



Ouvrir l'éthique au plus grand nombre Jean Claude Ameisen, nouveau président du Comité consultatif national d'éthique, souhaite y associer davantage la société civile. **PAGE 2**



Le carnyx gaulois sonne de nouveau Des acousticiens ont testé la sonorité de la copie d'une trompe de guerre antique trouvée en Corrèze en 2004. **Décoiffant. PAGE 3**



Femme scientifique de l'année Pionnière des thérapies géniques, notamment pour les « enfants-bulle », Marina Cavazzana-Calvo est lauréate du prix Irène-Joliot-Curie 2012. **PAGE 7**

Quelle réforme pour la recherche ?

Financement, pilotage, évaluation, place des universités... Les Assises nationales de l'enseignement supérieur et de la recherche, les 26 et 27 novembre, doivent aider le gouvernement à redessiner un paysage scientifique aujourd'hui embrouillé.

PAGES 4-5



« The Drill », installation de l'artiste monténégrine Marina Abramovic, réalisée en 2009 à Manchester. MARCO ANELLI



CARTE BLANCHE

Pierre Mercklé

Sociologue, Ecole normale supérieure de Lyon et Centre Max-Weber (blog : Pierremerckle.fr)

(PHOTO: DR)

Deux générations de pauvres

Le rituel est presque inchangé depuis trois décennies : à l'approche de l'hiver, les associations de lutte contre l'exclusion cherchent à attirer l'attention de l'opinion et des pouvoirs publics sur la situation de plus en plus difficile des exclus, travailleurs pauvres ou chômeurs de longue durée, mal logés ou sans domicile. Ainsi, le rapport annuel du Secours catholique, rendu public le 8 novembre, constate une augmentation du nombre de personnes ayant reçu l'aide de l'association au cours de la décennie écoulée, et pointe des transformations inquiétantes de la grande pauvreté, qui touche de plus en plus de femmes et d'enfants.

La pauvreté et l'exclusion ont-elles réellement augmenté ? Comme pour les inégalités (voir le billet du samedi 9 juin), la question est compliquée : la notion d'exclusion est tellement protéiforme et controversée qu'elle est presque impossible à définir ; quant à la pauvreté, faut-il la mesurer « relativement », en considérant comme pauvres ceux qui vivent avec moins de la moitié du revenu médian ? Ou faut-il compter ceux qui ont des difficultés à accéder à certaines ressources fon-

damentales (nourriture, habillement, logement) ? Dans le premier cas, la pauvreté a augmenté au cours des dix dernières années, mais dans le second elle a diminué...

Cela dit, même difficiles à définir et à mesurer précisément, l'exclusion et la pauvreté n'en correspondent pas moins à des situations et des difficultés bien réelles, et, pour les connaître et les comprendre, il faut faire des enquêtes. Mieux encore : il faut refaire des enquêtes. C'est à cette entreprise rare que se sont attelés deux sociologues français, Jean-François Laé et Numa Murard.

En 1985, ils avaient publié dans *L'Argent des pauvres* le récit de leur enquête dans une cité populaire d'El-beuf, en Normandie. Elle visait à démonter les ressorts d'une pauvreté qu'on s'attachait alors à décrire comme résiduelle, un reliquat de misère hérité du passé, que la prochaine reprise de la croissance allait effacer. Contre l'image misérabiliste véhiculée par les associations, ils décrivaient une expérience de la condition ouvrière qui restait vivace et continuait de produire du collectif, malgré les effets de la pauvreté sur l'organisation du temps, la consommation et la sociabilité.

Trente ans plus tard, Laé et Murard sont retournés sur leur « terrain », ils ont refait l'enquête et viennent d'en publier le résultat dans *Deux générations dans la débîne*. Le constat est sans appel. Malgré le revenu minimum, les allocations, le travail des associations, la scolarisation massive, l'optimisme des années 1980 a été démenti : non seulement la pauvreté est toujours là, mais aujourd'hui elle atomise les pauvres.

C'est en partie le résultat de ce que les deux sociologues appellent la « machine à laver les pauvres » : tous les dix ans, la mobilité résidentielle des pauvres est forcée par les politiques du logement, qui détruisent les cités, déplacent les familles, dispersent les voisinages. L'affiliation à la classe ouvrière a volé en éclats, et ceux qui s'en sortent un peu mieux stigmatisent les fautes morales supposées de ceux qui ne s'en sortent pas parce qu'ils ne « savent pas se priver ». La pauvreté a peut-être reculé « en moyenne », mais la stigmatisation de la pauvreté a très probablement progressé : l'enquête qui nous l'apprend n'est pas inédite – mais c'est ce qui en fait tout l'intérêt. ■

« Faire partager les questions éthiques »

Entretien avec l'immunologiste
Jean Claude Ameisen, nouveau président
du Comité consultatif national d'éthique



Jean Claude
Ameisen,
à Paris,
en février 2012.
BALTEL/SIPA

PROPOS RECUEILLIS PAR
FLORENCE ROSIER

Médecin et chercheur, professeur d'immunologie et directeur du Centre d'études du vivant à l'université Paris-Diderot, mais aussi homme de radio, Jean Claude Ameisen est le nouveau président du Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé (CCNE).

Le CCNE fêtera ses 30 ans au printemps. Comment entendez-vous inscrire son rôle dans la société ?

Le CCNE est le premier Comité consultatif national d'éthique créé au monde. Depuis 1983, il a eu, dans notre pays et dans le monde, un rôle de tout premier plan. J'attache une grande importance à sa mission d'animation d'une réflexion éthique dans la société. Les avancées scientifiques et les questions éthiques qu'elles soulèvent sont souvent traitées par les médias dans un contexte d'urgence. Le rôle du CCNE est de prendre du recul, de dégager les enjeux, d'explorer et de présenter les différentes options qui permettront aux citoyens de s'approprier la réflexion et de s'exprimer à partir d'un « choix libre et informé ». Un processus au cœur de la démarche éthique biomédicale, et essentiel à la vie démocratique.

La démarche éthique peut-elle se fonder exclusivement sur l'expertise biologique et médicale ?

Non. Le CCNE est indépendant et transdisciplinaire : quand le respect de la person-

ne est en jeu, l'expertise biologique et médicale est indispensable mais n'est pas suffisante. Le CCNE est composé de 40 membres : des médecins et des biologistes, mais aussi des philosophes, des anthropologues, des sociologues, des juristes, des personnes venant de différents horizons, y compris quatre membres choisis pour leur appartenance aux grandes familles spirituelles et religieuses.

A mesure que notre réflexion collective s'élabore, elle dépasse les points de vue initiaux de chaque participant. C'est une démarche qui demande de l'humilité et implique que chacun reconnaisse qu'il a besoin de l'autre. On considère trop souvent que des avis d'experts suffisent pour décider des grands choix de notre pays. Le CCNE est un exemple intéressant qui pourrait être étendu à d'autres domaines : les enjeux des nanotechnologies, des OGM, du nucléaire, du réchauffement climatique, des choix économiques...

Comment faire entrer davantage la réflexion éthique dans la société civile ?

Il y a sûrement un travail pédagogique important à faire pour que les démarches scientifique et éthique deviennent des composantes à part entière de notre culture. Le CCNE peut tenter de rendre ses avis non pas plus simples, mais parfois plus clairs. Non pas en effaçant la complexité, mais en clarifiant les dimensions essentielles de cette complexité. Et il y a l'animation de la réflexion publique, qui est essentielle. En 2009, durant les « états généraux de la bioéthique », des panels de citoyens tirés au sort ont réfléchi ensemble et émis des avis et recommandations d'un très grand intérêt...

Je crois qu'il n'y a pas de forme idéale d'animation de la réflexion publique. Il faut croiser différentes approches. Et les inscrire plus souvent dans une dimension internationale. En France, nous débattons trop souvent sur les questions éthiques comme si nous étions seuls au monde. Faire participer des comités d'éthique d'autres pays, notamment européens, nous aiderait à mieux élaborer nos réflexions. Et à mieux comprendre en quoi et pourquoi nous pouvons souvent faire, à partir des mêmes questions éthiques, des choix différents.

« Il y a un travail pédagogique à faire pour que les démarches scientifique et éthique deviennent des composantes à part entière de notre culture »

Le CCNE pourrait-il être plus réactif ?

En 2007, le CCNE a élaboré et publié un avis sur les tests génétiques pour le regroupement familial (avis n° 100) en une journée. Mais la problématique était relativement simple. Une grande réactivité est utile dans certains cas, mais je pense que là n'est pas le rôle essentiel du comité. Enfermer le CCNE dans un rôle de lanceur d'alerte ou de réponse d'urgence serait lui ôter ce qui fait l'originalité de sa mission : faire « un pas de côté », réaliser une analyse originale et approfondie. Nous vivons dans une culture de l'instantané, nous manquons

souvent de recul. La plupart des avis du CCNE ont demandé plusieurs mois de réflexion, parfois des années.

A six reprises entre 1984 et 2001, le CCNE a recommandé un régime d'autorisation encadrée des recherches sur l'embryon et les cellules souches embryonnaires – sans avoir été suivi par le législateur. N'est-ce pas perturbant ?

Lors des états généraux de 2009, le panel de citoyens avait fait la même recommandation. Le CCNE est une autorité indépendante consultative. Il ne peut, ni ne doit, se substituer aux choix du législateur et de la société. Le rôle principal du CCNE me semble être de faire ressortir la complexité des problèmes, leurs enjeux, les contradictions éventuelles, et de clarifier au mieux les possibilités de choix. C'est la démarche que nous avons suivie en 2010 dans notre réflexion sur les recherches sur l'embryon (avis n° 112). Il est souvent arrivé que le législateur traduise très rapidement des recommandations du CCNE dans la loi. Même alors, l'existence d'une réflexion publique qui permette à la société de bien comprendre et de participer à ces choix demeure importante.

Vous avez dit vouloir ouvrir le CCNE à des économistes. Quel serait leur apport ?

Ils nous aideraient dans nos réflexions sur trois points très importants. D'une part, à mieux prendre en compte les facteurs socio-économiques et environnementaux qui ont une influence sur l'espérance de vie et la santé, comme l'a montré l'OMS – et les moyens d'y remédier. D'autre part, à mieux apprécier la dimension économique des choix de politique de santé, avec les risques d'exclusion ou d'abandon qu'ils sont susceptibles d'induire. Enfin, ils nous aideraient à analyser les effets des politiques économiques nationales et internationales sur la santé.

Les réflexions éthiques, dites-vous, tendent à se focaliser sur le tout début et sur la toute fin de la vie, ce qui peut conduire à négliger un peu « le reste ». Quel est pour vous ce « reste » ?

Notre existence, la trame de nos jours. La vie de l'enfant, de l'adolescent, de l'adulte, de la personne âgée. Dans notre pays, deux millions d'enfants vivent aujourd'hui sous le seuil de la pauvreté, les enfants atteints de handicap sont trop souvent privés d'un accès à l'éducation, les personnes adultes et âgées privées d'accès aux soins, les personnes atteintes de maladies psychiatriques graves, abandonnées dans la rue ou enfermées en prison. Dans le monde, des millions d'enfants et de personnes adultes meurent chaque année de maladie et de faim, alors que nous avons les moyens de les sauver. « *Qu'est-ce qui devrait nous tenir éveillé la nuit ?* », demandait récemment le Prix Nobel d'économie Amartya Sen. *Les tragédies que nous pouvons prévenir, et les injustices que nous pouvons réparer.* » Dans notre pays. Et dans le monde. ■

Vaccination : les soignants ne montrent pas l'exemple

Un quart des personnels de santé s'est vacciné contre la grippe, 11 % ont fait les rappels contre la coqueluche

PASCALE SANTI

Les Français ne se font pas suffisamment vacciner, notamment contre la grippe. Tel est le constat de l'Institut de veille sanitaire (InVS) dans la première grande synthèse sur le sujet, présentée mardi 20 novembre. Pourtant considérés comme prioritaires, les professionnels de santé, médecins, infirmiers, sages-femmes, aides-soignants, ne sont pas exemplaires.

En effet, si leur couverture pour les vaccins obligatoires (BCG, diphtérie, tétanos, poliomyélite, hépatite B) semble satisfaisante (plus de 90 %), les taux sont plus faibles pour les vaccins recommandés que sont les rappels contre la coqueluche (11 %), la grippe (25 %, contre 54 % chez les plus de 65 ans et 31,9 % chez les 20-64 ans à risques), la varicelle (29 %) ou encore la rougeole (50 %), selon Jean-Paul Guthmann, coordi-

nateur du programme d'évaluation et de suivi de la couverture vaccinale de l'InVS.

Il s'appuie sur l'enquête réalisée par l'Institut auprès d'un échantillon représentatif de 1127 personnes dans 35 établissements, fin 2009. Les infirmiers et aides-soignants sont plus réticents que les sages-femmes et médecins, les couvertures vaccinales contre la grippe et la coqueluche étant toutefois plus élevées dans les secteurs de pédiatrie-maternité.

Recommandations particulières

Les personnels soignants font l'objet de recommandations particulières qui visent d'une part à les protéger de maladies auxquelles ils sont exposés, en évitant la transmission de maladies à soignants et entre soignants, et, d'autre part, à réduire la transmission de ces maladies à leurs patients, notamment les plus fragiles. On parle alors de vaccination « altruiste » visant à prévenir une infection nosocomiale.

« *De nombreux cas groupés de coqueluche nosocomiale se produisent chaque année en France, aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant* », indique le rapport de l'InVS. La transmission de la coqueluche à un bébé peut avoir des conséquences graves. Même chose pour le virus grippal : « *Des épidémies de grippe nosocomiale se produisent chaque année dans les établissements accueillant des personnes âgées, provoquant des centaines de cas (et des dizaines de décès) chez les résidents.* »

Dans ce contexte, comment expliquer ces freins ? La crainte des effets secondaires des vaccins a remplacé la peur des maladies, souligne le professeur Pierre Bégué, membre de l'Académie de médecine, qui dénonce un climat général de suspicion contre les vaccins. « *L'échec de la campagne de vaccination contre la grippe A (H1N1) a entraîné un reflux de la volonté vaccinale à l'égard de la grippe saisonnière, et probablement de la vaccination en*

général », analyse le sociologue Michel Setbon, du CNRS et de l'École des hautes études en santé publique.

« Ils pensent souvent être à jour »

Plus généralement, « *il y a un fossé entre l'analyse sur une situation faite par des experts, qui appellent à la vaccination, et la façon dont les individus – y compris les professionnels de santé – la perçoivent, dans la perception du risque* », explique M. Setbon.

Comme la majorité de la population adulte, rares sont les personnels de santé qui savent où ils en sont de leur vaccination. « *Ils pensent souvent à tort être à jour des vaccinations recommandées*, note Jean-Paul Guthmann, et en général connaissent mal ces vaccinations, perçoivent souvent les maladies contre lesquelles elles protègent comme des maladies peu graves ou bénignes, ne considérant qu'elles sont spécifiquement justifiées chez les soignants que dans un peu plus de la moitié des cas seulement. »

Certains estiment que la question de l'obligation légale de certaines vaccinations se pose pour les personnels soignants. « *C'est une question sur laquelle les autorités de santé se penchent. Il y a des pour et des contre, ce n'est pas tranché* », explique Françoise Weber, directrice générale de l'InVS.

« *A titre personnel, je ne suis pas un chaud partisan des obligations vaccinales, mais la question mérite d'être posée en milieu professionnel*, indique le professeur Daniel Floret, président du Comité technique des vaccinations (CTV). *On pourrait rendre le vaccin contre la rougeole obligatoire en situation d'épidémie. L'obligation vaccinale devrait pouvoir être proclamée d'une manière plus souple lorsque les circonstances l'exigent.* » En attendant, des hôpitaux suisses et certains services français obligent les personnes non vaccinées à travailler avec un masque pendant l'épidémie saisonnière de grippe. ■

Retrouver le son d'une trompe gauloise

MUSICOLOGIE | Une équipe d'acousticiens a analysé la sonorité du carnyx, qui semait l'effroi dans l'Antiquité

ARTHUR DE PAS

Non, tu ne chantes pas! La voix d'Assurancetourix est certainement son principal atout pour faire fuir sangliers, villageois, Normands ou Romains... Mais, parmi les instruments qu'il affectionne, on peut aussi relever la présence d'un carnyx, cette longue trompe à tête d'animal utilisée par les Celtes durant les trois derniers siècles avant Jésus-Christ.

Un instrument, long de 1,80 m et doté d'une tête de sanglier stylisée, a pu être en grande partie reconstitué

Il n'est donc pas surprenant qu'un amateur de sensations musicales fortes comme notre barde apprécie l'objet: l'historien grec Polybe (206-126 av. J.-C.), impressionné par la clameur des chants et des carnyx de l'armée gauloise, nota, avec effroi sans doute, que «les lieux voisins résonnant de concert semblaient eux-mêmes pousser des cris».

Quel était le son de ce fameux instrument, utilisé pour rendre fous les

Romains ou pour interpeller Toutatis? Telle est la question que s'est posée Christophe Maniquet, archéologue à l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), après avoir découvert les précieux débris de sept carnyx.

Dans une petite fosse de 30 cm de profondeur, plus de cinq cent pièces de fer et de bronze déposées en offrande aux divinités ont en effet été déterrées en 2004, sur le site de Tintignac en Corrèze. «Ces objets avaient été volontairement détériorés, pour qu'ils ne puissent plus être réutilisés par de simples mortels», raconte Christophe Maniquet.

Près de quarante pièces ont été identifiées comme des fragments de carnyx. Un des instruments, long de 1,80 m et doté d'une tête de sanglier stylisée, a pu être en grande partie reconstitué. Une première dans l'histoire de l'archéologie: «Quelques morceaux de carnyx avaient déjà été découverts, souvent au XIX^e siècle, en Angleterre, en Écosse, en Allemagne, en Italie... Mais le contexte était mal identifié. Et jamais on n'avait retrouvé autant d'instruments à la fois», se réjouit Christophe Maniquet.

Le carnyx appartient à la famille des instruments à vent. Sous-famille des cuivres, qui se définit par la présence d'une embouchure. Sous-sous-famille des cuivres naturels, sans pistons. Sa forme conique le rend proche des cuivres doux comme le cor, au son plus feutré que les cuivres cylindriques comme la trompette.

Malheureusement, l'instrument mis en pièces par les pieux Gaulois

est injouable. Christophe Maniquet a donc d'abord fait appel à un artisan pour fabriquer un carnyx de même dimension en laiton. Puis l'archéologue s'est associé aux acousticiens du Laboratoire d'acoustique de l'université du Maine-CNRS, situé au Mans et dirigé par le chercheur Joël Gilbert, spécialiste des cuivres, pour une analyse approfondie du spécimen.

Principal objet de l'étude, présentée lors d'une conférence réunissant luthiers et chercheurs au Mans, les 12 et 13 novembre: les fréquences de résonance, qui déterminent la série de notes jouables. Si l'instrument est bien conçu, elles se rapprochent d'une série harmonique: à partir de la note fondamentale, le musicien peut en produire aisément d'autres (octaves, quintes et tierces essentiellement), en modulant la pression de son souffle et la tension de ses lèvres.

Le carnyx a une fondamentale plutôt grave, étant donné sa longueur. Or, les chercheurs découvrent que les fréquences de résonance obtenues avec la copie de l'instrument sont éloignées d'une série harmonique. Joël Gilbert et ses collègues s'interrogent alors, puis ont un déclic: «Le carnyx n'est pas un instrument primitif, et il était réputé pour sa puissance. Nous avons donc émis l'hypothèse que cette copie n'était sûrement pas complète.»

Fac-similé d'un carnyx tel qu'utilisé par les Celtes durant les trois derniers siècles avant J.-C.

PATRICK ERNAUX/INRAP



Une supposition que Christophe Maniquet juge plausible: une incertitude demeure concernant la connexion entre l'embouchure et le tube. Les acousticiens reprennent alors leurs recherches en simulant, grâce à un modèle de calcul, l'ajout d'une pièce sur un carnyx virtuel, cette fois. Avec deux longueurs testées: 10 cm et 20 cm. Le son de l'instrument est abaissé et l'harmonicité des résonances modifiée.

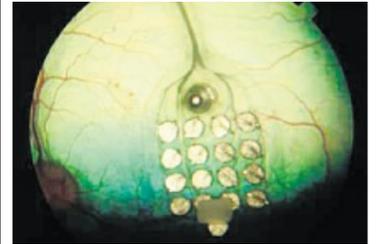
Les simulations ont montré qu'un optimum était atteint avec la pièce de 10 cm, ce qui pourrait en plus correspondre à un objet du catalogue archéologique de Tintignac. Christophe Maniquet projette donc de réaliser un deuxième prototype de l'instrument en intégrant notamment les 10 cm manquants.

«Ce carnyx sera ainsi plus facile à jouer et plus puissant», garantit le chercheur Joël Gilbert, confiant dans ses calculs. Qu'on bâillonne donc Assurancetourix, la relève est assurée. ■

TÉLÉSCOPE

Médecine Des électrodes dans la rétine pour lire en braille

Un aveugle a été capable de lire des mots en braille directement projetés sur sa rétine par l'intermédiaire d'un réseau d'électrodes. Ce procédé, dérivé d'une neuroprothèse appelée Argus II, a été mis au point par une équipe franco-américaine. Argus II est destiné à donner des repères visuels à des aveugles



Grille d'électrodes implantée dans la rétine d'un aveugle pour lui permettre de lire. SECOND SIGHT

grâce à une caméra fixée sur des lunettes, qui transmet le signal vidéo à un ordinateur portable capable de le simplifier pour le transmettre à son tour, par un implant oculaire, à un réseau d'électrodes qui stimule la rétine du patient.

Les chercheurs ont eu l'idée de faire lire directement des lettres et des mots en braille à un patient déjà équipé de cette prothèse comptant 60 électrodes, dont 6 ont servi à former des lettres en braille. Projetées sur sa rétine pendant une demi-seconde, celles-ci étaient identifiées correctement dans 89 % des cas. Cette acuité restait de 70 % lorsque des mots de quatre lettres successives étaient projetés. Pour les chercheurs, cette expérience prouve qu'une telle prothèse peut permettre de lire le braille. A ce jour, cinquante personnes ont été appareillées avec Argus II.

> Lauritzen et al., in «Frontiers in Neuroscience» du 22 novembre

31%

C'est le taux de surdiagnostics résultant du dépistage des cancers du sein aux États-Unis, selon une étude publiée le 22 novembre dans le *New England Journal of Medicine*. Archie Bleyer et Gilbert Welch estiment qu'entre 1976 et 2008, le dépistage par mammographie a induit 1,3 million de surdiagnostics (cancers qui ne se seraient pas manifestés cliniquement). Le dépistage n'a, «au mieux, qu'un effet mineur sur la mortalité des cancers du sein», concluent-ils. Outre-Atlantique, les mammographies sont effectuées tous les ans à partir de 40 ans. Ces conditions sont très différentes de la stratégie française, soulignent des spécialistes, pour qui les résultats américains ne peuvent pas être extrapolés à notre pays.

Astronomie Une découverte «historique» de Curiosity sur Mars?

La rumeur d'une découverte importante du rover martien Curiosity bruit sur les réseaux: John Grotzinger, le responsable scientifique principal de la mission, aurait en effet laissé entendre à un journaliste de la radio publique américaine (NPR) que l'un des instruments scientifiques du robot avait trouvé des éléments excitants dans un échantillon de sol. «Ces données sont de nature à entrer dans les livres d'histoire. Cela semble vraiment prometteur», aurait-il lâché, sans vouloir en dire plus à son interlocuteur. Il faudra encore plusieurs semaines, selon M. Grotzinger, pour analyser ces résultats et être sûr de leur portée. L'exploration martienne incite à la prudence: dans un premier temps, Curiosity avait semblé mesurer du méthane, indice possible d'activité biologique, mais il a ensuite été confirmé que ce gaz était d'origine terrestre, arrivé avec l'engin...

RECTIFICATIF

Bachelier

Le portrait consacré à Marion Montaigne publié dans le supplément «Science & techno» du 17 novembre indiquait par erreur que la dessinatrice de bande dessinée n'avait pas le baccalauréat. La citation correcte était: «Je n'ai même pas le bac S [série scientifique]», Marion Montaigne étant titulaire d'un bac ES (série économique et sociale).

Des avatars au chevet du patient

Des organes numériques permettent de simuler des actes chirurgicaux et d'optimiser les traitements

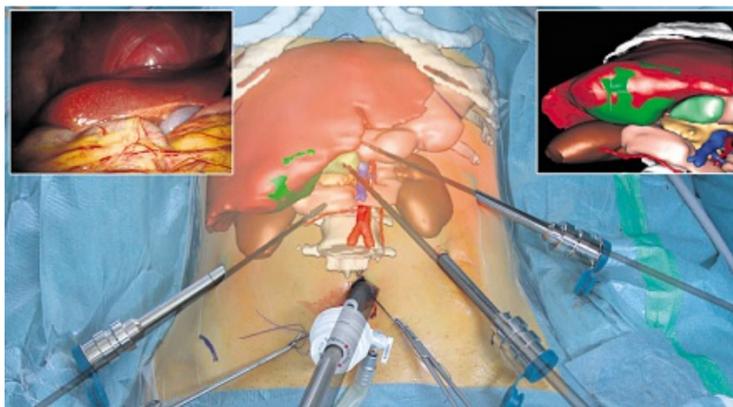
SANDRINE CABUT

Strasbourg

Optimiser la pose d'un pacemaker en réalisant d'abord l'intervention sur un cœur virtuel, exacte réplique de celui du patient. Enlever une tumeur hépatique par chirurgie robotisée, guidée par un système de réalité augmentée, qui rend le foie transparent et permet de visualiser les vaisseaux situés sous cet organe. Modéliser la croissance de cellules tumorales chez un malade pour prédire plus finement l'évolution de son cancer...

Longtemps héros de science-fiction, le patient numérique devient une réalité, comme en témoignent de nombreux programmes présentés en démonstration mercredi 21 novembre, à Strasbourg, lors d'une rencontre entre l'Inria (Institut national de recherche en informatique et en automatique) et l'industrie, sur le thème de la simulation numérique pour la santé.

Ces innovations promettent des mutations dans la pratique de la médecine, de la chirurgie et de la recherche – pour la conception de médicaments par exemple. Même la formation des professionnels de santé bascule vers le numérique, avec le développement de mannequins bardés d'électronique et de logiciels de jeux sérieux (*serious games*). Ces outils permettent, en toute sécurité et avec un grand réalisme, d'apprendre à maîtriser des gestes techniques, à bien réagir à des scénarios d'urgence et à travailler en équipe... Avec une nouvelle philosophie: «Jamais la première fois sur le patient», insiste le professeur Jean-Claude Granry (CHU d'Angers), rapporteur pour la Hau-



En juillet 2012, l'équipe de Jacques Marescaux a fusionné des images de réalité virtuelle avec celles de la caméra introduite dans le corps d'une patiente.

IRCAD

te Autorité de santé sur ce sujet.

«La simulation et la modélisation sont maintenant partout en médecine, confirme Nicholas Ayache, directeur de recherche à l'Inria. Au départ, cela a consisté à naviguer dans des organes figés, rigides. Depuis quelques années, on modélise non seulement la géométrie d'un organe mais aussi ses caractéristiques physiques, biologiques et même physiologiques. Et le travail se fait à toutes les échelles, du micro au macroscopique, ce qui permet de décrire le vivant dans toute sa complexité.»

Optimiser la pose de pacemakers

De plus, ces organes numériques (cœur, poumons, cerveau...) ne sont plus seulement génériques, mais personnalisables pour répondre à la situation clinique de patients donnés.

Depuis une dizaine d'années, plusieurs équipes de l'Inria planchent ainsi sur des programmes de modélisation cardiaque. Ainsi du projet MACS, qui reproduit l'activité électromécanique du cœur. Devant un écran où défilent de belles images en 3D d'un cœur, dont les cavités se contractent et changent de couleur au rythme de sa dépolarisation électrique, Dominique Chapelle (Saclay) explique les futures applications: «Actuellement, les stimulateurs cardiaques sont inefficaces dans 30 % des cas. Ce cœur personnalisé vise à optimiser la pose de pacemakers en déterminant les meilleurs emplacements pour poser les électrodes», souligne-t-il, en précisant que la prédictibilité du modèle a été vérifiée – rétrospectivement – chez trois patients.

A quelques pas de là, une autre équipe de l'Inria présente un projet complé-

taire de cathétérisation cardiaque numérique. «L'objectif est de mieux préparer ces interventions, en répétant virtuellement les gestes de cathétérisation [une sonde est introduite par l'artère fémorale puis poussée jusqu'au cœur] et en étudiant ses effets sur le cœur», détaille le démonstrateur. Ces pompes cardiaques numériques seront adaptées à chaque patient, avec ses données d'imagerie – en IRM principalement – et de pression cardiaque.

«Petite révolution»

Pour l'heure, la plupart des programmes sont encore dans les laboratoires, mais certains sont déjà accessibles. Ainsi, indique Nicholas Ayache, une start-up californienne, Heartflow, vient d'obtenir l'agrément de la Food and Drug Administration pour un système qui calcule la pression dans les artères coronaires – les vaisseaux nourriciers du cœur – de façon totalement atraumatique à partir de l'imagerie cardiaque et de la tension artérielle. «C'est une petite révolution», estime le chercheur.

A l'Institut hospitalo-universitaire (IHU) de Strasbourg, ces technologies du futur se conjuguent déjà au présent dans les blocs opératoires. Pour la première fois, l'équipe de Jacques Marescaux, directeur général de l'IHU et président de l'Ircad (Institut de recherche contre les cancers digestifs), a pratiqué cet été une intervention de cyberchirurgie avec un robot guidé par réalité augmentée. Les images en 3D du foie de la patiente, acquises avant l'intervention, ont été fusionnées en temps réel avec les images fournies par la caméra pendant l'opération. La tumeur hépatique a été retirée avec succès. ■

Recherche

Six questions pour une réforme

POLITIQUE

Les Assises nationales de l'enseignement supérieur et de la recherche, les 26 et 27 novembre à Paris, doivent ouvrir des pistes de réforme, alors que le système actuel souffre d'une trop grande complexité

DAVID LAROUSSE
ET ISABELLE REY-LEFEBVRE

Le monde de la recherche va encore bouger. De nouvelles réformes s'annoncent avec la tenue, les 26 et 27 novembre à Paris, des Assises nationales de l'enseignement supérieur et de la recherche. Cette initiative fait suite à sept années de profonds changements dans le paysage, après des états généraux obtenus sous la pression de la communauté scientifique, en 2004, et qui ont donné lieu à plusieurs lois, souvent contestées, en 2005 et en 2007.

Les voix qui demandaient avant toute discussion des moratoires sur les dernières décisions du précédent gouvernement n'ont pas été entendues. Les marges de manœuvre budgétaires sont étroites. Si bien que ces assises, initiative du sommet plutôt que de la base, ont surtout mobilisé les institutions, et guère les chercheurs eux-mêmes. Des questions majeures restent posées, auxquelles deux projets de loi, sur l'université et sur la recherche, devraient tenter de répondre début 2013.

Peut-on simplifier le mille-feuille français ?

Le mot qui est revenu le plus lors des auditions ou dans les contributions qui ont précédé les assises est « simplification ». « Depuis 2005, beaucoup de nouvelles structures sont apparues, conduisant à un mille-feuille institutionnel, qualifié plutôt de "mikado" par certains. Mais personne ne veut enlever son étage ! », témoigne Rémy Mosseri, directeur de recherche CNRS et membre du comité de pilotage des assises. Cette complexité vaut tant pour la gestion administrative des personnels que pour la recherche de financements, les chercheurs pouvant frapper à une multitude de guichets, de celui de leur « employeur » jusqu'à ceux d'instances européennes, en passant par des appels d'offres publics, lancés par des fondations, des régions... « Un mois sur douze est consacré à écrire des projets. Ça pompe notre énergie de chercheur », indique Bruno Andreotti, professeur en physique de l'université Paris-VII au laboratoire de physique et mécanique des milieux hétérogènes de l'ESPCI ParisTech.

Le drame est que ces innovations administratives ont souvent été lancées dans un souci de simplification pour accroître la visibilité des établissements français, à l'international notamment. Or, la lecture devient de plus en plus compliquée avec des structures qui se recouvrent. « Les gens ne savent même plus dans quoi ils sont », ironise Georges Debrégeas, physicien de l'université Pierre-et-Marie-Curie.

Ainsi, à Paris, les deux principales initiatives d'excellence (IDEX) – des regroupements d'établissements – portent toutes les deux le nom de Sorbonne (Sorbonne-université et Sorbonne Paris-Cité). La troisième, Paris-Sciences et Lettres, n'a qu'une seule université et quatre grandes écoles, quand les autres n'en ont pas vraiment, actant ainsi une vieille fracture française. En mathématiques, les laboratoires de Paris-VI et Paris-VII se trouvent dans deux IDEX différentes, mais certains sont réunis dans la Fondation sciences mathématiques de Paris, une fondation de coopération scientifique dans le jargon.

« En Ile-de-France, les découpages en mégauniversités nient des collaborations réelles et forcent d'autres équipes à se réunir dans des montages fictifs. Les réformes visent à passer d'un système de recherche fondé sur la coopération, où les organismes comme le CNRS assuraient une cohésion nationale, à une organisation où des blocs universitaires mis en concurrence s'affron-

tent pour récupérer des moyens financiers », regrette Bruno Andreotti.

Quelle place pour l'université dans la recherche ?

La loi relative aux libertés et responsabilités des universités (LRU) de 2007, dite aussi d'autonomie des universités, n'est pas sans conséquence sur le fonctionnement des laboratoires, ces derniers étant souvent installés sur des campus universitaires en cotutelle avec des organismes de recherche.

D'abord, il y a la situation des finances et de l'emploi. En héritant de la gestion salariale de leurs personnels, les universités ont dû mécaniquement recruter pour ces nouvelles fonctions, sans recevoir pour autant de moyens supplémentaires. « A Paris-VII, pour le département de physique, ce redéploiement nous a fait perdre 15 postes d'enseignant-chercheur sur 150 », estime Bruno Andreotti. 14 présidents ont même récemment demandé au ministère de reprendre cette activité (*Le Monde* du 16 novembre).

Ensuite, l'activité de recherche est devenue une manière de fierté des plus grandes universités, notamment avec la publicité faite aux classements mondiaux, qui prennent en compte souvent plus la recherche que l'enseignement, et dans lesquels les établissements français brillent peu. « Que l'université reprenne la main sur des laboratoires ne nous pose pas de problème », estime un directeur du CNRS. « Si l'université prend le relais, on coule ! », pense au contraire un biologiste. Les différences culturelles et les écarts de moyens ravivent de vieilles querelles.

En outre, les régions, ayant en charge l'enseignement supérieur, ont de plus en plus leur mot à dire sur la politique universitaire. Il sera alors logique que cette dernière s'adapte aux spécificités locales, faisant craindre un « pilotage » de la recher-

che qui heurte la sacro-sainte liberté du chercheur. « L'un des buts avoués des réformes en cours est de faire apparaître des universités d'élite à forte composante recherche et d'autres dites de proximité, surtout chargées de l'enseignement », estime Bruno Andreotti.

Le financement par projet est-il la panacée ?

Les laboratoires, traditionnellement financés par des moyens apportés par les organismes de recherche et les universités, voient de plus en plus leurs ressources venir de réponses à des appels d'offres sur projet. L'Agence nationale de la recherche (ANR) ou l'Europe, mais aussi les investissements d'avenir, incarnent ce nouveau modèle. Selon l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT), la quote-part des financements par projet dans la recherche publique est passée de 4,4 % en 2007 à 20,5 % en 2011. « Les crédits de base de mon institut sont passés de 80 % du budget à 20 % ! », constate le neurobiologiste Yehezkel Ben-Ari.

Le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, dans le budget 2013, a anticipé la critique et a décidé de diminuer de 70 millions d'euros le budget de l'ANR, qui est d'environ 686 millions d'euros, afin de le reverser aux organismes de recherche (mais l'essentiel est absorbé par des cotisations retraite). La course aux financements a cependant fait des heureux. « 80 % du budget de mon établissement est sur projets. Nos moyens ont été considérablement augmentés, et nous pouvons faire ce que nos prédécesseurs ont rêvé de faire : recrutements, nouveaux enseignements, expériences... Nous soutenons la comparaison avec les meilleurs du monde », s'enthousiasme un directeur de département, qui reconnaît des « frustrations » chez ceux qui n'ont pas été choisis dans les appels d'offres.

« La situation est un peu ubuesque, car elle crée de la pénurie d'un côté et de la quasi-gabegie quand l'argent coule à flots sur un labo », critique Georges Debrégeas. Cela augmente aussi la charge administrative, même si l'ANR assure, dans sa contribution aux assises, avoir divisé par deux « le nombre de rapports d'activité exigé ». Beaucoup appellent de leurs vœux une situation plus raisonnable, avec environ 50 % de crédits de recherche assurés par les tutelles, et non par des appels d'offres. L'ANR propose quant à elle d'augmenter la part des sommes obtenues allant non à l'équipe gagnante mais à son établissement.

« A l'origine, les états généraux avaient souhaité des appels à projet pour aider les jeunes sur des projets innovants. Mais c'est devenu tout autre chose », regrette Yehezkel Ben-Ari. Une autre critique des politiques d'appels à projet concerne d'ailleurs leur trop faible capacité à favoriser l'innovation et l'originalité, en fixant par avance les directions à creuser. A l'écoute de ces critiques, le conseil d'administration de l'ANR a, le 14 novembre, décidé d'augmenter significativement la part des appels à projets « blancs », sans thème imposé.

Comment évaluer la recherche ?

Le comité de pilotage n'a pas eu du mal à identifier dans sa note de synthèse « l'évaluation comme un sujet majeur de préoccupations ». C'est évidemment moins le principe que les modalités qui posent problème. Notamment l'agence nouvelle créée à cet effet en 2007, l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Aeres). Certains, dont l'Académie des sciences, demandent même sa suppression au profit des instances nationales existantes (CNRS, Inserm, universités). Les raisons des griefs sont nombreuses. « Il y a plusieurs manières d'évaluer. L'une permettant l'ac-

Les chiffres de la recherche en France

42,7

milliards d'euros de dépense intérieure en 2009, soit 2,26 % du PIB

484 000

C'est le nombre de personnes employées dans la recherche

234 200

C'est le nombre total de chercheurs en France ; ils sont 100 700 dans le public et 133 300 dans les entreprises

4^e

rang mondial dans le système européen des brevets (8^e rang mondial dans le système américain)

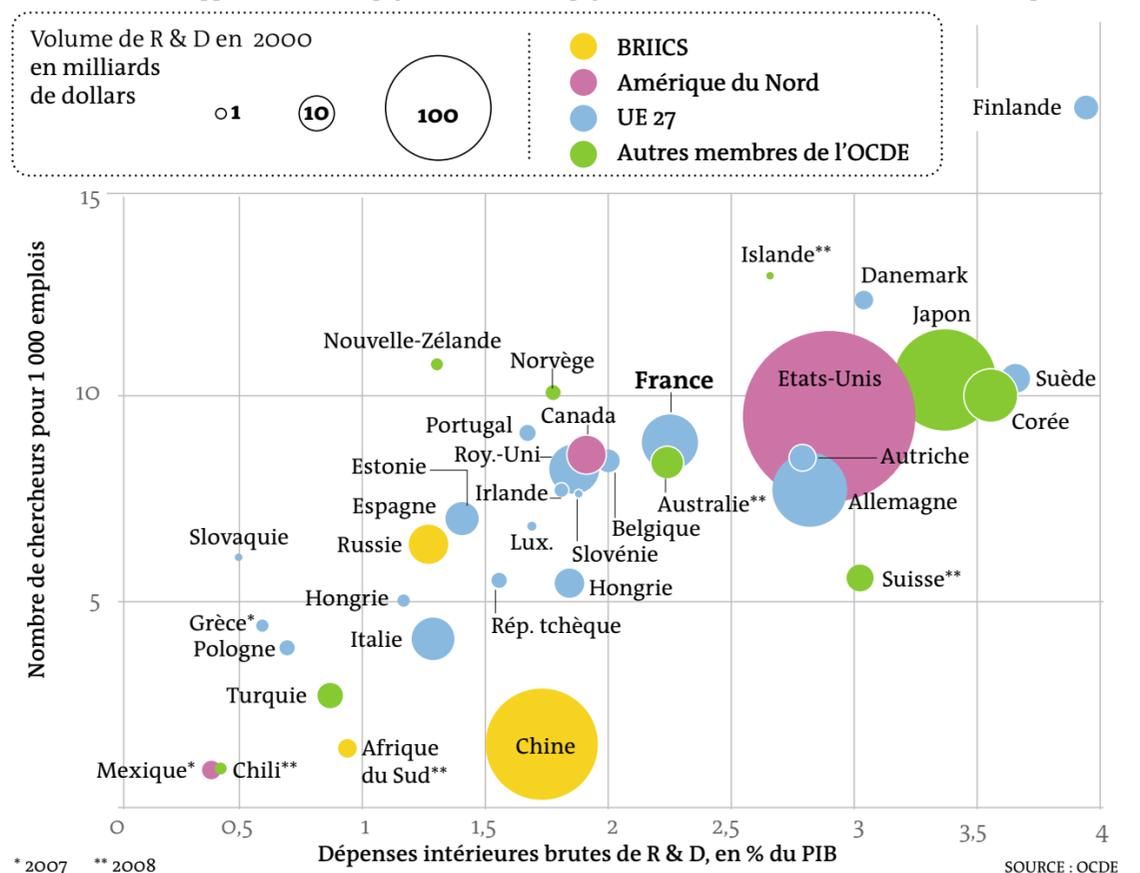
6^e

rang mondial en part de publications scientifiques

SOURCE : MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

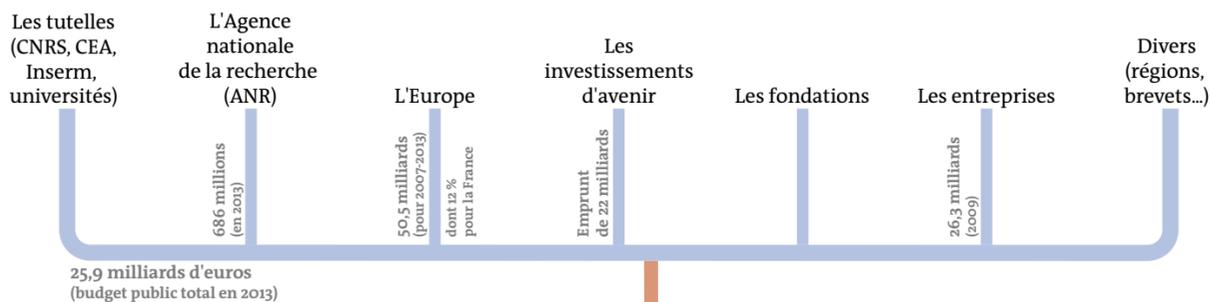
La France en milieu de peloton dans la compétition internationale

► Recherche et développement dans les pays de l'OCDE et les pays non membres, 2009 (dernières données disponibles)



Un « écosystème » national très complexe

Les sources de financement



Les six missions des chercheurs

- La recherche
- L'expertise
- L'enseignement
- La diffusion au public
- L'administration de la recherche
- La valorisation (brevets...)

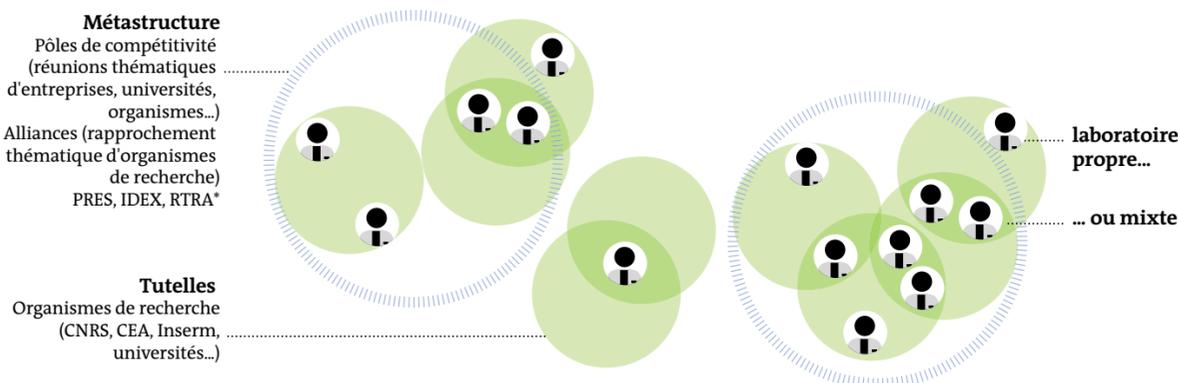


Une évaluation permanente

Un chercheur est sans cesse évalué :

- par ses pairs, pour la publication d'un article ;
- par son employeur, pour sa carrière ;
- par une agence nationale, pour son équipe, son organisme ou son université.

Une multitude de structures emboîtées



* IDEX : initiative d'excellence ; PRES : pôle de recherche et d'enseignement supérieur ; RTRA : réseau thématique de recherche avancée

SOURCE : MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

compagnement des laboratoires avec des comités permanents, du suivi, évitant les comparaisons et les notations. L'autre, à la manière de l'Aeres, qui sert plutôt d'outil de gestion administrative, avec des comités changeants pour chaque évaluation, et qui donne des notes », critique Christophe Blondel, du syndicat SNCS. La notation des laboratoires sert ensuite souvent comme critère de sélections dans les appels d'offres.

Le comité de pilotage note aussi que plusieurs personnes ont critiqué la disjonction entre l'évaluation des personnels et celle des structures les hébergeant. En cinq ans, quelque 250 établissements de recherche et plus de 3000 unités de recherche ont été évalués au moins une fois par l'Aeres dotée, en 2010, de 15 millions d'euros. Mais, tant pour les évalués que pour les évaluateurs, cela a alourdi la bureaucratie. L'Académie des sciences, dans sa contribution aux assises, se fait même l'écho d'évaluateurs étrangers qui « refusent désormais de participer parce qu'ils ne perçoivent plus l'intérêt de l'évaluation telle qu'elle est actuellement pratiquée, ou parce que la présence qui leur est demandée est excessive ».

A quoi servent les milliards du crédit impôt recherche ?

Le crédit d'impôt recherche (CIR) aura, en 2012, coûté 5,3 milliards d'euros à l'Etat, soit trois fois plus qu'en 2007, car la réforme de 2008 a considérablement élargi cet avantage fiscal accordé aux entreprises. Son coût devrait se stabiliser à cette hauteur dans les années à venir. L'Etat prend ainsi en charge quasiment 20% des dépenses de recherche et développement (R&D) du privé, dont le montant global était évalué à 26 milliards d'euros en 2009, tandis qu'il consacre 16 autres milliards d'euros au financement de la recherche publique.

Avec ce crédit d'impôt, les entreprises éligibles se font rembourser 30% de leurs investissements de R&D, et jusqu'à 60% si elles engagent de jeunes docteurs ou coopèrent avec des laboratoires publics. C'est ce qui s'est heureusement produit, puisque, comme l'indique le rapport du sénateur (PS) Michel Berson, paru le 18 juillet 2012, le nombre d'entreprises ayant recruté des chercheurs a doublé, passant de 439 en 2007 à 886 en 2010, année où elles étaient 2583 à avoir fait appel à des laboratoires publics, contre 1376 en 2007. Malgré cette progression, le CIR profite peu à la recherche publique, car ces partenariats atteignent à peine 5% des dépenses.

Le CIR suscite des débats passionnés, d'abord parce qu'il coûte beaucoup plus

que les 2,8 milliards d'euros annoncés par le gouvernement Fillon en 2008. Ensuite, son impact sur la croissance de l'activité, en France, et sa capacité d'innovation, au moment où le pays subit une désindustrialisation accélérée, sont contestés. Les études sur l'efficacité économique du CIR sont rares, et le rapport Berson en cite une, de janvier 2009, émanant de la Direction générale du Trésor, qui laisse espérer une augmentation du PIB de 0,3 à 0,6 point d'ici quinze ans ; et une seconde, de novembre 2011, du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, qui évalue l'effet de levier du CIR à 1,31 (1 euro investi suscite 1,31 euro de dépense en R&D).

« En 2009, en pleine crise, les entreprises ont augmenté leurs investissements de recherche grâce au CIR. La France est, avec la Corée du Sud, le seul pays à les avoir accrus, dans sa contribution aux assises, plaide Franck Debaugue, directeur d'Acies Consulting et animateur de l'Observatoire du CIR. Quant à la fraude possible, les entreprises concernées sont très contrôlées, tant par le fisc que par des experts du ministère de la recherche. »

La précarité est-elle une fatalité ?

C'est une vraie bombe à retardement que l'ancienne majorité a laissée à ses successeurs : le mode de financement de la recherche par appels à projet, attribués par l'Agence nationale pour la recherche, a fait exploser la précarité des chercheurs. Car les laboratoires sont amenés à recourir à des contractuels dont la durée des contrats cor-

respond à celle des financements. L'accélération a été considérable entre 2006 et 2012. Le collectif Sauvons la recherche estime à 50 000 les effectifs concernés, qu'ils soient chercheurs, enseignants, administratifs, ingénieurs ou techniciens, contractuels, vacataires ou titulaires de contrat à durée déterminée.

Selon Pierre Girard, du SGEN-CFDT recherche, « le CNRS compte 26 000 titulaires et 9 500 contractuels, dont seuls 47 ont récemment obtenu un CDI grâce à la loi Sauvadet du 12 mars 2012 sur la résorption de la précarité dans la fonction publique, loi dont le financement n'a malheureusement pas été prévu dans le budget 2012. Nous constatons que les difficultés les plus aiguës touchent les personnels qualifiés, des catégories A et A+, en particulier les ingénieurs des laboratoires ». La Cour des comptes constate dans son référentiel d'août 2012 qu'à l'Inserm « les effectifs en contrat à durée déterminée ont été multipliés par 4 entre 2005 et 2010, passant de 497 personnes à 1925 fin 2010 ». Leur proportion dans le personnel a bondi de 12% en 2005 à 28% en 2011. Avec les vacataires, c'est 42% du personnel qui travaille avec un statut précaire. Le ministère estime que 8400 universitaires et 1400 chercheurs des organismes sont régularisables, ce qui devrait être fait sur quatre ans ; et il cherche à réduire le recours à des contractuels, en limitant à un seul le contrat ANR par chef de projet et par an, et en imposant que pas plus de 30% du travail soit réalisé par des agents non titulaires : « Ces mesures sont bonnes, mais pas faciles à contrôler », souligne Pierre Girard. ■

Yehezkel Ben-Ari est directeur de recherche à l'Inserm, ainsi que fondateur et directeur honoraire de l'Institut de neurobiologie de la Méditerranée à Marseille.

« L'évaluation telle que conduite actuellement par l'Aeres est absurde. D'abord, il faut des experts indiscutables, et l'Agence n'a pas toujours pu démontrer que les siens l'étaient. Ensuite, l'Aeres a la prétention d'évaluer toutes les équipes, unités et organismes de recherche dans tous les domaines, ce qui est sans équivalent ailleurs. Dans mon unité précédente, à Paris, l'évalua-

tion par une commission Inserm avait pris presque deux jours. C'est à peu près le temps qu'il faut à une mission Aeres pour évaluer l'ensemble des équipes de l'université de Marseille.

De plus, on ne peut pas séparer l'évaluation des laboratoires de celle de ses personnels, chercheurs, techniciens, ingénieurs... Or, l'Inserm ou le CNRS continuent à recruter les chercheurs et techniciens et à gérer les carrières sans évaluer l'activité du laboratoire pour lequel elle prend les décisions de promotion, de mobilité, de recrutement. Cela n'a pas de sens : on peut avoir des

« La précarité touche la moitié de mes collègues »

Arnaud Jacquelin, 34 ans, est post-doctorant spécialisé en oncologie, notamment des leucémies, au Centre méditerranéen de médecine moléculaire, à Nice. Il décroche régulièrement des financements, notamment de la Ligue nationale contre le cancer.

« J'ai bien l'intention de me joindre à mes collègues du collectif des jeunes chercheurs des Alpes-Maritimes pour manifester à Nice le 26 novembre contre la précarité. La coupe est pleine. Je ne compte pas mes heures, mon métier me passionne, mais quand, le 28 mars, j'ai reçu un appel de la direction de l'Inserm m'annonçant qu'il ne souhaitait pas renouveler mon contrat à compter du 1^{er} avril, j'ai été stupéfait ! Mon contrat d'un an expirait, certes, mais le financement pour mon projet sur la leucémie myélomonocytaire chronique court, lui, sur deux ans.

La raison de mon éviction est mon ancienneté, qui allait dépasser six ans, ce qui aurait obligé l'Inserm à me basculer en contrat à durée indéterminée. Je travaille pour l'Inserm depuis 2006. Les premières années, j'étais payé sous forme de libéralité, un peu comme si je travaillais "au noir", sans aucun droit social, ni Sécurité sociale, ni chômage, ni congés. Le

1^{er} juillet 2007, les organismes de recherche ont mis fin au système de la libéralité contraignant les associations à leur verser les fonds en y incluant les cotisations sociales, pour salarier leurs collaborateurs en CDD. Cela a été un progrès, mais ces CDD à répétition m'obligent à solliciter la caution de mes parents quand je veux emprunter.

Une solution a été trouvée en mars dernier, pour que je puisse rester : je suis désormais salarié non plus de l'Inserm, mais de l'université, qui partage le laboratoire avec lui. Mais cela reste provisoire, jusqu'au 31 mars 2013 : avec la loi Sauvadet de mars 2012, censée résorber la précarité, je ne peux plus travailler pour aucun organisme public, sauf à être embauché. Je suis loin d'être le seul à subir cette précarité : douze collègues, soit la moitié de l'équipe, sont dans le même cas, car l'Inserm est très concerné par ces délestages de contractuels.

L'argent de l'Agence nationale de la recherche et de contributeurs comme la Ligue a donné un souffle nouveau à nos recherches, mais aujourd'hui on nous jette... Mon projet risque de s'arrêter. Notre formation et notre travail sont reconnus partout dans le monde, sauf ici ! Je pourrais postuler en Australie, en Grande-Bretagne ou aux Etats-Unis ! ■

PROPOS RECUEILLIS PAR I. R.-L.

« Beaucoup de temps à chercher de l'argent »

Le professeur Thomas Bourgeon dirige l'unité génétique humaine et fonctions cognitives (Institut Pasteur, CNRS). Depuis dix ans, cette équipe pionnière a découvert plusieurs gènes associés à l'autisme.

« En tant que chercheurs en génétique de l'autisme, nous avons besoin d'outils performants de séquençage pour rester dans la course internationale, et cela coûte très cher. Nos budgets de fonctionnement sont modestes : environ 15 000 euros par an de l'université Paris-Diderot, autant du CNRS, et 65 000 euros de l'Institut Pasteur. Pour avoir de l'argent, il faut des projets. Nous passons donc beaucoup de temps à chercher de l'argent et à remplir des dossiers.

Une source ne suffit pas à financer un projet, et les organismes demandent beaucoup par rapport à ce qu'ils donnent. Bien sûr, il est nécessaire d'être évalué, mais, avec certains financeurs, c'est parfois totalement disproportionné : une publication doit être un outil de communication, pas un but en soi. Lorsque l'on dépose un projet à l'Europe, cela prend des semaines de

travail, et il faut demander l'aide d'une entreprise extérieure pour le mettre en œuvre ! Les dossiers sont souvent plus simples pour les demandes à des fondations ; certaines savent nous faire confiance, nous laisser plus de liberté. J'ai de la chance : en juin 2012, j'ai obtenu de la Fondation Bettencourt-Schueller 1 million d'euros sur trois ans, ce qui me permet de financer deux ingénieurs en bio-informatique et un psychologue.

Le système pousse à travailler sur des projets trop définis, et crée des effets de mode, alors qu'un certain nombre de découvertes importantes sont faites hors de ce cadre. En 2003, lorsque nous avons mis en évidence les premières mutations associées à l'autisme, sur les gènes des neurologines, c'était sur un coin de paillasse, avec seulement trois personnes au laboratoire ! Pour éviter d'avoir à multiplier les demandes de financement, l'European Research Council a créé des bourses consécutives, d'un montant de 1 à 2 millions d'euros sur cinq ans. C'est l'idéal, mais elles sont évidemment très difficiles à décrocher. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR SANDRINE CABUT

« Un mode d'évaluation absurde »

situations où l'Inserm recrute un chercheur pour une équipe mal notée par l'Aeres ! Pour bien évaluer un laboratoire, il faut connaître ses chercheurs. Je suis d'autant plus libre pour critiquer que mon institut a toujours reçu une bonne évaluation de l'Aeres.

En Allemagne, la situation est différente, avec des comités ad hoc pour telle ou telle évaluation, mais pas d'organisation de ce type qui évalue tous les laboratoires. Il est vrai que nos universités peuvent avoir besoin d'un regard extérieur ponctuellement et pour certains domaines.

De plus, les régions ne veulent pas apparaître comme la cinquième roue du carrosse dans la sélection des équipes à financer, en prenant les "derniers" sur des listes nationales. Alors elles mettent sur pied leur propre évaluation ! Conclusion : trop d'évaluation comme trop d'administration tue la recherche et l'innovation. Changer tout le système en fonction des préférences actuelles des universités est à ce stade une erreur majeure. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR D. L.

► Sur Lemonde.fr Lire aussi le témoignage du géologue Luc Aquilina

Les vertiges de l'imagerie du cerveau

LE LIVRE

L'IRM, qui permet de voir le cerveau en action avec une précision stupéfiante, devient un outil thérapeutique

SANDRINE CABUT

En médecine comme ailleurs, il faut parfois une patience d'ange et une obstination sans faille pour faire reconnaître ses idées et ses découvertes, aussi brillantes soient-elles. Denis Le Bihan, médecin et physicien, a dû ainsi batailler pendant plus de dix ans pour faire accepter et connaître son invention, l'IRM de diffusion, qui a propulsé les examens de neuroimagerie dans une nouvelle dimension.

Dès 1985, raconte le chercheur dans son ouvrage *Le Cerveau de cristal*, il présente les toutes premières images de « diffusion de l'eau dans le cerveau humain » à des congrès internationaux. Mais l'accueil de la communauté scientifique a été plutôt réservé. Certains restaient sceptiques, « niant la possibilité que des images IRM puissent être réellement sensibles à des déplacements moléculaires microscopiques », se souvient le docteur Le Bihan, aujourd'hui directeur de NeuroSpin, plate-forme du Commissariat à l'énergie atomique consacrée à l'étude du cerveau par IRM à très haut champ magnétique.

« D'autres, poursuit-il, trouvaient la méthode trop complexe [...], si bien que, pour me taquiner, certains d'entre eux n'hésitèrent pas à arborer des tee-shirts où était imprimé, sur le devant : "Diffusion, perfusion..." et derrière : "... Confusion." » Mais son « insistance de Breton têtue » a fini par payer. « L'IRM de diffusion est devenue une méthode incontournable en radiologie et figure sur quasiment tous les scanners IRM installés dans le monde. Google Scholar, le Google des chercheurs, cite 320 000 références sur le sujet », souligne-t-il.

Elle permet notamment de visualiser très précocement une ischémie cérébrale lors d'un accident vasculaire cérébral. Surtout, en mettant pour la première fois en images le câblage cérébral, jusque-là inaccessible, elle a ouvert une voie de recherche inédite dans des maladies neuropsychiatriques comme la schizophrénie. Deux vastes programmes de recherche sont d'ailleurs en cours aux Etats-Unis et en Europe, souligne l'auteur du *Cerveau de cristal*, pour réaliser des atlas des connexions cérébrales ou connectome.

« Neuroarchéologie »
L'IRM de diffusion est aussi utilisée pour évaluer la maturation cérébrale chez les bébés, et même « pour faire de la "neuroarchéologie", fouiller notre cerveau afin de retrouver comment il a évolué au cours de notre vie ». On peut ainsi, raconte le chercheur, reconstituer les traces d'apprentissage de pianistes professionnels, l'organisation des fibres de la substance blanche dans des structures comme le corps calleux étant directement liée au nombre d'heures de pratique de l'instrument avant l'âge de onze ans.

Spécialiste mondial indiscutable des IRM cérébrales, Denis Le Bihan distille avec passion les applications, présentes et à venir, de ces examens. Et certaines sont saisissantes, comme la « reprogrammation cérébrale en temps réel », qui fait de l'IRM une possible thérapeutique. Grâce à un entraînement en imagerie IRM, des patients avec des douleurs chroniques, en échec thérapeutique, ont pu apprendre à contrôler le ressenti de leur douleur, en modulant l'activité d'une zone précise de leur cerveau, explique le chercheur. Une étude similaire a été conduite avec des dépressifs. « Là encore, écrit-il, le résultat fut remarquable, certains patients sortant complètement de leur dépression après l'examen IRM, et ne prenant plus aucune médication. »

Riche en iconographie et en anecdotes, *Le Cerveau de cristal* est – en tout cas par moments – facile à lire et captivant, mais hélas pas toujours limpide. Les passionnés du cerveau rétifs à la physique regretteront la (trop) grande part accordée aux explications techniques et scientifiques, surtout dans la première partie de l'ouvrage, qui peut décourager la lecture. ■

Le Cerveau de cristal. Ce que nous révèle la neuroimagerie, de Denis Le Bihan (Odile Jacob, 220 p., 25,90 €)

Agenda

Mathématiques

« Tangente » a 25 ans

Tangente, le magazine de la culture mathématique édité par les éditions Pole (qui imaginent « Affaire de logique » pour le supplément « Science & techno »), fête ses 25 ans. L'occasion de trois jours d'animations à Paris. Vendredi 23 novembre, on célébrera les livres avec la participation de membres de l'Ouvroir de littérature potentielle – une association créée en 1960 par Raymond Queneau et le mathématicien François Le Lionnais – et la remise du prix Tangente 2012. La journée du 24 novembre tournera autour des arts mathématiques, et le dimanche 25 aura pour thème les jeux, avec des ateliers tous publics. > De 23 au 25 novembre, mairie du 5^e, Paris. > Infinimath.com

Exposition

« Le temps des Romains »

La découverte récente d'un cadran solaire portable d'époque romaine, lors de fouilles archéologiques à Amiens, a conduit le musée de Picardie à organiser une exposition sur la façon dont les Romains percevaient et mesuraient le temps. Six « montres » antiques y sont présentées. Le dernier numéro de la revue *Dossiers d'archéologie* est entièrement consacré à ce passionnant sujet.

> Jusqu'au 24 mars, musée de Picardie, Amiens.

Tél. : 03-22-97-14-00

> *Dossiers d'archéologie* n° 354, 98 p., 9,50 €.

Livraison

Vie quotidienne

« Petit traité de bizarrologie » et « Ce qu'Einstein n'a jamais dit à son tailleur »

Les éditions Marabout rééditent en format de poche deux ouvrages visant à éclairer le lecteur sur « les mystères de la vie quotidienne ». Le premier, signé par l'ex-magicien britannique et psychologue à l'université du Hertfordshire, Richard Wiseman, s'attaque à tout ce qui enchante nos existences : la chance, la superstition, la séduction, les blagues... pour en dévoiler les ressorts et les fonctions psychologiques et sociales. On y croise Milgram et Malinowski, mais aussi un clown sur le divan de Freud.

Le second livre est signé par le chimiste américain Robert Wolke, professeur émérite à l'université de Pittsburgh, qui tint pendant de nombreuses années une chronique culinaire au *Washington Post*. C'est sans doute ce hobby qui l'amène à plaider pour la supériorité du système métrique sur les cups, gallons et autres onces du système d'unité américain. Ou à s'interroger sur la capacité d'un aimant à soulever des épinards. Les bulles de champagne, l'eau chaude qui gèle plus vite que l'eau froide, les pneus qu'il faut gonfler n'ont pas non plus de secrets pour lui.

> Richard Wiseman (Marabout, 260 p., 8,99 €).

> Robert Wolke (Marabout, 290 p., 8,99 €).

INVENTIONS INSOLITES

Bonnet de ski fantaisie

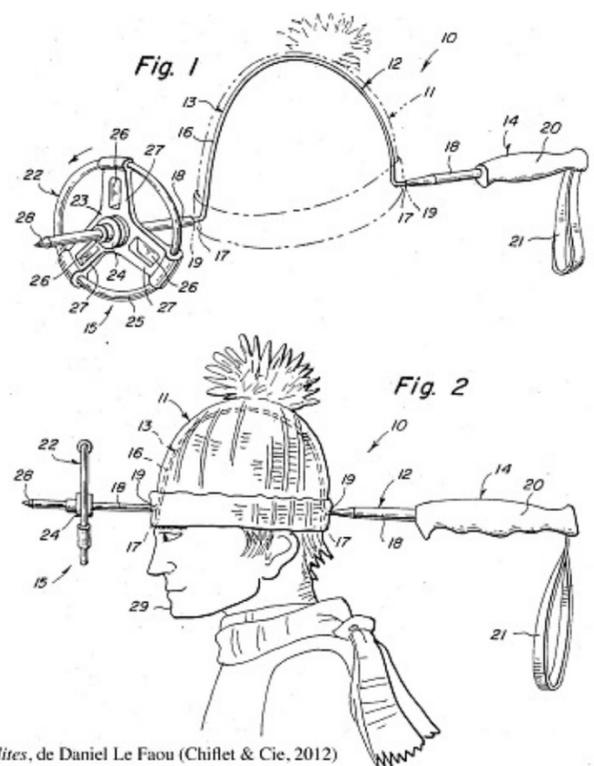
Brevet américain n° 4601070 (Constantine Sargentini), délivré le 22 juillet 1986

Ce bonnet de ski original est équipé de deux portions d'extrémité d'un bâton de ski, avec la pointe 28 dirigée vers l'avant et la poignée 14 vers l'arrière, ces deux portions étant reliées par un arceau 13 qui passe au-dessus de la tête du skieur 29, tout en étant recouvert et caché par le bonnet proprement dit 11.

Il donne l'illusion que la tête est traversée par le bâton.

Avantageusement, la rondelle 22 de la portion avant 18 est rotative et munie d'ailettes 26 qui la font tourner sous l'effet du vent relatif au cours de la descente. Ce mouvement rotatif étant symbolisé par une flèche sur la figure 1.

De quoi épater les autres skieurs.



Brevet extrait d'*Inventions insolites*, de Daniel Le Faou (Chifflet & Cie, 2012)

Indiana Jones 1, bombe atomique 0



IMPROBABLOGIE

Pierre Barthélémy

Journaliste et blogueur

(Passeurdessciences.blog.lemonde.fr)

(PHOTO: MARC CHAUMEIL)

Au début d'*Indiana Jones et le royaume du crâne de cristal* (2008), le quatrième volet de la saga de l'archéologue-aventurier, le héros interprété par Harrison Ford a à peine échappé à un commando d'affreux Soviétiques infiltrés au cœur des Etats-Unis qu'il doit affronter bien pire. Même si tout semble idyllique dans la petite ville américaine typique des années 1950 où il vient d'arriver, il y a un os : il s'agit d'une ville factice dont les habitants sont des man-

nequins qui vont subir le souffle et le feu d'un essai nucléaire. Indiana Jones s'en sort en se réfugiant dans un réfrigérateur doublé de plomb et les spectateurs se disent que c'est n'importe quoi, que Steven Spielberg nous prend pour des crétins et que *La Dernière Croisade* (1989) aurait vraiment dû être la dernière. Parce que personne, même (et surtout) dans un frigo, ne peut survivre à cela.

Pas si vite. Voici qu'arrivent main dans la main l'histoire et la science improbable. Pour nous rappeler que ladite ville factice a réellement existé : construite dans le Nevada où les Etats-Unis ont fait exploser des centaines de bombes atomiques, elle était surnommée la « Ville de la survie ». Et on y a mené des expériences étonnantes lors de l'explosion qui l'a en grande partie détruite, le 5 mai 1955. Certes, on n'a pas fourré d'archéologue dans un appareil d'électromagnétisme, mais on a notamment mis sur pied le projet 32.5 qui, par certains aspects, valide la scène.

Décrit dans un rapport d'une quinzaine de pages publié en 1956, ce projet 32.5 avait pour but de tester la résistance des aliments congelés à une explosion nucléaire. Avec l'aimable participation de l'industrie agroalimentaire, les auteurs de cette expérience se sont donc procuré plusieurs dizaines de caisses d'aliments congelés : de la tourte au poulet, du filet de cabillaud, des frites, du concentré de jus d'orange, des petits pois et des fraises. Entourée de glace, une partie de ces provi-

sions a été enterrée dans des tranchées peu profondes, à respectivement 387 m et 838 m de l'endroit où la bombe de 29 kilotonnes (deux fois la puissance de la bombe d'Hiroshima) allait exploser. Une autre partie a été mise au frais dans le congélateur d'une des maisons de la Ville de la survie, à 1,4 km du point zéro.

Et boum... Il a fallu attendre deux jours et demi avant de pouvoir déterrer les provisions les plus proches du lieu de l'explosion. Les filets de cabillaud étaient les plus radioactifs, devant les petits pois. Les fraises n'avaient rien. Le rapport note consciencieusement que la consommation des aliments irradiés « doit si possible être évitée pendant les deux premières semaines, sauf en cas de nécessité urgente ». Une analyse a montré que les qualités nutritives n'avaient pas été diminuées, si l'on excepte une baisse de la teneur en vitamine B9 des frites congelées... Des volontaires ont aussi certifié qu'au niveau du goût, de la texture et de l'apparence il n'y avait aucune différence notable avec les aliments témoins. Miami.

Quant aux provisions enfermées dans le congélateur, elles ne présentaient aucun signe de radioactivité. Si l'on peut assimiler Indiana Jones, nourri au bon grain d'Amérique, à de la tourte au poulet, force est d'admettre qu'il a bien pu, dans un réfrigérateur, protéger sa vieille carcasse d'une explosion nucléaire. Cela dit, même la science improbable n'a pas pu cautionner le reste du film. ■

« Speed dating » avec de jeunes citoyens



LES COULISSES DE LA PAILLASSE

Marco Zito

Physicien des particules, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

(PHOTO: MARC CHAUMEIL)

Prenez plusieurs centaines de jeunes, des dizaines de chercheurs de toutes les disciplines, et laissez-les débattre pendant un week-end sur des sujets chauds, du nucléaire à la faim dans le monde en passant par les milieux marins. Voilà la recette des Rencontres CNRS Jeunes sciences et citoyens auxquelles j'ai récemment participé.

J'avais une certaine appréhension, car je ne voyais pas bien quel allait être mon rôle. Heureusement, les choses se sont rapide-

ment mises en place grâce à un « speed dating », une rencontre de cinq à dix minutes avec un petit groupe de jeunes.

J'ai lu récemment dans le blog d'un professeur américain qu'il apprend à ses élèves l'art du « barber shop talk », une présentation de ses activités en quelques minutes pour le grand public. Il s'agit d'expliquer ce qu'on fait avec des mots simples, sans tableau ni équations, mais en touchant l'imaginaire de son interlocuteur. Comme aucun de mes professeurs ne pratiquait cet art, j'ai été et je reste un autodidacte.

La fraîcheur des jeunes a compensé mes lacunes en la matière, et j'ai pu raconter à un auditoire attentif les aventures des neutrinos et les mystères de l'Univers. Dans la préparation et le déroulement de ces rencontres, il faut souligner le rôle des professeurs du secondaire et des associations, telles que Science ouverte, qui contribuent à faire découvrir la science aux jeunes – souvent issus des banlieues – par le biais de soutien scolaire ou encore de conférences.

L'atelier auquel je participais était plutôt conceptuel : « Peut-on parler de sciences exactes ? » Si j'admire la précision de certaines mesures en physique fondamentale, j'ai fait remarquer que la mesure qui ne correspond pas aux prédictions est plus précieuse qu'une dizaine de confirmations expérimentales. Là où l'expérience contredit la théorie, il y a de la place pour une connaissance qui avance.

Mais quel est le rapport entre ce qu'on nomme les sciences exactes et les sciences

humaines, par exemple l'anthropologie ? Sur ce point, nous avons eu du mal à établir une synthèse solide, et pour cause. Pour pouvoir faire le tour de la question, il aurait fallu bien plus d'un après-midi. On aurait dû notamment discuter de la théorie du chaos et de la mécanique quantique, qui nous obligent à relativiser l'exactitude de nos théories, et surtout à ne pas les sortir de leur contexte.

Je remercie les organisateurs de l'atelier, Natacha Gondran (ENSM Saint-Etienne) et Nicolas Buclet (UPMF Grenoble), pour ce moment d'échange. C'était pour moi un pur plaisir que de me pencher sur des problèmes qui dépassent de loin mon horizon quotidien. Tout comme d'entendre un économiste critiquer les fausses prétentions d'une économie qui se voudrait une science exacte. Certains économistes refuseraient même de prendre en compte les faits quand ils ne sont pas en accord avec leur modèle.

Un des débats de la dernière journée portait sur une expérience de tweet réalisée lors d'un atelier. A ma grande surprise, la salle s'est réveillée plutôt « tweeto-sceptique ». En effet, pour faire passer une information scientifique, un blog me semble très sympathique d'en débattre dans une atmosphère quelque peu survoltée, où résonnent les « ola » et les cornes de brume. Si seulement on pouvait introduire un peu de cette ambiance enflammée dans certaines conférences scientifiques ! ■

Marina Cavazzana-Calvo, pionnière des thérapies géniques

Portrait | La pédiatre, qui a ouvert la voie à des traitements inédits, notamment pour les « bébés-bulle », vient d'être élue « femme scientifique de l'année »

FLORENCE ROSIER

Ce 23 novembre, elle reçoit le prix Irène-Joliot-Curie de la « femme scientifique de l'année ». Il fera d'elle un emblème de l'ascension ardue – mais hardie – des femmes aux plus hauts sommets de la recherche et de la médecine. Ce prix honore une pionnière audacieuse. Avec passion, Marina Cavazzana-Calvo a su développer des biothérapies innovantes pour traiter des maladies génétiques de l'enfant et de l'adulte. « Innovantes » est ici un euphémisme. C'est en 1990 que la pédiatre se lance dans l'aventure des biothérapies avec l'équipe Inserm d'Alain Fischer et Salima Hachein-Bey-Abina, à l'hôpital Necker à Paris. Le trio est loin de se douter que dix ans plus tard, cette époque les conduira à la première démonstration de l'efficacité d'une thérapie génique chez l'homme.

« Marina est le moteur de l'équipe, elle a sans cesse de nouvelles idées »

ISABELLE ANDRÉ-SCHMUTZ
chercheuse à l'Inserm

Le 28 avril 2000, la revue *Science* se fait l'écho de cette première mondiale : la correction du défaut génétique de deux « bébés-bulle ». Atteints d'une maladie immunitaire rare, le DICS-X (déficit immunitaire combiné sévère lié à l'X), ces garçons avaient un pronostic très sombre sans traitement. Ils ont été guéris par l'introduction d'un « gène-médicament » dans les cellules précurseurs de leur moelle osseuse. Cette première victoire sera suivie de la mise au point de biothérapies pour d'autres maladies génétiques.

Longue, élégante et souriante, la chercheuse née en 1959 dans la cité des Doges incarne un art de vivre italien. « *Venise, c'est pour moi l'inspiration, là où je me ressource* », confie-t-elle avec un accent chantant. Sous cette apparente douceur se devine un caractère bien trempé. Elle-même se revendique « *rebelle, protestataire, ingérable* ». « *C'est une forte personnalité, parfois éruptive, s'amuse Alain Fischer, aujourd'hui directeur de l'institut des maladies génétiques Imagine à Necker. Mais c'est grâce à cette détermination que les choses se font.* »

« *La médecine a d'abord été pour moi un moyen d'assurer une priorité : mon autonomie professionnelle, économique et familiale* », raconte cette fille d'un cheminot italien et d'une institutrice passionnée. Son parcours médical commence à l'université de Padoue, près de Venise. En 1985, voulant développer les greffes de moelle osseuse pour traiter des leucémies de l'enfant, elle suit un stage dans le service d'Eliane Gluckman, à l'hôpital Saint-Louis (Paris). Elle y rencontre Fabien Calvo, aujourd'hui directeur de la recherche de l'Institut national du cancer.

Puis elle découvre les travaux d'Alain Fischer sur la prévention des rejets de greffe et le rejoint à Necker. « *Alain m'a demandé de faire une thèse*



de science. Après une année de difficultés que j'ai crues insurmontables, j'y ai pris goût », se souvient-elle. Elle créera à Necker le département de biothérapies. « *Marina a saisi ce projet à bras-le-corps et assuré son développement*, raconte Alain Fischer. *Elle intervient à toutes les étapes, depuis les recherches d'amont jusqu'aux protocoles d'essais cliniques. Un minutieux travail de transfert, qui reste méconnu.* »

« *Marina est le moteur de l'équipe*, renchérit Isabelle André-Schmutz, qui travaille depuis douze ans dans son équipe Inserm. *Elle a sans cesse de nouvelles idées, rien ne l'arrête ! Pour proposer aux patients de nouvelles thérapeutiques, elle ne pense pas aux contraintes techniques ou matérielles. A nous derrière d'y réfléchir ! Nous pouvons compter sur le réseau mondial très fort qu'elle a bâti. La contrepartie de cet enthousiasme, c'est son impatience et sa grande exigence.* »

Après avoir affronté la notoriété soudaine qui s'est abattue sur l'équipe en 2000, Marina Cavazzana-Calvo avoue avoir dû prendre trois mois de congé sabbatique, « *un souffle* », l'été suivant. Réfugiée au Massachusetts Institute of Technology à Boston, elle rencontre Philippe Leblouh, expert en thérapies innovantes. Avec lui et Eliane Gluckman, elle développera une thérapie gé-

que de la bêta-thalassémie, maladie héréditaire du sang. Le résultat chez un premier patient a été publié dans la revue *Nature* en septembre 2010.

En 2002, la saga des bébés-bulle s'était assombrie d'une grave complication : une leucémie, qui affectera quatre des dix enfants traités pour DICS-X. « *Cette épreuve nous a montré l'importance d'une équipe soudée et de nos relations de confiance avec les familles*, raconte-t-elle. *Avec acharnement, nous avons cherché l'explication scientifique, puis élaboré de nouveaux protocoles de thérapie génique plus sûrs.* » Suspendu en octobre 2002, l'essai a repris fin 2010 avec un nouveau protocole.

En mars 2011, la pédiatre a cosigné un manifeste contre la sous-représentativité des femmes dans les hôpitaux français. « *Il y a un recul de la présence des femmes aux postes stratégiques de l'hôpital, de l'enseignement et de la recherche*, déplore-t-elle. *En période de crise économique, ce sont elles qui payent le plus lourd tribut.* » Son diagnostic : « *Dans le système français, les hommes se cooptent entre eux.* » Ses remèdes : « *Il faudrait plus de femmes aux instances stratégiques de l'hôpital.* » Et mettre en pratique, comme elle le fait, un système d'accompagnement entre femmes. ■

Marina Cavazzana-Calvo, lauréate du prix Irène-Joliot-Curie 2012.

PATRICK MESSINA
POUR « LE MONDE »

Pour le chien, les mots et les formes ne se confondent pas

ZOOLOGIE

HERVÉ MORIN

Le concept de « balle » a-t-il le même sens pour un enfant de 3 ans et pour un chien qui a appris à rapporter ce « référentiel bondissant » ? Ces dernières années, les publications scientifiques témoignant des capacités linguistiques insoupçonnées de *Canis familiaris* se sont multipliées : Rico, un border collie qui a fait la « une » des journaux parce qu'il était capable de rapporter à la demande 200 objets, a ouvert la voie. Mais depuis, Chaser, un chien de la même race, a mis la barre plus haut encore en accumulant un vocabulaire de 1 000 mots. Qui plus est, Chaser peut associer un mot – « jouet » – à une catégorie d'objets, comme le ferait un enfant (ou un perroquet, tel le célèbre Alex, sujet d'une expérience scientifique de 1976 à sa mort, en 2007).

Mais sur quels indices le chien se fonde-t-il pour effectuer ces généralisations ? C'est la question à laquelle Emile van der Zee et ses collègues de l'université de Lincoln, au Royaume-Uni, tentent de répondre dans le dernier numéro de la revue *PLoS One*. Ils décrivent une expérience conduite avec Gable, un border collie de 5 ans doté de 54 mots de vocabulaire. L'idée était d'associer un objet nouveau (en forme de U) à un mot inédit (« Dax ») et, une fois cet apprentissage effectué, à voir s'il rapporterait des objets de



Gable, un border collie âgé de 5 ans.

SALLY SMITH

la même forme, de la même texture, ou de la même taille quand on lui dirait de chercher « Dax » dans un échantillon divers.

Résultat ? Contrairement aux humains, ce n'est pas la forme de l'objet qui servait de critère de généralisation à Gable, mais la taille et, à plus long terme, la texture. Est-ce parce que, chez *Homo sapiens*, la vision est le sens le plus sollicité dans l'apprentissage des relations mots-objets, alors que, chez le chien, cet apprentissage passe par l'action de rapporter, dans laquelle la prise de l'objet dans la gueule valorise l'appréciation de la taille et de la texture ? Il faudra prolonger les recherches pour le savoir, reconnaissent les chercheurs. ■

AFFAIRE DE LOGIQUE

Les Experts

N° 798

Les N joueurs de cette équipe de handball portent tous les numéros entiers consécutifs, de 1 à N. Pour choisir ses formations lors des matches, l'entraîneur, expert en mathématiques, s'est fixé une contrainte : si on considère les numéros des sept joueurs présents sur le terrain à un instant donné, deux paires prises au hasard ne totalisent jamais la même somme. Il ajoute que s'il n'y avait que (N-1) joueurs, il ne pourrait pas respecter cette règle. Combien l'équipe compte-t-elle de joueurs ? Des joueurs sont-ils certains d'être présents en permanence sur le terrain ? D'autres sont-ils condamnés à ne pas jouer ?

SOLUTION DU N° 797
Alice et Bob parviendront à répartir en couples dont la somme est un nombre premier les entiers de 1 à n importe quel nombre pair jusqu'à 12, mais pas au-delà.

Le groupement demandé est possible de façon évidente pour les quatre premiers entiers (1+2, 3+4), et pour les six premiers (1+2, 3+4, 5+6). Dans le cas général, on appellera : -T la somme des entiers de 1 à 2N - (L) la liste des entiers premiers compris entre 3 et (4N-1). -P le nombre d'éléments de (L) -S la somme de ces P éléments. Le groupement sera impossible

si S < T ou si P < N. Si S ≥ T et P ≥ N, les sommes des paires seront les éléments de la liste (L) sauf (P-N) d'entre eux de somme (S-T). • Ainsi, pour N = 4, T = 36, (L) = {3, 5, 7, 11, 13}, P = 5 et S = 39. Il faut donc enlever S-T = 3 à la liste (L). On trouve la solution : 1+4, 2+5, 3+8 et 6+7. • Pour N = 5, T = 55, (L) = {3, 5, 7, 11, 13, 17, 19}, de somme S = 75. Or, S-T = 20 : c'est 3 et 17 qu'on écartera (et non pas 7 et 13) car les sommes 17 et 19 ne peuvent cohabiter, utilisant simultanément le 9 ou le 10. La solution est alors 1+4, 2+5, 3+8, 6+7, 9+10. • Pour N = 6, T = 78, P = 8, S = 98.

On trouve que deux groupements sont possibles en enlevant encore 3 et 17 : 2+3, 1+6, 4+7, 5+8, 9+10, 11+12 et 1+4, 2+5, 3+8, 6+7, 9+10, 11+12. • Pour N = 8, T = 136, S = 158, P = 10. Il faudrait supprimer deux nombres de somme 22 de la liste (L). Il resterait en particulier 29 et 31 qu'on ne peut faire cohabiter, car ils utiliseraient simultanément soit le 15 soit le 16. • Groupes par paires les entiers de 1 à 2N pour N = 7, 9, 10, 11, 12 est impossible : dans tous ces cas, S < T. Nous supputons, compte tenu de la densité des nombres premiers, que cette impossibilité est générale au-delà.

ELISABETH BUSSER ET GILLES COHEN © POLE 2012

www.affairedelogique.com

L'agenda mathématique du 29/11/12

Kafemath à Paris à 20 heures

Des « cafés mathématiques », à l'image des « cafés philosophiques », se tiennent régulièrement à Paris depuis quelques années : on y parle de maths (bien sûr), on y fait des maths (modérément), on en apprend (souvent), on en débat, on découvre leur histoire, tout cela avec un immense plaisir. Le thème du jour, animé par Hervé Stève, a pour titre « Théorie de Galois : résolubilité polynomiale ». Sous ces grands mots se cache le génie d'un mathématicien précoce engagé dans le mouvement républicain au lendemain de la révolution de juillet. Il y sera question du héros adulé de tous les mathématiciens, mais aussi de résoudre des équations polynomiales jusqu'au degré quatre et de percevoir les limites de cette pratique pour les degrés supérieurs. La « Coulée Douce », 51, rue du Sahel, Paris 12^e. Informations sur www.kafemath.fr

Jean-Christophe Yoccoz à Nancy à 20 heures 30

C'est dans le cadre du cycle de conférences « Science et Société » destinées au grand public que Jean-Christophe Yoccoz, médaille Fields 1994, fera une conférence intitulée « Billards ». On y découvrira que les billards constituent une classe importante de systèmes dynamiques apparemment simples mais aux comportements très variés. Amphî Botté de l'UT Nancy-Charlemagne Informations : <http://www.iecnu-nancy.fr/Charlemagne.php>

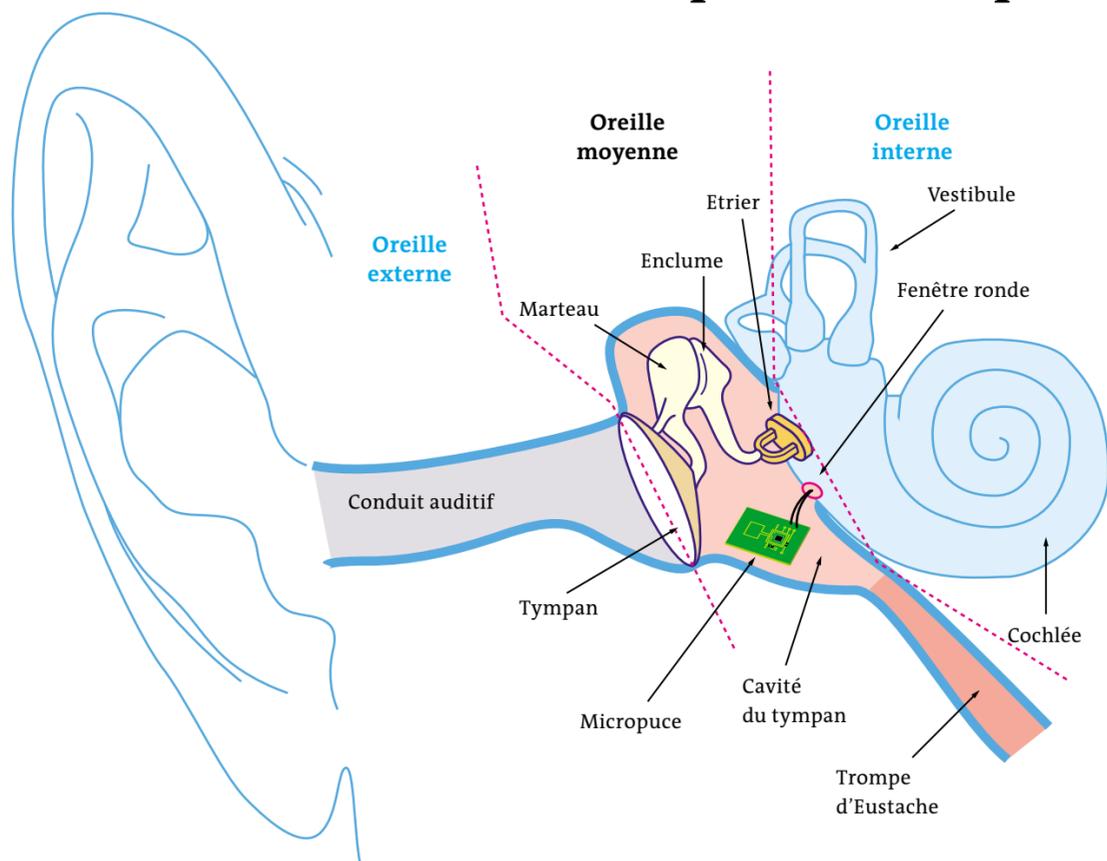
MATHIEU VIDARD
LA TÊTE AU CARRÉ
DU LUNDI AU VENDREDI DE 14H À 15H

DONNEZ VOS OREILLES À LA SCIENCE

Avec chaque vendredi la chronique de la rédaction du cahier science&techno

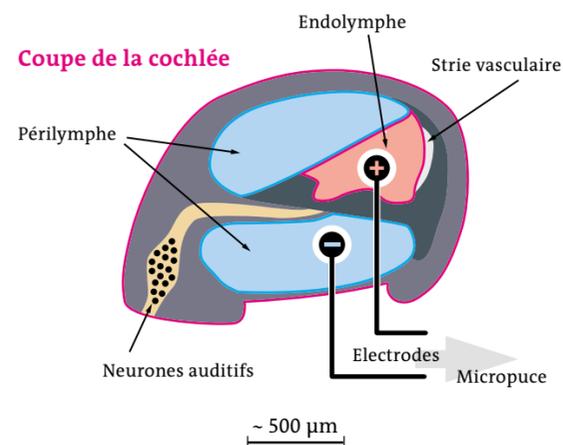
franceinter
LA VOIX EST LIBRE
franceinter.fr

Une batterie naturelle qui met la puce à l'oreille



L'un des rêves de l'électronique médicale est de puiser dans le corps humain l'électricité nécessaire aux systèmes implantables. Une équipe américaine vient de faire un pas dans ce sens en prouvant qu'il est possible d'alimenter une puce électronique grâce à une batterie naturelle présente dans l'oreille interne des mammifères : dans la cochlée, deux compartiments montrent en effet une importante différence de potentiel électrique, due à une concentration inégale en ions potassium (chargés positivement). Ce différentiel électrique – à la base de toute batterie – est activement maintenu par l'organisme, car il permet aux cellules sensorielles de traduire les sons en impulsions nerveuses. Patrick Mercier (MIT)

et ses collègues ont eu l'idée de le mettre à profit en alimentant une micropuce grâce à des électrodes de verre implantées dans la cochlée d'un cochon d'Inde. Comme ils l'expliquent dans *Nature Biotechnology* du 11 novembre, la puce a pu extraire 1,12 nanowatt pendant plus de cinq heures, ce qui lui a permis d'émettre régulièrement un message radio indiquant l'état dudit potentiel électrique. La spécialiste de l'audition Christine Petit (Institut Pasteur) salue « une vraie innovation ». « Ce n'est pas un produit achevé, note-t-elle, mais on pourrait imaginer coupler à cette batterie vasculaire des capteurs, voire des pompes pour délivrer des médicaments. »

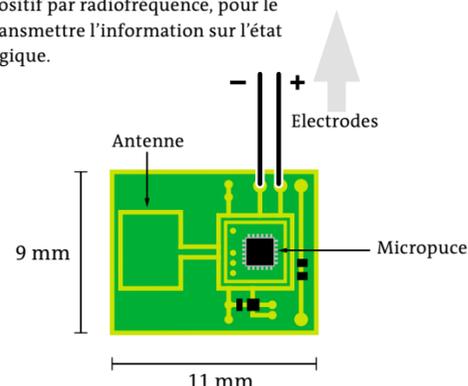


La pile biologique

La cochlée comprend deux compartiments ne présentant pas la même concentration en ions potassium, ce qui crée une différence de potentiel électrique. L'implantation d'électrodes suffisamment fines pour éviter toute fuite entre eux permet de récupérer un courant électrique.

La micropuce

Testée sur un cochon d'Inde, elle est disposée sur une carte à circuit imprimée suffisamment petite pour être implantable dans la cavité mastoïde humaine. L'antenne qui l'accompagne sert à charger brièvement le dispositif par radiofréquence, pour le démarrer, puis à transmettre l'information sur l'état de la batterie biologique.



INFOGRAPHIE LE MONDE

SOURCES : MERCIER ET AL., NATURE BIOTECHNOLOGY

Des canettes de soda pour guider le son

De nouveaux matériaux promettent de manipuler une large gamme d'ondes à l'aide de dispositifs compacts

DAVID LAROUSSIERE

La performance technique réalisée par une équipe de l'Institut Langevin (CNRS-ESPCI Paris-Tech), à Paris, c'est un peu comme faire passer un chameau par le chas d'une aiguille. Autrement dit, ces chercheurs ont réussi à guider des ondes à leur guise dans des canaux dix à quarante fois plus petits que la longueur d'onde (une distance caractéristique de ces ondes), comme ils l'expliquent dans la revue *Nature Physics*, en ligne le 18 novembre.

Entre leurs mains, et dans les nouveaux matériaux qu'ils ont développés, le son ou des micro-ondes prennent des virages serrés à 90 degrés ou

ce type, le chemin de la lumière est ainsi contraint.

« Réalisable en principe, cette idée n'est pas adaptée aux ondes plus grandes, comme les micro-ondes de taille centimétrique ou le son, de taille quasiment métrique, car il faudrait des blocs de plusieurs mètres d'épaisseur », explique Geoffroy Lerosey, chercheur au CNRS et principal auteur de cette étude avec Fabrice Lemoult. Il a donc opté pour un autre type de matériau, développé peu après les cristaux photoniques et devenu célèbre car il sert, uniquement dans les laboratoires pour l'instant, de cape d'invisibilité en masquant des objets au regard. Ces matériaux sont constitués d'atomes artificiels, c'est-à-dire des éléments (résonateur électrique, magnétique, acoustique...) susceptibles de réagir fortement à une fréquence donnée.

A l'Institut Langevin, les chercheurs ont ainsi construit un assemblage de 400 fils de cuivre de 40 centimètres de long pour le contrôle des micro-ondes. Et un réseau de 80 canettes de soda (vides et ouvertes) dans le cas de l'acoustique. Dans la configuration initiale de ces dispositifs, certaines longueurs d'onde sont interdites. Mais si quelques éléments sont modifiés, comme une succession de fils de cuivre plus courts ou des canettes remplies de quelques centilitres d'eau, alors il est possible de guider, piéger ou séparer les ondes.

« L'explication est bien différente de celle des cristaux photoniques. Les interférences multiples n'en sont pas la cause principale. Ce sont les résonances locales qui sont responsables. Nous avions soumis cette idée il y a un an, mais elle avait été refusée faute de preuves. Alors nous avons fait ces expériences démonstratives, qui confirment notre théorie », explique Geoffroy Lerosey.

« Je suis très impressionné par ce travail, car les effets mesurés et la théorie sont nouveaux. Je serais étonné que cela ne donne pas lieu à des applications », estime John Page, de l'université du Manitoba, au Canada. Ces nouveaux matériaux permettent d'envisager des dispositifs bien plus compacts que les systèmes classiques. En particulier, cela pourrait aider au contrôle des ondes radar ou pour une gamme très à la mode actuellement, les térahertz (d'environ 0,1 millimètre de lon-

gueur d'onde). Ces ondes « voient » à travers les vêtements, servent à l'analyse de composés chimiques, mais pourraient aussi porter des messages très rapidement pour les communications sur puces électroniques.

L'équipe française envisage d'ailleurs de fabriquer un premier prototype de composant dans cette gamme. Elle voudrait également étudier l'effet du désordre dans ces matériaux sur la propagation des ondes. ■

Ces métamatériaux pourraient aider au contrôle des ondes radar ou pour une gamme très à la mode actuellement, les térahertz

se trouvent piégés et concentrés en un point. Les faisceaux peuvent aussi se séparer en deux ou ralentir.

Depuis les années 2000, plusieurs équipes savent réaliser de telles prouesses dans le domaine de la lumière grâce à des cristaux photoniques, des blocs de verre ou de plastique percés de petits trous disposés périodiquement. Au milieu de ce « gruyère », la lumière subit de multiples interférences dont le résultat est finalement d'interdire le passage de certaines couleurs. Piégé entre deux matériaux de

NUMÉRO EXCEPTIONNEL
actuellement chez votre marchand de journaux

Jusqu'où l'homme repoussera-t-il ses limites ?

Voyager dans l'espace lointain ?
Des prothèses commandées par le cerveau ?
Des cellules souches pour régénérer les tissus ?
Et bien d'autres questions abordées dans ce numéro

POUR LA
SCIENCE
www.pourlascience.fr

NUMÉRO SPÉCIAL
POUR LA
SCIENCE
L'HOMME 2.0
L'être humain réparé, transformé, augmenté...
Jusqu'où ?

La vie en réseaux
Ne plus vieillir
Des stimulants pour le cerveau ?
Vivre dans l'espace
Les limites de la connaissance