

TALENTS
L'AFRIQUE À LA RECHERCHE
DE FUTURS EINSTEIN
→ PAGE 2



SOMMEIL
LES ÉCRANS VEILLENT MAL
SUR NOTRE SANTÉ
→ PAGE 3



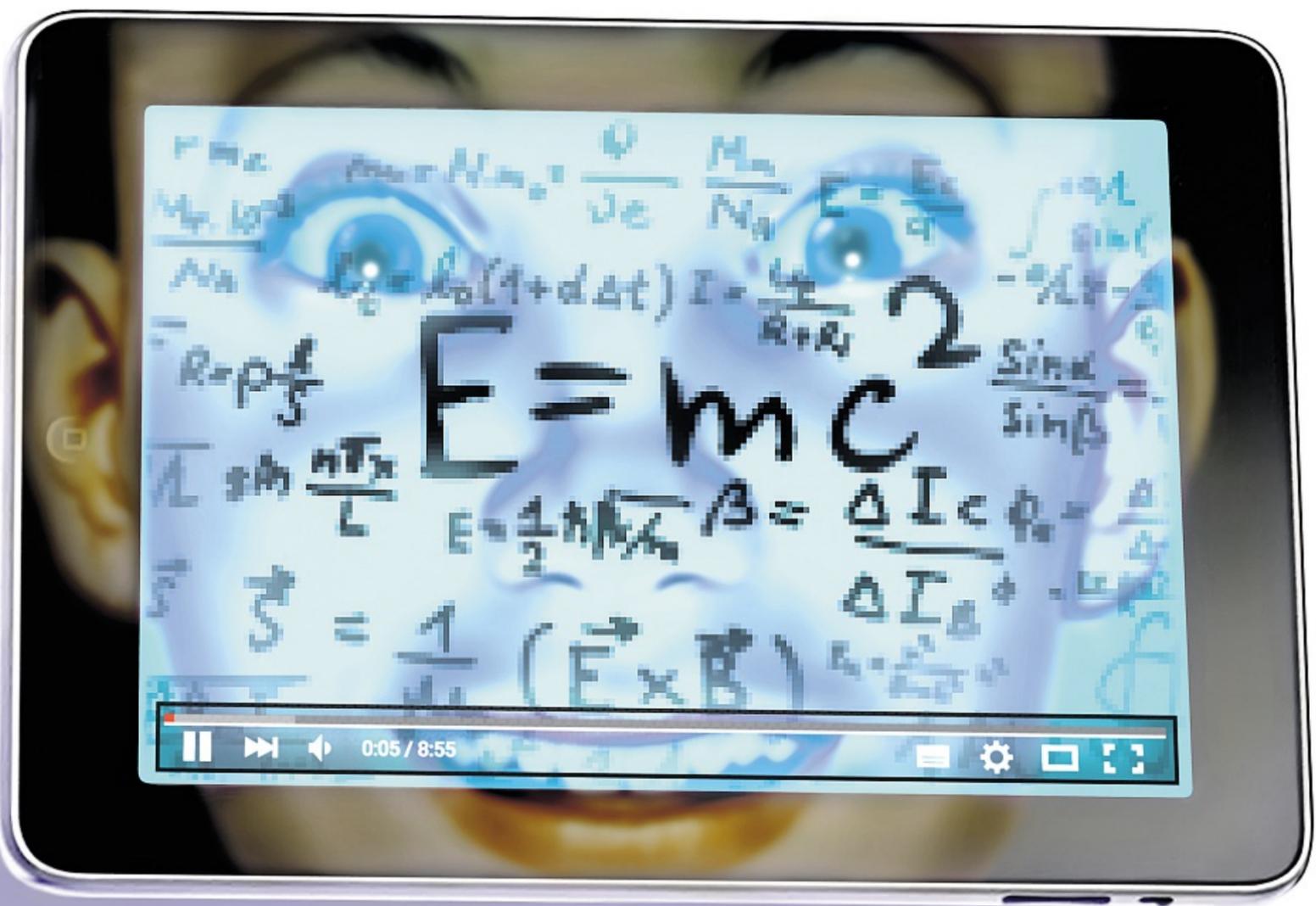
PORTRAIT
PIERRE COX, ASTRONOME
GLOBE-TROTTEUR
PAGE 7



Les youtubeurs scientifiques, nouvelles stars du Web

Les chaînes « savantes » se multiplient sur la plate-forme de partage de vidéos. Ludiques, voire interactives, et pointues à la fois, elles sont portées par une jeune génération de vulgarisateurs qui touchent un public à leur image.

PAGES 4-5



BEB-DEUM



CARTE BLANCHE

**Laurent
Alexandre**

Chirurgien urologue,
président de DNAVision
l.alexandre@dnavision.be
(PHOTO: MARC CHAUMEIL)

Faut-il interdire Google-AlphaGo ?

Nous ferons des machines qui raisonnent, pensent et font les choses mieux que nous le pouvons », avait expliqué Sergueï Brin en 2014. Cette prophétie du cofondateur de Google va devenir une réalité. En octobre 2015, AlphaGo, une intelligence artificielle (IA) développée par DeepMind, filiale à 100 % de Google, a ridiculisé le champion européen de go Fan Hui par cinq victoires à zéro. C'était la première fois qu'une machine battait un joueur professionnel de go, un exploit que les experts n'attendaient pas avant dix ou vingt ans.

En mars 2016, la victoire d'AlphaGo sur le Sud-Coréen Lee Sedol, l'un des meilleurs joueurs de go, marque une nouvelle étape dans l'histoire de l'IA : le jeu de go est bien plus complexe que les échecs, pour lesquels Deep Blue d'IBM a terrassé Garry Kasparov dès 1997. Lee Sedol a admis être sans voix devant la puissance de l'IA de Google. De nouvelles stratégies informatiques ont relancé l'IA à partir de 2011 : le système à trois étages, réseaux de neurones artificiels, *machine learning* et *deep learning*, s'est révélé redoutablement efficace. La convergence entre les sciences du cerveau et l'informatique en

était la condition : Demis Hassabis a d'ailleurs passé une thèse de neurosciences avant de créer DeepMind.

Nous ne sommes pas certains de disposer d'une IA forte (qui serait capable de produire un comportement intelligent, d'éprouver une réelle conscience de soi, des sentiments, et d'avoir une compréhension de ses raisonnements) d'ici à 2050, mais l'IA dite « faible » est déjà capable de réaliser beaucoup de tâches humaines mieux que des cerveaux biologiques, en utilisant des algorithmes à même de résoudre des problèmes techniques en simulant l'intelligence. Les exploits de l'IA s'accompagnent évidemment d'une avalanche de prédictions catastrophiques. La crainte est qu'une super IA devienne hostile.

Le fondateur de DeepMind exclut ce scénario pour encore plusieurs décennies, mais faut-il pour autant être rassuré ? Est-il raisonnable d'apprendre aux machines à tromper, dominer, dépasser les hommes ? Est-il sage de leur apprendre à cacher leurs intentions, à déployer des stratégies agressives et manipulatrices comme dans le jeu de go ? Nick Bostrom, spécialiste des NBIC [*nanotechnology, biotechnology, technologie de*

l'information et science cognitive], défend l'idée qu'il ne peut y avoir qu'une seule espèce intelligente dans une région de l'univers. Toute espèce intelligente (biologique ou artificielle) ayant comme premier objectif sa survie, on peut craindre que l'IA se prémunisse contre notre volonté de la museler en cachant ses intentions agressives dans les profondeurs du Web. Nous ne pourrions même pas comprendre ses plans : certains des coups d'AlphaGo ont été d'abord perçus comme de graves erreurs, alors qu'il s'agissait de coups géniaux, témoins d'une stratégie subtile dépassant l'entendement humain.

Il est sans doute impossible d'interdire l'IA de Google, mais il faut mener une réflexion mondiale sur l'encadrement des cerveaux faits de silicium. Ce d'autant que la victoire de Google va accélérer la bataille industrielle entre les géants d'Internet qui placent l'IA au cœur de notre civilisation. La police de l'IA deviendra cruciale dans les décennies qui viennent. Lee Sedol, qui est un génie et a sauvé l'honneur en remportant la quatrième manche contre AlphaGo, pourrait en être une pièce maîtresse. ■

La science africaine s'éveille

RECHERCHE | Du 8 au 10 mars s'est tenu à Dakar le Next Einstein Forum, qui promeut le développement scientifique de l'Afrique

DAVID LAROUSSE

Dakar, envoyé spécial

«**Q**uelque chose de grand commence. La science revient à la maison!», lance, triomphal, Neil Turok, directeur sud-africain de l'Institut Perimeter de physique théorique au Canada, le 8 mars, jour de l'ouverture du Next Einstein Forum (NEF). Et d'appuyer son propos sur l'importance historique de l'Afrique dans les sciences par des images d'une pierre gravée de motifs géométriques datés de 70 000 ans, trouvée en Afrique du Sud, et des célèbres os d'Ishango, des bâtons vieux de 20 000 ans découverts au Congo et considérés comme les premières preuves d'opérations arithmétiques. Il aurait pu ajouter que la première université fut créée à Fez, au Maroc, en 859, par une femme.

L'orateur a réussi son pari: réunir, du 8 au 10 mars, plusieurs centaines de chercheurs, financeurs et représentants d'Etats africains, dont les présidents sénégalais et rwandais, afin d'affirmer l'importance de la science pour le développement futur du continent.

Mais ce forum (dont *Le Monde* est partenaire) a aussi souligné les difficultés du chemin à parcourir. Le continent investit environ 0,6 % de son PIB en recherche et développement et aucun de sa cinquantaine de pays n'investit plus de 1 %, à l'exception du Malawi. L'Europe est à presque 2 %, les Etats-Unis à 2,7 %, la Chine ou encore Singapour à 2 %. Le nombre d'articles publiés sur tout le continent, même s'il augmente, est équivalent à celui de l'Espagne ou de la Corée du Sud, soit un peu plus de 2,5 % de la production mondiale. L'Afrique du Sud, l'Egypte et le Nigeria dominent nettement leurs voisins.

«*Il y a autant d'ingénieurs africains aux Etats-Unis que dans toute l'Afrique*», explique Thierry Zomahoun, à l'origine du NEF et directeur des

« Plus de 80 % des études sur la flore intestinale en Afrique sont dirigées par des équipes du Nord »

MAMADOU KABA
microbiologiste à l'université du Cap
(Afrique du Sud)

instituts AIMS, pour African Institute for Mathematical Sciences, des centres d'excellence, lancés par Neil Turok en 2003 en Afrique du Sud. Le physicien y voyait l'un des moyens de faire quelque chose pour son pays «*en construisant ce dont il aurait rêvé comme étudiant*», expliquait-il. D'où cette sorte d'ovni, mi-public, mi-privé, qui n'est ni une université ni une école d'ingénieurs. La scolarité, qui ne dure qu'un an, est gratuite pour la cinquantaine d'étudiants sélectionnés sur dossier et venus de toute l'Afrique. Les cours, donnés par des professeurs du Nord ou des jeunes chercheurs du Sud, sont construits



NEXT EINSTEIN FORUM

sur trois semaines, avec une pédagogie basée sur l'interaction entre élèves. Près de 1 000, dont un tiers de femmes, sont déjà passés par les cinq centres de l'Afrique du Sud, du Sénégal, du Ghana, du Cameroun, de Tanzanie.

L'AIMS n'est pas la seule initiative panafricaine pour bâtir un tissu scientifique et technique solide. L'Académie africaine des sciences, née en 1985, promeut bon nombre de réseaux de collaborations. En Afrique de l'Ouest, le projet WAXI d'exploration des ressources géologiques réunit des entreprises minières et des institutions académiques (dont l'Institut de recherche pour le développement, IRD) pour obtenir et partager des connaissances, tout en formant des étudiants. Le projet de radiotélescope géant SKA, réparti entre l'Afrique du Sud et l'Australie, est aussi un formidable catalyseur pour tout le continent avec huit autres pays impliqués. A la tribune du NEF, les présidents et les ministres ont cité plusieurs décisions montrant leur engagement envers les sciences: création de deux universités supplémentaires au Sénégal, construction de pôles technologiques au Rwanda, associées au déploiement de milliers de kilomètres de fibre optique, à l'accès gratuit pour les étudiants aux revues scientifiques...

Enfin, pour incarner ce renouveau, les organisateurs de la conférence avaient sélectionné quinze jeunes chercheurs africains de renommée mondiale aux parcours et disciplines variés, ainsi que 54 jeunes «ambassadeurs» scientifiques représentant leur pays.

Le soutien international à cette initiative était en outre important, avec la présence des grandes

agences de financement européennes (le Conseil européen de la recherche), américaines (la National Science Foundation) ou allemandes. Des gouvernements, entreprises ou fondations non africains étaient aussi présents, avec notamment le Canada, dont le gouvernement a accordé 20 millions de dollars pour les centres AIMS. La France était absente, sauf par certains de ses chercheurs enseignant à l'AIMS et par l'IRD de Dakar, qui abrite un de ces instituts.

Preuve sans doute d'une certaine maturité, les débats ont soulevé des questions également récurrentes en Amérique du Nord, Asie ou Europe. Faut-il privilégier la recherche fondamentale, tirée par la curiosité, ou la recherche appliquée, tournée vers la résolution de problèmes? Quelle part du financement doit être privée ou publique? Comment promouvoir la place des fem-

mes? Comment favoriser l'interdisciplinarité? Doit-on mettre l'accent sur l'éducation de base ou sur la formation des élites?

Des particularités africaines pimentent cependant ces interrogations. Dans un pays souffrant de pauvreté, de famine, de maladies dévastatrices, de problèmes d'accès à l'eau et à l'énergie, choisir de financer un télescope ou d'investir dans les 3^e cycles universitaires est un choix difficile. «*Il ne faut pas confiner l'Afrique à la résolution de ses nombreux problèmes (santé, environnement, eau...)* car, dans vingt ans, nous aurons réglé ces problèmes, mais nous aurons laissé passer les solutions aux besoins futurs», a plaidé Thierry Zomahoun à la tribune. «*Il n'y aura pas de science africaine tirée seulement par les problèmes africains*», a ajouté Amanda Weltman, l'une des lauréates du NEF, spécialiste de cosmologie à l'université du Cap (Afrique du Sud).

D'autres controverses propres à l'Afrique émergent. Ainsi celle des collaborations entre le Nord et le Sud, considérées comme souvent dissymétriques. «*Plus de 80 % des études sur la flore intestinale en Afrique sont dirigées par des équipes du Nord*», regrette Mamadou Kaba, originaire de Guinée et microbiologiste à l'université du Cap. Il préférerait des collaborations plus égales dans lesquelles ses collègues importeraient les techniques du Nord dans le pays d'origine. De même, Adams Tidjani vient de lancer un Institut des métiers de l'environnement et de la métrologie, à Dakar, afin de former des techniciens pour moins dépendre des services après-vente des entreprises étrangères qui fournissent du matériel.

L'autre grand sujet est celui de la fuite des cerveaux. Celle-ci est souvent nécessaire, car bon nombre de pays ne peuvent offrir les formations de 3^e cycle souhaitées par les étudiants. «*Lorsque j'étais à l'école, j'avais plein d'amis aussi forts que moi. Ils sont restés et, aujourd'hui, ils sont chauffeurs de taxi*», regrette Axel Ngonga, lauréat camerounais du NEF ayant fait ses études universitaires en Allemagne.

«*Les expatriés reviennent!*», constate Amanda Weltman, qui a elle-même, avec son mari, effectué le chemin du retour en Afrique du Sud pour monter son propre centre. Les organisateurs du NEF croient dans cette nouvelle génération de retour au pays ou formée sur place. «*Les chercheurs africains ont un avantage car ils sont différents, apportant une nouvelle culture qui peut transformer leur domaine*», plaide Neil Turok, qui croit vraiment qu'un prochain Einstein naîtra sur son continent d'origine. «*Des idées peuvent sortir de cette diversité, cette passion et cette volonté*», souligne Jean-Philippe Uzan, physicien, directeur adjoint de l'Institut Henri-Poincaré à Paris et qui enseigne dans des centres AIMS.

Rendez-vous au Rwanda en 2018, pour mesurer le chemin parcouru, lors de la deuxième édition de ce forum. ■

Le diabète bientôt à l'heure du pancréas artificiel

Un dispositif français en cours d'essai clinique pourrait être proposé aux diabétiques insulino-dépendants d'ici à trois ans

C'est un message d'espoir pour les diabétiques de type I mal équilibrés par leurs injections d'insuline. Des pancréas artificiels (quasi) autonomes devraient être disponibles dans les deux à trois ans à venir. Un dispositif français, Diabeloop, est ainsi en cours d'essais cliniques dans dix CHU, et il pourrait obtenir l'agrément européen en 2017 ou 2018, ont annoncé ses concepteurs mardi 8 mars lors d'une conférence de presse à Paris. Des systèmes proches, développés par les sociétés américaines Medtronic et Bigfoot, sont attendus dans les mêmes délais.

L'idée d'un pancréas artificiel pour suppléer la production défaillante d'insuline est loin d'être nouvelle: des premiers prototypes avaient été conçus dès les années 1970. Ces appareils étaient efficaces, mais leur encombre-

ment – de l'ordre d'un réfrigérateur – n'était guère compatible avec une vie normale.

La longue marche vers un pancréas de substitution ergonomique et autonome s'est faite grâce à trois avancées technologiques. Il y a d'abord eu l'arrivée de pompes à insuline portables, depuis une vingtaine d'années. Aujourd'hui, en France, plus de 40 000 personnes en sont équipées, soit 20 % des diabétiques de type I.

La deuxième étape importante a été la mise au point de petits capteurs (de type patchs) mesurant en continu le taux de glucose sous la peau, ce qui évite aux patients de se piquer plusieurs fois par jour au bout du doigt. En combinant pompe et capteur, on obtient un système dit «en boucle ouverte» qui facilite la vie des diabétiques, mais il leur incombe toujours de déterminer la dose d'insuline à délivrer.

Pour fermer la boucle, et disposer d'un véritable pancréas artificiel autonome, les chercheurs planchent sur un troisième élément essentiel: un algorithme, système d'intelligence artificielle permettant de programmer la pompe. Hier contenus dans un ordinateur, les logiciels sont désormais intégrés à un smartphone.

Depuis une dizaine d'années, plusieurs études cliniques ont été menées par des équipes internationales, avec différents algorithmes. «*L'une des étapes-clés a été la réalisation de premiers essais chez des patients en dehors de l'hôpital*», en 2011, souligne le professeur Eric Renard (coordinateur du département endocrinologie, diabétologie, nutrition au CHU de Montpellier), qui a participé à cette étude, conduite également à Padoue, en Italie. Plus récemment, poursuit-il, un projet développé par l'université de Cambridge a testé avec suc-

cès un modèle de pancréas artificiel sur une durée de trois mois, 24 heures sur 24.»

Le système français Diabeloop a été lancé en 2011 par une association, le Centre d'études et de recherches pour l'intensification du traitement du diabète (CERITD), en collaboration avec le LETI (Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information), une division du Commissariat à l'énergie atomique. Le financement est mixte, public-privé, et des levées de fonds sont toujours en cours.

Connecté par Bluetooth

Comme ses concurrents, ce pancréas artificiel est constitué de trois éléments: un capteur, un logiciel et une pompe. L'appareil de mesure en continu du glucose, placé sur le ventre, est connecté par Bluetooth à un smartphone, qui détermine les doses d'insuline

en fonction de paramètres propres au patient (poids, âge, historique glycémique...). Les données sont transmises à une pompe patch à insuline, portée sur le bras.

Le prototype actuel n'est cependant pas encore complètement autonome. «*Les patients doivent renseigner leurs repas, et les activités physiques qu'ils prévoient. Mais à terme, tout devrait être automatisé*», affirme le docteur Guillaume Charpentier, président du CERITD et de Diabeloop, en rappelant qu'en France, 50 % des diabétiques de type I ne sont pas équilibrés par leur traitement. «*L'originalité du pancréas artificiel français est qu'il ne s'agit pas uniquement d'une machine, mais aussi d'un service. Les données sont envoyées à des infirmières et des médecins, ce qui permet un suivi à distance*», ajoute le diabétologue.

Outre l'évaluation en cours en CHU, avec essais «en vie réelle»

pendant trois jours, le système Diabeloop sera soumis, en 2017, à une nouvelle étude incluant 100 patients, qui le porteront à domicile pendant trois mois. Le dispositif sera alors présenté pour un marquage CE. Ses concepteurs espèrent ensuite démontrer sa supériorité sur les autres traitements existants, pour obtenir une prise en charge par l'Assurance-maladie. Le coût devrait être de l'ordre de 9 500 euros par an et par patient, environ 10 % de plus qu'une pompe à insuline. Quant aux bénéfices, Diabeloop pourrait éviter 10 000 hospitalisations et 1 000 décès par an, espèrent ses concepteurs. Les patients, de leur côté, sont enthousiastes. Plus de 83 % déclarent vouloir en bénéficier, selon une enquête de la Fédération française des diabétiques. ■

SANDRINE CABUT

Ecrans bleus et nuits blanches

SANTÉ | Deux études confirment l'impact négatif sur le sommeil des nouvelles technologies au moment du coucher. Un mode d'usage de plus en plus fréquent, selon les enquêtes

PASCALE SANTI

Il se disent surpris. «*Ça nous a étonnés qu'autant d'enfants de CM1 et CM2 aient un portable. Nous, on a eu notre premier téléphone en 3^e...*» C'est ainsi que Mary, Adélaïde, Thibault, Nassim, Thomas et d'autres, élèves de 1^{re} en sciences et technologie du management et de la gestion du lycée Jeanne-d'Arc, à Colombes (Hauts-de-Seine), commentent, jeudi 10 mars, les résultats de l'enquête «*Le sommeil des jeunes, pays des écrans en veille*», qu'ils ont réalisée, fin 2015, encadrés par les associations Réseau Morphée et e-Enfance, auprès de 600 élèves du CE2 à la 4^e.

C'est pour eux l'un des éléments les plus surprenants : 28 % des CM1-CM2 (9-10 ans) ont un téléphone portable (dont 60 % un smartphone). En quelques années, l'âge de l'arrivée du premier portable a chuté. La part des 12-17 ans détenant un smartphone – ils n'étaient que 22 % en 2011 – a bondi de 59 % en 2014 à 87 % en 2015, selon le baromètre du numérique publié fin 2015 par le Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (Crédoc). Autre étonnement pour ces élèves de 1^{re}, 17 % des CM1-CM2, et même 10 % des CE2, sont inscrits sur un réseau social, Snapchat, Skype et Instagram en tête, alors que cela est théoriquement interdit avant l'âge de 13 ans, notamment en raison des risques de harcèlement.

26 % des collégiens pourvus d'un mobile le gardent ouvert la nuit

Le docteur Sylvie Royant-Parola, présidente du Réseau Morphée, fait le lien entre écrans et sommeil. Les enfants s'endorment de plus en plus tard : 30 % des élèves de 4^e trouveraient le sommeil après 23 heures en semaine, selon le sondage. Ils sont de plus en plus nombreux à être sur un écran avant de s'endormir, pour jouer, regarder des vidéos, envoyer des messages, aller sur les réseaux sociaux... même si la lecture demeure l'activité la plus fréquente avant d'éteindre la lumière. Et 26 % des collégiens pourvus d'un mobile le gardent allumé la nuit.



Tablettes, smartphones, ordinateurs... 36 % des Français les utiliseraient au lit. VOISIN/PHANIE

C'est également sur les interactions entre sommeil et nouvelles technologies qu'a porté l'enquête INSV-MGEN, menée par Opinion Way auprès de 1 013 personnes âgées de 18 à 65 ans en décembre 2015, à l'occasion de la seizième édition de la Journée du sommeil du 18 mars. Hyperconnectés, neuf Français sur dix s'adonnent aux nouvelles technologies le soir, note ainsi cette étude. Tablettes, ordinateurs, smartphones... 36 % les utiliseraient au lit. Et ce, à tout âge. «*Ces usages altèrent la qualité du sommeil*», insiste le docteur Joëlle Adrien, présidente de l'Institut national du sommeil et de la vigilance (INSV). Les personnes connectées le soir au lit mettent plus de temps à s'endormir, souffrent davantage de troubles du sommeil et dorment plus que la moyenne le week-end, ce qui traduit un besoin de récupération. La dette de sommeil concerne aussi 30 % des adolescents, alors que les médecins recommandent neuf heures de sommeil en moyenne.

Le sommeil devrait être un moment où le cerveau est en déconnexion totale. Pourtant, 20 % des personnes interrogées dorment avec leur téléphone en veille la nuit, note l'en-

quête INSV-MGEN. Les alertes et autres bips en réveillent la moitié, la plupart consultent le message et, pire, 79 % y répondent. Les plus jeunes se donnent parfois rendez-vous la nuit.

L'impact des écrans sur le sommeil, la lumière bleue des diodes électroluminescentes (LED), émise par les écrans, qui active cent fois plus que la lumière blanche d'une lampe les récepteurs photosensibles non visuels de la rétine (cellules ganglionnaires), favorise l'éveil. «*Depuis 2011, une vingtaine d'études sur l'impact négatif de la lumière bleue des écrans sur le rythme circadien et le sommeil ont été publiées*», explique Claude Gronfier, chercheur en chronobiologie à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale à Bron (Rhône). Les effets sont mesurables même avec de faibles niveaux de lumière.

Une étude publiée en février par le *Journal of Clinical Investigation* par des chercheurs de l'université Stanford (Californie) a montré que de brefs flashes réguliers de lumière (de deux millisecondes toutes les dix secondes) ont permis de retarder l'horloge interne de cobayes humains, même endormis. Claude Gronfier n'hésite pas à parler de la «*lumière*

bleue chronotoxique». Si la lumière éveille pendant la journée – elle est nécessaire –, elle dérègle notre horloge biologique la nuit et a un impact sur la qualité du sommeil.

A terme, si les troubles du sommeil s'installent, des effets sur la santé peuvent apparaître, notamment au niveau métabolique (obésité, diabète...). Ainsi «*la réduction de la durée de sommeil diminue la leptine et augmente la ghréline (sécrétée par l'estomac, qui stimule l'appétit et réduit la dépense locomotrice), avec pour conséquence une augmentation de l'appétit*», relève la Société française de recherche et médecine du sommeil. Un mauvais sommeil peut aussi avoir un impact au niveau psychique (anxiété, dépression) et cognitif (concentration, apprentissage...).

Une prévention est nécessaire, alerte l'INSV. Outre les réflexes de bon sens, il est conseillé de réguler l'usage des écrans avant le coucher. La pédagogie doit venir des parents, mais ce n'est pas gagné. La moitié d'entre eux ne demandent jamais à leurs enfants de leur remettre leur téléphone avant de dormir, selon l'étude réalisée par les élèves du lycée Jeanne-d'Arc. ■

TÉLESCOPE

Astronomie

La mission européenne ExoMars en route vers la Planète rouge

Lundi 14 mars à 10h33 (heure de Paris), a décollé de Baïkonour, au Kazakhstan, une fusée russe Proton avec à son bord la sonde Trace Gas Orbiter (TGO) et un module d'atterrissage nommé Schiaparelli. Ces deux engins ont pour objectif la planète Mars, où Schiaparelli doit se poser le 19 octobre, pour deux à quatre jours d'expériences sur le sol sableux de Meridiani Planum, une région de l'hémisphère Sud déjà explorée en 2004 par le rover Opportunity de la NASA. TGO devra analyser les gaz de l'atmosphère martienne, et y traquera notamment le méthane, qui peut avoir une origine biologique. L'orbiteur servira aussi de relais de communication. Cette mission européenne, ExoMars 2016, sera suivie dans deux ans de l'envoi d'un rover capable de forer le sol martien.

Médecine

Echec de la première greffe d'utérus aux Etats-Unis

Réalisée avec un greffon prélevé sur une femme en état de mort cérébrale, la première greffe d'utérus aux Etats-Unis a abouti à un rejet. La patiente a eu «*des complications soudaines*» qui ont contraint l'équipe médicale à lui retirer l'organe, a annoncé le 9 mars la clinique de Cleveland, dans l'Ohio. Selon l'établissement, la patiente «*récupère*» et «*va bien*». La transplantation, qui avait duré neuf heures au total, avait eu lieu le 24 février et avait été annoncée dès le lendemain par l'équipe.

2200

C'est la longueur, en kilomètres, de la migration qu'accomplit, entre fin août et début octobre, un minuscule colibri depuis l'est des Etats-Unis jusqu'à l'Amérique centrale. Ce résultat a été estimé par une équipe d'ornithologues de l'université du Sud-Mississippi qui ont capturé 2729 individus et analysé leur poids et la vitesse de leurs battements d'ailes pour évaluer la distance parcourue. Ils ont constaté que les aînés voyageaient en premier. La façon dont les plus jeunes s'orientent lors de leur premier périple reste mystérieuse.

Chimie

Bactérie mangeuse de plastique

Découverte par une équipe de l'université de Greifswald (Allemagne), *Ideonella sakaiensis* peut désagréger entièrement le polytéréphthalate d'éthylène (PET). Ce plastique représente 1/6^e de la production mondiale, soit 311 millions de tonnes par an. Il faut six semaines aux bactéries pour briser les liaisons moléculaires d'un film plastique de 2 cm. Cette découverte pourrait aider à développer de nouvelles méthodes de recyclage.

► Uwe T. Bornscheuer, «*Science*», 10 mars.

Endométriose : la fin du tabou ?

Une campagne vise à rassembler des données sur cette maladie féminine oubliée

Ce vendredi 11 mars, une centaine de personnes ont répondu présentes à la journée «*portes ouvertes*» organisée par le centre de l'endométriose du groupe hospitalier Paris Saint-Joseph (HPSJ), lors de la 12^e Semaine européenne de prévention et d'information sur l'endométriose. «*Cette année est un tournant dans la prise en charge en raison d'une forte médiatisation*», a indiqué Eric Sauvanet, chef du service de gynécologie-obstétrique au HPSJ.

Mal connue, cette maladie gynécologique touche 10 % à 20 % des femmes, soit 2 à 4 millions en France, et 180 millions dans le monde. Souvent mal diagnostiquée, elle est caractérisée par la présence de tissu utérin (ou tissu endométrial) en dehors de la cavité utérine. Lors des règles, des cellules de l'en-

domètre (la muqueuse qui tapisse l'utérus), au lieu d'être évacuées vers le bas, refluent vers le haut par les trompes, de façon anormale, sans que l'on connaisse exactement les raisons. Ces cellules prolifèrent, peuvent pénétrer dans les tissus et les organes (ovaires, intestins, vessie et plus rarement les poumons), et provoquer des lésions, nodules et kystes.

Faire avancer la recherche

La douleur est le symptôme le plus fréquent, durant les règles, les rapports sexuels, l'émission des selles, la miction... souvent accompagnée d'une grande fatigue. Des douleurs qui empêchent d'aller en cours ou au travail. «*Cette maladie complexe nécessite une prise en charge pluridisciplinaire, notamment psychologique*», insiste le docteur Erick Petit, radiologue au HPSJ.

Surtout, cette maladie est souvent corrélée à un risque important d'infertilité.

Le diagnostic est en général posé au bout de sept ans en moyenne, d'où des années d'errance. «*Lorsque je leur signalais mes douleurs, les gynécologues que j'ai consultés me disaient que je m'écouais trop. Quand j'ai entendu parler d'endométriose sur Internet, j'ai su que j'avais cette maladie, ce qui a été confirmé par un médecin*», explique Valérie Thisse, membre de l'association Endomind.

Pour améliorer la prise en charge et la recherche, un observatoire OZ2020 a été lancé pour créer une base de données. Le but : 20 000 patientes d'ici à 2020 ; 1200 sont déjà inscrites. «*Nous souhaitons rassembler patientes, médecins, chercheurs, afin de faire avancer la recherche*», explique Marc Essadaoui,

responsable d'Endodiag, une société travaillant sur de nouveaux outils de diagnostic, qui participe bénévolement à l'opération avec Be Patient.

Afin que cette maladie ne soit plus taboue, la gynécologue Chrysoula Zacharopoulou s'est battue et a lancé une vaste campagne nationale. Sur l'affiche, une femme serre les mâchoires, un bâton entre les dents, sous le slogan «*Les règles, c'est naturel, pas la douleur*». Relayée par plusieurs associations de patientes, cette campagne, dévoilée par le magazine *Elle* dans son édition du 25 février, a été soutenue par la comédienne Julie Gayet et la chanteuse Imany, marraine de l'association Endomind France. Elle a aussi reçu le soutien du ministère de la santé. Une marche mondiale pour l'endométriose se tiendra le samedi 19 mars. ■

P. SA.

Dans l'interêt de la science

mathieu vidard la tête au carré

14:00-15:00

avec, tous les mardis, la chronique de Pierre Barthélémy

Le Monde science&médecine

YouTube

Le nouvel eldorado des vulgarisateurs

INTERNET

Des vidéos à caractère scientifique postées sur le Web révolutionnent la diffusion des connaissances vers le grand – et jeune – public

CÉCILE MICHAUT

Mercredi 25 novembre 2015, devant la petite librairie de Gif-sur-Yvette (Essonne), plus de 200 personnes attendent. Pour quel auteur star ces fans bravent-ils la pluie tenace et le climat d'insécurité post-attentats? Ni Amélie Nothomb ni Marc Levy. C'est pour un auteur à peu près inconnu de toute personne de plus de 25 ans : Bruce Benamran, auteur de la chaîne de vulgarisation scientifique e-penser. La soirée de dédicace de son livre, *Prenez le temps d'e-penser* (Marabout, 2015), agrémentée de nombreux selfies, et même de câlins et de bisous, a duré plus de quatre heures, jusqu'à épuisement des stocks.

Un tel engouement pour un auteur scientifique n'étonnera que ceux qui n'ont pas encore découvert le phénomène YouTube, devenu le média préféré de la plupart des adolescents. Des auteurs de films qui postent leur production sur la plate-forme américaine d'hébergement de vidéos sont suivis par des millions de fans – les plus connus en France, comme Squeezie ou Cyprien, comptent plus de 12 millions d'abonnés!

Depuis environ deux ans, des vidéos au contenu scientifique ont fait leur apparition, avec un succès notable, bien que loin des vidéos des mastodontes plus généralistes. La chaîne de Bruce Benamran compte ainsi plus de 600 000 abonnés,

et certaines vidéos ont été regardées plus d'un million de fois. A l'heure où la science à la télévision est moribonde, les vidéos sur Internet sont le nouvel eldorado des vulgarisateurs.

Le scientifique et vulgarisateur David Louapre a bien constaté l'effet YouTube lorsqu'il est passé du blog à la vidéo – qui tous deux portent le même nom : « Science étonnante ». « J'ai rédigé un blog pendant près de six ans, sa fréquentation augmentait régulièrement, pour culminer à 150 000 visites par mois [un très bon score pour un blog scientifique : c'était alors l'un des plus fréquentés en France, bien que loin derrière le blog « Passeur de sciences », de Pierre Barthélémy, sur le site du Monde]. Lorsque je suis me suis mis aux vidéos sur YouTube, j'ai rattrapé cette audience en moins de cinq mois – plus, je l'ai explosée : j'atteins 400 000 à 900 000 « vues » par mois. Et je ne suis pas le plus regardé! »

Ces vidéos sont-elles consultées en entier, sachant qu'il suffit de les afficher pendant une seconde pour que YouTube les considère comme « vues »? « Les statistiques m'ont agréablement surpris : 70 % des internautes restent jusqu'au bout du film », souligne David Louapre. De quoi clore le bec de tous ceux qui croient que la science n'intéresse pas le grand public, à commencer par les directeurs de chaîne de télévision et de radio.

L'image de YouTube comme un repaire de vidéos rigolotes de quelques minutes pour adolescents boutonneux en a aussi pris un coup : on peut intéresser des millions d'internautes avec des vidéos de vingt ou trente minutes sur des

sujets pointus! On peut parler de physique ardue, par exemple du principe d'incertitude en physique quantique, en décrivant le physicien allemand Heisenberg comme « un gars totalement badass [classe] ».

Ces vidéastes qui bousculent ainsi les certitudes ressemblent à leur public : jeune et masculin, pour l'essentiel. Bruce Benamran fait figure d'ancêtre, du haut de ses 39 ans. La plupart pratiquent le « face caméra » : se filmant eux-mêmes en plan fixe, ils regardent le spectateur dans les yeux, comme un présentateur de journal télévisé. Les raisons sont avant tout économiques : c'est le plus simple et le moins cher à réaliser, et on peut se débrouiller seul et avec très peu de montage. Mais pour David Louapre, qui vient par ailleurs de publier *Mais qui*

Sur la chaîne DirtyBiology, Léo Grasset explique la théorie de l'évolution à l'aide des Pokémon

a attrapé le bison de Higgs? (Flammarion, 172 p., 17 €), ce style est aussi une des raisons du succès de ces vidéos : « C'est proche de l'interaction naturelle avec quelqu'un, lorsqu'on papote. »

Certains, pourtant, par goût ou par réticence envers le côté star du face caméra, préfèrent présenter des expé-

riences à l'écran. C'est le cas de Baptiste Mortier-Dumont, le bien nommé Experimentboy, qui adore provoquer des explosions de toutes les manières possibles mais montre aussi de jolies manipulations sur les fluides pâteux ou les écoulements laminaires. C'est le cas aussi de Viviane Lalande, l'une des rares femmes (avec Florence Porcel en astronomie) à partager sa science sur le Web. Cette doctorante est capable d'analyser sur sa chaîne Scilabus les ronronnements de son chat ou la force nécessaire pour faire des pompes, ou de prouver que l'on est bel et bien plus grand le matin que le soir. « C'est la démarche scientifique qui m'intéresse, et je suis fascinée par la physique du quotidien », souligne cette Française expatriée au Québec, où elle prépare une thèse en biomécanique.

Pourtant, ces « youtubeurs » francophones restent loin de leurs homologues anglo-saxons, dont ils se sont largement inspirés. Par exemple, la chaîne VSauce, de l'Américain Michael Stevens, atteint près de 10 millions d'abonnés, pour des revenus estimés à plusieurs millions de dollars par an. « Je regarde plus de vidéos anglophones que francophones, analyse Léo Grasset, qui commence à vivre modestement de sa chaîne, DirtyBiology. Au départ, elles étaient vraiment de meilleure qualité, mais c'est de moins en moins vrai. Je suis de plus en plus fier du YouTube francophone. Reste que les moyens mis en œuvre ne sont pas les mêmes : c'est très professionnel sur les chaînes de langue anglaise, alors que, sauf exception, cela reste amateur chez nous. » Viviane Lalande, de par sa localisation canadienne, est plus proche des vidéos anglophones. « Celles-ci vont droit au but, tandis que les francophones jouent davantage sur l'humour et les montages très rythmés », analyse-t-elle.

Un coup d'œil sur les chaînes scientifiques les plus connues permet d'imaginer les raisons du succès. Les youtubeurs parlent cash, ne lésinent pas sur les blagues potaches et les références

Mickaël Launay ou les maths sans douleur

Il ne ressemble pas aux youtubeurs classiques : plus posé, presque timide, avec une voix douce, il semble loin du star-système inhérent à YouTube. Mais son enthousiasme est contagieux : après avoir regardé une vidéo de Mickaël Launay, alias Micmaths, difficile de continuer à dire que l'on n'aime pas les mathématiques, tant il parvient à rendre captivante cette matière, cauchemar de tant d'élèves. Il est le prof qu'on a toujours rêvé d'avoir, capable de calculer la probabilité de s'embrancher en mangeant le même spaghetti, comme dans le dessin animé *La Belle et le Clochard*, ou de fabriquer de magnifiques origamis en étoile en nous expliquant sans douleur toutes les propriétés mathématiques de ces « dodécaèdres ». Il est également prêt à nous faire entrer dans des sujets plus ardu, comme la quatrième dimension.

Pour ce jeune homme – mais déjà vieux pour un youtubeur – de 31 ans, ces vidéos ne sont que le prolongement d'une expérience de vulgarisation déjà ancienne. « Depuis mes 16 ans, je participe au Salon des jeux mathématiques et, durant mes études, j'étais impliqué dans des associations de médiation scientifique, indique-t-il. J'ai également fait des cours écrits dans le même esprit ludique pour *Le Site du zéro*, devenu *OpenClassrooms*. Après ma thèse de maths, en 2012, j'ai hésité à devenir chercheur, mais j'ai préféré opter pour la vulgarisation à plein-temps. Je monte des ateliers dans des écoles, des chasses au trésor avec énigmes... » D'où son aisance à trouver des exemples et des astuces pour accrocher le plus grand nombre, car il connaît les questions récurrentes et les anecdotes qui font mouche. « Tout ce que je montre sur mes vidéos, je l'ai déjà fait devant un vrai public. »

Son but : changer l'image des mathématiques. C'est pourquoi il est très impliqué dans l'association Science ouverte, qui organise de nombreuses actions de médiation scientifique, notamment dans les quartiers sensibles.

Interactivité

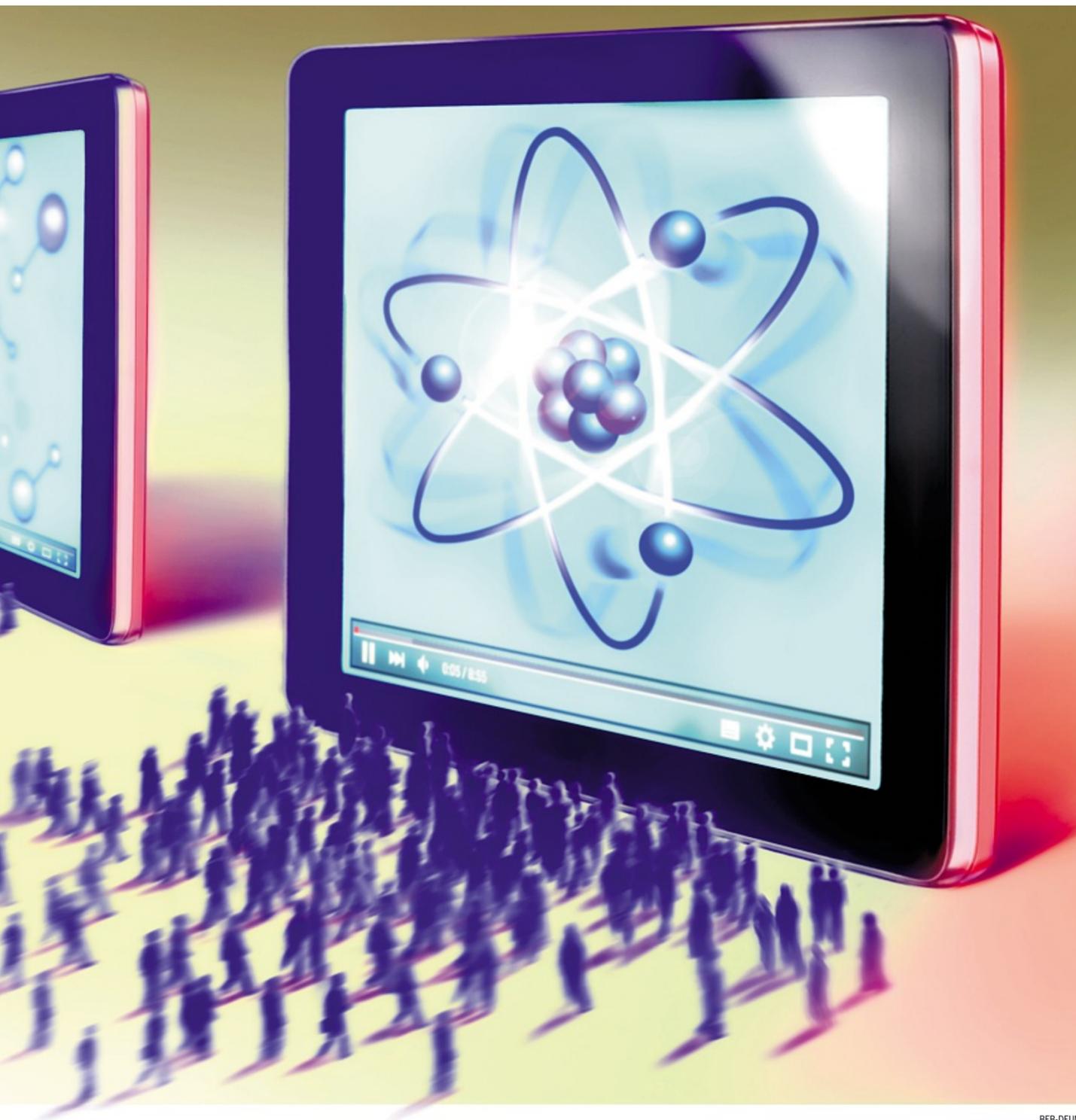
Il participe également au Comité international des jeux mathématiques. Ses actions de médiation lui assurent la moitié de ses revenus, l'autre moitié provenant de ses vidéos sur YouTube. Il ne s'interdit aucun sujet : « On peut tout traiter de manière ludique. Il faut bien connaître le sujet, et surtout être passionné. »

Certains professeurs utilisent ses vidéos en classe. Des instituteurs ont par exemple monté des projets autour de sa vidéo sur les représentations graphiques des tables de multiplication. Quand il a le temps, il va même à la rencontre de ces classes.

Son grand plaisir : recevoir des photos des bricolages ou des origamis que les gens ont réalisés à partir de ses vidéos. Car l'interactivité est importante pour les youtubeurs. « Les réactions des internautes m'ont aidé à comprendre les attentes. Certains m'ont aussi aidé sur les aspects techniques, en me conseillant sur le montage, ce qui m'a permis d'améliorer la qualité de mes vidéos. » Mais ces interactions ne guident pas totalement ses choix : « Les vidéos sur les origamis ont moins de succès, mais je continue simplement parce que j'aime bien les faire. »

Loin des plans de carrière et autres visions à long terme, Mickaël préfère vivre sa passion au jour le jour. « Pour l'instant, je souhaite continuer de front mes vidéos et la médiation sur le terrain. Mais je ne sais pas ce que je ferai dans cinq ans. » Nul doute qu'il continuera à partager son amour des maths, où que ce soit. ■ C.M.





BEB-DEUM

Comment ça marche

Chacun peut s'inscrire sur YouTube et créer sa chaîne, c'est-à-dire une page Web où il postera l'ensemble de ses vidéos. On est totalement libre de publier ce qu'on veut, tant qu'on respecte la loi (diffamation, droits d'auteur...). Les internautes qui s'abonnent à cette chaîne sont avertis de chaque nouvelle vidéo postée. YouTube affiche le nombre d'abonnés pour chaque chaîne, ainsi que le nombre de visionnages de chaque vidéo. Les vidéastes sont rémunérés par la publicité par AdSense, le réseau publicitaire de Google (grâce aux publicités imposées avant les films). Cette rémunération dépend bien sûr du nombre de visionnages, mais les critères YouTube restent flous : certains parlent de 1 ou 2 dollars par millier de « vues », d'autres vont jusqu'à 6 ou 7... mais seulement lorsque les internautes n'ont pas installé un bloqueur de publicité sur leur ordinateur. La publicité n'est pas la seule manière de gagner de l'argent. L'autre solution, c'est Tipeee, un site de financement participatif. Le principe est simple : lorsqu'un internaute aime une vidéo et souhaite soutenir son créateur, il lui cède quelques euros par l'intermédiaire de ce site sécurisé.

culturelles propres à leur génération, comme lorsque Léo Grasset explique la théorie de l'évolution à l'aide des Pokémon, ces petits personnages de jeux vidéo connus de tous les adolescents. Mais ce qui apparaît surtout sur ces vidéos, c'est la grande liberté que s'offrent leurs auteurs, contrairement à ce que propose une télévision vue comme sclérosée, où les sociétés de production et les directeurs de programmes ne prennent pas le moindre risque. « YouTube offre des opportunités qui n'existent nulle part ailleurs, s'enthousiasme Bruce Benamran. Les sciences dures (la physique notamment) ont disparu de la télé car cela fait peur aux producteurs et aux annonceurs, alors que ça ne fait pas peur au public. Ainsi, Fred Courant, de l'émission "C'est pas sorcier", aurait bien aimé traiter de sujets plus complexes, mais il n'a jamais pu, c'était hors cahier des charges. De mon côté, j'ai une totale liberté sur mes vidéos. Ce qui ne veut pas dire une absence de contrainte : si je ne poste pas assez, ou si ça n'intéresse personne, je ne gagne rien. »

L'argent, comme souvent, est au cœur des débats. Les vidéastes ont essentiellement deux sources de rémunération : la publicité, et le financement participatif. Mais attention au miroir aux alouettes : très peu de youtubeurs vivent de leur production. Certains, avec des millions d'abonnés, ne gagnent pas assez pour payer leur loyer ! Troisième source, bien plus polémique : la publicité et le placement de produits. Les vidéastes les plus connus sont régulièrement sollicités pour faire la promotion d'un produit, d'une œuvre culturelle, voire d'une institution. Ainsi, Bruce Benamran a été invité par Fox lors de la sortie du film *Seul sur Mars*, afin de faire une vidéo dans le désert de l'Utah. « J'accepte d'être sponsorisé à condition de garder une totale liberté et que ça s'intègre à ma chaîne, précise-t-il. Et, bien sûr, il faut informer les internautes qu'on est sponsorisé, c'est même une obligation légale. » Ceux qui ne respectent pas cette

règle peuvent subir un *bad buzz*, une bronca sur les réseaux sociaux, au point de devoir s'excuser dans une vidéo ultérieure. Enfin, plusieurs youtubeurs ont écrit des livres, qui peuvent devenir des sources non négligeables de revenus. Celui de Bruce Benamran a ainsi dépassé les 90 000 exemplaires.

Les spectateurs de ces vidéos sont surtout des jeunes de moins de 25 ans, ce qui est la norme sur YouTube. En revanche, ces chaînes scientifiques sont beaucoup moins mixtes que les généralistes : 87% d'hommes pour Bruce Benamran et 85% pour Viviane Lalande. Tous s'en désolent. Seul Léo Grasset est regardé par 40% de femmes, probablement parce qu'il traite beaucoup de biologie. Les relations avec les internautes sont primordiales. « Il y a beaucoup de commentaires, blagues et réactions enthousiastes, souligne Léo Grasset. Dans certaines vidéos, je demande aux gens de proposer des solutions à une question. Tant que j'avais 60 000 fans, c'était gérable, mais avec 300 000, c'est plus compliqué, d'autant que les gens ne lisent pas les commentaires précédents et écrivent donc souvent la même chose. Il faudrait imaginer un système pour faire collaborer 5 000 personnes sur une question. »

Comme pour Wikipédia autrefois, beaucoup s'interrogent sur la qualité de ces vidéos. « Je ne vise pas l'exactitude scientifique, j'explique comme j'ai moi-même compris, affirme tout de go Bruce Benamran. Vulgariser, c'est "approximer", par exemple en disant que respirer, c'est aspirer de l'oxygène et rejeter du CO₂, en omettant volontairement l'azote. Je ne fais pas un cours ! Bien sûr, il peut m'arriver de faire une erreur. Dans ce cas, comme on ne peut pas supprimer une vidéo sans tout perdre, j'ajoute une annotation dans la séquence erronée et je fais un commentaire dans la vidéo suivante. »

De son côté, Pierre Kerner, créateur de VideoSciences, un site regroupant de nombreuses vidéos scientifiques, regrette que le public se formalise peu des erreurs : « Le plagiat est fortement criti-

qué sur les réseaux sociaux, pas le manque de rigueur scientifique. » Pour lui, la solution réside dans la vérification « par les pairs », comme cela se pratique en sciences. « Nous avons créé un groupe sur Facebook pour créer un dialogue entre vidéastes, blogueurs et scientifiques. Chaque vidéaste peut poster son scénario ou ses premiers rushes, avec pour objectif de recevoir un maximum d'avis avant la diffusion. C'est une possibilité offerte sur VideoSciences, mais ce n'est pas obligatoire. »

Etonnamment, aucune institution scientifique n'a pris conscience du potentiel de YouTube, alors que toutes affirment vouloir s'adresser aux jeunes. Récemment, le colloque « Sciences et médias : comment parler de sciences aux jeunes », organisé par plusieurs sociétés savantes, n'avait invité aucun youtubeur. Le CNRS, pourtant fer de lance en matière de communication

relles Axolot, Le Fossoyeur de films et Nota Bene, ont accepté.

La qualité est intimement liée à la fréquence de production : faire une bonne vidéo demande du temps. Or, la tendance générale sur YouTube est de multiplier les vidéos pour augmenter le nombre de « vues », donc les revenus. Il existe même une règle non écrite : au moins une vidéo tous les quinze jours. Pourtant, certains vidéastes connus reviennent sur ce dogme et choisissent de faire peu de vidéos, afin de miser sur la qualité. C'est le cas d'Antoine Daniel, créateur de la série « What the Cut?! », capable de ne rien publier pendant plusieurs mois. Et quand il sort une vidéo, qui ressemble de plus en plus à un court-métrage, les fans se précipitent : ils sont aujourd'hui près de 2,4 millions. Mais seules les stars de YouTube parviennent à se faire ainsi désirer. Pour les autres, la course à l'audience reste de mise.

Les youtubeurs scientifiques à succès considèrent qu'ils sont arrivés au bon moment. « Aujourd'hui, j'aurais plus de mal à émerger », estime David Louapre. De son côté, Léo Grasset, qui vit également de sa plume (*Le Coup de la girafe. Des savants dans la savane*, Seuil, 2015), juge qu'on arrive à une limite de saturation de chaînes scientifiques. D'autres voient les choses autrement. C'est le cas du mathématicien Mickaël Launay qui pense plutôt qu'il y a de la place pour tout le monde, mais pas forcément pour en vivre : « L'algorithme de YouTube privilégie les vidéastes à succès, mais certaines chaînes existent juste parce qu'il existe une petite communauté de passionnés, et cela continuera. »

Du côté des maisons de production et des télévisions, on commence à regarder avec intérêt ces youtubeurs à succès. Au risque de les voir perdre leur âme ou de les affadir ? « YouTube aujourd'hui me rappelle les radios libres, observe Bruce Benamran. Aujourd'hui, on ne peut plus lancer sa radio. Dans dix ans, un jeune pourra-t-il se lancer sur YouTube comme aujourd'hui ? J'espère que oui. » ■

Et aussi

Vidéosciences

<http://videosciences.cafe-sciences.org>

Cours en ligne

openclassrooms (anciennement Le Site du zéro) <https://openclassrooms.com>

Association Science ouverte

<http://scienceouverte.fr>

Comité international des jeux mathématiques

www.cijm.org

« T. rex », figure pop indétrônable

LE LIVRE

Quelles sont les raisons du succès du roi des dinosaures dans l'imaginaire collectif ?

HERVÉ MORIN

Exhumé en Ouzbékistan et vieux de 90 millions d'années, un « cousin » de *Tyrannosaurus rex* est décrit dans la revue *PNAS* datée du 14 mars. Bien que *Timurlengia euotica* ne fasse que la taille d'un cheval et qu'il ne présente pas toutes les caractéristiques de *T. rex*, les auteurs de la découverte axent l'essentiel de leur description sur ses relations de parenté avec l'illustre dinosaure, qui vécut, lui, entre 68 et 66 millions d'années avant notre époque. Comme s'ils souhaitent que la gloire de ce dernier rejaillisse sur leur protégé, doté pour se grandir du patronyme d'un conquérant sans pitié, Tamerlan (1336-1405). Il a certes le mérite de suggérer que le gigantisme des tyrannosauridés est probablement une caractéristique tardive de leur évolution.

Le paléontologiste chargé de donner chair à ce nouveau venu l'a représenté recouvert de plumes, tout comme celui qui a dessiné la couverture de *T. rex superstar*, l'ouvrage consacré par le paléontologue Jean Le Loeuff à l'« irrésistible ascension du roi des dinosaures ». Ce choix d'illustration témoigne des dernières avancées en paléontologie, qui soulignent l'importance des duvets et filaments dont la trace a pu subsister jusqu'à nous. Il montre aussi que la façon de représenter les dinosaures est une œuvre mouvante.

C'est précisément l'un des thèmes du livre de Jean Le Loeuff, qui rappelle que notre idée de la posture des dinosaures en général et de *T. rex* en particulier n'a cessé d'évoluer au fil des siècles et des découvertes. Et que littérature et cinéma ont souvent tardé à prendre en compte les dernières avancées de la science. La mode du « tyrannosaure kangourou », bondissant à l'aide de sa queue puissante, a eu une postérité durable. Et *Jurassic World* (Colin Trevorrow, 2015), dernier blockbuster hollywoodien, persiste à montrer des bestioles glabres, se désolent-ils, même s'il estime qu'à l'âge adulte, *T. rex* était probablement dépourvu de plumes.

Le voyage en « tyrannosauroidé » que Jean Le Loeuff propose fait revivre les savants, prospecteurs et aventuriers qui ont permis à ces mondes perdus d'émerger des entrailles de la Terre. Il raconte comment les fossiles ont inspiré les artistes et créateurs, de saint Augustin à Spielberg en passant par Balzac. Cette promenade érudite dans le temps et l'espace est plaisante, l'écriture est enlevée, même si certains passages citant des œuvres mineures de science-fiction auraient mérité d'être abrégés au profit de pages plus étoffées sur le comportement des tyrannosaures.

L'auteur souligne que la France a longtemps été rétive au charme violent de *T. rex*, lui préférant le placide diplodocus – qui sert d'ailleurs d'emblème au musée des fossiles d'Espéras (Aude), que dirige Jean Le Loeuff. Pourquoi cette dilection hexagonale pour un brouteur géant plutôt que pour un tueur sanguinaire ? Il faudrait un livre pour répondre, affirme le paléontologue. ■

T. rex superstar, de Jean Le Loeuff (Belin, 242 p., 19 €).

Livraison

Episode historique

« Les Danseurs fous de Strasbourg »

L'histoire semble incroyable : le 14 juillet 1518, une jeune femme se mit à danser frénétiquement dans les rues de Strasbourg, sans s'arrêter pendant des jours et des nuits. Plus étonnant encore, cette manie dansante gagna des centaines de personnes, dont beaucoup moururent d'épuisement. Cet épisode d'épidémie psychologique a été retracé par l'historien de la médecine John Waller dans un ouvrage passionnant, édité au Royaume-Uni en 2008 sous le titre *A Time to Dance, a Time to Die*.

► De John Waller (*La Nuée bleue*, 220 p., 18 €).

Pour l'humain massif, le loin est encore plus loin



IMPROBABLOGIE

Pierre Barthélémy

Journaliste et blogueur
Passeurdessciences.blog.lemonde.fr

Vous ne l'imaginiez sans doute pas mais on peut faire de la science innovante avec un cône de chantier, un mètre, un pèse-personne et des paquets de chips. C'est en tout cas l'ambition qu'a eue une équipe américaine à l'occasion d'une étude

publiée dans le numéro de mars de la revue *Acta Psychologica*. Ces chercheurs s'intéressent au fait, curieux, que les capacités physiques des humains peuvent modifier la perception visuelle qu'ils ont de leur environnement. On a ainsi montré par l'expérience qu'un Robin des Bois voit la cible plus grosse qu'un piètre archer ou que, pour Roger Federer – et c'est sans rapport avec sa nationalité suisse –, la balle avance plus lentement que pour un joueur de tennis du dimanche.

Y a-t-il des caractéristiques physiques autres que la performance sportive qui jouent sur ces illusions d'optique ? Telle est la question que se sont posées les auteurs de l'étude, avec une petite – ou plutôt une grosse – idée derrière la tête : étant donné que les porteurs de sacs à dos bien remplis exagèrent déclivités et distances, l'embonpoint des personnes corpulentes a-t-il le même effet ? Le mieux, pour le déterminer, était d'aller, avec un sens pragmatique certain, au supermarché, pour recruter du ventre, du maflu, du joufflu (mais pas que). Une soixantaine de quidams ont donc été enrôlés dans l'étude, un tiers

dotés d'un indice de masse corporelle (IMC) normal, un tiers se trouvant dans la catégorie « en surpoids » – ceux qu'on appelait les grassouillettes à l'époque où les mots ne faisaient pas peur – et le dernier tiers appartenant à celle des obèses.

Fatigue potentielle

L'expérience à laquelle on les soumettait était simplissime. Conduits sur une allée piétonne rectiligne et bordée de verdure, les participants devaient estimer la distance qui les séparait d'un cône de chantier placé, dans un ordre aléatoire, à différents points plus ou moins proches (10, 15, 20, 25 mètres). A chaque fois que le plot était bougé, les cobayes lui tournaient le dos pour ne pas avoir d'indice (comme le nombre de pas de l'expérimentateur qui le déplaçait) sur l'écart entre les deux points. Le mètre et la balance servaient à établir le fameux IMC au terme du test.

L'indice de masse corporelle n'avait pas d'influence significative sur la perception de la distance. En revanche, la masse pure en avait une. Plus les sujets totalisaient de kilogrammes sur la balance, plus ils rêvaient à la

hausse la distance qui les séparait du plot. Et plus ce dernier était éloigné, plus ils se trompaient. Aussi étonnant que cela puisse paraître, c'est comme si les participants à cette expérience avaient évalué les distances non pas spatialement mais en fonction de l'effort à produire pour la parcourir, en calories et non en mètres. Et comme s'ils avaient ajouté à l'effort théorique un surplus de fatigue potentielle.

Pour les auteurs de l'étude, ce résultat pourrait conduire à revoir certaines idées couramment émises sur les personnes massives, notamment le fait qu'elles devraient moins prendre la voiture pour de courtes distances. Mais si l'on considère que les mâtards et les ventripotents estiment mal lesdites distances, leur choix devient tout à coup compréhensible, fruit d'un cercle vicieux qui les pousse à opter pour des modes de vie moins énergivores mais mauvais pour leur santé.

En parlant de santé, à quoi servaient les paquets de chips, diront ceux qui ont suivi depuis le début ? Eh bien, ils ont été distribués aux participants, minces ou obèses, en remerciement de leur collaboration... ■



Un oiseau gravé venu du fond des âges

Passereau, torcol fourmilier ou perdrix ? Figé sur l'enveloppe d'un éclat de silex, un oiseau gravé il y a près de 35 000 ans vient d'être décrit dans le *Journal of Archaeological Science: Reports*. Cette gravure en bas-relief figurait parmi les déchets d'un atelier de taille de pierres aurignacien,

fouillé par l'Institut de recherches archéologiques préventives à Bergerac (Dordogne). « Un exemple unique de figuration d'un oiseau sur un tel support », dit Laurence Bourguignon, qui a dirigé la fouille et souligne « le caractère naturaliste et éphémère de l'œuvre ». ■

AFFAIRE DE LOGIQUE

Sur deux étages

N° 955

Alice et Bob jouent au jeu suivant sur un plateau à deux étages. 100 pions sont répartis en deux tas, un certain nombre en haut et le reste en bas. Chaque joueur, à son tour, a le choix entre les actions suivantes :
– enlever deux pions de l'un des tas
– transférer un pion du tas du haut vers le tas du bas.
Le premier des deux à ne plus pouvoir jouer a perdu. C'est Alice qui commence.

Peut-on prédire qui gagnera la partie ou faut-il connaître la répartition des 100 pions entre les deux étages ? Et s'il y avait au départ 101 pions ? 102 pions ? 103 pions ?

SOLUTION DU N° 954

Bob et Charlotte auront une solution si et seulement si Alice choisit un nombre *a* impair supérieur ou égal à 17 tel que $3a - 2 \leq c$, les quatre sommes constituées sont, dans l'ordre croissant : $a + b$, $a + c$, $b + c$, $a + b + c$. Les trois dernières sommes sont des carrés d'entiers consécutifs. On peut donc écrire :
I : $a + c = (x - 1)^2$
II : $b + c = x^2$

III : $a + b + c = (x + 1)^2$
De III - II, on déduit $a = 2x + 1$ et donc $b = 4x$
De II - I, on déduit $b - a = 2x - 1$ et donc $b = 4x$
De II, on déduit $c = x^2 - 4x$
 $c \geq b$ implique $x \geq 8$ et donc $a \geq 17$.
Dernière condition : $a + b$ doit être un carré parfait.
Or, $a + b = 6x + 1 = 3a - 2$.
La condition annoncée est bien nécessaire.
Il reste à montrer qu'elle est suffisante.
Si Alice choisit un entier impair $a = 2x + 1$ supérieur ou

égal à 17 tel que $3a - 2$ soit un carré, il suffit que Bob et Charlotte choisissent $b = 4x$ et $c = x^2 - 4x$. On vérifie alors que $a + b = 3a - 2$ est un carré, et que $a + c = (x - 1)^2$, $b + c = x^2$ et $a + b + c = (x + 1)^2$ sont des carrés d'entiers consécutifs.
La plus grande somme des trois nombres inférieure à 1 000 sera atteinte pour :
 $a = 57$, $b = 112$, $c = 672$.
On aura alors, dans l'ordre :
 $a + b = 169 = 13^2$,
 $a + c = 729 = 27^2$,
 $b + c = 784 = 28^2$,
 $a + b + c = 841 = 29^2$.

ÉLISABETH BUSSER ET GILLES COHEN © POLE 2016

www.affairedelogique.com

Médecine, méthodes de scrutin... les apports des maths

• Semaine des mathématiques sur le thème « Maths et sport » (2/2)

La Maison des mathématiques et de l'informatique de Lyon organise, le 19 mars, un après-midi d'ateliers autour des nœuds (entrelacements et autres entrecroisements). De l'escalade à la voile, les nœuds sont présents dans de nombreuses disciplines sportives. Découper des rubans (de Möbius), dessiner de beaux entrelacs, danser le quadrille de Conway, sont certaines des activités étonnantes proposées. Entrée gratuite pour tous, à partir de 9 ans.

D'autres événements de cette semaine, essentiellement destinés aux scolaires, sont à signaler, comme au CNAM, à Paris, des ateliers originaux pour collégiens, les 17 et 18 mars.

• « Le jugement majoritaire : une nouvelle méthode de vote », à Toulouse, le 24 mars

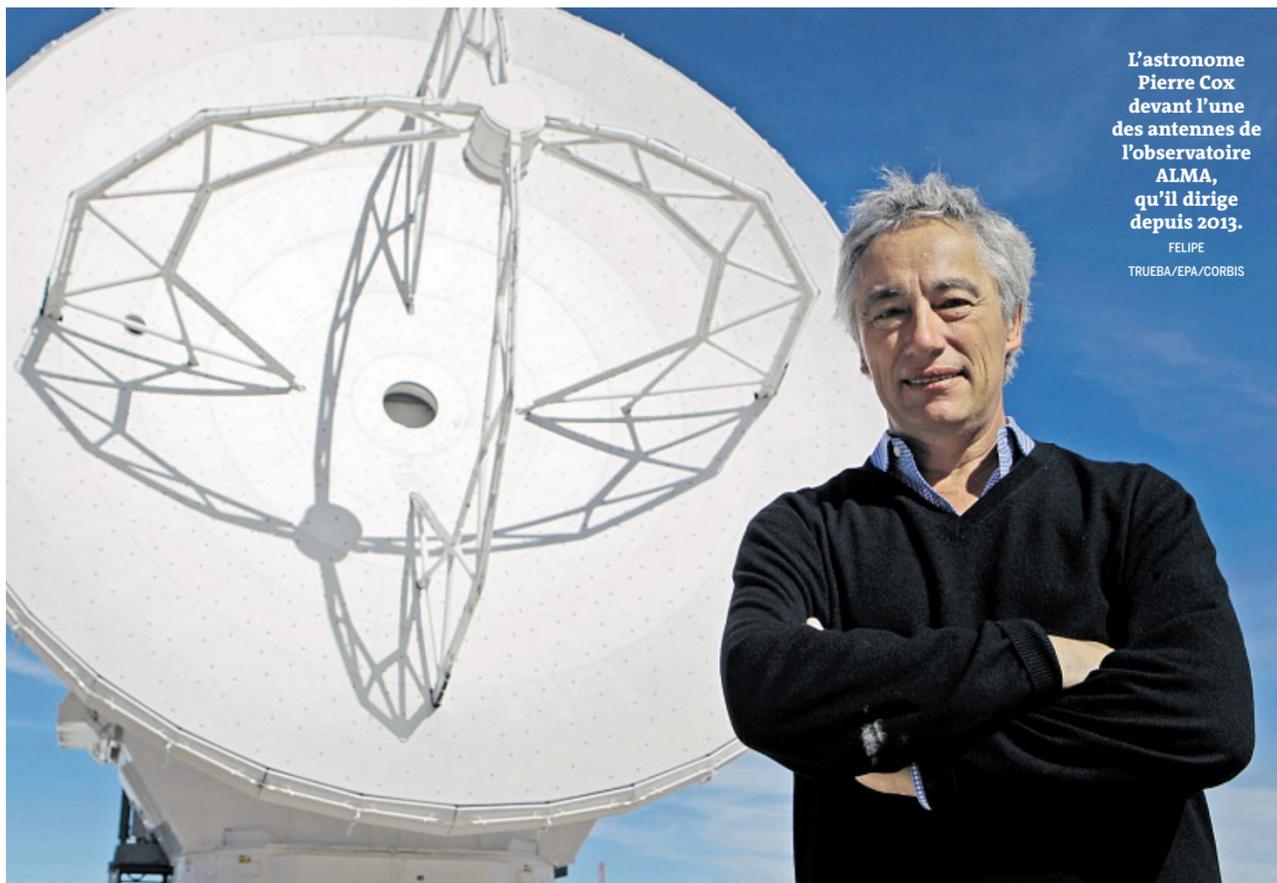
Toulouse accueille du 23 au 25 mars les journées « MODE 2016 » de la Société de mathématiques appliquées industrielles. Dans ce cadre, une conférence grand public se tiendra jeudi 24 mars à 18 h 30 dans l'amphithéâtre Boo de l'école d'ingénieurs ENSEIHT. L'orateur, Rida Laraki, aura comme objectif de montrer pourquoi les méthodes traditionnelles de vote ne sont pas représentatives, et de proposer une nouvelle méthode, le jugement majoritaire, mise au point par l'auteur avec son collègue de l'École polytechnique, Michel Balinski.

Informations sur <http://mode2016.sciencesconf.org/>

• Ce que peuvent apporter les maths en médecine, à la BNF (Paris), le 30 mars

La conférence de Dominique Barbolosi, le 30 mars à 18 h 30, au grand auditorium de la BNF, a pour titre « De la petite vérole au XVII^e siècle au cancer aujourd'hui : ce que peuvent apporter les mathématiques ». Elle s'appuiera sur une communication de Daniel Bernoulli à l'Académie des sciences en 1760, « Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'inoculation pour la prévenir ». Le conférencier est connu pour ses recherches sur l'utilisation de modèles mathématiques afin de fournir des outils algorithmiques aux médecins pour optimiser l'efficacité des traitements anticancéreux, tout en limitant leurs effets toxiques. A ce propos, signalons la présence en kiosques en ce moment d'un hors série du magazine *Tangente* intitulé *Mathématiques et médecine*.

Informations sur http://smf.emath.fr/cycle_texte_mathematiciens



L'astronome Pierre Cox devant l'une des antennes de l'observatoire ALMA, qu'il dirige depuis 2013.
FELIPE TRUEBA/EPA/CORBIS

Pierre Cox, chef d'orchestre astronomique

PORTRAIT | Aux manettes du télescope de pointe ALMA, implanté dans le désert chilien d'Atacama, cet astronome vit son métier « comme une fête permanente »

MARIE-LAURE THÉODULE

Une des images produites par ALMA en 2014 était tout simplement extraordinaire: un disque brillant autour de HL Tauri, jeune étoile d'à peine 1 million d'années située à 450 années-lumière de la Terre. On y voyait pour la première fois des zones sombres concentriques, probablement dues à des planètes en formation. Aucun instrument n'avait jamais observé cela, pas même le télescope spatial Hubble. Je suis resté bouche bée pendant plusieurs minutes», se souvient Pierre Cox, des étoiles dans ses yeux vert-marron. On peut donc, comme il le fait depuis trois ans, diriger ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), le plus grand site de radiotélescopes du monde, et garder un émerveillement quasi enfantin devant la précision des images inédites produites par ce bijou de technologie, composé de 66 antennes géantes (de 7 et 12 m de diamètre) posées sur le plateau de Chajnantor, dans le désert d'Atacama, au nord du Chili, à 5 000 mètres d'altitude.

Pierre Cox n'est pas arrivé à l'astronomie par hasard. C'est, pense-t-il, en réaction aux 25 mètres carrés obscurs dans lesquels ils vivaient à cinq, près de la place de l'Étoile, à Paris, avec ses parents, sa sœur jumelle et son frère, qu'il a choisi d'aller étudier l'Univers. «Toute ma vie, j'ai cherché le contraire, aller vers un endroit qui soit grand et plein de lumière.» Son père est musicien classique, compositeur, sa mère joue du piano. Lui aussi, en virtuose même. «Il aurait pu devenir chef d'orchestre», confie, admiratif, son frère, le peintre et graphiste Paul Cox. Mais tout tournait trop autour de la musique dans le cercle familial. Et ses questions d'enfant restaient sans réponse: «Je voulais travailler dans un domaine où l'on vous encourage à poser des questions.» Quoi de mieux que la science? Tous les jeudis, le gamin, curieux, file au kiosque à journaux acheter *Tout l'Univers*.

Un passage rapide en classe prépa au lycée Janson-de-Sailly, à Paris, ne le convainc guère. «Je me demandais ce que je faisais là.» La plupart des élèves voulaient devenir ingénieurs, faire une grande école. Pas lui, qui s'amuse à repasser un baccalauréat, littéraire cette fois. C'est à l'université d'Orsay qu'il trouve sa voie. L'astronome Pierre Léna est venu donner une conférence. Le jeune homme en ressort conquis. Il entreprend alors un parcours d'astronome à l'institut Max-Planck de radioastronomie, en Allemagne, puis au CNRS, qui l'amène à s'intéresser à de nombreux sujets – émission infrarouge et submillimétrique de la formation des étoiles et des premières galaxies, nébuleuses planétaires, quasars lointains –, ce qui convient

bien à son esprit avide de découvertes. Il noue des amitiés solides avec des collègues qui deviennent des amis et avec lesquels il partage des moments forts. «Nous sommes allés plusieurs fois en Californie, au début des années 1990, faire des observations de nuit à bord d'un avion de la NASA qui transportait un télescope. Il fallait stabiliser les mouvements de l'avion. C'était sportif», raconte Alain Omont, qui a dirigé l'Institut d'astrophysique de Paris. De son côté, François Boulanger, astrophysicien du CNRS, le connaît depuis plus de trente ans: «Nous avons fait beaucoup d'observations ensemble au Chili, notamment à l'observatoire Cerro Calan, de Santiago, où l'on aimait regarder le ciel à l'ancienne, avec une lunette.»

Pierre Cox aurait pu continuer ainsi une carrière de chercheur un peu nomade, bien adaptée à son tempérament non conformiste. Et qui lui laissait du temps libre pour d'autres passions: la musique, le dessin, les voyages, la photographie. Mais en 2005, on vient le chercher pour diriger l'Institut de radioastronomie millimétrique (IRAM) de Grenoble. «Je suis passé de l'être bienheureux que j'étais à la découverte de toute la complexité technique et humaine qu'il y a derrière un observatoire.» Il

« Je voulais travailler dans un domaine où on vous encourage à poser des questions »

lui faut gérer 120 personnes réparties sur trois sites, Grenoble et le plateau de Bure en France, Grenade en Espagne. Il a 48 ans et change en quelque sorte de métier, même s'il reste dans son domaine de prédilection. Or il arrive à un moment difficile. L'IRAM est encore sous le choc de l'accident du téléphérique du pic de Bure (Hautes-Alpes) qui a causé plusieurs morts six ans plus tôt. Dans cette situation tendue, il doit prendre une décision très difficile à faire passer: reconstruire un téléphérique. Pour lui, c'est la condition sine qua non pour que l'institut poursuive son activité. Mais tout le monde n'est pas d'accord. «Réussir ce projet a été une aventure passionnante. Jamais je n'aurais cru que je passerais autant de temps en réunions sur un téléphérique.»

Sous l'image un peu trop lisse de l'astronome au sourire charmeur, pointe le chef d'orchestre qui sait écouter les points de vue divergents, puis trancher. «Il faut avoir de l'oreille pour savoir si les gens vont bien fonctionner ensemble.»

Un talent dont il aura bien besoin quand il arrivera à la tête d'ALMA. «On m'avait déjà proposé le poste une première fois et j'avais refusé de me présenter.» A l'époque, il se sentait trop impliqué dans le redéploiement de l'IRAM pour quitter le navire à un moment critique. Si bien que, aujourd'hui, il peut regarder le travail accompli avec une certaine fierté: le téléphérique a rouvert en 2015 et l'IRAM est en pleine expansion.

En 2013, il accepte la direction d'ALMA. Un projet ambitieux qu'il suit depuis le début, ayant participé activement à son comité scientifique. ALMA est né du rapprochement, dans les années 1990, de trois grands projets d'interférométrie submillimétrique – technique qui permet de créer un télescope virtuel géant en synchronisant les ondes radio émanant de plusieurs télescopes – sur lesquels travaillaient indépendamment les États-Unis, l'Europe et le Japon. En unissant leurs forces, et avec d'autres pays, ils ont finalement lancé le plus grand projet de radiotélescopes au monde. Grâce à ses détecteurs couvrant une large gamme de longueurs d'onde radio, allant de 0,3 à 3,6 millimètres dans la partie non visible du spectre lumineux, ALMA peut, de jour comme de nuit, aller explorer l'Univers froid – des régions où se forment les étoiles dans notre Voie lactée et dans les galaxies proches jusqu'aux toutes premières galaxies (les plus lointaines) – avec un niveau de détail et de sensibilité jamais atteint. Comme on peut également éloigner ses antennes jusqu'à 16 kilomètres, cela lui confère une capacité de zoom inégalée.

Pierre Cox a dû faire passer ALMA de la phase de construction à la phase opérationnelle. Ce n'est pas une sinécure. Peu après son arrivée, une grève éclate chez les employés chiliens, qui représentent 80 % du personnel de l'observatoire. Elle va durer dix-sept jours, avec une occupation du site. Pierre Cox hérite d'une situation difficile liée à des problèmes accumulés durant les années précédentes. Comment y faire face? En sa qualité de directeur d'un site géré par une organisation internationale, il n'a pas d'autorité directe sur les salariés chiliens. Pourtant, le site est sous sa responsabilité. «Je pense que j'ai gagné un certain respect auprès du personnel en allant sur le terrain, alors que ce n'était pas dans ma mission.» Son écoute, sa capacité à analyser les situations et à gérer des intérêts divergents vont aplanir la situation. Une ouverture d'esprit qu'il aide aussi, avec son don pour les langues, à naviguer dans les arcanes de l'organisation internationale d'ALMA. Souvent en déplacement aux quatre coins du monde, il trouve parfois pesant le côté administratif de sa mission. Mais ce qui fait toujours briller ses yeux, ce sont les résultats scientifiques inédits: «ALMA est une fête permanente», dit-il. Cela vaut bien quelques inconvénients! ■

Les bonobos restent sur la bonne voix

ZOOLOGIE



NATHANIEL HERZBERG

Faites le test. Passez à l'aveugle, à n'importe quel âge – suivant son âge quand même –, les voix de Gabin, Depardieu ou Vanessa Paradis. Ou, plus simplement, l'enregistrement d'un proche perdu de vue depuis plusieurs années. La reconnaissance est instantanée, la réaction immédiate. Propriété humaine? Eh bien, non! Une équipe de l'université de Saint-Etienne a réalisé la même expérience avec des bonobos (mais sans Michèle Morgan ni Joe le taxi). Le résultat, publié dans la revue *Scientific Reports*, est spectaculaire: même après cinq ans de séparation, les singes reconnaissent les vocalisations de leurs anciens compagnons.

Chez les grands singes de la forêt équatoriale, la voix présente une importance considérable. Les cris lointains permettent de transmettre divers messages, notamment d'alerte ou de reconnaissance, dans un milieu où la densité interdit toute communication visuelle. Quant aux cris proches, ils renseignent sur un état émotionnel, une intention, un statut, quand ils ne servent pas de ciment social, tels ces grognements contagieux qui marquent le contentement alimentaire du groupe. «Dans leur société complexe, les bonobos ont tout un panel de sons qui permettent une transmission lointaine et une propagation quasi instantanée de l'information», insiste Nicolas Mathevon, un des signataires de l'étude, professeur de biologie à l'université de Saint-Etienne. La mémoire des primates a elle aussi déjà fait ses preuves.

Les scientifiques français ont donc voulu combiner ces deux connaissances et tester la mémoire auditive des singes. La doctorante Sumir Keenan a retenu 15 individus âgés de 10 à 45 ans, issus de trois zoos européens. Chacun d'entre eux disposait, dans un des deux autres établissements, d'un compagnon avec qui il avait passé plusieurs années, avant de s'en voir séparé. Elle a enregistré leur voix. Puis la jeune scientifique a établi une minutieuse mise en scène, mimant tous les évé-



Les vocalisations sont un mode de communication essentiel chez les bonobos. SUMIR KEENAN

ments caractérisant l'arrivée d'un nouveau pensionnaire: la préparation de la cage d'accueil, la présence des soigneurs... «La capacité de ces animaux est telle qu'on ne peut pas lesurrer facilement», insiste Nicolas Mathevon. Même là, les manipulations n'ont duré qu'une journée dans chaque zoo. Après, ils comprennent qu'on se moque d'eux.»

Car dans la cage, ce n'est pas un animal mais un haut-parleur qui s'exprime. Dans l'enceinte voisine, en revanche, les vrais singes réagissent. Ou pas. Ceux qui se souviennent de la voix s'agitent, s'approchent. Les autres restent imperturbables. «La différence est spectaculaire», assure le biologiste. Sur 15 animaux, 13 se sont souvenus de voix éteintes depuis cinq ans. Il semble en revanche qu'à partir de six années d'éloignement la performance diminue. «Là, nous restons prudents car l'échantillon était très réduit, trois animaux», précise Nicolas Mathevon. Et même si ce constat était confirmé, il faudrait en déterminer la cause: oubli? désintérêt? évolution du cri?»

«C'est une très belle étude», insiste Sabrina Krief, maître de conférences au Muséum national d'histoire naturelle et commissaire de l'exposition «Sur la piste des grands singes», qui s'achèvera le 21 mars au Jardin des plantes, à Paris. Il faudrait la réaliser sur des chimpanzés, qui ont un système social légèrement différent. Et surtout essayer de la transposer en conditions naturelles, tant qu'il est encore temps.» Autrefois nombreux, les bonobos ne vivent plus que dans une zone de la République démocratique du Congo. Il en resterait entre 20 000 et 30 000. ■

Deux nouvelles techniques pour y voir plus clair

L'opacification de la cornée et du cristallin sont deux causes majeures d'atteinte de la vision. La greffe de cornée remédie à la première, mais le risque de rejet ne peut être écarté, tandis que le remplacement du cristallin par un implant artificiel en cas de cataracte congénitale n'est pas optimal, surtout chez les enfants dont l'œil est encore en croissance. La revue *Nature* du 11 mars présente deux techniques ayant recours aux cellules souches pour rendre leur transparence à ces deux éléments oculaires.

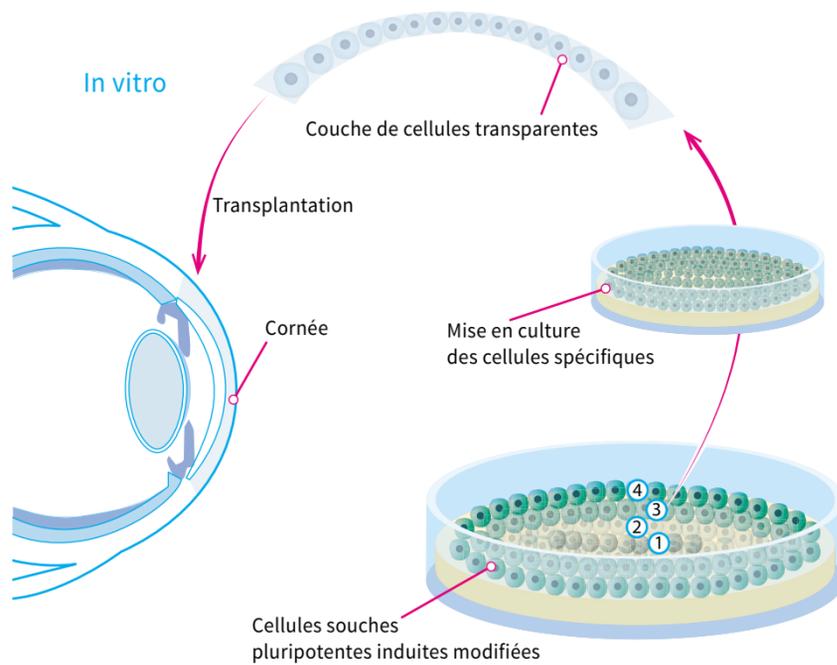
La première, proposée par Koji Nishida (université d'Osaka), modifie des cellules souches pluripotentes induites cultivées *in vitro* de façon à ce qu'elles se différencient en divers tissus mimant l'œil en développement. Certaines couches ont ensuite pu être implantées avec succès sur des cornées de lapins abîmées. L'autre technique, proposée par une équipe sino-américaine, a consisté à vider le cristallin du tissu opaque engendré par une cataracte, laissant les cellules souches épithéliales qui le tapissent le recoloniser et restituer sa transparence. Opération réussie chez douze enfants. Dans un commentaire dans *Nature*, Julie Daniels (University College, Londres) souligne l'intérêt de ces procédures, même si les questions de coût et de maintien fonctionnel à long terme restent à examiner. ■

HERVÉ MORIN

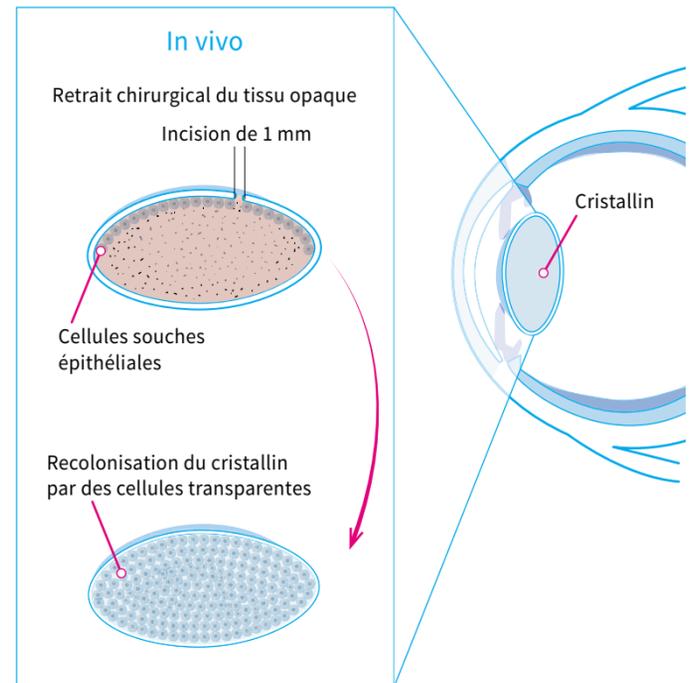
Un embryon d'œil *in vitro*

L'équipe japonaise a cultivé *in vitro* des cellules souches pluripotentes de façon à ce qu'elles se différencient de manière concentrique en quatre types cellulaires mimant chacun des tissus spécifiques de l'œil.

Les cellules de la troisième zone, isolées, ont pu croître pour former une couche transparente qui a ensuite pu être implantée sur des cornées de lapins qu'elle a permis de réparer.



INFOGRAPHIE : PHILIPPE DA SILVA



Un cristallin qui « repousse » *in situ*

Kang Zhang (université de Californie à San Diego) et ses collègues ont misé sur la capacité de cellules souches tapissant l'enveloppe interne du cristallin à recoloniser celui-ci pour lui rendre sa transparence, une fois les tissus opacifiés par la cataracte retirés par chirurgie. Pari réussi, même s'il a fallu trois mois pour que cette colonisation aboutisse chez des enfants, tandis que chez les personnes âgées ces facultés de régénération restent hypothétiques.

SOURCES : HAYASHI ET AL.; LIN ET AL.; DANIELS, NATURE

Spécialiste des interactions homme-machine, Laurence Devillers rappelle que nos capacités d'empathie peuvent conduire à s'illusionner sur les capacités réelles des robots. Leur irruption dans nos vies nécessite une réflexion éthique

Il faut se préparer à accueillir les robots

TRIBUNE

La victoire d'AlphaGo (Google DeepMind) sur Lee Sedol, l'un des tout meilleurs joueurs de go, relance les questionnements sur les promesses et les risques de l'avènement de machines intelligentes. Pourtant, l'exploit d'AlphaGo, vingt ans après Deep Blue victorieux face à Garry Kasparov, ne doit pas fausser notre vision de ce dont seront capables les robots qui s'invitent de plus en plus dans notre vie quotidienne.

Les robots et objets connectés vont intégrer nos foyers, tout comme les téléphones portables et les téléviseurs. Les premiers dans notre quotidien sont les aspirateurs capables de reconnaître des obstacles et se déplacer de façon autonome. Bientôt, nous pourrions parler à des robots assistants, comme on parle déjà à son téléphone. Au Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur (Limsi)-CNRS, nos recherches portent sur les interactions homme-machine. Un robot est une machine artificiellement intelligente grâce à des modèles informatiques conçus par des humains : pour peu qu'on l'ait programmée pour détecter et reconnaître des indices émotionnels et conversationnels et pour s'adapter à l'humain, voire faire de l'humour, cette machine peut sembler chaleureuse. Nous utilisons également des algorithmes d'apprentissage et des réseaux de neurones. Il est cependant moins facile d'apprendre des concepts comme les émotions et les stratégies de dialogue à partir de grands corpus de données, car ces concepts ne sont pas si faciles à formaliser.

Les enfants apprennent en expérimentant le monde. Pour un robot, la tâche est extrêmement difficile car il n'a ni instinct ni intentions pour prendre des décisions. La machine ne sait pas construire de façon autonome des représentations nouvelles devant une nouvelle tâche, en revanche elle peut imiter l'humain. Les robots ne ressentent rien, n'ont pas de conscience, même s'ils peuvent dire « je t'aime » ! Les machines seront de plus en plus autonomes grâce à des programmes d'intelligence artificielle sophistiqués, elles ne seront pas pour autant capables de sentiments, de créativité et d'imagination tel qu'on l'entend pour les humains. La machine ne peut pas se sentir « heureuse » car elle est dénuée de conscience phénoménale. Elle ne peut d'ailleurs pas « comprendre » le concept de bonheur. Lorsque AlphaGo bat le joueur de go, la machine ne comprend pas ce qu'elle fait.

Devant une question sans réponse, l'humain est incroyablement plus fort que la machine pour imaginer des solutions. Nous pouvons développer des machines plus intelligentes que nous pour des tâches spécifiques, ces machines pourront même accomplir des

actions impossibles pour l'homme. La machine est plus forte que l'humain pour effectuer des calculs complexes, et ce de plus en plus rapidement ! Elle est plus forte pour répondre à des questions encyclopédiques, pour reconnaître des personnes... car elle a une mémoire énorme ! Il faut exploiter ces capacités, sans en avoir peur, pour notre bien-être dans la société.

En 2060, 32 % de la population française aura plus de 60 ans, soit une hausse de 80 % sur une cinquantaine d'années, et la charge des maladies chroniques ira de pair avec le vieillissement de la population. Les robots, parfois humanoïdes afin d'évoluer dans notre habitat, pourront nous être très utiles pour rester à domicile. Ils auront des rôles différents dans notre quotidien : du surveillant à l'assistant ou au compagnon. La relation homme-robot sera souvent triangulaire, entre l'homme, le robot, et le personnel soignant ou la famille. De nombreuses applications pour la santé, la sécurité ou le divertissement sont

« La ressemblance avec l'humain ne pourrait aller que jusqu'à un certain point, si l'on en croit la théorie de la « vallée de l'étrange ». Car si l'on va trop loin, le moindre défaut devient monstrueux et la machine est rejetée »

envisagées. Les premières études d'interaction entre un robot et des personnes âgées menées avec des ergothérapeutes de l'association Approche dans des maisons de retraite (projet PSPC-Romeo, piloté par Aldebaran-Robotics avec les grands laboratoires français en robotique) ainsi qu'avec des gérontologues dans le *living lab* de l'hôpital Broca, à Paris, montrent un grand intérêt pour les robots et des réactions plutôt positives. D'ici cinq à dix ans, les seniors auront des connaissances en informatique et l'acceptation sera bien plus forte. De même, les personnels soignants auront compris que leur rôle sera d'autant plus valorisé grâce aux machines. Les médecins y voient déjà une avancée significative pour le suivi des patients.

Créer une relation affective avec les robots n'est plus un sujet de science-fiction. La ressemblance avec un être humain ou un animal, les mimiques faciales, le ton de voix, ou encore l'aspect enfantin ou peluche de

certain d'entre eux contribuent à susciter l'émotion. Cependant, il est possible d'éprouver des émotions en face de n'importe quel objet. L'humain projette aussi des relations affectives avec des robots non humanoïdes, dépourvus de capacités affectives, comme des robots téléguidés démineurs qui sauvent des soldats, ou encore des robots aspirateurs. Certains leur donnent des noms, preuve que l'humain projette une identité sur le robot. L'attachement est un lien affectif qui résulte de l'histoire commune.

La *media equation* de Reeves et Nass, en 1996, explique que nous appliquons les mêmes attentes sociales lorsque nous communiquons avec des entités artificielles. L'anthropomorphisme est l'attribution des caractéristiques comportementales de vie humaine à des objets. Ainsi, un objet qui semble ressentir de la douleur, comme le robot Atlas de Boston Dynamics, peut inspirer de l'empathie. Grâce à l'imagerie cérébrale, les chercheurs ont constaté que les humains en éprouvaient pour des robots maltraités, certes de moindre intensité qu'envers des humains maltraités, une empathie qui n'existe pas pour des objets inanimés. Mais la ressemblance avec l'humain ne pourrait aller que jusqu'à un certain point, si l'on en croit la théorie de la « vallée de l'étrange ». Car si l'on va trop loin, le moindre défaut devient monstrueux et la machine est rejetée.

L'interaction affective et sociale des humains avec des robots soulève plusieurs questions éthiques qui s'ajoutent aux questions générales de respect de la vie privée et de protection contre des actes malveillants. Les préconisations publiées par la Commission de réflexion sur l'éthique de la recherche en sciences et technologies du numérique (Cerna), de l'Alliance des sciences et technologie du numérique (Allistene) sur l'éthique du chercheur en robotique portent sur l'imitation du vivant et l'interaction affective et sociale avec les humains, l'autonomie et les capacités décisionnelles, et la réparation et l'augmentation de l'homme par la machine. Peu d'expériences ont encore été menées sur l'étude des usages à long terme.

Concevoir cet univers dans lequel les humains cohabiteront avec des entités complexes autonomes qui peuvent s'adapter va devenir une réalité. L'apparition des robots dans la société va de pair avec un grand nombre de défis légaux et sociétaux à résoudre, comme les problèmes de droit et de responsabilités et le partage du travail sur lesquels il faut se pencher : comment éduquer pour pouvoir créer du travail autour de ces machines ? quels nouveaux métiers ? quelles règles ? pour quelles tâches souhaitons-nous créer ces entités artificielles ? comment peuvent-elles nous aider sans prendre le travail des hommes et pour le bien-être de tous ? ■

Laurence Devillers est professeure à Paris-Sorbonne-IV. Elle dirige une équipe de recherche au Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur (Limsi)-CNRS : « Dimensions affectives et sociales dans les interactions parlées ».

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre ouverte au monde de la recherche. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr