurs permet de visualiser les performances. En haut, la courbe bleue indique les performances d'un athlète suspecté : elles s'améliorent de façon atypique en fin de carrière. En bas, la courbe bleue montre celles d'un champion non suspecté de dopage : elles sont inférieures à celles des autres athlètes.

© M.J. Rendas/Laboratoire I3S

en début de carrière. Puis, quand il atteindra les 24-25 ans et plus, ses performances commenceront à se dégrader. En revanche, un lanceur de poids, sport nécessitant l'acquisition d'un savoir-faire technique, mettra plus de temps avant de voir ses premiers efforts récompensés.

Repérer les anomalies

En faisant appel à leur modèle, Maria João Rendas et ses collègues affirment pouvoir repérer, avec une forte probabilité, les évolutions anormales. Qu'il s'agisse des mauvais résultats d'un athlète à la suite d'une blessure ou, au contraire, d'une augmentation inexplicable de ses performances, souvent en fin de carrière. Et cela, précisent-ils, relativement précocement, c'est-à-dire bien avant la fin de la carrière du sportif.

Développé au départ pour l'athlétisme (courses, sauts, lancers...) et facile à utiliser une fois terminée la phase d'apprentissage du modèle à partir de la base de données, cet outil informatique pourrait être adapté à d'autres sports pour lesquels la performance s'appuie plus sur des facteurs physiques que sur des facteurs tactiques ou technologiques. C'est le cas pour la natation ou l'aviron, par exemple, où, comme en athlétisme, le recours au dopage a pour

but d'augmenter de façon artificielle la masse musculaire ou les capacités respiratoires des athlètes...

Le système est actuellement testé par l'IAAF qui espère le mettre prochainement à disposition de l'Unité de l'intégrité de l'athlétisme, organisme indépendant chargé de la lutte antidopage. Il a d'ores et déjà permis de repérer quelques situations douteuses et pourrait à terme intégrer des informations contenues dans l'ABP. « C'est une énorme avancée, estime le docteur Stéphane Bermon, directeur du département Science et santé de l'IAAF. L'arrivée de ce nouvel outil devrait rapidement augmenter l'efficacité des contrôles. » De quoi compliquer la tâche des tricheurs, en ciblant les prélèvements biologiques de manière plus pertinente. ▽

[1] Le laboratoire I3S a été primé dans la catégorie Recherche lors de la cérémonie de remise des Trophées Inpi au Trianon, le 10 décembre 2018.

[2] L'Association internationale des fédérations d'athlétisme régit les fédérations nationales d'athlétisme et organise les compétitions internationales.

[3] Unité CNRS/Université Côte-d'Azur.

[4] Pour Athlète Biological Passport.

VALÉRIE MASSON-DELMOTTE, UNE VOIX POUR LE CLIMAT

Par Philippe Nessmann

Parmi les dix personnalités qui, selon la revue scientifique *Nature*, ont le plus compté en 2018, une seule est française, Valérie Masson-Delmotte. Retour sur le brillant parcours d'une chercheuse dont l'expertise sur le réchauffement climatique est écoutée sur les scènes nationale et internationale.

▼ La paléoclimatologue française
Valérie Masson-Delmotte, au Laboratoire
des sciences du climat et de l'environnement.
© Bruno Levy/Divergence



Pour arriver à faire tant de choses, certaines personnes doivent avoir un truc. Elles ne dorment pas la nuit. Ou bien leurs journées durent vingt-huit heures. Ou un feu sacré brûle en elles, leur interdisant de s'arrêter et de se reposer. La climatologue française Valérie Masson-Delmotte, lauréate de la médaille d'argent du CNRS 2019, est l'une d'elles. En décembre 2018, la célèbre revue scientifique *Nature* l'a classée dans sa liste des dix personnalités qui ont le plus compté en 2018. Son mérite : avoir mené à bien la rédaction d'un rapport sur les conséquences d'un réchauffement climatique limité à 1,5 °C, en agrégeant plus de six mille publications sur le sujet en un an et demi. Et cela tout en étant, à 47 ans, directrice de recherche au GIEC (*lire encadré ci-contre*) et en étant nommée membre du tout nouveau Haut Conseil pour le climat...

Comment fait Valérie Masson-Delmotte pour mener toutes ces activités de front ? Son bureau au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE)¹ livre peu d'indices. Sur les murs, des cartes des régions polaires. Dans un coin, un vélo électrique rouge. Accrochée sous la fenêtre, une vieille photo de vacances d'elle avec ses deux fillettes. Sur la table de travail, un ordinateur portable, un téléphone et six épaisses liasses de publications scientifiques reliées et annotées. « *Ma lecture pendant les fêtes de fin d'année !* », s'amuse la climatologue. En fait, le début d'explication ne se trouve pas dans le bureau, mais dehors, de l'autre côté de la fenêtre, dans ce ciel bas où filent les nuages.

« *J'ai toujours aimé regarder les nuages. Enfant, je passais des heures à en observer les formes, jamais identiques !* » De son enfance à Nancy, elle garde le souvenir vivace de vacances en famille sous la tente, au contact de la nature. « *C'était avant les jeux vidéo, à une époque où on avait le luxe de pouvoir s'ennuyer.* » Si la jeune Valérie Masson a la tête dans les nuages,

« À ce moment-là, j'ai pris conscience que la vie pouvait être très courte (...), qu'il fallait agir et suivre la voie pour laquelle on est faite. »

elle a aussi les pieds sur terre, qu'elle rêve de fouiller : plus tard, elle veut devenir archéologue. Mais ses parents, professeurs d'anglais, le lui déconseillent : les débouchés sont rares en archéologie.

Elle choisit donc la voie scientifique, fait maths sup et maths spé, puis intègre la prestigieuse École centrale Paris. « *Une école d'ingénieurs, explique-t-elle, c'est un peu comme une rivière : une fois que vous y êtes entrée, il suffit de vous laisser porter jusqu'au diplôme, puis jusqu'au monde de l'entreprise...* » Mais un événement tragique bouleverse le cours des choses : son jeune frère décède à 16 ans d'une leucémie. « *À ce moment-là, j'ai pris conscience que la vie pouvait être très courte, qu'il ne fallait pas perdre son temps, qu'il fallait agir et suivre la voie pour laquelle on est faite.* »

Quelle voie ? L'élève ingénieure fouille dans ses affaires et en ressort un vieux magazine qu'elle a conservé de ses années lycée, une revue scientifique qui parle des gaz à effet de serre et des premiers essais de modélisation du climat. Ces recherches ont le goût des nuages de son enfance : elle sera



Qu'est-ce que le Giec ?

Créé en 1988, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) dépend de deux organismes de l'ONU : l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations unies pour l'environnement. Il a pour mission d'évaluer de manière méthodique et sans parti pris l'évolution des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques qui permettent de comprendre les mécanismes et les risques du réchauffement climatique provoqué par les êtres humains, ainsi que les stratégies à développer pour l'atténuer ou

s'y adapter. Le Giec n'est donc pas un organisme de recherche : c'est un ensemble d'experts internationaux qui synthétisent l'état des connaissances, sur la base d'une évaluation approfondie de la littérature scientifique et technique, formant ainsi un socle scientifique commun à tous les gouvernements, pertinent pour éclairer la prise de décision politique, mais non prescriptif.

Le Giec est formé de trois groupes : le groupe 1 étudie les principes physiques du changement climatique ; le groupe 2 la vulnérabilité et l'adaptation

au changement climatique ; le groupe 3 les moyens d'atténuer le changement climatique. Entre 1990 et 2014, le Giec a publié cinq rapports d'évaluation. Le prochain paraîtra en 2021. En 2007, il s'est vu remettre le prix Nobel de la paix, conjointement avec l'ancien vice-président américain Al Gore.

► Les experts du Giec, dont Valérie Masson-Delmotte à gauche, présentent leurs évaluations lors d'une conférence de presse donnée à Incheon, en Corée du Sud, le 8 octobre 2018.

© Jung Yeon-je/AFP

climatologue ! Sans tarder, elle contacte Jean Jouzel, dont les travaux sont cités dans la revue.

« Elle souhaitait que je la prenne en thèse, se souvient le climatologue et glaciologue, mais c'était impossible car je venais juste d'accepter un nouveau thésard. » Heureusement, dans l'unité mixte de recherche CNRS/CEA qu'il dirige sur le plateau de Saclay – qui deviendra plus tard le LSCE – une autre directrice de thèse, Sylvie Joussaume, peut la prendre. L'objet de sa thèse : confronter les simulations de climats passés et les indices issus d'archives naturelles, pour évaluer la capacité des modèles de climat.

Cap au Nord

Dès lors, tout s'enchaîne très vite. 1993 : diplômée de Centrale, elle commence sa thèse. 1996 : elle devient docteure en énergétique, physique des fluides et des transferts. 1996 : au lendemain de sa soutenance de thèse, elle est embauchée au GEA pour travailler avec Jean Jouzel. 1998 : elle devient responsable de l'équipe Glaccios (Glaces et continents, climats et isotopes stables) du LSCE. 2000 : elle épouse Marc Delmotte, l'étudiant que Jean Jouzel venait juste de prendre en thèse quand elle l'avait contacté, et elle devient Valérie Masson-Delmotte. Deux filles naissent de leur union. 2008 : elle est nommée directrice de recherche.

« J'ai adoré les années de recherche au sein de Glaccios », raconte Valérie Masson-Delmotte. L'une des expertises de l'équipe est l'étude des carottes de glace issues des glaces polaires. Dans ces régions, la neige s'accumule en couches successives, puis se transforme en glace. Or, l'eau et l'air qu'elle contient renferment de précieuses informations sur le climat, enregistrées au moment de la chute de neige. En prélevant des carottes de glace de plus en plus profondément, il est possible de remonter dans le temps et de reconstituer le climat qu'il faisait il y a plusieurs centaines de milliers d'années.

« En prélevant des carottes de glace de plus en plus profondément, il est possible de remonter dans le temps et de reconstituer le climat qu'il faisait il y a plusieurs centaines de milliers d'années. »

« J'ai eu la chance d'effectuer deux missions au Groenland, en 1997 et 2008. Lors de la seconde, nous sommes même partis "en famille". Moi, je travaillais la calotte glaciaire au nord-ouest du Groenland. Avec mon équipe, nous vivions dans un campement à trois mille mètres d'altitude, au milieu de nulle part. Marc, lui, était sur la côte sud, où il participait à l'installation d'une station de suivi atmosphérique des gaz à effet de serre. Il a pu emmener les filles et nous nous sommes ensuite retrouvés pour des vacances arctiques. À 10 et 8 ans, nos filles ont découvert une nature intacte et ont pu s'approcher d'animaux qui n'avaient pas peur des hommes, car ils en avaient rarement vu auparavant... »

Climatologue multimédia

Peu après son retour, Valérie Masson-Delmotte cosigne avec deux collègues du LSCE, Jean Jouzel et Didier Hauglustaine, le livre *Atmosphère, atmosphère* sur l'histoire des recherches scientifiques dans les régions polaires. La vulgarisation scientifique,



▼ Valérie Masson-Delmotte, lors de l'exposition « Le train du climat », initiative d'éducation à la citoyenneté climatique qui terminait son tour de France à Nancy, le 25 octobre 2015.
© Alexandre Marchi/MAXPPP

▲ En mission au nord-ouest du Groenland, en 2008, pour le projet NEEM d'enregistrement climatique de la dernière période interglaciaire. Avec son équipe, elle vit alors dans un campement à 3000 mètres d'altitude...
© Christian Morel



▲ Marche des jeunes pour le climat, à Bruxelles, en Belgique, le 31 janvier 2019.
©F. Andrieu/AG PEPS/Reporters/REA

une autre corde à l'arc de la climatologue : « *Mon salaire est payé grâce aux impôts de personnes qui ont souvent une situation plus difficile que la mienne. Dès le début de ma carrière, j'ai eu conscience que je devais sortir de mon labo et aller à leur rencontre, leur expliquer en quoi consistait la climatologie, et comment cette science les touchait dans leur vie quotidienne.* » Depuis 2003, elle a coécrit une dizaine de livres pour la jeunesse et pour les adultes sur le climat, le réchauffement de notre planète ou encore le Groenland. « *Écrire pour la jeunesse est une excellente formation : cela oblige à être à la fois claire et dynamique. La pire critique que l'on m'ait faite, c'était dans une école, lorsqu'un enfant m'a dit : "Au début, c'était bien, ça ressemblait à un roman. Après, j'ai vite compris que c'était un documentaire..."* »

Pour partager son savoir, la climatologue se rend dans des classes, participe à des émissions de radio, assiste même à des rencontres dans des centres commerciaux. « *Et elle le fait très bien, se réjouit Jean Jouzel. Elle est à la fois extrêmement brillante et très simple dans sa façon de parler, très posée.* » Sans oublier Twitter, où elle partage plusieurs fois par jour avec ses cinq mille abonnés des informations sur un colloque international sur les forêts, sur le vélo dans l'Essonne, ou sur les activités du Giec auquel elle participe.

Réchauffement et conséquences

« *J'ai découvert l'existence des rapports du Giec pendant ma thèse, alors que je cherchais une information sur l'évolution du climat en Europe. Au fil des années, je me suis de plus en plus investie dans les travaux du groupe.* » Après avoir participé comme auteure au quatrième rapport, Valérie Masson-Delmotte coordonne le chapitre sur les climats passés du cinquième rapport, puis est élue coprésidente du groupe 1 du sixième rapport, à paraître en 2021. Et c'est pour un rapport spécial, commandé en

Les COP

Les Conférences des parties (COP) sont des réunions annuelles où les pays signataires de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques se retrouvent pour échanger sur la lutte contre le réchauffement climatique. La COP25 aura lieu début 2020 à Santiago du Chili.

2015 lors de la COP21 (*lire encadré ci-dessus*) et paru en octobre 2018, qu'elle a été honorée par la revue *Nature*. « *À travers moi, c'est le travail collectif des coprésidents des trois groupes de travail et des quatre-vingt-onze auteurs de quarante pays différents et l'appui des unités de support technique qui sont récompensés* », insiste-t-elle. Le thème du rapport : alors que la température mondiale a déjà augmenté de 1 °C en raison des activités humaines depuis la révolution industrielle du XIX^e siècle, quelles seront les conséquences lorsque l'augmentation sera de 1,5 °C ? Quels seront les risques évités si l'on stabilise le réchauffement à 1,5 °C par rapport à un réchauffement de 2 °C ? Quels scénarios permettraient d'avoir des émissions de gaz à effet de serre compatibles avec une telle stabilisation ? Comment y parvenir ? Quelles sont les connexions avec le développement durable et les efforts pour éliminer la pauvreté ?

« *La modélisation montre par exemple que les vagues de chaleur seront plus fortes, ce qui réduira le rendement des céréales, explique la climatologue. Nous devons*



« Dès le début de ma carrière, j'ai eu conscience que je devais sortir de mon labo et aller à la rencontre des gens, leur expliquer en quoi consistait la climatologie, et comment cette science les touchait dans leur vie quotidienne. »

nous y adapter en utilisant au mieux l'eau disponible et en cherchant des semences plus résistantes. Mais cette adaptation doit commencer dès aujourd'hui, car il y a urgence : l'augmentation de 1,5 °C sera atteinte entre 2030 et 2050. Par ailleurs, si nous voulons que la température se stabilise à ce niveau-là, il faudrait que les émissions mondiales de CO₂ soient divisées par deux d'ici à 2030 et atteignent le "zéro émission" en 2050. Ce n'est pas impossible, mais la fenêtre d'opportunité est étroite. Chaque année, chaque demi-degré, chaque choix compte. En portant une attention particulière à ceux qui sont les plus vulnérables au changement climatique et aux actions pour réduire les rejets de gaz à effet de serre, il est possible de construire des transitions éthiques et justes. »

Défenseur de la cause climatique

L'urgence de la situation a poussé la scientifique à sortir peu à peu de son rôle d'observatrice pour se muer en défenseure de la cause climatique. Ainsi en 2010, après l'échec de la COP15 à Copenhague :



« Les climatosceptiques avaient le vent en poupe. Claude Allègre venait de sortir un livre rempli d'affirmations fausses sur le climat. (...) Je me suis préparée [au débat télévisé face à lui] comme pour un combat de judo. »

« Les chefs d'État n'avaient pas réussi à trouver un accord, regrette Valérie Masson-Delmotte, et les climatosceptiques avaient le vent en poupe. Claude Allègre, qui venait de sortir un livre rempli d'affirmations fausses sur le climat, parlait sur toutes les radios. Le travail des chercheurs en sciences du climat était systématiquement dénigré... »

Un jour, Guillaume Durand lui propose de participer à une émission dont l'invité principal sera justement Claude Allègre. *« Je n'aime pas la télévision et je déteste la recherche de la petite phrase »,* avoue-t-elle. Mais elle se doit de mettre le géochimiste face à ses contradictions. *« Je m'y suis préparée comme pour un combat de judo, sport que je pratiquais autrefois : lorsqu'on affronte un adversaire plus lourd, il faut être plus malin que lui... »* Et force est de constater, en reVISIONnant les images, qu'elle y parvient parfaitement : face au bouillonnant Allègre, elle reste calme, claire, retournant des arguments de l'ancien ministre contre lui-même. *« Il fallait être capable de le faire, lâche avec admiration Jean Jouzel, et elle l'a fait ! »*

► © Bruno Levy/Divergence

Quelques jours plus tard, la climatologue enfonce le clou en initiant l'« appel des 600 », qui fait la une de *Libération* et du *Monde* : dans cette lettre ouverte à la ministre de la Recherche de l'époque, Valérie Péresse, les climatologues demandent l'ouverture d'un vaste débat pour faire le point sur l'état des connaissances. Organisé en octobre 2010 à l'Académie des sciences, il confirme clairement l'influence des êtres humains sur le climat planétaire et la rigueur des recherches en sciences du climat.

« Une empreinte légère sur le monde »

Depuis, si le climat scepticisme a fortement décliné en France, le combat de Valérie Masson-Delmotte s'est poursuivi sur d'autres fronts. Elle est ainsi l'un des treize membres du Haut Conseil pour le climat, créé en novembre 2018 sur le modèle du Committee on Climate Change britannique, qui devra donner un avis indépendant sur la politique gouvernementale en matière de climat, en particulier sur sa compatibilité avec l'accord de Paris sur le climat.

Autre cheval de bataille : la jeunesse. « *Je sens une lame de fond de gens, notamment des jeunes, qui observent le réchauffement et veulent préserver l'environnement. Mais, actuellement, l'enseignement du changement climatique, des clés de compréhension des enjeux, de l'ampleur des transformations permettant d'y faire face et de l'effondrement de la biodiversité est très insuffisant au collège et au lycée. Il serait très pertinent d'y consacrer une dizaine d'heures chaque année, à travers les différentes disciplines, pour que les lycéens aient une vision d'ensemble du problème, et pour les faire réfléchir sur la responsabilité collective et individuelle, sur nos modes de consommation...* »

À titre personnel, la climatologue prône la « *sobriété heureuse* » : elle parcourt à vélo électrique la dizaine de kilomètres entre son laboratoire et son village de l'Essonne – où elle a été conseillère municipale sans étiquette pendant sept ans. Sa famille pratique

la permaculture, fabrique son compost et tente de ne pas céder aux sirènes de la société de consommation. « *Cela fait des années que je calcule notre empreinte carbone. J'aimerais laisser une empreinte légère sur le monde* », conclut-elle poétiquement.

Et son truc pour faire autant de choses à la fois ? « *Elle va vite !* explique son mari. *Elle lit rapidement, que ce soit des articles scientifiques ou des romans. Elle doit toujours être active, avoir l'esprit en éveil. Même quand elle fait la cuisine, il ne faut pas que ça traîne ! Cela peut d'ailleurs devenir un défaut : elle a du mal à se reposer, les soirs comme les week-ends !* »

« *Laisser une empreinte légère sur le monde* », dit-elle. Nul doute qu'à la vitesse à laquelle elle va, Valérie Masson-Delmotte laissera une empreinte durable dans le monde de la climatologie. ▽

[1] Unité CNRS/Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

La production d'énergie photovoltaïque a le vent en poupe. Et la recherche française est sur tous les fronts pour l'améliorer encore: baisse des coûts, meilleures performances et allongement de vie des panneaux solaires. Des défis que l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France, inauguré en décembre 2018, s'apprête à relever.

Le solaire brille déjà

par Anne-Sophie Boutaud

Solar Impulse, centrales ou routes solaires, panneaux photovoltaïques flottants ou déployables : les projets innovants en matière de solaire sont légion. En seulement quelques années, l'électricité photovoltaïque a atteint près de 2,1 % de la production d'électricité française¹ sur les douze derniers mois. Le solaire, une filière d'avenir ? Pour Daniel Lincot, directeur scientifique de l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF)² et directeur de recherche au CNRS, cela ne fait aucun doute : « *Il y a quinze ans, le photovoltaïque ne pesait quasiment rien. En 2017, ce sont 100 GW qui ont été installés. C'est une ressource encore trop sous-estimée et dont le potentiel est considérable!* », explique-t-il. La recherche avance vite et se dote de moyens, comme l'IPVF, pour y parvenir. Créé

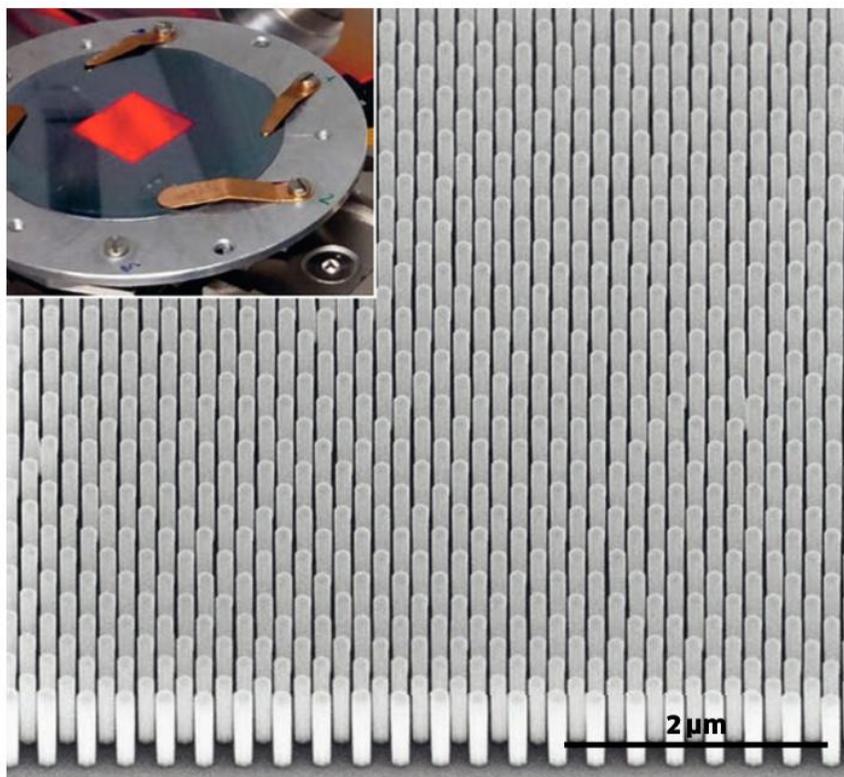
en 2013 dans le cadre des « investissements d'avenir », l'IPVF est labellisé Institut pour la transition énergétique. L'inauguration le 18 décembre 2018 du nouveau bâtiment, au cœur du campus de Paris-Saclay à Palaiseau, marque un nouveau cap.

Cette structure inédite rassemble 3500 m² de laboratoires et de salles blanches, c'est-à-dire vidées au maximum des particules en suspension contenues dans l'air, cent cinquante chercheurs et chercheuses, et une centaine d'équipements de recherche de pointe. Elle associe des partenaires académiques, comme le CNRS ou l'École polytechnique, de grands industriels, comme EDF, Total et Air Liquide, et de plus petites entreprises, comme Horiba ou Riber. Et elle entend bien construire des ponts entre la recherche fondamentale et

▲ Une centrale solaire à Aigaliers, dans le Gard.

© Ian Hanning/REA





les innovations industrielles. « Face aux défis que pose la transition énergétique, c'est une véritable opportunité pour nous d'être capables, en France et au sein de l'Europe, de disposer d'un endroit qui permet de mobiliser et de fédérer la recherche expérimentale et des partenaires industriels », insiste Jean-François Guillemoles, directeur de recherche au CNRS et directeur de l'unité mixte de recherche interne de l'IPVF³.

La source d'électricité la moins chère

Car le solaire est la source d'énergie qui se développe le plus vite dans le monde ; celle aussi dont le potentiel de croissance est le plus important ; celle, encore, en passe de devenir la source d'électricité la moins chère du marché.

Déjà viable et compétitif, le coût du photovoltaïque a chuté d'un facteur

mille sur les trente dernières années pour atteindre aujourd'hui moins de 20 euros le mégawattheure, dans les endroits les plus favorables. Mais pour les chercheurs, certains verrous limitent encore son développement. « Nous avons pu identifier trois grands défis scientifiques à relever pour l'avenir : la baisse des coûts de production, l'amélioration de la performance des cellules photovoltaïques et, enfin, l'allongement de la durée de vie des panneaux solaires, qui se situe entre vingt et trente ans », détaille Daniel Lincot. Tout l'enjeu est de dépasser les plafonds de rendement des technologies actuelles, c'est-à-dire la capacité de ces matériaux semi-conducteurs à piéger et à transformer la lumière du soleil en électricité.

La filière silicium⁴ représente aujourd'hui près de 95% du marché de l'énergie solaire, mais de nouvelles voies sont à

Le solaire est la source d'énergie qui se développe le plus vite dans le monde ; celle aussi dont le potentiel de croissance est le plus important.



► Nouvelle génération de cellule solaire (en haut à gauche) constituée de réseaux de nanofils à base de semi-conducteurs III-V, dont la croissance a été réalisée directement sur du silicium. © CNRS-LPN

► Sur le campus de Paris-Saclay, à Palaiseau, l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF) entend construire des ponts entre la recherche fondamentale et les innovations industrielles. © IPVF

► Pulvérisation cathodique de matériaux photovoltaïques dans l'une des salles blanches (vidées au maximum des particules en suspension contenues dans l'air) de l'IPVF. © IPVF 2018

l'étude pour capturer plus efficacement les photons. « *Il y a un véritable foisonnement des filières : le silicium cristallin, une technologie déjà mûre, qui atteint un rendement record de plus de 25 % ; la filière dite des "couches minces", à base de matériaux semi-conducteurs, tels que le CIGS⁵, le silicium ou le tellure de cadmium, qui s'en approchent avec, respectivement 22,9 % et 22,1 % ; les matériaux dits "III-V" tels que le GaAs où l'on atteint un rendement à 29,1 % – plus de 40 % en multijonctions ; et enfin, plus récemment, les pérovskites, un type de cellules solaires hybrides. Elles sont constituées d'un mélange de matériaux organiques et inorganiques qui, en quelques années, atteint environ 23 % de rendement, mais soulève encore certaines questions en termes de stabilité* », précise Pere Roca i Cabarrocas, directeur du Laboratoire de physique des interfaces

et des couches minces⁵ et directeur de la Fédération de recherche photovoltaïque. Ces filières émergentes sont étudiées spécifiquement à l'IPVF. Pour cause, les chercheurs considèrent que l'avenir du photovoltaïque passe par la convergence de ces filières, en particulier dans des cellules tandems, une priorité pour l'IPVF. Ces cellules reposent sur l'association d'une cellule à base de silicium et d'une cellule pérovskite ou encore le couplage avec des cellules III-V (en référence à la place des éléments utilisés dans le tableau périodique). Et de fait : en décembre, l'institut a obtenu un nouveau record d'efficacité, justement pour des cellules solaires III-V pouvant être couplées au silicium avec une efficacité de conversion de 18,7 %. Quelle est la meilleure piste ? « *Pour l'instant, nous ne la connaissons pas encore. Chacun doit*

pousser ses technologies au maximum: l'innovation est aux interfaces», ajoute Pere Roca i Cabarrocas.

Les limites de rendement des cellules solaires sont estimées à plus de 85 %. Si elles sont encore loin des démonstrations en laboratoire, les atteindre est l'un des objectifs de recherche des laboratoires de l'IPVF.

La mission des 30/30/30

Aussi, pour développer au mieux ces filières technologiques de rupture, comme pour améliorer de façon accélérée les filières existantes, l'IPVF et ses partenaires développent également des méthodes de caractérisation et de simulation avancées, pour analyser et corriger par exemple les processus de vieillissement des cellules photovoltaïques mises en œuvre en condition réelle d'utilisation. Enfin, un programme de recherche transverse vise à évaluer l'impact et les opportunités socio-économiques offertes par les technologies solaires.

Par ailleurs, en marge de la COP21, l'IPVF s'est fixé une mission ambitieuse, celui des « 30/30/30 » : 30 % de rendement à 30 centimes de dollar le watt en 2030. *« Nous ne sommes pas là que pour faire de la belle recherche mais aussi pour répondre à de grands enjeux économiques, écologiques, sociaux ; pour anticiper ce qui va se passer dans les dix ans, dans les vingt ans. Nous travaillons sur des programmes et des projets plus grands que nous. Cette transition énergétique, tout le monde la veut mais elle est difficile »,* partagent les chercheurs. L'objectif de

la France est d'atteindre les 30 % d'énergies renouvelables d'ici à 2030. Propre, disponible, de moins en moins coûteux, recyclable à plus de 90 %, le solaire est prêt à en prendre sa part. ▽

[1] Ce qui place la France dans la moyenne mondiale. À titre d'exemple, en Allemagne et en Italie, le photovoltaïque atteint environ 7 % de la production d'électricité.

[2] Partenaires : CNRS/École polytechnique/EDF/Total/Air Liquide/Horiba/Riber/Investissements d'avenir.

[3] Unité CNRS/École polytechnique/Chimie ParisTech PSL/EDF/Total/Air Liquide/IPVF-SAS.

[4] Le principe consiste à découper des lingots de silicium en plaquettes pour former des cellules photovoltaïques capables de transformer l'énergie solaire en électricité. L'une des limites du silicium est l'épaisseur nécessaire de ces plaquettes pour absorber efficacement la lumière du soleil. Le silicium est le deuxième élément le plus abondant de la croûte terrestre après l'oxygène.

[5] Pour diséléniure de cuivre, gallium et indium.

[6] Unité CNRS/École polytechnique.

Au pic du Midi, la tête dans les étoiles

En octobre 2018, David Darson, du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure de Paris, a passé cinq jours et cinq nuits à l'observatoire du pic du Midi, dans les Pyrénées. Sa mission : réaliser des images du Système solaire avec la caméra infrarouge nouvelle génération qu'il vient de développer. Pour réussir à faire apparaître les zones de faible et de forte luminosité sur un même cliché, la caméra HDR mise au point par l'ingénieur de recherche utilise un procédé inédit : elle choisit les temps de pose pixel par pixel, ce qui réduit drastiquement sa consommation et ses besoins de stockage.





L'observatoire du pic du Midi a été érigé à la fin du XIX^e siècle à 2 877 mètres d'altitude. Encore aujourd'hui, le ciel y est si pur qu'il a été labellisé Réserve internationale de ciel étoilé (Rice) par l'International Dark-Sky Association.

Les caméras utilisées pour observer le ciel opèrent soit dans la lumière visible, comme l'œil humain, soit dans l'infrarouge, comme celle développée par David Darson. Comparé au visible, l'infrarouge donne des informations sur les caractéristiques physiques des corps célestes qui nous seraient autrement inaccessibles.



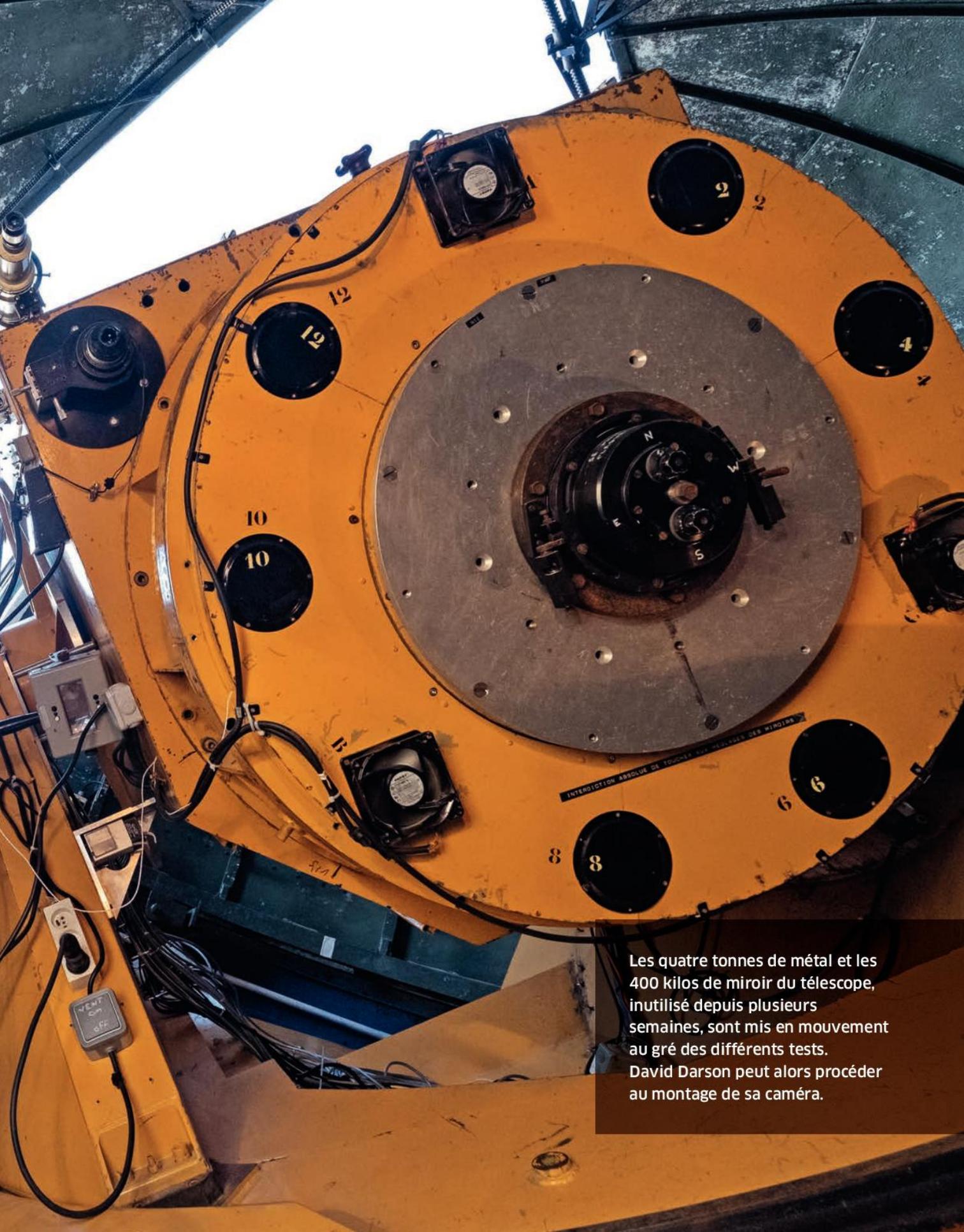






Situé sous la coupole Gentilly, le télescope T1m, avec son miroir d'un mètre de diamètre, est l'un des deux télescopes du pic du Midi. Il est spécifiquement dédié à la station de planétologie des Pyrénées, dirigée par l'astronome François Colas, qui épaula David Darson dans ses observations.





Les quatre tonnes de métal et les 400 kilos de miroir du télescope, inutilisé depuis plusieurs semaines, sont mis en mouvement au gré des différents tests. David Darsion peut alors procéder au montage de sa caméra.





Après trois nuits à la météo peu propice, David Darson parvient à faire ses premières belles images. Le minuscule champ d'étoiles de la nébuleuse d'Orion livre des vues inédites, tandis que Jupiter, Saturne, Mars... se révèlent à la caméra dans un luxe de détails.





On aperçoit Jupiter et sa « grande tache rouge » (qui paraît blanche dans l'infrarouge), Saturne et ses anneaux, Mars dont l'on distingue la calotte glaciaire, la chaîne des trois volcans et le mont Olympe tout près de la limite nuit/jour... Sirius, l'étoile la plus lumineuse de notre ciel, apparaît exceptionnellement avec Sirius B (le point lumineux situé au-dessus de l'étoile), généralement occultée par le flux de lumière de sa grande sœur.





La mission se termine. David Darson reviendra très vite faire de nouveaux tests. En constante évolution, sa caméra intéresse de près le monde de l'astronomie. Grâce à son économie de ressources et à ses images toujours plus détaillées, elle pourrait à terme être embarquée à bord de sondes spatiales.



Texte Laure Cailloce, avec Charlotte Normand,
du département de physique de l'École normale
supérieure (ENS)

Photos Hubert Raguet/département de physique
de l'ENS/Observatoire de Paris/Observatoire
Midi-Pyrénées/CNRS Photothèque
sauf p. 140 D. Darson, F. Colas, J. Dubois/LPENS/
IMCCE/S2P/ImVia

Les phénomènes sociaux peuvent-ils être régis et décrits par des lois mathématiques? Le physicien Pablo Jensen dresse un bilan critique de la tentation modélisatrice qui, à la faveur du développement des big data et des algorithmes, voudrait « mettre la société en équations ».

L'impossible modélisation de la société

Propos recueillis par Mathieu Grousseau

Pourquoi la société ne se laisse pas mettre en équations : pour un physicien travaillant à modéliser la société et nos comportements, le titre de votre livre paru en 2018 est un peu provocateur ?

Pablo Jensen¹ : Vous avez raison, et ce titre est sans doute aussi un peu réducteur. Pour autant, après quinze ans passés à utiliser les outils de la physique théorique pour étudier les phénomènes sociaux, il traduit mon souhait de tirer un bilan critique de cette activité visant à mettre la société en chiffres. De fait, nous vivons entourés d'indicateurs (confiance des ménages, classement des lycées, PIB...) censés aboutir à des décisions objectives, au nom du fait que les chiffres ne mentiraient pas. Or c'est très loin d'être évident. Par ailleurs, sur un sujet dont les conséquences politiques sont énormes, il m'a semblé important de partager ces réflexions avec le plus large public possible, d'où le choix d'écrire un livre.

Mettre la société en équations, il y a derrière cette ambition l'idée que le social, tout comme la nature, serait régi par des lois. En utilisant les techniques de modélisation mathématique et de simulation informatique élaborées pour les sciences naturelles, il serait donc possible de les découvrir, de même que les physiciens ont découvert les lois qui gouvernent le comportement des atomes ou des planètes ?

P. J. : En effet. Si ce n'est que pour ma part, je m'inscris en faux contre cette vision classique mais naïve de la découverte des prétendues « lois de la nature ». Elle néglige complètement le processus complexe de transformation au terme duquel la nature, domptée au sein du laboratoire, se laisse observer et caractériser par les outils conceptuels et techniques de la science. J'aime la métaphore du tigre qui, une fois au cirque, demeure certes un tigre mais n'a plus grand-chose d'un animal sauvage. Par un long investissement, on parvient à lui prélever quelques sauts reproductibles, mais ils ne sont rien par rapport à la multitude de sauts accomplis par le tigre dans son environnement naturel. Sous cet angle, la science ne découvre les lois de la nature qu'après avoir profondément transformé cette dernière. Concernant le social, la question fondamentale est : que signifierait transformer les humains, ou les dompter, pour que la mise en équations de la société soit possible ?

Ainsi, vous êtes essentiellement critique envers les nombreux modèles qui se proposent de décrire et de prédire nos comportements sociaux et économiques.

P. J. : À l'évidence ! Considérons par exemple les modèles utilisés par les économistes pour faire des prédictions de croissance. Une analyse rétrospective a montré qu'ils sont à peine plus

« La question fondamentale est : que signifierait transformer les humains, ou les dompter, pour que la mise en équations de la société soit possible ? »

fiables qu'une prédiction plutôt triviale : la croissance de l'année à venir sera la même que celle de l'année écoulée ! On peut citer aussi cette étude qui a comparé les résultats d'algorithmes complexes à ceux produits par des opérateurs humains, à partir des mêmes données, pour essayer de prédire le risque de récurrence. Résultat : les algorithmes ne font pas mieux que l'intuition humaine, elle-même à peine au-dessus du hasard !

Est-ce une question de capacité de calcul ?

P. J. : Non, pas seulement. Plusieurs études qui ont recours aux outils de l'intelligence artificielle et des big data montrent qu'il est quasi impossible de prédire le succès d'un tweet, un risque de chômage ou le résultat d'une élection. Tout au plus, un algorithme bien pensé peut prodiguer un conseil d'achat de livre à un internaute. Mais dès que l'on souhaite aller au-delà de prédictions triviales, on constate que cela ne marche tout simplement pas.



Pour quelles raisons fondamentales alors ?

P. J. : En science de la nature, la force de la modélisation repose sur le fait qu'il existe des relations stables. Par exemple, en chimie, au-delà de la complexité de toutes les réactions possibles, la nature chimique des atomes est conservée. Cela découle d'un découplage fort entre l'énergie mise en jeu lors d'une réaction, qui n'implique que les électrons, et l'énergie de cohésion des noyaux atomiques, bien plus importante. On dit qu'il y a séparation des échelles. Mais il n'existe pas de tels îlots de stabilité en sciences sociales, dont le comportement serait parfaitement prévisible. Pour le dire rapidement, une personne peut agir d'une certaine façon un jour et faire le contraire le lendemain. Pourquoi ? Parce qu'il n'y a pas de séparation nette entre nos actions et ce qui serait censé nous caractériser profondément (le « noyau »). À l'inverse des atomes, nous sommes faits de nos rencontres.

Toute tentative de modélisation est donc vaine ?

P. J. : Je ne dis pas ça. Considérons un exemple célèbre. En 1969, l'économiste Thomas Schelling s'est demandé si la ségrégation raciale observée dans les villes des États-Unis résultait d'une volonté individuelle de séparation. Autrement dit, les communautés sont-elles séparées parce que les gens sont racistes ? Pour y répondre, il a imaginé un modèle mathématique très simple où chaque agent a une préférence pour vivre dans un environnement mixte. Pour autant, la dynamique de son modèle, liée au fait que les gens décident de déménager ou non sans se soucier des conséquences pour les autres, conduit irrémédiablement à une ségrégation. Ainsi, le modèle démontre qu'il est impossible de tirer une information sur les individus à partir d'un constat d'ensemble, ce qui constitue un résultat important conceptuellement, même s'il est essentiellement négatif. Dans le même esprit, nous avons repris le



« En science de la nature, la force de la modélisation repose sur le fait qu'il existe des relations stables. »

modèle de Schelling avec cette question : quelle fraction d'agents qui décident de déménager sur la base d'un mieux-être global, et pas seulement individuel, faut-il introduire pour que disparaisse la ségrégation ? D'une façon surprenante, nous avons montré qu'une dose infinitésimale suffit. Voilà encore un résultat négatif qui démontre la fragilité du modèle de Schelling, sur lequel certains s'étaient appuyés pour conclure à la hâte que la ségrégation est une fatalité.

Quel est alors selon vous le bon usage des modèles en sciences sociales ?

P. J. : D'abord, reconnaître que les modèles qui se prétendent réalistes ne sont pas fiables. En revanche, certains modèles simples nous aident à mieux penser, en montrant les erreurs de nos raisonnements implicites. Ainsi, le modèle de ségrégation de Schelling montre qu'il n'est pas correct de déduire, de l'observation de la ségrégation urbaine, le racisme des habitants.

▲ Dans certaines villes américaines (ici à Seattle), la police effectue ses patrouilles à l'aide de PredPol, logiciel de prédiction des crimes fondé sur le big data.

© Michael Hanson/The New York Times-REDUX-REA.

Votre critique porte donc plus sur l'utilisation qui est faite des modèles et des indicateurs ?

P. J. : Concernant les indicateurs quantitatifs, la bonne question à se poser est : prétendent-ils remplacer toute l'évaluation ou bien visent-ils à l'enrichir, à rendre la discussion entre humains plus argumentée ? Si l'on considère par exemple que la croissance du PIB constitue l'alpha et l'oméga de toute politique économique, on opère une réduction du réel qui interdit d'imaginer certains futurs. Au contraire, lorsque Thomas Piketty, économiste, essaie d'homogénéiser des données pour comparer les manières dont on vit aujourd'hui et au XIX^e siècle, et parvient à la conclusion que nous nous dirigeons de plus en plus vers une société de rentiers, il capture du réel quelque chose d'intéressant.

Les chiffres et les indicateurs ont même selon vous une fonction démocratique positive ?

P. J. : On a souvent l'impression qu'avoir plus de chiffres, plus d'indicateurs est une manière d'instituer une confiscation du débat par les experts, conduisant in fine à plus de contrôle. Ce risque existe en effet. En même temps, il est intéressant de noter avec l'historien des sciences Theodore Porter que l'introduction d'indicateurs, historiquement, apparaît lorsque la société ne fait plus confiance aux experts. Sans indicateurs chiffrés, les experts peuvent décider de tout, sans contre-expertise possible. De ce point de vue, les indicateurs, en objectivant une partie du réel, sont un gage de plus grande transparence. Le cas du projet d'aéroport à Notre-Dame-des-Landes est intéressant de ce point de vue : le bureau d'études qui a estimé le gain issu de la construction à 900 millions d'euros l'a fait sur des données très contestables. Mais elles étaient explicites et publiques, permettant contre-expertise et débat.

La question de la modélisation en sciences sociales n'est donc pas que scientifique, mais également éminemment politique ?

P. J. : Les modèles formels adoptent le point de vue d'un centre de pouvoir, qui a besoin d'entités simples pour orienter ses actions. Mais les comportements humains restent pour le moment largement variables. On pourrait obtenir des modèles plus pertinents en nous rendant plus prévisibles, suivant la logique des physiciens qui ont purifié la matière pour la comprendre. On y parviendra peut-être avec le système chinois de crédit social qui récompense les « bons comportements » et punit les « mauvais » via un système de points. Mais voulons-nous d'une telle société ? Finalement, on en revient à la métaphore du tigre. Et pour ma part, je ne suis pas certain de vouloir contribuer au domptage du tigre humain. En tout cas, pas sans son consentement. ▼

À lire *Pourquoi la société ne se laisse pas mettre en équations*, Pablo Jensen, collection « Science ouverte », éditions du Seuil, 2018.

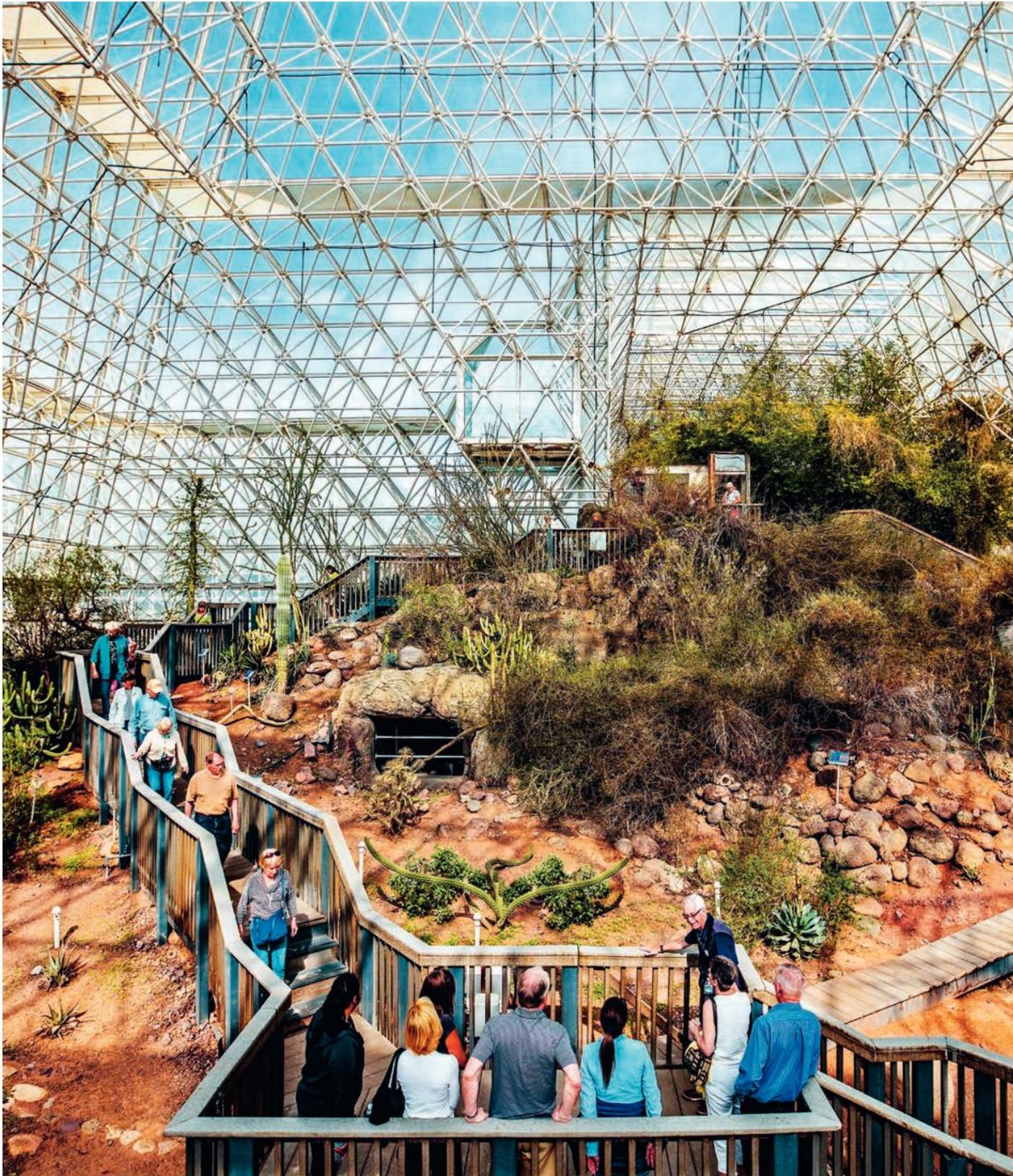
[1] Pablo Jensen est directeur de recherche au CNRS, membre du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure de Lyon (unité CNRS/ Université Claude-Bernard Lyon 1/École normale supérieure Lyon).

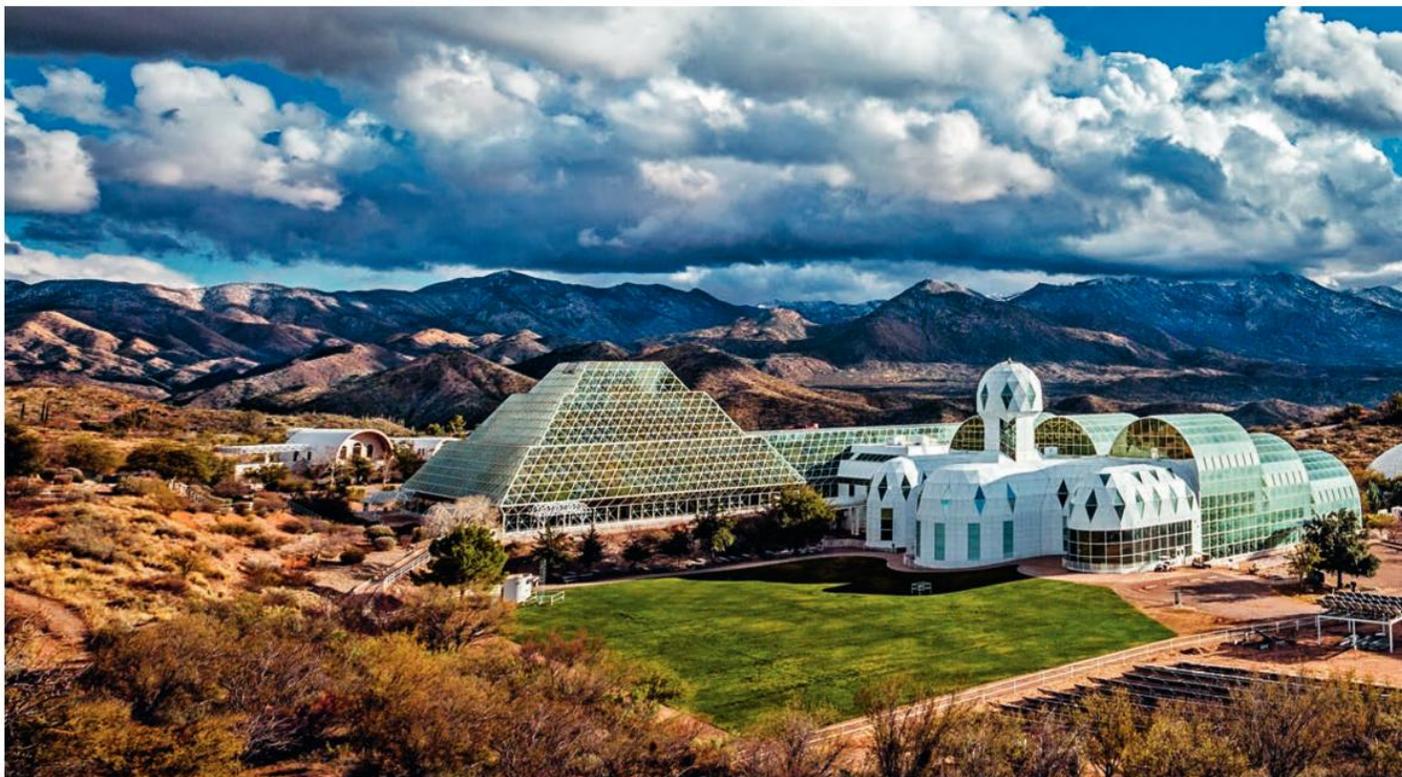
Immense projet né dans les années 1980, Biosphere 2 est une version miniature de notre planète, au milieu du désert de l'Arizona. Conçu pour préparer des séjours sur Mars ou la Lune, ce prototype sert aujourd'hui à anticiper la réaction des écosystèmes au changement climatique.

En Arizona, la Terre sous cloche

par Anaïs Culot

À l'horizon, la silhouette du complexe scientifique Biosphere 2¹ danse sous la chaleur du désert de l'Arizona. Le bâtiment entièrement vitré à l'allure de serre géante héberge une Terre miniature. À l'intérieur, en arpentant la forêt tropicale, sous le grand chapiteau, ne soyez pas étonnés par le ventilateur au-dessus de votre tête ou les longs tuyaux sur votre droite. Dans un mélange curieux de mécanique et de nature, de grands dispositifs recyclent l'air au milieu des végétaux et font fonctionner l'immense machine qu'est Biosphere 2. Levez la tête, vous verrez la cime des arbres buter contre le plafond. Tendez l'oreille et écoutez la cascade marquant le début du cycle de l'eau. Au bout de la forêt, sans la moindre frontière, l'odeur de sel et l'air tiède d'un océan artificiel succèdent à l'atmosphère chaude et humide de la forêt. Au total, cinq biomes² miniatures se connectent dans l'écosystème global de plus d'un hectare. On ne sera jamais passé aussi vite d'une savane à une mangrove après avoir traversé un désert.





Initialement conçue comme un modèle de colonisation lunaire ou martienne, l'expérience Biosphere 2 a été nommée en hommage à la première biosphère : la Terre.

Conçue à la fin des années 1980, Biosphere 2 est aux sciences du système Terre ce qu'un accélérateur de particules est à la physique. Elle permet d'explorer de manière fondamentale les réactions environnementales d'un système contrôlé. Imaginez un lieu, entièrement hermétique, scellé au sol par 500 tonnes de plaques en acier inoxydable. La structure perd peu d'air, mais elle dépend de variables extérieures. En fonction de la température, l'air se dilate ou se contracte au risque de faire exploser l'enceinte. C'est pourquoi, la plateforme dispose d'un « poumon » : une structure de 16 tonnes capable de monter et de descendre en fonction de la pression à l'intérieur. Cette merveille d'ingénierie offre un terrain de jeu unique aux scientifiques du monde entier. « Depuis 2014, le CNRS, associé à Biosphere 2, bénéficie de ce lieu unique pour mieux comprendre les rétroactions entre changement climatique, cycle du carbone et cycle de l'eau, ainsi que les réponses des habitats à ces modifications », expose Régis Ferrière, directeur du laboratoire iGlobes³ situé à Tucson. Si les



Photo d'ouverture Des visiteurs explorent la zone correspondant au désert.

© Steven Meckler/UANews

▲ Vue aérienne de Biosphere 2 à Oracle, en Arizona.

© Steven Meckler/UANews

problématiques de recherche ont pu évoluer au fil des années, l'objectif principal de Biosphere 2 demeure inchangé : comprendre le fonctionnement de notre planète et notre impact sur la biosphère.

Objectif Lune !

Initialement conçue comme un modèle de colonisation lunaire ou martienne, l'expérience Biosphere 2 a été nommée en hommage à la première biosphère : la Terre. Dans les années 1990, deux expériences en autarcie ont été menées posant la question de notre capacité à vivre en autonomie. « À l'époque, cette interrogation mettait en avant l'idée que nous avons besoin d'une sorte de patchwork de tous les biomes de la planète pour être autonomes. C'était peut-être un peu simpliste mais cela reste une question ouverte », explique Régis Ferrière.

Les expériences préliminaires ne furent pas concluantes. La première tentative fut marquée par une perte drastique d'oxygène à l'intérieur de la plateforme sans que la cause ne soit identifiée.

La deuxième fut avortée après seulement quelques mois. Force est de constater alors à quel point l'homme connaît peu le fonctionnement de son environnement. « Depuis 2007, sous l'impulsion de Joaquín Ruiz, vice-président Innovation de l'Université d'Arizona, et de Peter Troch, professeur d'hydrologie, une nouvelle phase a commencé pour l'instrument, en le plaçant au cœur de travaux de recherche qui ne peuvent être conduits ailleurs. Il s'agit d'exploiter ce qui fait le caractère unique de l'appareil pour mieux comprendre les écosystèmes et leur fonctionnement », présente Régis Ferrière.

La réponse des habitats

Tous les habitats subissent actuellement un stress environnemental influençant leurs dynamiques et leur évolution. En conséquence, des dispositifs comme le Métatron, en France, permettant l'étude des réactions de populations animales et végétales au changement climatique, et Biosphere 2, étendu aux réponses d'écosystèmes entiers, jouent un rôle



crucial pour comprendre comment l'environnement réagit face au changement du climat. « *C'est unique d'avoir en Arizona, à proximité immédiate de quelques-uns des meilleurs laboratoires de sciences environnementales au monde, un petit morceau de forêt tropicale. Depuis leur création il y a environ trente ans, les communautés végétales ont eu le temps de se stabiliser. Aujourd'hui, elles font l'objet d'études inédites dans de telles conditions contrôlées, par exemple sur les composés organiques volatils* », précise Régis Ferrière. Ces espèces organiques gazeuses, actrices importantes de la chimie de l'atmosphère, impactent notamment l'effet de serre et les concentrations en ozone. Étudier leur composition et leur implication sur le fonctionnement des plantes à une telle échelle est difficile à mettre en œuvre en milieu naturel à cause de la multiplication de sources, des conditions météorologiques, etc.

En tirant parti des avantages d'un système clos comme Biosphere 2, qui permet de s'affranchir de nombreuses contraintes, l'équipe du professeur

Laura Meredith, spécialiste de génomique des écosystèmes (Université d'Arizona), parvient à observer de tels phénomènes.

Évolution des paysages et cycle du carbone

Plus loin, un consortium d'équipes internationales, sous la houlette de Diane Thompson, professeure de géosciences (Université d'Arizona), explore les effets complexes des variations du CO₂ atmosphérique sur le fonctionnement des écosystèmes océaniques. « *On analyse les réponses de la diversité génétique des récifs coralliens aux changements climatiques. Existe-t-il des variantes génétiques de coraux plus résistantes que d'autres à des changements de température ou de pH de l'eau de mer ? Comment différentes variétés génétiques interagissent-elles et répondent conjointement aux effets du changement climatique ?* », détaille Régis Ferrière. À chaque biome, sa problématique. Sous de grandes chapelles de verre, trois collines artificielles de 11 mètres sur 6, truffées de sondes et de capteurs électroniques, servent à l'étude des

▲ Avec un volume d'eau total de près de 685 000 litres, ce « mini-océan » permet de simuler l'évolution d'un écosystème corallien.
© Bob Demers/UA News

cycles de l'eau et du carbone d'un bassin-versant⁴ dans son intégralité. Des arroseurs imposent des pluies d'intensité variable à des sols formés à partir de basalte, caractéristiques de zones semi-arides. « On cherche à comprendre le bilan carbone du sol. D'un côté, l'altération des minéraux est un processus qui séquestre du CO₂ dans le sol, de l'autre, la respiration du sol est le mécanisme qui va dans l'autre sens avec un ensemble de processus vivants relarguant du CO₂ dans l'atmosphère. On veut savoir comment les deux s'équilibrent sous différentes conditions. L'interaction est compliquée par le fait que l'altération est, elle aussi, influencée par l'activité des micro-organismes du sol », explique le chercheur.

Un dispositif similaire miniaturisé dans l'Écotron, en Île-de-France, simulateur climatique entièrement confiné et contrôlé, complète cette expérience. « La dégradation de la matière organique par les enzymes de certains micro-organismes constitue un maillon crucial du cycle du carbone. Or le changement climatique impose une sélection génétique des micro-organismes, et donc de leurs propriétés fonctionnelles, comme leur capacité à sécréter des enzymes. Avec les deux dispositifs, Biosphere 2 et Écotron, on agit sur le climat et on veut comprendre comment le cycle du carbone s'en trouve modifié », détaille-t-il. Les données récoltées alimentent à leur tour un réseau de modèles de fonctionnement global des écosystèmes dans le but d'améliorer les projections du climat futur.

Une plateforme tournée vers demain

Siège d'expériences scientifiques uniques au monde, Biosphere 2 jouit également d'une riche histoire. Celle-ci a inspiré Brigitte Juanals, du Centre Norbert Elias⁵, lors de son séjour en tant que chercheuse invitée par iGlobes au printemps 2018. En effet, elle souhaite analyser comment la communication, faite par

cette entité, et sa médiatisation contribuent à définir son identité dans notre société. « Les évolutions de Biosphere 2 sont en relation avec les grandes évolutions de la société relatives aux interactions entre l'homme et son environnement naturel. Je pense que l'on peut aborder les différentes dimensions de Biosphere 2 au travers de la communication médiatique, les médias s'étant rapidement intéressés au projet », explique la chercheuse. Depuis ses premières problématiques liées aux conditions d'existence, à la préservation des espèces, au changement climatique, Biosphere 2 demeure une plateforme tournée vers l'avenir. Comprendre sa place dans la société, comment elle s'articule dans les préoccupations de différentes époques, c'est aussi nous aider à mieux appréhender ce que demain nous réserve. ▽

[1] Biosphere 2 est rattachée à l'Université d'Arizona.

[2] Un biome est une vaste région biogéographique s'étendant sous un même climat et caractérisée par la végétation et les espèces animales qui y vivent et qui y sont adaptées. Par exemple, la toundra, la forêt tropicale humide, la savane ou encore le récif corallien.

[3] iGlobes est une unité mixte internationale (UMI) commune au CNRS, à l'Université d'Arizona et à l'École normale supérieure-Université PSL.

[4] Unité géographique naturelle recevant les précipitations qui alimentent un cours d'eau.

[5] Unité CNRS/École des hautes études en sciences sociales/Avignon Université/Aix-Marseille Université.

Grande biologiste française, médaillée d'or du CNRS en 1986, Nicole Le Douarin revient dans son ouvrage *Les Secrets de la vie* sur son parcours scientifique, ses travaux sur les chimères animales et les grandes avancées des dernières décennies en biologie.

Nicole Le Douarin

Au cœur du vivant

À 28 ans, je décidai de me mettre en quête d'un laboratoire où je pourrais entreprendre un travail de recherche qui me mènerait à un doctorat. Je ne soupçonnai pas les difficultés que j'allais rencontrer. On était en 1958, et la recherche en France, qui avait beaucoup souffert de la guerre et de l'Occupation, se relevait doucement. Peu de laboratoires, dans ma discipline, occupaient les premières places dans la recherche mondiale qui avait surtout progressé aux États-Unis. Heureusement, le CNRS, créé en 1939, juste avant le déclenchement de la Seconde Guerre mondiale, a joué, après le retour de la paix, un rôle décisif dans la renaissance de la science française. J'ai donc commencé à chercher un laboratoire qui me permette de travailler, comme chercheur « libre » pendant les moments que me laissaient mes fonctions d'enseignante. Je n'ai obtenu que des refus : j'étais trop âgée (!), j'avais une famille, deux enfants et un emploi (professeur de lycée), que voulais-je de plus... ? C'est la réponse qui me fut faite (par une femme) qui me renvoyait à mes chères fonctions d'enseignante.

Cette expérience m'a un peu découragée... Mais la chance est venue à mon secours : j'ai rencontré, par hasard, une ancienne amie que je n'avais pas revue depuis plusieurs années. Elle



▼ Nicole Le Douarin dans la bibliothèque Mazarine de l'Institut de France. Nicole Le Douarin, lauréate du prix d'Honneur Inserm 2009 est embryologiste, professeure honoraire au Collège de France, et secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des sciences. Ses recherches ont permis une avancée considérable dans le domaine du développement embryonnaire.
© Inserm/Patrice Latron

avait opté pour la recherche et moi, pour l'enseignement. Elle m'a introduite auprès du professeur Étienne Wolff, qui dirigeait un des laboratoires de biologie du développement les plus actifs de cette époque. Ce laboratoire, il l'avait monté à l'Université de Strasbourg en rentrant de cinq années comme prisonnier de guerre en Allemagne, grâce à l'aide du CNRS. Il venait d'être nommé professeur au Collège de France et poursuivait son œuvre, toujours avec le soutien du CNRS, qui installait pour lui un Institut d'embryologie et de tératologie expérimentales dans une annexe du Collège de France située à Nogent-sur-Marne. Contrairement aux chefs de laboratoire que j'avais consultés auparavant, Étienne Wolff accepta de me prendre « à l'essai » à temps très partiel. C'est ainsi que je fis mes premiers pas dans la recherche.

J'ai commencé mes travaux de recherche à Nogent alors que le laboratoire était au sommet de son activité, tant du point de vue de la quantité que de la qualité des travaux qui s'y faisaient. Le projet que me confia mon patron fut l'étude du développement de l'appareil digestif, un domaine qui avait été peu étudié jusque-là. Pendant les deux premières années, j'ai poursuivi mes recherches à temps très partiel et n'ai pu m'y consacrer pleinement qu'après avoir obtenu mon détachement de l'enseignement secondaire au CNRS. Je devenais une chercheuse à plein temps.

J'ai rapidement compris que la recherche serait mon choix pour la vie. Il faut dire que pour les chercheurs dont le matériel expérimental est l'embryon d'oiseau, le spectacle offert par la transformation, en deux ou trois jours, de l'embryon précoce qui se présente comme une couche de cellules étalées sur le jaune, en un organisme hautement structuré, pourvu d'une tête, d'un tronc et d'un cœur qui bat, le tout entouré d'un halo de vaisseaux sanguins, est une merveille à laquelle on ne peut rester indifférent. Essayer d'analyser les déplacements des cellules qui composent cet ensemble en permanente évolution et tenter de mettre en évidence les événements cellulaires moléculaires et les lois qui sous-tendent ces processus paraissait un projet fascinant mais très ambitieux.

Cela n'était pas pour me décourager, et mon travail de thèse s'est tout d'abord centré sur l'analyse des mouvements qui

président à la transformation spectaculaire d'un embryon en deux dimensions, étalé sur le jaune de l'œuf, en une structure tubulaire en trois dimensions, qui produit ce qui est appelé à devenir les glandes digestives. J'ai mis au point une méthode pour suivre les mouvements des couches cellulaires destinées à former le tube digestif et ses annexes. Je me suis ensuite consacrée essentiellement à l'étude du développement du foie ; un domaine totalement nouveau à l'époque.

J'étais particulièrement intéressée par la morphogénèse, c'est-à-dire par les mécanismes qui conduisent les cellules issues de la division de l'œuf à se mouvoir et s'organiser pour sculpter les tissus et les organes qui constituent le corps de l'embryon puis de l'adulte. Mais comment aborder l'étude de ce problème d'une manière efficace ? C'est alors que la chance me sourit une fois encore. Les embryologistes qui utilisaient l'embryon du poulet comme matériel expérimental ont eu accès à des œufs d'une autre espèce d'oiseau, désormais utilisée dans l'alimentation humaine : la caille. C'est en faisant quelques expériences pour tester ce nouveau matériel que j'ai remarqué qu'il présentait une particularité intéressante qui avait jusque-là échappé à l'œil des chercheurs. Elle concernait le noyau des cellules dont l'organite central (appelé « nucléole ») avait une taille « géante » comparée à celle du nucléole des cellules de poulet et d'ailleurs à celui de la plupart des organismes (comme l'homme ou la souris). En outre, le nucléole des cellules de la caille était constitué, non seulement par de l'ARN et des protéines, ce qui correspond à la structure normale de cet organite, mais il contenait en plus une quantité d'ADN anormalement grande. De sorte qu'au microscope, les cellules de caille et de poulet pouvaient être distinguées sans ambiguïté en utilisant une coloration adéquate.

Cette observation a déclenché chez moi toute une série de réactions particulièrement décisives pour la suite de mes travaux. Il m'est immédiatement apparu que je pouvais construire un « système expérimental » qui me permettrait de suivre le déplacement des cellules dans l'organisme au cours du développement de l'embryon : une ambition qui occupait l'esprit de nombre d'embryologistes mais que personne jusque-là n'avait pu réaliser.



J'étais particulièrement intéressée par la morphogénèse, c'est-à-dire par les mécanismes qui conduisent les cellules issues de la division de l'œuf à se mouvoir et s'organiser pour sculpter les tissus et les organes qui constituent le corps de l'embryon puis de l'adulte.



► Nicole Le Douarin dans son laboratoire à l'Institut d'embryologie.
© CNRS Photothèque/Institut d'embryologie

▼ La chercheuse a mené ses recherches en partie sur les œufs de poulet et de caille.
© Inserm/Patrice Latron

Au cours de mon travail de thèse, j'avais acquis une solide expérience en microchirurgie embryonnaire. Il suffisait que je la mette à profit pour construire des embryons « chimériques » dans lesquels coexisteraient des cellules des deux espèces. Il était en effet évident que les mouvements des cellules issues des divisions de l'œuf jouent un rôle essentiel dans la construction des tissus et des organes. Quels étaient ces mouvements, quelle ampleur et quelle signification avaient-ils pour l'embryogénèse ? Telles étaient les questions que je pouvais poser en espérant pouvoir y apporter une réponse.

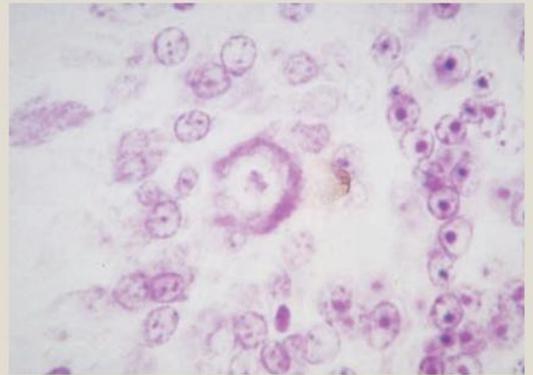
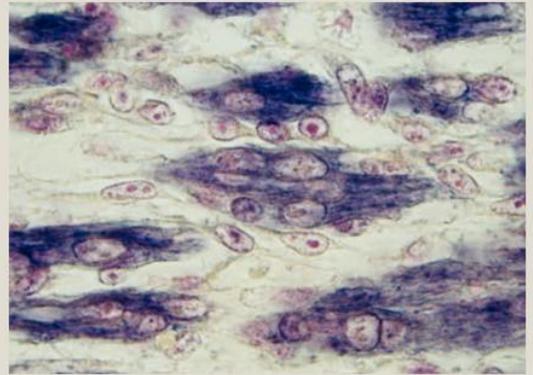
C'est alors que j'ai décidé de me tourner vers la neurobiologie et de m'intéresser aux migrations des cellules qui ont pour origine l'ébauche embryonnaire du système nerveux. Celui-ci est en effet constitué d'un système nerveux central (cerveau et moelle épinière) et d'un système nerveux dit « périphérique » contrôlant le fonctionnement des organes internes. Le premier (central) dérive d'une ébauche embryonnaire formée par un tube qui résulte du repliement de la couche externe de l'embryon (l'ectoderme). Les bords latéraux de ce tube se rencontrent dorsalement, forment une sorte de crête à sa surface (la crête neurale) dont les cellules ont un destin particulier.

Elles deviennent migratrices et envahissent le corps entier de l'embryon après un voyage dont l'étendue est, pour certaines d'entre elles, considérable.

S'il est vrai que l'existence de la crête neurale et les propriétés migratrices de ses cellules avaient déjà été découvertes, leur destinée et le rôle qu'elles jouent dans l'embryogénèse et la physiologie des vertébrés n'étaient connus que très partiellement. Découverte par l'histologiste suisse Wilhelm His en 1868, la crête neurale avait fait l'objet d'études essentiellement chez les vertébrés dits « primitifs » ou « inférieurs » – poissons et amphibiens – jusqu'au milieu du XX^e siècle. Peu de travaux avaient été réalisés lorsque je me suis intéressée à cette structure chez les vertébrés supérieurs comme les oiseaux et les mammifères. Je décidai d'utiliser les chimères pour réinvestir ce domaine de recherche jusque-là négligé faute d'une méthode convenable pour l'étudier. Notre contribution à la connaissance du rôle de la crête neurale dans la construction et le fonctionnement du corps des vertébrés, ce groupe d'animaux auquel nous appartenons, a été très remarquée et peut se résumer ainsi.

Tout d'abord, nous avons mis en évidence des dérivés de la crête neurale qui n'avaient pas été identifiés. Dans un premier temps, nous nous sommes attachés à identifier tous ces dérivés, ainsi que le niveau de leur origine et les voies de migration qu'empruntent les cellules pour atteindre leur destination. Ces dérivés sont de différents types et comprennent : les cellules pigmentaires (ou mélanocytes), responsables de la couleur des cheveux et de la peau ; les neurones des systèmes nerveux sympathique et parasympathique ; les cellules gliales situées le long des nerfs et au sein des ganglions nerveux ; des cellules endocrines telles que celles de la glande surrénale, qui produisent l'adrénaline ; et d'autres cellules, enfin, dont l'origine à partir de la crête neurale n'avait pas été découverte : les cellules d'un organe que nous possédons le long de la carotide, le corps carotidien (qui produisent de la dopamine chez le poulet et de la sérotonine chez la caille), et les cellules à calcitonine de la glande thyroïde.

Mais le plus important fut de montrer la participation de la crête neurale à la construction de la tête des vertébrés. Contrairement à une idée reçue, ce ne sont pas seulement les



Notre contribution à la connaissance du rôle de la crête neurale dans la construction et le fonctionnement du corps des vertébrés, ce groupe d'animaux auquel nous appartenons, a été très remarquée.



► **En haut** Tissu musculaire d'une chimère caille-poulet : les myocytes colorés en bleu ont le noyau typique du poulet (apparence homogène) et les cellules intersticielles ont le noyau typique de la caille (ADN massé au centre).

© CNRS Photothèque

► **En bas** Ce cervelet chimère appartient à un embryon de caille dont le « territoire mésencéphalique » a été remplacé par le territoire équivalent prélevé chez un embryon de poulet de même stade.

© CNRS Photothèque

▼ En 1986, Nicole Le Douarin, ici aux côtés de Serge Feneuille, alors directeur général du CNRS, reçoit la médaille d'or de l'organisme, la plus haute récompense scientifique française.

© CNRS Photothèque/Orp.

vertèbres, formant cet axe squelettique souple autour de la moelle épinière, qui caractérise le mieux les vertébrés. C'est plutôt leur tête, leur cerveau et les organes des sens qui leur sont associés qui les distinguent le mieux des autres membres du groupe des cordés (animaux qui possèdent un axe rigide dorsal, la notocorde) avec lesquels ils ont en commun le plan général de leur organisation.

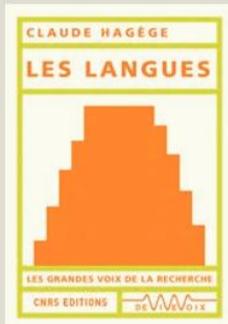
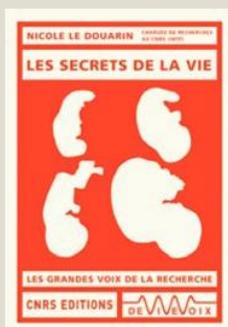
Ces travaux ont amené à réévaluer l'origine des vertébrés au cours de l'évolution. Leur émergence a été marquée par l'apparition de structures céphaliques complexes. Les vertébrés font partie d'un groupe d'animaux caractérisés par un système nerveux dorsal, sous-tendu par un organe rigide chez les plus primitifs d'entre eux, la corde dorsale, d'où le nom de cordés qui leur est donné. Le processus de céphalisation qui s'est accentué progressivement pour atteindre sa forme la plus aboutie dans l'espèce humaine est étroitement associé à l'apparition de la crête neurale qui est absente chez les cordés primitifs ou proto-cordés qui possèdent une extrémité céphalique peu organisée. Les travaux que nous avons réalisés, montrant le rôle de la crête neurale dans l'embryogenèse de la tête, ont révélé la signification évolutive majeure de cette structure discrète et transitoire,

longtemps peu étudiée, de l'embryon des vertébrés. La crête neurale a permis et largement participé au développement de la tête des vertébrés, un processus qui a conduit à l'apparition d'*Homo sapiens*.

Le système de marquage caille/poulet a aussi été appliqué à la neurogenèse cérébrale. Une autre application du système de marquage cellulaire au moyen de greffes interspécifiques entre la caille et le poulet a été de démontrer l'existence puis de suivre, avec une précision jamais atteinte jusque-là, les mouvements cellulaires qui se produisent au cours du développement du cerveau. Le positionnement des neurones, et les interconnexions qui s'établissent entre eux au cours du développement conditionnent le fonctionnement ultérieur du cerveau. La mise en place précise des réseaux neuronaux est donc essentielle pour le bon fonctionnement du système nerveux et leur identification, au cours de la neurogenèse, est de première importance. Des travaux ont été consacrés, par nous et d'autres laboratoires, aux mécanismes moléculaires qui entrent en jeu dans le positionnement des neurones au cours du développement de l'embryon. Des erreurs dans ce processus sont à l'origine de désordres neurologiques observés chez l'homme tels que certaines formes d'autisme.

La possibilité de construire des chimères dans lesquelles certaines parties du cerveau sont substituées par celles, équivalentes, provenant d'un autre individu a offert des possibilités inédites. J'en citerai quelques-unes dont, d'abord, la recherche, en collaboration avec l'Institut national de la recherche agronomique, de la région du cerveau responsable d'un syndrome épileptique d'origine génétique, rencontré chez le poulet et semblable à un dysfonctionnement du même type qui affecte l'espèce humaine. La région du cerveau impliquée dans cette anomalie ainsi que le gène qui en est responsable ont pu être identifiés grâce à ces travaux. Cette incursion dans le domaine de la pathologie humaine a été réalisée à Nogent, sous l'autorité scientifique du docteur Robert Naquet, directeur de recherche au CNRS, spécialiste de l'épilepsie. Une autre étude a porté sur les problèmes comportementaux et a été développée au laboratoire par un chercheur postdoctoral américain, Evan Balaban. Il a démontré

Une autre application du système de marquage cellulaire au moyen de greffes entre la caille et le poulet a été de démontrer l'existence puis de suivre les mouvements cellulaires qui se produisent au cours du développement du cerveau.



qu'une différence entre les vocalisations juvéniles émises par la caille et le poulet, de nature génétique, dépend d'une région déterminée du tronc cérébral. Ainsi, le chant spécifique d'une espèce peut être transmis à l'autre par la greffe embryonnaire d'une région définie du tronc cérébral entre ces deux espèces. Cette expérience montrait que le cerveau est composé de modules fonctionnels qui prennent leur source dans l'ébauche neurale dès un stade très précoce du développement.

Nos travaux dans les deux domaines du comportement et de la pathologie ont été particulièrement bien reçus et ont fait l'objet de publications dans des journaux internationaux de tout premier rang. Le fait que le système des chimères puisse donner lieu à des applications aussi diversifiées constituait pour moi une grande satisfaction. Il a d'ailleurs été utilisé par d'autres laboratoires pour résoudre diverses questions d'ordre embryologique ou physiologique. ▽

Donner la parole aux médaillés d'or du CNRS, sur leur parcours, leurs travaux et leur passion : tel est l'objet de la collection *Les grandes voix de la recherche*, lancée par CNRS Éditions et De Vive Voix à l'occasion des 80 ans de l'organisme, et dans laquelle est publié l'ouvrage de Nicole Le Douarin. Tous les ouvrages de cette série seront disponibles en librairie en version imprimée et en ligne sous forme de livre audio.





Je me souviens...

... de notre enthousiasme à la suite de la découverte de ces traces, repérées il y a tout juste dix ans, le 5 avril 2009, dans le massif du Jura, par deux membres de la Société des naturalistes d'Oyonnax (Marie-Hélène Marcaud et Patrice Landry, en position accroupie sur la photo). Mon confrère Jean-Michel Mazin (debout, à gauche) et moi-même venions d'authentifier leur découverte : des pas de dinosaure sauropode, un géant herbivore d'au moins 35 mètres de long et 35 tonnes, passé par là il y a près de 150 millions d'années. Ces empreintes faisaient plus d'un mètre de diamètre. En trois années de fouilles, nous avons mis au jour une piste sur 155 mètres de long : 110 pas successifs qui correspondent à quatre minutes de la vie de l'animal. Un record du monde^[1]! Le dinosaure semblait rechercher les zones les plus solides afin de ne pas s'enliser dans la boue. Voilà que nous pouvions désormais appréhender le psychisme de cet animal, dont il n'existe quasiment aucun reste fossile dans la région.

Pierre Hantzpergue, professeur au Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement^[2].

► © Hubert Raguet/LGL/TPE/CNRS Photothèque

[1] *Geobios*, vol. 50 (4), 2017, p. 279-301.

[2] Unité CNRS/Université Claude-Bernard Lyon-1/École normale supérieure Lyon/Université de Lyon.

GÉRARD NOIRIEL POUR UNE HISTOIRE SOCIALE

Propos recueillis par Lydia Ben Ytzhak

Auteur d'Une histoire populaire de la France aux éditions Agone, Gérard Noiriél, qui se définit lui-même comme socio-historien, revient sur sa méthodologie et sur la place du chercheur dans la société d'aujourd'hui.



▲ © Frédérique Plas/CNRS Photothèque

Comment votre intérêt pour l'histoire et la sociologie est-il né ?

Gérard Noiriel : Je suis vosgien d'origine, et c'est justement l'une des raisons pour lesquelles je me suis intéressé aux questions de migration et de stigmatisation. J'avais 6 ans lorsque mes parents ont déménagé en Alsace. À cette époque, à la fin des années 1950, dans les petites villes, les Alsaciens ne parlaient pas français entre eux. Je vivais dans cet environnement comme un étranger. De plus, mes parents étaient athées, alors que la religion était extrêmement présente, même à l'école, puisque l'Alsace et la Moselle étaient allemandes en 1905 et n'ont donc pas été concernées par la loi sur la laïcité. Il y avait aussi des raisons sociales : nous étions une famille modeste et nombreuse. En raison de ce cumul, j'ai fortement ressenti une forme d'exclusion. Le paradoxe c'était que les petits Alsaciens considéraient ceux d'ailleurs comme les « Français de l'intérieur ». J'étais donc à la fois de l'intérieur et de l'extérieur. Ce double bind suscite des dispositions pour la sociologie !

Vous vous êtes pourtant d'abord orienté vers l'enseignement...

G. N. : Contrairement à l'idée répandue qu'autrefois l'école de la République était un tremplin pour l'ascension sociale, mon expérience personnelle a été beaucoup plus chaotique. Les enfants des familles pauvres ne pouvaient pas aller au lycée. La seule possibilité de poursuivre jusqu'au bac, c'était de passer le concours d'entrée à l'école normale d'instituteurs, et c'est ce que j'ai fait. Ce ne sont pas des raisons intellectuelles qui m'ont poussé à continuer mes études, mais la volonté de retarder le plus possible mon entrée dans la vie active. C'était ma manière d'interpréter les paroles d'une chanson de Bernard Lavilliers : « On a cherché toutes les combines pour échapper



aux grandes usines. » Vu que mes deux frères étaient ouvriers, ce n'était pas abstrait comme menace. C'est seulement à la fac que s'est révélée ma vocation de chercheur, quand j'ai découvert qu'on pouvait en faire son métier... Aujourd'hui, toute une série de passerelles qui existaient quand j'étais jeune ont disparu. Ça veut dire que certains relais manquent. C'est pour cela que j'ai fondé l'association Daja, un collectif qui regroupe des artistes, des chercheurs en sciences sociales et des militants, dans l'idée de renouveler l'éducation populaire et l'éducation civique, notamment sur la question du racisme. Notre premier projet, une conférence théâtrale sur l'histoire du clown Chocolat, a permis de faire redécouvrir le destin extraordinaire du premier artiste noir de la scène française. J'ai publié deux livres sur lui et un producteur de cinéma s'est intéressé au sujet pour en faire un film avec Omar Sy dans le rôle-titre. Actuellement, nous organisons des « conférences gesticulées », une autre façon de transmettre



▲ Affiche de l'exposition organisée par l'association Daja.
© Association Daja

le savoir dans des langages qui peuvent être compris par des gens qui ne lisent pas de livres.

Devenu professeur au collège de Longwy, en Meurthe-et-Moselle, vous avez participé à une radio pirate lors des grèves de l'industrie sidérurgique des années 1970...

G. N. : Après mon agrégation d'histoire, j'ai fait mon service militaire au titre de la coopération en République populaire du Congo, de 1975 à 1977. J'ai éprouvé alors un sentiment d'impuissance par rapport aux réalités locales. La vision qu'on en avait en France était complètement erronée. À mon retour, j'ai obtenu mon premier poste d'enseignant dans un collège de la banlieue de Longwy. Moi qui venais d'un milieu modeste mais complètement dépolitisé, j'ai découvert le monde ouvrier, syndiqué et imprégné par une culture de classe très forte, où dominaient des valeurs de solidarité et de dignité. Cette expérience a été un moment fondamental dans ma vie : le monde des

« hommes du fer » était fascinant. Aujourd'hui, il n'y a plus aucune usine dans la région mais quand j'y vivais, le fond des vallées était occupé par des aciéries et des laminoirs qui brillaient de tous leurs feux. La nuit c'était très impressionnant. Peu de temps après mon arrivée, en 1979-80, une grande grève a éclaté contre les fermetures d'usine. Elle a embrasé le bassin de Longwy-Villerupt pendant six mois et a été relayée par des radios libres qui étaient encore interdites à l'époque. J'ai fait moi-même des émissions d'histoire à Lorraine cœur d'acier, radio de la CGT. Cette expérience a déterminé mon choix de thèse, centré sur l'histoire de la classe ouvrière, ce qui m'a amené à étudier l'histoire de l'immigration. Le monde ouvrier local était, en effet, le produit des multiples migrations qui avaient eu lieu dans la région, en provenance de Belgique, d'Italie, de Pologne, d'Algérie, etc. La fermeture des usines était perçue comme une menace pour leur intégration dans ce monde-là.

Quelle est la particularité de votre démarche dans la recherche historique française ?

G. N. : J'ai toujours été très préoccupé par la question de l'utilité de la science historique. C'est pourquoi je me suis efforcé de mettre mon travail à la disposition d'un public dépassant le cercle des spécialistes. Je me suis par ailleurs demandé quelle était notre part de responsabilité à nous, « intellectuels de gauche », dans l'évolution assez inquiétante de notre vie politique. Lors des luttes de Longwy, j'avais été frappé par le décalage entre l'effervescence d'une mobilisation menée par ceux d'en bas et la difficulté que rencontraient les porte-parole pour en rendre compte. La sociologie de Pierre Bourdieu m'a aidé à voir plus clair dans ce genre de problèmes. J'ai aussi eu la chance d'être recruté à l'École normale supérieure (ENS, rue d'Ulm) pour m'occuper, aux côtés du sociologue Jean-Claude Chamboredon, d'un DEA (master 2) de sciences sociales interdisciplinaire, organisé par l'ENS et l'École des hautes études en sciences sociales. Cette formation accueillait des étudiants qui n'étaient pas issus des khâgnes de Louis-le-Grand et Henri-IV. Cela m'a permis d'enrichir ma formation de socio-historien sans pour autant être affilié à telle ou telle école de pensée. Je ne me suis jamais reconnu dans les étiquettes toutes faites : « marxiste », « bourdieusien », « foucaldien », etc., parce que dans mon travail, j'utilise les concepts et méthodes en fonction des recherches empiriques que je développe. C'est ce que j'explique dans mon livre *Penser avec, penser contre*².

Comment vos travaux sur l'histoire du monde ouvrier vous ont-ils conduit à devenir l'un des premiers historiens français de l'immigration ?

G. N. : Au début de mes études supérieures à Nancy, bien que la Lorraine ait été un haut lieu de migrations, personne ne s'occupait de ces

questions. Si on ne travaillait pas sur Jules Ferry ou Henri Poincaré, on n'avait guère de possibilités pour faire une thèse sur place. C'est pourquoi je me suis inscrit à l'université Paris-8 et j'ai demandé à l'historienne Madeleine Rebérioux de diriger ma thèse. Malgré l'importance des questions d'immigration dans l'histoire contemporaine de la France, elles étaient ignorées des historiens et laissées aux sociologues. J'ai contribué depuis, avec d'autres, à légitimer le sujet.

Vous vous définissez « socio-historien »...

G. N. : C'est un champ de recherches au croisement entre deux disciplines mères : d'un côté l'histoire, qui éclaire l'historicité du monde dans lequel on vit ; de l'autre la sociologie, qui s'intéresse au lien social, en se demandant comment on passe de l'individu aux groupes. Pour développer mes travaux, je me suis beaucoup appuyé sur l'œuvre du sociologue Norbert Elias, car il est à mes yeux un des pères fondateurs de la socio-histoire.

Votre livre s'inscrit dans la lignée d'*Une histoire populaire des États-Unis* d'Howard Zinn³.

Au-delà de la similitude du titre, qu'y a-t-il de commun à vos deux démarches ?

G. N. : Lorsque l'éditeur marseillais Agone qui venait de traduire le livre de Zinn m'a proposé d'engager un travail comparable sur la France, je me suis lancé avec enthousiasme dans l'aventure. Mais j'en avais sous-estimé les difficultés. Howard Zinn a écrit son ouvrage dans les années 1970, une époque où les militants étaient très optimistes et où toutes les luttes pouvaient converger : la résistance des femmes, des ouvriers, des immigrés, des Afro-Américains et des autres groupes qui composent les classes populaires. Son livre les met en lumière et leur donne une légitimité historique. Or le contexte



▼ En 1979, la mobilisation sociale contre l'annonce de la fermeture des usines sidérurgiques du bassin lorrain a donné lieu à plusieurs affrontements violents entre manifestants et forces de l'ordre.

© Claude-Henry Laval/AFP

▲ Manifestation des étudiants et des enseignants de l'Université de Boston en 1979. Howard Zinn est visible au premier plan.

© Spencer Grant/Getty Images



▲ *Jeanne d'Arc durant le siège d'Orléans.*
 Miniature issue du manuscrit
 de Martial de Paris (1420-1508),
Les Vigiles de Charles VII, 1484.
 © De Agostini Picture Library/Bridgeman
 Images

est très différent aujourd'hui... Nous sommes dans une période pessimiste, marquée par des clivages de plus en plus nets au sein des forces de gauche, notamment en raison de la montée des courants identitaires. Écrire un livre d'histoire fidèle aux intentions civiques d'Howard Zinn exigeait de « changer de logiciel » pour saisir les raisons de ce pessimisme et de ces clivages. C'est ce qui m'a conduit à adopter une perspective différente de celle de Zinn. Pour moi, le « populaire » n'est pas l'équivalent de la « classe populaire » ; le populaire se construit dans le cadre des relations de pouvoir qui lient les dominants et les dominés, ceux d'en haut et ceux d'en bas. Mais dans mon langage, l'expression « relations de pouvoir » n'est ni péjorative ni dénonciatrice. Ces relations peuvent déboucher sur de la solidarité ou de la domination, car l'on rencontre les deux dans l'histoire, comme l'explique Max Weber. À partir de là, je montre que même la définition que les classes populaires donnent d'elles-mêmes est fabriquée en bonne partie par le regard dominant. Il n'y a jamais de séparation absolue car les classes populaires ne vivent pas sur une île déserte. Donc l'historien qui va isoler ces classes sans jamais rien dire de leurs relations avec les dominants ne peut pas comprendre comment les sociétés se transforment au fil du temps.

Dans votre livre, vous tenez les deux bouts de la chaîne, ce qui donne une perspective qu'on appelle « dialectique » en philosophie, le développement de l'histoire comme lutte des contraires...

G. N. : Je montre comment les forces sociales se sont affrontées et se sont progressivement transformées. Je constate que le regard des élites sur les classes populaires a été le plus souvent péjoratif. Mais les dominés qui subissent

ce stigmatisme se l'approprient, le transforment, l'utilisent pour leur propre combat, et ces formes de résistance, ces formes de lutte, contraignent les élites à changer leur regard sur ceux d'en bas. Cette dialectique m'a permis de me réconcilier avec Marx mais également d'y ajouter des connaissances sur l'État et sur la culture qui viennent de la sociologie.

Avec cette nette distinction entre « histoire populaire » et « histoire du peuple », et entre « histoire de France » et « histoire des Français », comment parvenez-vous à articuler histoire populaire et histoire des identités ? Comment, selon vous, la population de France a-t-elle fini par devenir « le peuple français » ?

G. N. : Dans ce titre, chaque mot est un piège. L'histoire en tant que discipline savante doit se différencier de la mémoire. De la même façon, le mot « populaire » est polysémique et obéit à des définitions différentes, y compris chez les historiens. Idem pour « la France ». Qu'est-ce que ça veut dire « la France » ? J'ai, pour ma part, privilégié la définition juridique du terme : la France est un « pays », c'est-à-dire un État qui s'est fixé définitivement à la fin de la guerre de Cent Ans. C'est pourquoi j'intègre Jeanne d'Arc dans mon récit car son épopée se situe au moment où l'État royal français s'impose. Un État n'existe que s'il monopolise la « violence légitime », disait Max Weber. L'État royal s'impose grâce à une armée qui parvient à soumettre les seigneurs, mais qui oblige les paysans à payer l'impôt. Il faut une armée pour obliger les sujets à payer l'impôt ; lequel sert en grande partie à payer l'armée. C'est le fondement de la souveraineté, et ce n'est pas un hasard si les premières grandes révoltes populaires ont été antifiscales.



« L'historien qui isole les classes populaires sans jamais rien dire de leurs relations avec les dominants ne peut pas comprendre comment les sociétés se transforment au fil du temps. »

Votre histoire populaire commence à la guerre de Cent Ans, mais pourquoi la faites-vous se terminer avec Emmanuel Macron ?

G. N. : J'ai conclu mon étude en examinant la façon dont Emmanuel Macron a eu recours à l'histoire dans son livre-programme, paru en 2016, intitulé *Révolution*. L'une des finalités de la socio-histoire est d'aider à comprendre le présent. C'est d'ailleurs pour cela que j'ai privilégié, dans mon livre, l'étude de problèmes qui sont au cœur de notre monde contemporain : la remise en cause de l'État-providence, le libéralisme et les migrations importantes actuellement, dont je fais la genèse. J'ai constaté que dans l'ouvrage d'Emmanuel Macron, les classes populaires sont absentes. Son credo, ce sont les classes moyennes. Cette vision de l'histoire explique en partie, selon moi, le ressentiment populaire que l'on a pu observer à son égard depuis le début du mouvement des Gilets jaunes.



Pourquoi vous en tenir au cadre de l'histoire nationale au lieu de développer une histoire globale comme l'a fait Patrick Boucheron ?

G. N. : *L'Histoire mondiale de la France*⁴ qu'a dirigée Patrick Boucheron ne peut guère être comparée avec le type de livre que j'ai écrit car je développe le même fil conducteur du début à la fin, alors que l'ouvrage dirigé par Boucheron est un projet collectif et, par définition, plus éclaté. Son but est de décentrer l'histoire de France en l'examinant de l'extérieur, ce qui est original et n'avait pas été fait auparavant. De mon côté, j'ai préféré écrire une histoire de France de l'intérieur, en acceptant de prendre au sérieux la question du « nous Français » que privilégient les journalistes-historiens conservateurs (tel Éric Zemmour). Et j'apporte à cette question des réponses qui s'écartent profondément de leur propagande. Je crois que les historiens universitaires doivent aussi occuper ces terrains, ne pas les abandonner aux nationalistes et aux xénophobes...

En ces temps où les médias s'emparent souvent de l'histoire sous un angle idéologique, quel peut être, selon vous, le rôle de l'historien dans le débat public ?

G. N. : Cette situation n'est malheureusement pas nouvelle. Dès le début des années 1980, les journalistes ont lié, dans les questions qu'ils posaient, l'immigration à l'Islam. Ils la présentaient systématiquement comme un problème alors qu'il a été scientifiquement montré qu'elle n'en est pas un. Les médias dominants se transforment en bulldozers : ils insistent délibérément sur les propos d'une droite nationale sécuritaire qui exploite ce fonds de commerce pour ne plus parler des inégalités sociales. C'est une question que j'analyse sur le blog que j'ai créé pour approfondir les thèmes de mon livre⁵, en critiquant cette logique qui cherche à faire le buzz en tenant des propos sulfureux. J'y vois même l'une des pathologies de notre démocratie.

▲ Scène d'émeute de la faim devant une boulangerie lors de la « guerre des farines » en avril et mai 1775.
© Impression couleur d'après un dessin de Jos. Girard/AKG-images.

Dans votre livre, vous montrez à quel point l'émancipation des classes populaires est un processus contradictoire...

G. N. : Le développement du libéralisme, à partir des années 1760, a provoqué une recrudescence de la violence populaire. Ces révoltes ont débouché sur l'explosion d'une rébellion appelée « guerre des farines ». Les aspirations à la liberté se répandent alors très vite et contribuent indirectement au développement des échanges. Ceux qui ont fait fortune en spéculant viennent grossir les rangs d'une bourgeoisie qui commence à consommer des produits de luxe, stimulant ainsi l'artisanat et les manufactures d'art. L'assouplissement du système colbertien permet à la Compagnie des Indes de se redresser et de s'enrichir fortement, grâce au commerce du sucre et à la traite négrière. Le capitalisme commercial bénéficie également des progrès exponentiels de l'industrie rurale. Les fabriques de draps, de toiles, de soieries, de cotonnades se multiplient. Par conséquent, c'est l'émancipation vestimentaire des classes populaires qui a entraîné la croissance d'un vaste marché, et cette rapide progression du commerce a entraîné celle de la monnaie.

Êtes-vous optimiste sur la capacité des êtres humains à s'affranchir des nouvelles formes d'oppression apparues avec la mondialisation ?

G. N. : C'est une question à laquelle j'ai du mal à répondre en tant qu'historien. L'histoire montre en effet que les grands événements qui bouleversent les sociétés prennent toujours les observateurs par surprise. J'explique dans mon travail que ce fut le cas pour la révolution de 1848, la Commune de Paris, Mai 68, etc. L'un des objectifs de mon livre, c'est de faire en sorte que les lecteurs sortent de leur routine de pensée, qu'ils s'interrogent sur leurs propres convictions, leurs idéaux, leurs croyances.

C'est ce que j'appelle dans l'introduction « *se rendre étranger à soi-même* ». C'est pourquoi j'analyse les contradictions du mouvement ouvrier, les formes de domination interne aux classes populaires, notamment la domination masculine. Mais, parallèlement, je montre le rôle que les femmes ont pu jouer, elles aussi, dans la domination sociale. Je m'appuie sur le témoignage du valet d'Émilie du Châtelet, une femme de lettres, mathématicienne et physicienne française célèbre du XVIII^e siècle. Son valet raconte combien il a souffert d'être traité comme un objet par cette dame. Il ne s'agit évidemment pas ici de nier l'importance du combat féministe, mais bien de montrer comment s'enchevêtrent les formes de domination liées à la classe sociale, au genre, à la nationalité, à l'origine, etc. J'insiste beaucoup sur ce point car les fractionnements identitaires finissent par briser les formes de solidarité qui devraient unir celles et ceux qui souffrent aujourd'hui des dérives du capitalisme mondial. ▸

À lire

Une histoire populaire de la France – De la guerre de Cent Ans à nos jours, Gérard Noiriel, éd. Agone, 2018.

[1] Gérard Noiriel est chercheur à l'Institut de recherche interdisciplinaire sur les enjeux sociaux sciences sociales, politique, santé (Iris) (unité CNRS/EHESS/Université Paris 13/Institut national de la santé et de la recherche médicale).

[2] *Penser avec, penser contre*, Gérard Noiriel, coll. « Histoire », éd. Belin, 2014.

[3] *Une histoire populaire des États-Unis, de 1942 à nos jours*, Howard Zinn, éd. Agone, 2002.

[4] *Histoire mondiale de la France*, collectif, Patrick Boucheron (dir.), éd. du Seuil, 2018.

[5] <https://noiriel.wordpress.com>

Derrière « le sucre » se cachent en réalité des molécules complexes appelées « glycanes ». Ces glycanes de toutes formes, de toutes tailles règnent sur le vivant. Objets d'étude des glycosciences, ils protègent et soignent notre corps, diagnostiquent la maladie, constituent la biomasse végétale terrestre et inspirent les matériaux de demain.

Les sucres, matériaux du vivant

Combien de sucres prendrez-vous dans votre café ? Une phrase qui réduit à peau de chagrin l'acception du mot « sucres » pour le grand public. Le saccharose contenu dans un morceau de 5 grammes n'est qu'une incarnation parmi les nombreux sucres qui composent notre environnement quotidien. L'étude des molécules « sucrées » et de leurs diverses propriétés fonctionnelles et biologiques est l'objet des glycosciences. Ces dernières regroupent l'ensemble des disciplines scientifiques qui étudient les glucides complexes. Le terme « glycane » décrit des molécules complexes de différentes tailles, oligosaccharides à polysaccharides, qui peuvent être attachées à d'autres molécules biologiques, lipides ou protéines. Présentes dans l'ensemble du vivant, elles sont les plus abondantes de la biosphère.

Des sucres au quotidien

Certains sucres ont des applications dans la vie courante. Alors que le saccharose, le lactose et le maltose sont connus dans l'alimentation, le tréhalose permet de congeler des cellules ou des tissus. Présents dans de nombreux produits, les cyclodextrines permettent d'encapsuler mauvaises odeurs et principes actifs. Sur notre corps, les glycanes présents à la surface de toutes les cellules permettent le dialogue avec le milieu

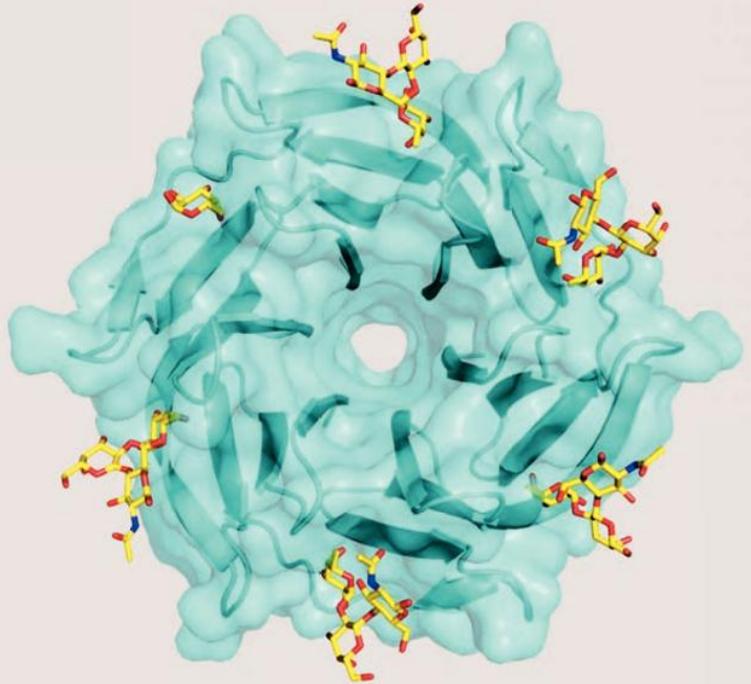
Par Anne Imberty et Serge Pérez

Les auteurs

Anne Imberty est directrice du Centre de recherches sur les macromolécules végétales (Cermav). Elle anime le réseau interdisciplinaire Glyco@Alps à l'Université Grenoble Alpes qui coordonne les glycosciences de Grenoble. Elle est aussi éditrice associée de la revue *Glycobiologie*.

Serge Pérez est directeur de recherche émérite au CNRS. Directeur du Cermav pendant onze ans, puis directeur des sciences du vivant à l'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), il conduit des recherches en glycobiochimie structurale. Impliqué dans plusieurs actions au niveau européen, il est le créateur et l'animateur du blog glycopedia.eu

Les polysaccharides, qui peuvent être constitués de plusieurs centaines de monosaccharides, forment la majeure partie de la biomasse végétale terrestre.



▼ Lectine du champignon pathogène responsable de l'aspergillose en interaction avec les sucres du groupe sanguin O humain.
© Cermav

extérieur. Ils sont impliqués dans bien des processus biologiques dès le début de la vie : fertilisation, développement embryonnaire, migration des neurones, etc. En première ligne pour protéger contre l'adhésion d'un microbe sur les tissus, ou au contraire pour la faciliter, ils jouent un rôle crucial dans les maladies infectieuses. Nos glycanes sont complexes et présentent des compositions et architectures variables en fonction du type de cellules, du développement, mais aussi de notre généalogie – ce sont des oligosaccharides qui définissent les groupes sanguins ABO – ou de notre état de santé : nos glycanes constituent des marqueurs et leur analyse permet de détecter des maladies chroniques telles que cancer, inflammation... mais aussi consommation chronique d'alcool. Les polysaccharides, qui peuvent être constitués de plusieurs centaines de monosaccharides, forment la majeure partie de la biomasse végétale terrestre. La cellulose est le constituant majeur de la paroi des cellules des plantes et l'amidon leur permet de stocker l'énergie. Les polysaccharides sécrétés par les bactéries sont des macromolécules complexes souvent impliquées dans la formation de biofilms qui leur permettent de vivre en communauté et de limiter la diffusion des antibiotiques. Autrement dit : les sucres sont partout.

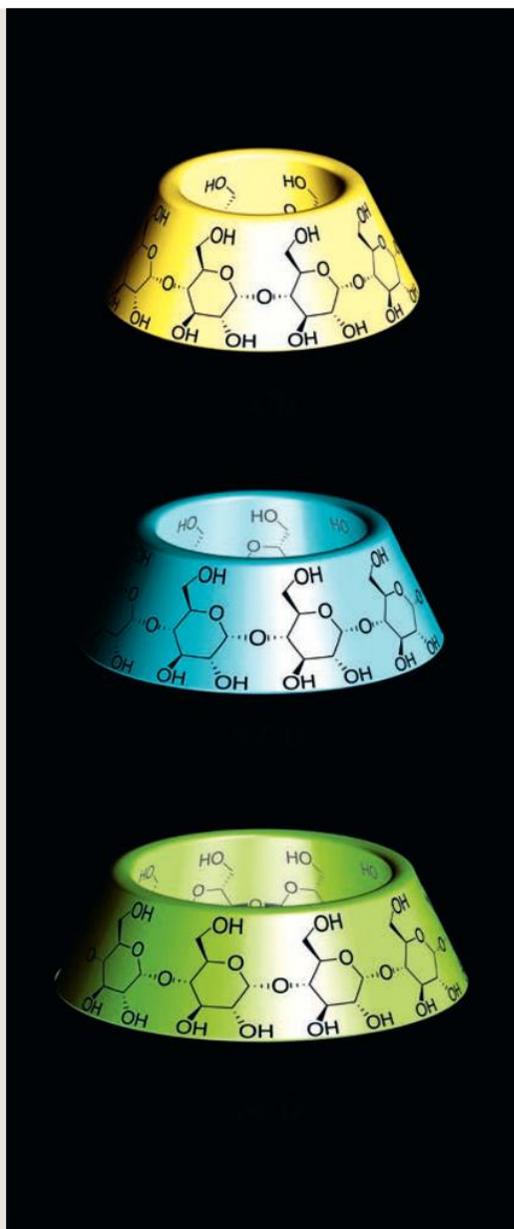
Des sucres modifiables à volonté

La « glycomique » est l'analyse des glycanes extraits de différentes sources. C'est une discipline complexe qui conjugue chromatographie, spectrométrie de masse et informatique (on assiste même à l'arrivée de robots capables de remplacer le chimiste pour la synthèse de certains glycanes). Et ses progrès sont fulgurants. On peut par exemple étudier aujourd'hui la forme des glycanes à différentes échelles et dans plusieurs environnements, jusque dans les cellules ou les bactéries, ou encore modifier un glycanes au cœur même des cellules, pendant le processus de biosynthèse, en lui ajoutant un groupement chimique artificiel. Ce marquage ouvre la voie à des études multiples. Il est ainsi possible de visualiser un glycanes par des composés fluorescents pour suivre son devenir à la surface des cellules et pour caractériser ses interactions avec des récepteurs.

Des sucres pour soigner

Les oligosaccharides sont assemblés par les chimistes sur des surfaces ou des particules telles que les « puces à sucres » utilisées à des fins diagnostiques ou des « glyconanoparticules » permettant la vectorisation de principes actifs. Les nouveaux vaccins glycoconjugués ne seront plus obtenus à partir de bactéries inactivées ou de fragments de leur paroi, mais seront synthétisés au laboratoire, évitant ainsi les effets secondaires. Le vaccin synthétique contre *Haemophilus influenza* (méningite et pneumonie) est déjà sur le marché et les efforts en cours pour synthétiser des glycovaccins contre la malaria, la tuberculose et certains cancers sont très prometteurs.

Les médicaments dérivés des glycanes ont trouvé des applications dans des maladies métaboliques rares liées au métabolisme des glycoconjugués (maladie de Gaucher), mais aussi dans des



▼ Schéma de molécules de cyclodextrine en forme d'abat-jour. En les empilant, les chercheurs fabriquent une « cage » capable de transporter des fragments d'ADN.
© Matthieu Sallagoub

Les efforts en cours pour synthétiser des glycovaccins contre la malaria, la tuberculose, mais aussi certains cancers, sont très prometteurs.

pathologies très largement répandues comme le diabète. L'oseltamivir (Tamiflu®) et le zanamivir (Relenza®) sont les médicaments-phares contre la grippe et agissent en mimant un sucre présent dans nos voies aériennes et en bloquant ainsi l'action d'une enzyme du virus. Le composé fondaparinux (Arixtra®) est un anticoagulant de synthèse très largement utilisé. Les nouvelles applications thérapeutiques s'appuient sur des architectures plus complexes qui permettent d'utiliser au mieux la polyvalence des glycanes, soit pour bloquer l'action de certaines enzymes, soit pour interférer dans les processus infectieux. La glycobiologie de synthèse permet de produire des biomédicaments présentant des glycanes adaptés à l'organisme humain et les méthodes d'analyse permettent de les caractériser.

Des sucres pour les matériaux de demain

La chimie des polymères, ou des matériaux en général, s'intéresse également aux glycanes : ils représentent une matière première qui peut être modifiée, apportant ainsi de nouvelles propriétés mécaniques ou fonctionnelles. La conjonction de la chimie et de la physique de la matière condensée permet de créer des systèmes auto-assemblés : nanocristaux, films, fibres ou gels de polysaccharides. Il est ainsi possible de construire de nouveaux glyco-nano-objets (vésicules, nanoparticules, nanofibres). Les nouveaux matériaux peuvent être mis en forme de différentes façons : films, fibres, objets imprimés en 3D.

Les applications de ces systèmes sont nombreuses : libération contrôlée de médicaments, renforts nanométriques aux surfaces ultraminces servant de support d'emballage, de barrières, de membranes et de capteurs ou encore orientation, organisation et stockage d'information. De quoi changer définitivement notre regard sur le morceau de sucre en train de fondre dans notre café. ¶



**Sur la trace
des potiers
de Pompéi**



En l'an 79 de notre ère, l'éruption du Vésuve figeait, en quelques instants, la vie à Pompéi. Près de deux mille ans plus tard, des archéologues tentent de reconstituer l'histoire et l'activité de la ville. Parmi eux, Laetitia Cavassa mène l'enquête sur les potiers de Pompéi. Elle nous livre le récit de six années de campagnes, entre fouilles et relevés d'empreintes digitales.

Auteure Laetitia Cavassa, archéologue et céramologue au Centre Camille-Jullian¹

[1] Unité CNRS/Aix-Marseille Université/CCJ, Aix-en-Provence.

► Quelques vases d'époque préromaine déposés dans la sépulture.

© Géraldine Bénéit

▲ Le forum de Pompéi et le Vésuve.

© Laetitia Cavassa

Photo de fond Fragments de vases crus découverts dans l'atelier de potiers.

© Laetitia Cavassa

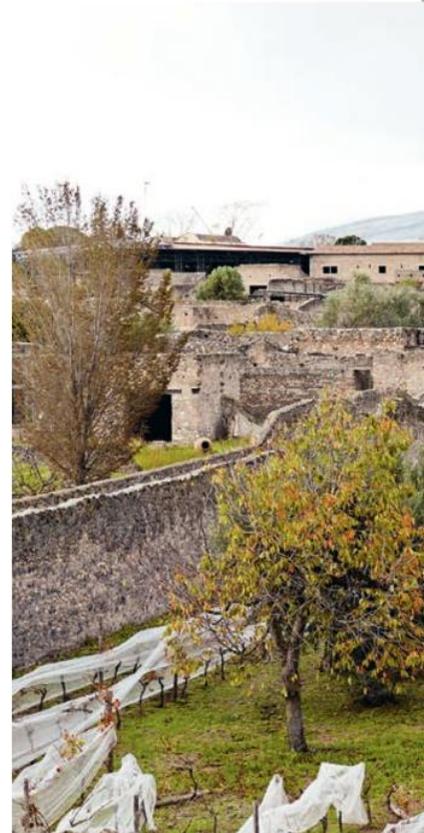
#01 – lundi 18 novembre 2018

Lorsque nous pénétrons ce matin sur le site de Pompéi, le parc archéologique n'est pas encore ouvert au public. Je retrouve donc le forum désert, surplombé par le Vésuve. Le Vésuve... principal acteur de notre aventure, dont l'éruption en l'an 79 de notre ère a enseveli Pompéi et ses habitants et en a fait le document majeur sur l'Antiquité romaine.

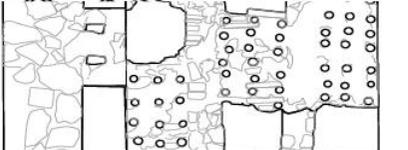
Cela fait déjà quatorze ans que je participe à des missions ici. Mais l'émotion reste la même. Déambuler dans les rues, passer devant les maisons et les boutiques me laisse toujours une sensation aussi forte que difficile à décrire. Selon les saisons, les couleurs changent et le Vésuve se couvre parfois de neige. Pas ce matin...

Je guette sur leur visage les impressions de mes compagnons pour cette mission : Aurore Lambert¹, anthropologue, qui est une habituée des lieux, ainsi que Lionel Roux, photographe pour le Centre Camille-Jullian, André Desmarais², spécialiste en sciences judiciaires, et Pascale Desmarais, pour lesquels il s'agit de la première mission dans ce lieu mythique. Que viennent faire les sciences judiciaires à Pompéi? Tout simplement contribuer à une enquête scientifique de longue haleine, que je mène sur les ateliers de potiers. Cette campagne-là est précisément dévolue aux potiers : qui sont-ils? Nous le saurons grâce aux empreintes digitales laissées sur les vases qu'ils ont tournés ou moulés il y a près de deux mille ans. J'en ai conscience depuis des mois, mais je réalise vraiment ici que cette mission marque l'une des dernières étapes de ma recherche sur les ateliers de potiers à Pompéi commencée en septembre 2012, lorsque j'étais en poste au Centre Jean-Bérard³ de Naples. Ce laboratoire du CNRS, créé il y a plus de cinquante ans, développe depuis les années 2000 un programme de recherches consacré à l'artisanat et l'économie dans la cité antique, mis en place par Jean-Pierre Brun, ancien directeur du Centre Jean-Bérard, aujourd'hui professeur au Collège de France.

En tant qu'archéologue, spécialisée dans l'étude de la céramique antique, j'étudie les objets en terre cuite que nous mettons au jour lors des fouilles : je dois déterminer leur type (bol, marmite, pot...), leur origine géographique, leur datation... mais







M

aussi où et comment ces objets ont été fabriqués. Quoi de plus naturel que de me tourner vers le site de Pompéi, qui était alors à quelques kilomètres de chez moi ? C'est ainsi que prit naissance ce programme sur les potiers pompéiens, il y a tout juste six ans. Chaque année, chaque campagne apporte de nouvelles pièces au puzzle géant que nous tentons de reconstituer.

#02 – septembre 2012

L'aventure commence avec une petite équipe d'étudiants et d'archéologues français et italiens⁴. Pour cette toute première étape, j'ai logiquement voulu reprendre la fouille du premier atelier de potiers découvert à Pompéi, en 1838. Celui-ci se trouve à l'extérieur de la ville dans la nécropole de la porte d'Herculanum⁵, à l'extrémité d'un long bâtiment couvert. Il occupe une boutique composée de deux pièces en rez-de-chaussée. L'atelier avait été peu décrit au moment de sa découverte : quelques pages des journaux de fouilles, quelques rares dessins du four dans lequel les vases étaient cuits. Peu à peu, cet établissement artisanal est laissé de côté par les archéologues et les visiteurs. Lorsque nous arrivons presque cent quatre-vingts ans après sa découverte, seul le four est visible : qu'allons-nous donc découvrir ?

Dès la première semaine de fouilles, nous mettons au jour des vases en argile non cuite, recouverts par les pierres ponces jaillies de l'éruption du volcan. Ces vases ont été réalisés en 79 de notre ère par les potiers et déposés sur le sol en attente de les faire cuire dans le four. L'éruption du Vésuve a figé cet instant. Au moment de la découverte, l'émotion gagne toute l'équipe. Des vases crus, que nous sommes les premiers à toucher après les artisans qui les ont réalisés ! Ils sont suffisamment bien conservés pour qu'on puisse immédiatement les identifier : ce sont des gobelets décorés de petites incisions et recouverts d'un engobe rouge-orangé, que les Pompéiens utilisaient comme vases à boire. Cette découverte est doublement importante : non seulement nous identifions dès les premiers jours de la fouille la production de l'atelier (jusqu'alors restée nébuleuse), mais il s'agit aussi d'un des rares cas de vases crus découverts dans un atelier.

▼ Laetitia Cavassa et Aline Lacombe prélevent les vases crus découverts dans l'atelier de potiers.

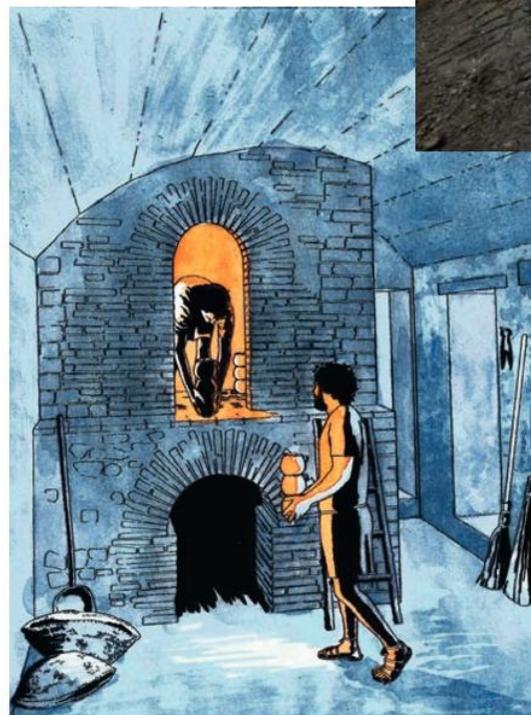
© Nicola Meluziis

▲ Proposition de restitution du chargement du four de l'atelier de potiers.

© Aquarelle Guilhem Chapelin

Photo de fond Plan des boutiques situées le long de la via dei Sepolcri.

© D'après A. Van der Poel, *Corpus Topographicum Pompeianum: The Rica maps of Pompeii*, 1983



Sont

MR 29005

MR 2916



#03 – septembre 2013

Un an après une première mission fructueuse (à laquelle la presse locale donnera un bel écho en relayant notre découverte sur les vases crus), nous voici de retour au même endroit. Et nous n'allons pas le regretter ! Nous mettons au jour plusieurs dépotoirs remplis de nombreux vases tournés et cuits dans l'atelier ; certains présentent des défauts de fabrication ou des déformations causées par la cuisson... ce qui leur a valu d'être jetés dans ces fosses. Commence alors pour Aline Lacombe, céramologue à la direction Archéologie d'Aix-en-Provence, et moi-même un long travail sur ces milliers de fragments de vases en céramique : nettoyage, tri, identification des objets, comptage et recollage des fragments, restauration des objets, dessins, photographies ! De longues heures passées à essayer de recoller ces très petits et très fins fragments de céramique dont la panse n'excède pas... les 0,5 millimètre d'épaisseur. Mais quelle satisfaction lorsque ces dizaines de fragments se recollent, donnant ainsi naissance à un vase quasiment complet. Nous nous prendrions presque pour le potier qui l'a façonné. Ce puzzle nous restitue l'entier répertoire des vases produits dans l'atelier et la chronologie de l'activité de cet établissement artisanal au cours du I^{er} siècle de notre ère. On compte ainsi un grand nombre de gobelets, coupelles, tasses, petits bols... tout un ensemble de vases destinés à la consommation des aliments et des boissons. Cette deuxième mission s'achève décidément aussi bien que la première.

#04 – septembre 2014

J'arrive à Pompéi après une année marquée, en ce qui me concerne, par un changement important : après plus de dix années passées en Italie, je suis revenue en France, plus précisément au Centre Camille-Jullian à Aix-en-Provence. Pas de répercussion sur le programme qui se poursuit en parfaite harmonie entre les deux laboratoires. Malgré tout, cette troisième campagne est aussi frappée du sceau du changement : nous élargissons la fouille et allons vérifier l'état de conservation de deux boutiques mitoyennes. La première boutique a été endommagée par les bombardements américains en 1943,



▼ Aline Lacombe dessine les vases utilisés dans la construction d'un four.
© Laetitia Cavassa

▼ Laetitia Cavassa nettoie et prélève des fragments de vases crus.
© Bastien Lemaire

SUR LA TRACE DES POTIERS DE POMPÉI



▲ Aline Lacombe étudie et recolle une amphore.

Photo de fond Les nombreux fragments de gobelets retrouvés dans le four.

© Laetitia Cavassa

Pinceau, ©LuFeeTheBear
Agence/Shutterstock



mais auparavant, des documents mentionnaient l'existence d'un autre four de potier. À notre arrivée, le site est envahi par la végétation. Alors l'équipe de fouilles sort pelles et pioches et s'active à un grand nettoyage qui s'avère payant : nous découvrons non pas un, mais deux fours de potiers ! Le plus ancien est arasé, mais le second, bien qu'il ait été soufflé par une bombe tombée à proximité, est encore assez bien conservé par endroits pour qu'on puisse étudier sa technique de construction.

La seconde boutique, quant à elle, nous intrigue bien qu'aucun vestige apparent ne signale la moindre activité artisanale. Mais comme pour les autres sondages, les découvertes ne se font pas attendre. Rapidement, après avoir enlevé les déblais modernes, nous mettons au jour quatre cavités circulaires dont la paroi est constituée, pour trois d'entre elles, par des fragments d'amphores taillées : il s'agit des vestiges des tours de potiers dont nous cherchions les emplacements. Nous les avons enfin trouvés.

La découverte est de taille : elle vient illustrer par des traces archéologiques ce que nous ne connaissions jusqu'alors que par des fresques. Parmi les rares représentations d'époque romaine illustrant des potiers en train de travailler, deux sont des peintures murales découvertes à Pompéi. Maintenant, nous avons les tours pompéiens. Ces traces, bien que fugaces, indiquent la position des maîtres-tourneurs ainsi que le fonctionnement de ces tours de potiers. On constate la présence d'un axe central en bois sur lequel était placée la roue du tour. Toute la chaîne opératoire est désormais illustrée, de la mise en forme des vases, en passant par les gobelets crus, jusqu'à la cuisson des vases dans les fours. Nous savons que, quoiqu'il arrive par la suite, cette campagne aura marqué nos recherches. Année après année, le puzzle prend forme.

#05 – septembre 2015

Comme l'année dernière, nous étendons notre secteur de fouilles, cette fois à l'ouest du secteur précédent. En dégagant un mur de l'atelier, c'est une tombe qui apparaît ! Nous savions bien que nous étions dans une zone de nécropoles et pourtant, la découverte du premier vase déclenche un sentiment de



▼ Giulia Ciucci photographie l'atelier de potiers.

© Laetitia Cavassa

▼ Bastien Lemaire photographie les emplacements des tours de potiers à l'aide d'une perche.

© Guilhem Chapelin

▲ Vue zénithale de la tombe samnite.

© Bastien Lemaire

Photo de fond Coupe stratigraphique d'un four de l'atelier de potiers.

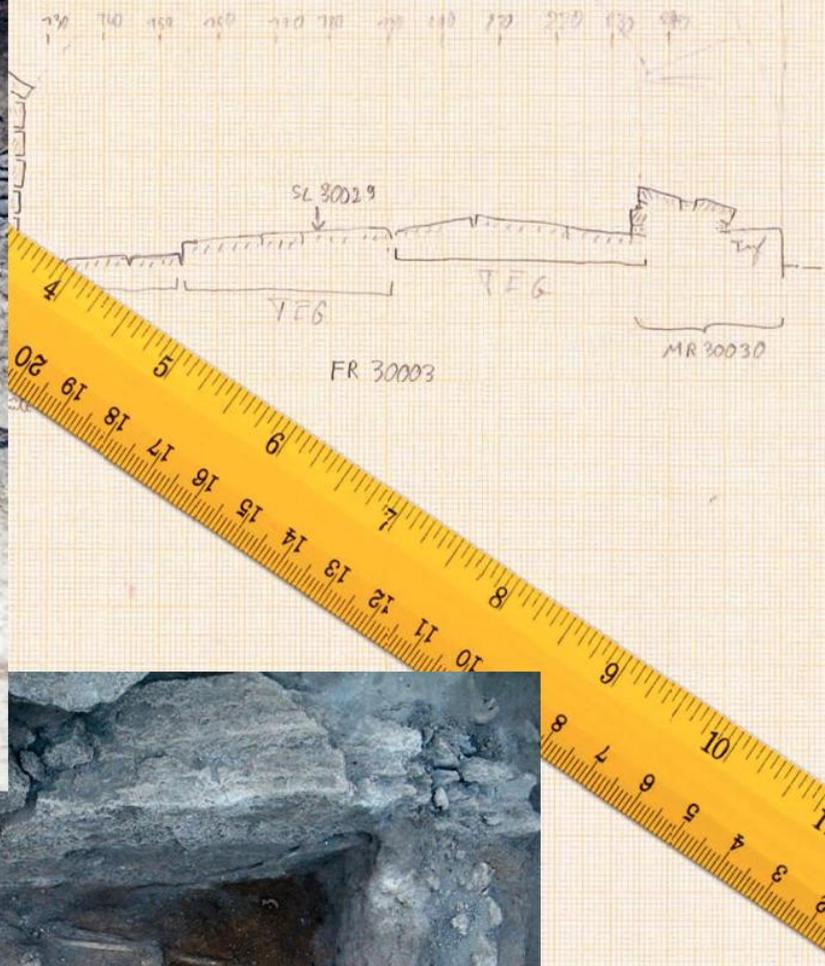
© Dessin Bastien Lemaire

Règle © Kenishirotie/iStock/Getty images Plus

Boutique 30
Via Sep. 2074
1/10^e

Charge Nord-Sud du four
FR 30003

Z. ref : 124 cm au dessus de 31, 33 m s.l.m.



▲ Dessin d'un gobelet à paroi fine à décor sablé.
© Dessin Aline Lacombe

Photo de fond Vue depuis le nord de l'atelier de potiers et de la sépulture en cours de fouilles.
© Laetitia Cavassa

▼ *Lekanis* à vernis noir déposée dans la sépulture.
© Lionel Roux-CCJ

▲ Agnès Oboussier en train de restaurer la *lekakis*.
© Laetitia Cavassa

satisfaction dans l'équipe. La tombe est d'époque préromaine, elle date de la fin du V^e siècle ou du début du IV^e siècle avant notre ère. Dans un coffre de grandes dalles de pierre, le squelette d'une femme est entouré de vases déposés en offrandes. Cette découverte (qui sera suivie par celle de deux autres sépultures) explique pourquoi le bâtiment construit quatre siècles plus tard ne s'étend pas au-delà de certaines limites : à l'époque, les tombes devaient être encore signalées en surface. Quand les potiers se sont installés ici, de riches demeures et des sépultures se côtoyaient le long d'une voie.

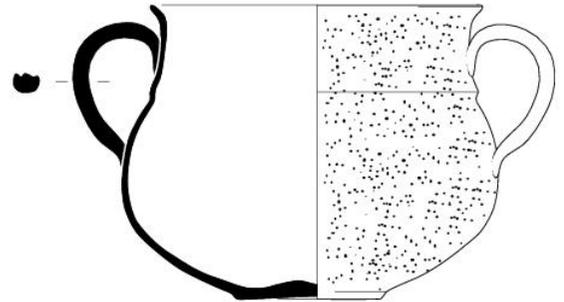
Le premier fragment mis au jour a été un vase recouvert d'un vernis noir dont la brillance s'est révélée dans les derniers rayons de soleil de la journée. Puis, petit à petit, d'autres vases ont fait leur apparition, onze au total, dont certains à décors figurés (avec des personnages, des animaux...).

C'est ainsi que s'achèvent les missions de terrain pour cet atelier. Partant de la seule présence d'un four, nous avons pu reconstituer une bonne part de la chaîne opératoire de la production céramique avec la découverte de deux autres fours, de tours de potiers, de dépotoirs de l'atelier mais aussi de la production elle-même.

#06 – septembre 2016 / septembre 2017

L'importance de nos découvertes de l'année dernière a rapidement été perçue ! Il s'agit non seulement d'une tombe préservée malgré les bombardements de ce secteur pendant la Seconde Guerre mondiale, mais elle se révèle être également l'une des plus anciennes actuellement connues sur le site. Grâce à la patience et à la dextérité d'Agnès Oboussier, la restauratrice de l'équipe, les fragments de vase ont rapidement repris leur forme initiale et ils ont été présentés au public au cours d'une exposition à Pompéi.

Autant dire que nous attaquons cette nouvelle campagne avec motivation. Surtout, elle marque l'ouverture d'un nouveau chantier et d'une nouvelle étude. À Pompéi, seuls deux ateliers de potiers fonctionnaient au moment de l'éruption de 79 ap. J.-C. : celui de la porte d'Herculanum, que nous avons étudié les années précédentes, et celui situé près de la porte





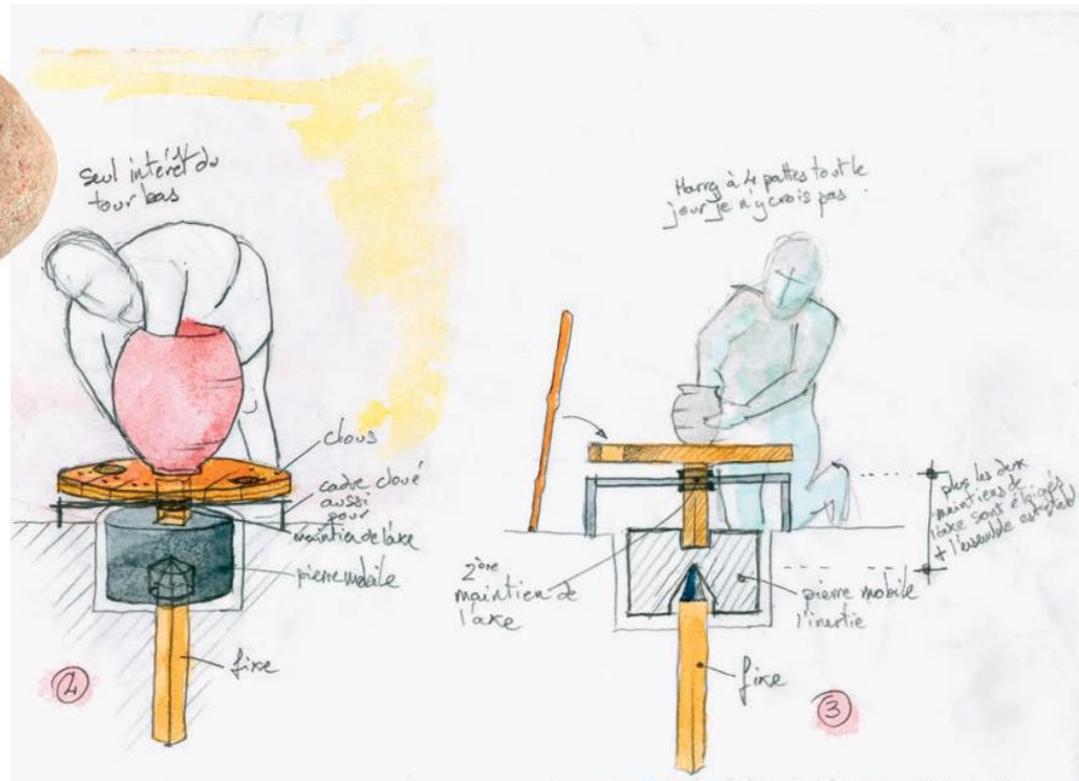
de Nocera. Nous nous déplaçons vers ce second atelier dans la partie sud de la ville antique. Cet établissement a été mis au jour à la fin des années 1950 ; on y produisait des lampes à huile réalisées dans des moules en plâtre et de petits vases faits sur des tours.

Son histoire est différente mais complémentaire du premier atelier. Il a été installé dans une grande maison après le tremblement de terre de 62-63 ap. J.-C. qui a gravement endommagé la ville de Pompéi. La maison est alors réorganisée, probablement pour des raisons économiques, et un atelier de potier y est implanté. On y trouve différentes structures : un bassin de traitement de l'argile et deux fours. La fouille que nous réalisons va permettre de préciser la chronologie de l'atelier, car la chance est cette fois encore au rendez-vous ! Nous repérons un tour de potier qui n'avait pas été identifié par les anciens fouilleurs. C'est le cinquième attesté à Pompéi.

Cette découverte nous offre plusieurs satisfactions : nous avons retrouvé le même type de tour que dans le précédent atelier, mais cette fois nous trouvons aussi la crapaudine en pierre et le clou ayant servi de pivot pour la rotation de la roue. Nous en



▼ Capucine du tour de potier.
© Christine Durand, CCJ



savons assez pour tenter une reconstitution fonctionnelle de ce tour. Ce à quoi nous nous employons avec deux collègues travaillant sur ce programme depuis le début, Guilhem Chapelin, architecte au Centre Jean-Bérard, et Bastien Lemaire, docteur en archéologie à l'Université de Montpellier-3.

#07 - novembre 2018

Six ans après la découverte des vases crus, nous voici à nouveau sur la trace même des mains qui ont façonné ces objets. Cette fois-ci, nous ne sommes pas revenus à Pompéi pour fouiller mais pour identifier les potiers ! Cette recherche a pris une autre dimension. Il y a un an, j'ai en effet croisé la route d'Aurore Lambert, une anthropologue qui s'intéresse depuis quelque temps aux potiers ou plutôt aux empreintes digitales qu'ils ont laissées sur les vases. Elle développe un programme de recherches sur les empreintes digitales et me propose ainsi de faire des ateliers pompéiens une étude de cas. J'accepte sans hésiter. Depuis de nombreuses années, en effet, je m'interroge sur ces traces de doigts, si émouvantes, témoins de la vie des potiers, mais sans savoir qu'en faire. Et voici qu'Aurore se



► Proposition de restitution du fonctionnement des tours de potiers pompéiens.
© Aquarelle Guilhem Chapelin

▼ Laetitia Cavassa en train de fouiller le tour de potier de l'atelier.
© Bastien Lemaire

▲ Photo d'une empreinte digitale laissée par un potier pompéien sur un fond de gobelet en céramique.
© Aurore Lambert

propose d'enquêter sur ces traces pour identifier les personnes ayant travaillé dans ces ateliers : leur nombre, leur sexe, leur âge. Une véritable étude sociologique des potiers pompéiens. Nous nous retrouvons donc quelques mois plus tard dans les dépôts du parc archéologique de Pompéi. Ils contiennent des dizaines de caisses renfermant le matériel retrouvé pendant les six campagnes de fouilles : environ 30 000 fragments de céramiques que nous devons expertiser sous la houlette d'Aurore et d'André, expert en dactyloscopie, qui étudie l'identification par les empreintes digitales. Durant dix jours, assis dans ce dépôt, nous inspectons chaque fragment de céramique pour détecter une empreinte et la soumettre à l'œil aguerri de nos partenaires. Certaines seront sélectionnées pour être expertisées, d'autres remises en sac car insuffisamment conservées, trop lissées.

La semaine suivante, nous sommes rejoints par Celestino Grifa, géologue à l'Université de Bénévent, qui collabore avec le Distar de l'Université Federico-II de Naples. Nous travaillons ensemble depuis une dizaine d'années en Campanie, et Celestino, tout comme Aurore, enquête sur les potiers, mais sa recherche s'intéresse à l'origine des matières premières employées par les artisans. D'où vient l'argile ? Quels types de dégraissants ont été utilisés ? Nous faisons le point sur les analyses qu'il est en train de mener sur les échantillons pompéiens. Grâce à elles, les carrières d'extraction ont été identifiées avec précision. Nous savons maintenant d'où vient l'argile : les petits fossiles qu'elle contient identifient précisément un gisement près de Salerne, au sud de Pompéi.

Cette dernière mission permet ainsi de boucler l'histoire des potiers pompéiens. La fouille des deux ateliers est terminée. Les fragments de vases ont tous été comptés et identifiés. Nous connaissons maintenant le fonctionnement des tours de potiers ou des fours. La dernière image qui se révélera d'ici quelques semaines est « l'identité judiciaire » de nos artisans. Une identité toute relative : ils resteront anonymes mais nous pourrions déterminer le sexe biologique et l'âge de nos maîtres-tourneurs. Nous pourrions ainsi nous faire une idée de l'organisation sociale de ces établissements et ce dernier détail étoffera l'histoire de cet artisanat à Pompéi. ▽



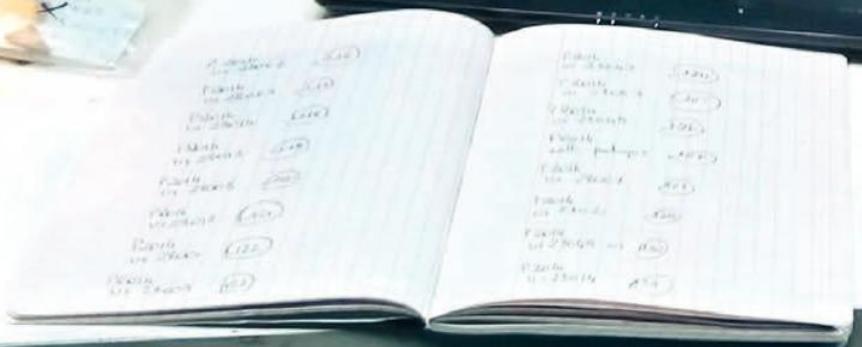
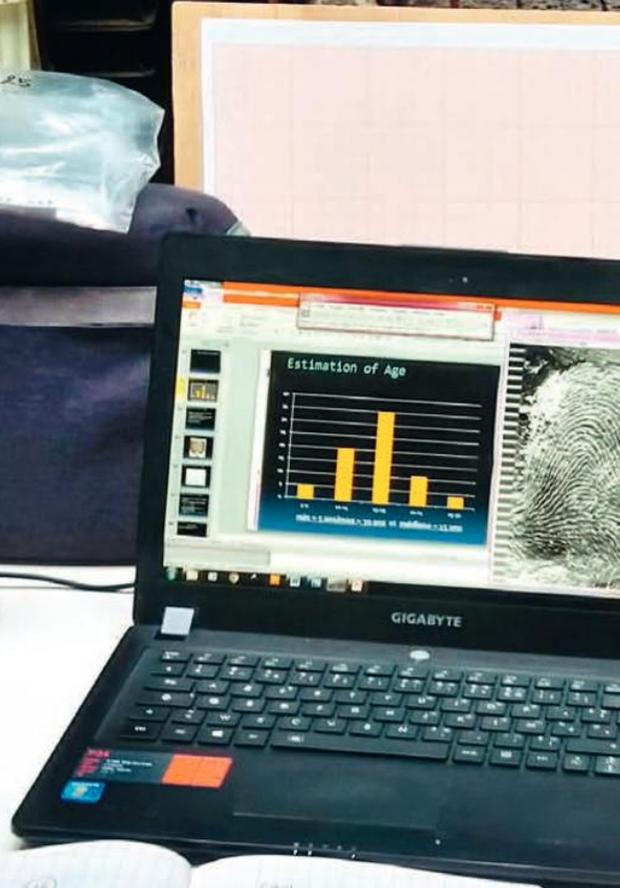
[1] Eveha - Chercheuse associée Aix-Marseille Université, CNRS, EFS, ADES, Marseille.

[2] Chercheur associé Aix-Marseille Université, CNRS, EFS, ADES, Marseille.

[3] Unité CNRS/École française de Rome.

[4] Ce programme de recherche est réalisé dans le cadre de concessions de fouilles accordées par le Ministero per i beni e le attività culturali, avec l'accord du Parco Archeologico di Pompei et l'appui et le soutien du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (mission archéologique « Italie du Sud »), du Centre Jean-Bérard, du Centre Camille-Jullian, de l'École française de Rome et de mécénats privés (CMD2, Art et Luxe, Artfusion et Arpamed), et d'Eveha.

[5] Cet atelier a été fouillé dans le cadre d'un programme plus vaste, intitulé « Porta Ercolano : organisation, gestion et transformations d'une zone suburbaine. Le secteur de la porte d'Herculanium à Pompéi, entre espace funéraire et commercial », co-dirigé par Laetitia Cavassa, Nicolas Laubry, Nicolas Monteix et Sandra Zanella. Il faisait partie du programme quinquennal 2012-2016 de l'École française de Rome.





CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #6

Directeur de la publication

Antoine Petit

Directrice de la rédaction

Brigitte Perucca

Directeur adjoint de la rédaction

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef

Matthieu Ravaud

Rédactrice en chef adjointe

Charline Zeitoun

Coordinatrice éditoriale

Stéphanie Arc

Rédacteurs

Nicolas Baker

Laure Caillouce

Romain Hecquet

Yaroslav Pigenet

Ont participé à ce numéro

Stéphanie Arc

Lydia Ben Ytzhak

Anne-Sophie Boutaud

Laetitia Gavassa (chercheuse)

Anaïs Culot

Léa Galanopoulo

Pascale Gisquet-Verrier (chercheuse)

Mathieu Grousson

Denis Guthleben (chercheur)

Gaël Hautemulle

Anne Imberty (chercheuse)

Martin Koppe

Nicole Le Douarin (chercheuse)

Philipe Nessmann

Serge Pérez (chercheur)

David Riccio (chercheur)

Vahé Ter Minassian

Philippe Testard-Vaillant

Fabien Trécourt

Secrétaires de rédaction

Catherine Galtaux

Émilie Silvoz

Iconographes

Anne-Emmanuelle Héry

Marie Mabrouk

Promotion et relation presse

Julien Guillaume

CNRS Éditions**Directrice**

Blandine Genthon

Promotion et relation presse

Christelle Voisin

Claire Martz

Relectrice

Alexia Leal

Fabrication

Virginie Belcollin

Marie Léman

Direction artistique

Romuald Maurel

romualdmaurelgraphisme.com

Illustrations dossier

Pablo Grand Mourcel

Photogravure

quat'coul

Impression

Imprimerie Clerc

94, rue de la Brasserie

18200 Saint-Amand-Montrond

Le numéro 7 des *Carnets*

de science sera en librairie

en novembre 2019

Carnets de science

semestriel, édité par CNRS Éditions S.A.

15, rue Malebranche, 75005 Paris

Diffusion / Distribution

Volumen / Interforum

Abonnement

abo@carnetsdescience-revue.fr

N° ISSN: 2497-7152

N° ISBN: 978-2-271-11682-6

Dépôt légal mai 2019

Photos CNRS: phototheque@cnrs.fr

<https://phototheque.cnrs.fr>

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

Image couverture : Pablo Grand Mourcel



Retrouvez-nous aussi sur

www.carnetsdescience-revue.fr