

## **Le nouveau visage des jeux vidéo ..... 10**

**Leurrer l'intelligence artificielle ..... 34**

**L'impact de la viande in vitro ..... 38**

**Le secret de la licorne ..... 44**

**-3R-  
Comment réduire  
les essais sur les  
animaux  
page 25**

## World of Warcraft dans son CV

Le renversement est total: il y a encore une décennie, les jeux vidéo faisaient figure d'épouvantail. A cause d'eux, des adolescents s'isolaient dans un univers coupé de la réalité et devenaient violents. Cette vision simpliste et hystérique a laissé la place à des rapports normalisés avec cette culture émergente. Les experts relèvent volontiers le poids économique du domaine - plus grand que l'industrie du film -, alors que des hautes écoles helvétiques se profilent avec des cours en «game design».

Cette évolution va plus loin. Certains mettent désormais en avant leur expérience de jeux collaboratifs en ligne - les fameux MMORPG tels que World of Warcraft - dans leur CV. Avec une certaine logique: skyper avec un coéquipier coréen tout en sirotant un café, basculer d'une scène de combat à une carte stratégique, filtrer une avalanche d'informations ou encore s'investir toute la nuit pour atteindre son objectif et grimper au classement constituent autant de compétences exigées et désirées dans le milieu professionnel contemporain. On ne peut plus ignorer l'importance croissante de la culture numérique, de ses codes et de ses pratiques. Les adeptes des jeux vidéo partent avec une longueur d'avance: ils ont déjà appris à évoluer aussi bien dans les mondes réel que virtuel.

La science s'intéresse désormais aux bienfaits de la pratique des jeux vidéo. Mais il serait illusoire de penser que les gamers d'aujourd'hui seront forcément les employés modèles de demain. Cet espoir un peu naïf semble faire écho au malaise éprouvé vis-à-vis des bouleversements induits par la numérisation de la société. Face à l'inconnu, nous nous précipitons souvent sur le premier remède venu en lui attribuant des pouvoirs quasi magiques.

L'école mais aussi les parents auront ici un rôle crucial à jouer. Devant la passion de son enfant pour les mondes virtuels, l'appréhension, l'incompréhension ou l'indifférence doivent disparaître au profit d'un vrai échange. Afin de préparer au plus vite la nouvelle génération - ainsi que l'ancienne - à un monde réel qui ressemble certes de plus en plus à un jeu, mais dans lequel manquent cruellement les bonus, vies gratuites et autres boutons «restart».



Daniel Saraga, rédacteur en chef

# horizons

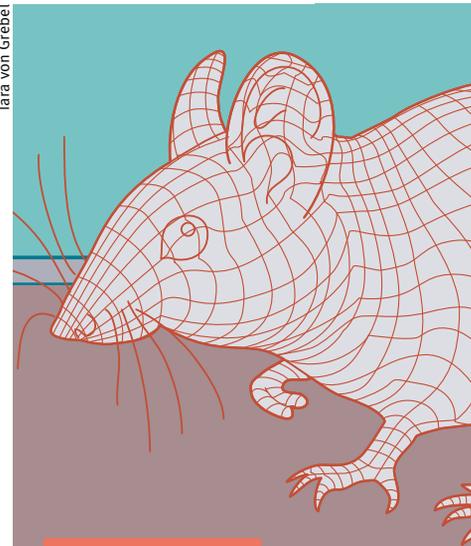
Lisez-nous  
en ligne!  
[revue-horizons.ch](http://revue-horizons.ch)





Shana de Neve

Point fort Jeux vidéo



Tara von Grebel

Science et politique

## 10

### L'honneur retrouvé du jeu vidéo

Ils engendrent de sérieux profits, arrivent sur les CV et font même avancer la science: les jeux vidéo doivent être pris au sérieux.

#### 13 **Le joueur, employé modèle du futur**

Les scientifiques n'étudient plus uniquement les dangers potentiels du gaming, mais découvrent ses bénéfices. En pleine mutation, le marché du travail s'y intéresse de plus en plus.

#### 18 **Une scène suisse qui détonne**

Fitness virtuel, design minimaliste et éthique pour banquier: les jeux Made in Switzerland ont de quoi surprendre.

#### 22 **La science en s'amusant**

Des protéines aux exoplanètes, les joueurs contribuent depuis dix ans à résoudre des problèmes scientifiques. Un bilan.

#### 24 **Globalisation à la chinoise**

Marc Laperrouza envoie des étudiants à Shenzhen, capitale du hardware.

#### 25 **Moins d'essais sur les animaux**

Les scientifiques s'efforcent de remplacer, réduire et raffiner l'expérimentation animale. Peut-on s'en passer entièrement?

#### 29 **«Nous devons être plus attractifs pour les jeunes»**

Le futur président des Académies des sciences dévoile ses points forts.

#### 30 **L'open access bute sur la loi**

La révision du droit d'auteur en Suisse ne favorise pas la dissémination du savoir.

◀ Couverture: Pong est l'un des premiers jeux vidéos commerciaux, apparu en 1972. Une icône culturelle détournée ici en un émoticône d'avant l'heure. Image: 2. Stock Süd

◀ Couverture intérieure: capturé par la photographe Shana de Neve, ce joueur plongé dans un univers invisible à notre regard donne un visage à une subculture à l'influence croissante: celle des gamers. Image: Shana de Neve

# 34

Curioso/Shutterstock



Environnement et technique

## 34 **Comment duper un algorithme**

Des scientifiques trompent volontairement des réseaux de neurones afin de mieux les comprendre.

- 37 **L'ombre endommage les panneaux solaires**
- Le cœur alimente son propre pacemaker**
- Du béton dans le scanner**

En image

- 6 Les chemins colorés de notre cerveau

Débat

- 8 Doit-on avoir le droit d'expérimenter avec ses propres gènes?

# 38

CANA atelier graphique



Biologie et médecine

## 38 **L'ersatz de viande au banc d'essai**

L'impact environnemental du steak in vitro est plus grand que celui des insectes.

- 40 **Un autre type d'études cliniques**
- Un statisticien doute des fondements de la médecine personnalisée.

- 41 **Alcool et médicaments, danger**
- Des rayons contre les tremblements**
- La lumière polarisée du scarabée**

Lieu de recherche

- 32 200 000 volts dans le labo

Comment ça marche?

- 49 Trouver son public grâce aux données mobiles

# 42

Valérie Chérelat



Culture et société

## 42 **Le politologue politicien**

Romain Felli mélange théorie à l'Université et pratique au Conseil communal.

- 44 **Le secret de la licorne**
- Un bestiaire chrétien explique la symbolique des animaux.

- 46 **Rhétorique et violence d'Etat**
- Les conflits servent de prétexte pour se retourner contre la population.

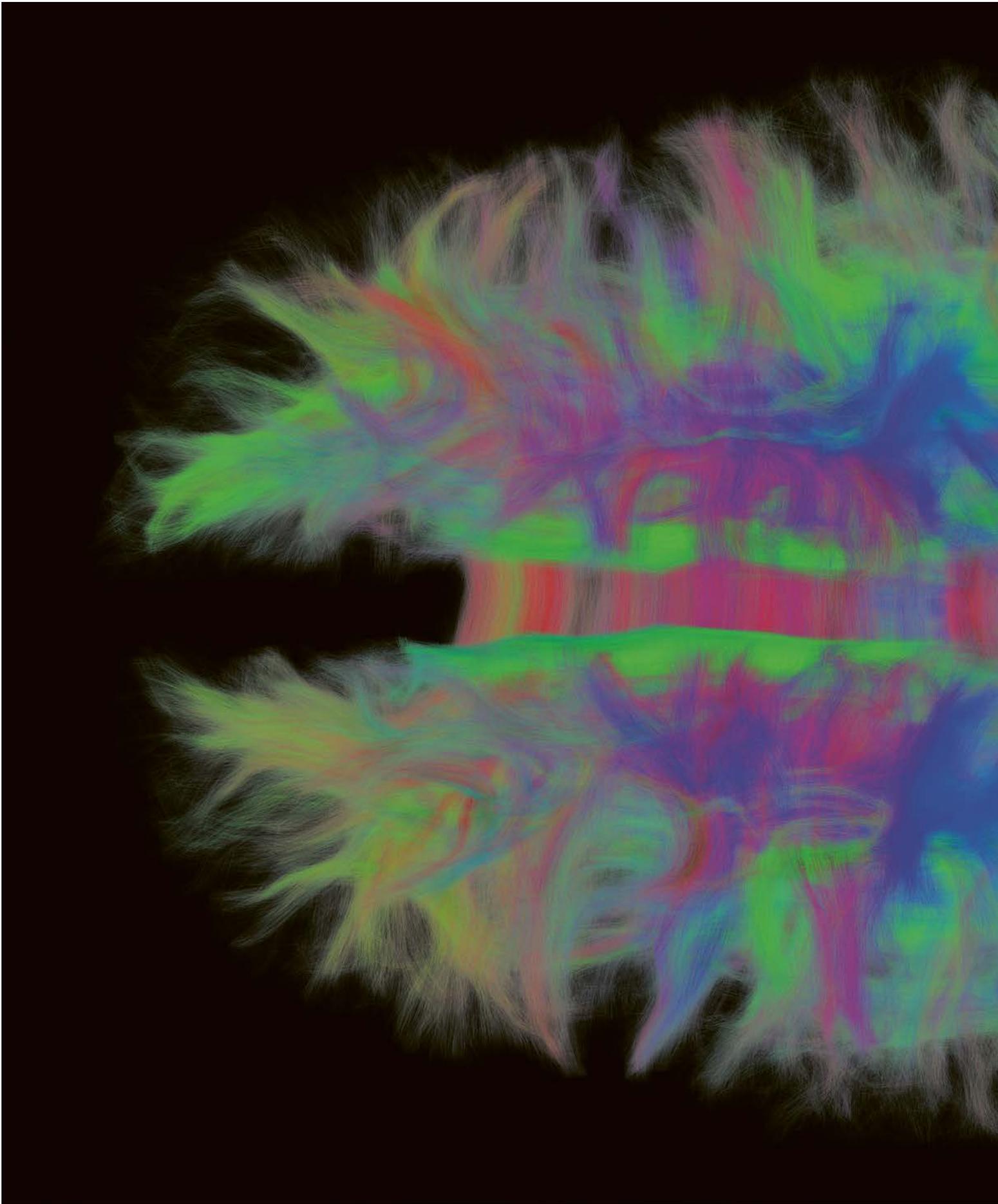
- 48 **Fêter comme les Romains**
- Ce qui influence l'octroi de l'asile**
- 80 groupes armés en guerre**

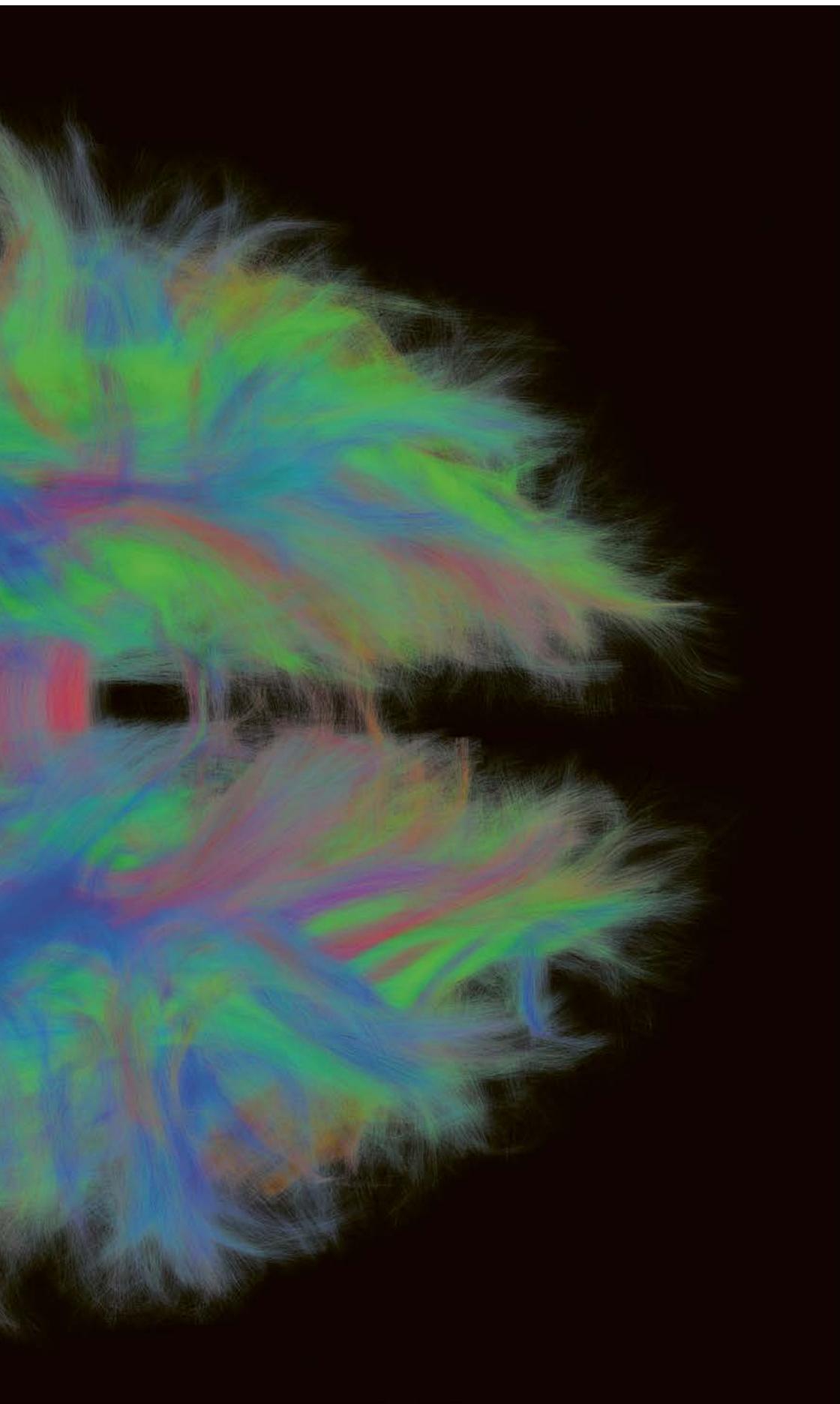
Verbatim

- 50 Le travail en mutation

En direct du FNS et des Académies

- 51 Une plateforme autour du vieillissement





## La matière blanche en couleur

Cette peinture en forme de noix, c'est notre cerveau, vu d'en haut. Les couleurs indiquent la direction suivie par les flux d'informations: longitudinale en vert, transversale en rouge et verticale en bleu. Le corps calleux, qui relie les deux hémisphères, est bien visible en rouge au centre de l'image.

L'image a été réalisée par Gabriel Girard, chercheur postdoctoral au Laboratoire du traitement de signaux 5 à l'EPFL, grâce à la tractographie. Cette méthode rend possible la mise en évidence de la substance blanche du cerveau. Celle-ci est composée par les axones, le prolongement principal de chaque neurone qui le relie aux autres. La fameuse matière grise, elle, comprend essentiellement le corps cellulaire des neurones.

«Ces images révèlent dans quelle direction se propage l'information dans le cerveau, explique le chercheur québécois. Elles permettent de regrouper des tissus et de cartographier les régions du cortex. Surtout, elles montrent de quelle façon ces dernières sont reliées entre elles et contribuent ainsi à ce qu'on appelle la connectomique.»

La tractographie fonctionne avec l'IRM de diffusion. Cette technique d'imagerie ne révèle pas l'emplacement des molécules d'eau, à l'instar d'une IRM classique, mais leur mouvement. Etant donné que les molécules se déplacent avant tout le long des axones, elle permet de les retracer.

«Cette image n'est qu'une première étape, poursuit Gabriel Girard. Avec mon équipe, nous caractérisons les axones plus en détail, tel leur taille ou leur nombre, et cherchons à établir des liens avec des maladies.» Une dégénérescence locale des tissus neuronaux par exemple peut influencer sur la transmission des signaux, ce qui pourrait être mis en évidence par la tractographie.

«J'aime montrer ce genre d'images. Elles suscitent souvent la curiosité et des questions. C'est une bonne porte d'entrée sur mon travail et m'aide à expliquer ce que je fais – même à des non-spécialistes.»  
*Daniel Saraga*

Image: Gabriel Girard/EPFL



Abbey Goldman (photomontage)

«Refuser à quelqu'un le contrôle de son génome revient à affirmer qu'il nous appartient.»

## Faut-il avoir le droit de modifier son propre génome?

Des biologistes amateurs commencent à tester des techniques du génie génétique sur eux-mêmes. Pouvoir transformer son ADN est-il un droit humain?



Manu Friederich

«La liberté de s'automanipuler va à l'encontre de la réalité sociale actuelle.»

Je procède à des expériences dans le domaine de la génétique. Atteint depuis des années à soigner les maladies génétiques des chiens, j'ai aussi travaillé sur mon propre corps. J'ai temporairement ajouté de nouveaux gènes à une poignée de mes cellules, mais ce n'est qu'une préparation à quelque chose de plus important.

Je suis un biohacker: je modifie des gènes dans un laboratoire installé chez moi. Ma première expérience sur l'homme reproduira un essai clinique de la Ohio State University en 2008 où des patients souffrant de dystrophie musculaire ont reçu des copies supplémentaires du gène humain de la follistatine. Cette manipulation génétique augmente la masse musculaire et réduit la masse grasse. Elle a entraîné chez les souris un accroissement de la durée de vie de 15%. Cela est dûment documenté. Je veux profiter personnellement de cette amélioration. De riches adeptes du tourisme médical peuvent déjà bénéficier de cette méthode pour un million de dollars environ. Je n'aurai pas à payer un tel prix.

Les biohackers forment une communauté informelle organisée à l'échelon mondial nourrissant la conviction que les technologies du génie génétique appartiennent à chacun. C'est pourquoi nous travaillons en open source et partageons tout avec le reste du monde, les succès comme les échecs. Nous partons de l'idée que la recherche et le développement à l'état pur doivent être les plus transparents et ouverts que possible.

Les thérapies géniques do-it-yourself (DIY) constituent la suite logique des tests génétiques Direct-to-Consumer qui se sont imposés avec succès il y a quelques années. Qui peut effectuer un diagnostic à titre privé doit aussi avoir la possibilité de se soigner lui-même. Les imperfections de la nature humaine préoccupaient déjà Platon. Le vieux rêve de remédier à ces défauts a débouché sur les programmes de politique eugéniste à grande échelle des technocrates nord-américains, du stalinisme et du national-socialisme. Désormais banni, l'eugénisme se dissimule dans le contexte politique actuel sous le concept de «self-enhancement» (ndlr: auto-amélioration). Au travers de cette expression, on prétend que les biotechnologies permettent d'accéder à un «bien» (le «eu» d'eugénisme) choisi librement («self»). Ce bien est notoirement considéré dans les sociétés libérales comme relevant de la sphère privée et qui, partant, est soustrait à des interventions de l'extérieur.

La rhétorique de la libération qui accompagne les biotechnologies modernes a déjà été démasquée par Michel Foucault comme une intériorisation des pressions politico-économiques incessantes exercées en vue d'une hausse de la productivité. La prétention que le désir de se perfectionner est spontané et authentique est plus naïve que

Notre corps et notre génome n'appartiennent qu'à nous. Personne n'est autorisé à nous dicter ce que doivent être nos gènes. L'autodétermination s'agissant de son corps est un droit humain essentiel, et le génome constitue probablement son bien le plus personnel qui soit. Sous l'angle de la liberté individuelle, il n'y a peut-être pas de droit plus fondamental que celui d'être ce que nous souhaitons devenir, et cela jusqu'au niveau moléculaire.

## Oui

dit le biohacker David Ishee.

Dénier ce droit est facile au nom de l'argument qu'il n'existait pas dans le passé. Je répondrai que nous avons toujours eu ce droit, mais pas les moyens d'en faire usage. Dès lors que des techniques nouvelles d'édition des gènes telles que CRISPR nous ouvrent cette possibilité, nous devons accepter le fait que chacun dispose du droit de déterminer son propre génome.

Il y a certes des risques. Mais comme ils ne concernent que moi, je devrais être libre de les prendre. Et je ne suis pas le seul dans mon cas. De nombreuses personnes aspirent à modifier des parts d'elles-mêmes grâce à cette technologie. Certaines souffrent de maladies génétiques et n'ont plus beaucoup

de temps à vivre. Faute de traitement, elles ont décidé d'être leur propre sauveur. D'autres souhaitent simplement faire ce qu'elles veulent de leurs gènes. Elles travaillent toutes à affiner les techniques et à rendre cette technologie plus facile à utiliser, moins chère et plus sûre.

Il est essentiel de ne pas dénier ce droit humain fondamental aux individus. Leur refuser le contrôle de leur propre génome reviendrait à affirmer que celui-ci nous appartient. Nous ne revendiquerions alors pas seulement un droit sur leur corps, mais prétenderions posséder ce qu'ils sont. Une voie dangereuse.

Une nouvelle chance s'ouvre à l'humanité, à savoir celle de changements aux implications profondes et prometteuses d'un avenir magnifiques. Je me réjouis à la perspective d'une humanité plus diversifiée et plus saine. Nos gènes ne seront plus le fruit du hasard mais un choix conscient. La question n'a jamais été de savoir si les gens ont le droit de modifier leur génome, mais bien celle-ci: pourquoi quelqu'un peut-il s'arroger le droit de décider des gènes d'autrui? En bref, maintenant que le choix existe, quels gènes souhaiteriez-vous avoir?

David Ishee est un biohacker du Mississippi (Etats-Unis) et éleveur de chiens.

Oui, dit aussi la bioéthicienne Effy Vayena.  
A lire sur [www.revue-horizons.ch/debat116](http://www.revue-horizons.ch/debat116)

l'aspiration à entreprendre cette démarche. En fait, on tombe ici dans une sorte de «genetical correctness» qui apparaît sous une lumière crue lorsqu'on étudie les décisions en matière de diagnostic préimplantatoire et de diagnostic prénatal. De même, le biohacking aux allures subversives ne fait qu'offrir une variante aventureuse de l'autodiscipline encouragée par la politique de la santé.

## Non

dit Frank Mathwig de la Commission nationale d'éthique.

Portée par le credo libéral en matière génétique, la liberté de s'auto-manipuler fait fausse route. Elle va à l'encontre de la réalité sociale actuelle, comme le prouvent les scandales de dopage à répétition dans le sport. L'ego bricolé viole les principes démocratiques de justice et d'équité. Cela concerne aussi la question de la prise en charge des conséquences négatives d'auto-manipulations. Les faire supporter par les assurances sociales et le système de santé relève de la logique de ce capitalisme sauvage qui veut qu'on privatise les profits et

mutualise les pertes. C'est la ruine de l'Etat social. Et l'idée que le DIY serait un moyen de combattre les maladies ne conviendrait pas à ceux qui ont déjà déclaré la faillite de tout modèle de société solidaire. Si l'on reconsidère la reproduction, qui est bien la génétique originelle et lors de laquelle on ignore si et comment des manipulations génétiques des parents pourraient se répercuter sur leurs enfants - il devient évident que l'«auto» apparaissant dans les expressions telles qu'«auto-amélioration» et «auto-manipulations» débouche sur un «auto-aveuglement» fatal.

On relèvera non sans ironie que l'entreprise Open Discovery Institute, qui livre des outils d'ingénierie génétique aux biohackers, opère sous le nom de «The Odin». C'est la divinité principale de la mythologie nordique, dieu de la guerre et de la mort, dénommée Wotan chez les Germains. Se prendre pour Dieu est un jeu où l'on ne gagne pas, même dans un mouvement de démocratisation moderne de fantasmes divins.

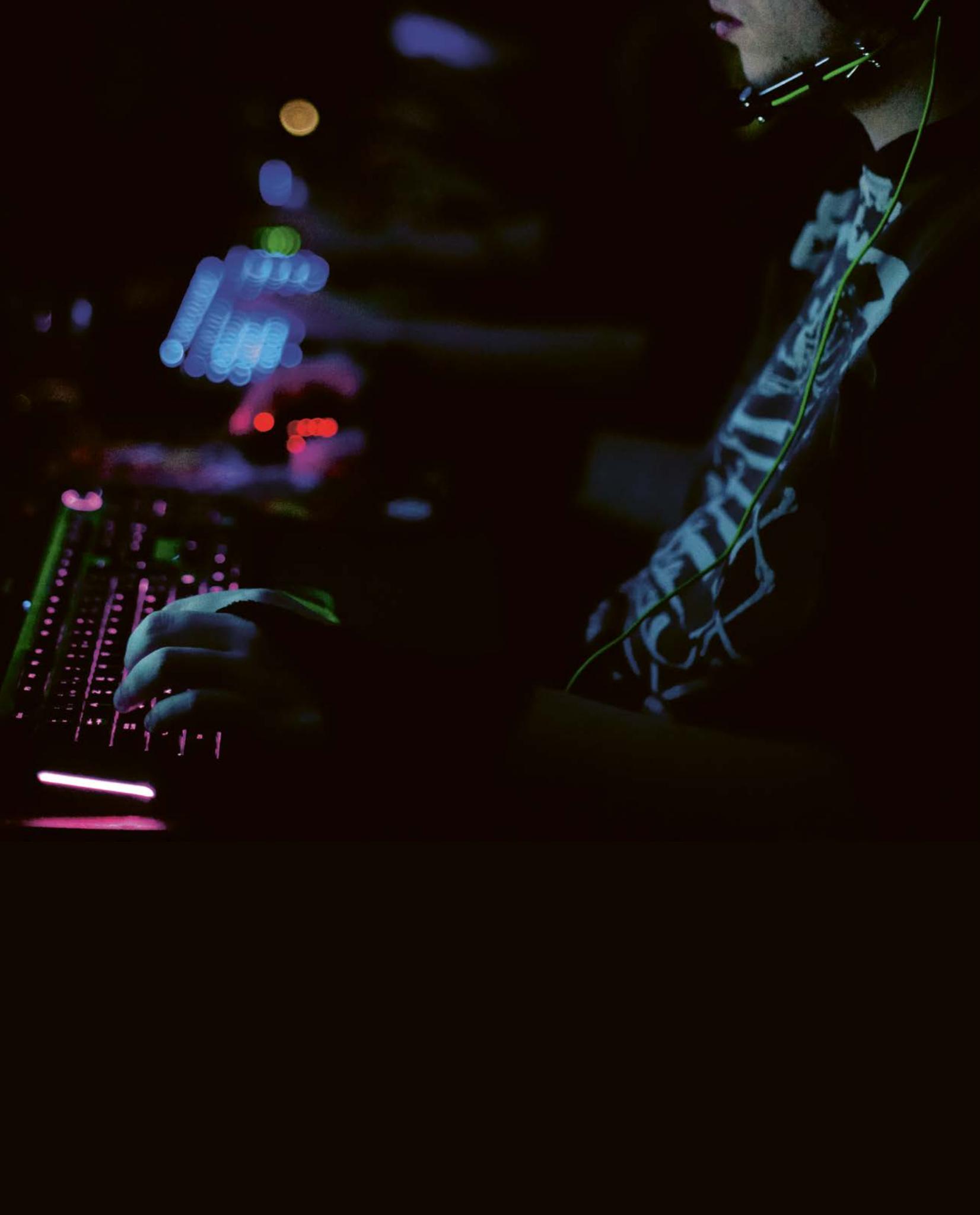
Le théologien et éthicien Frank Mathwig est membre de la Commission nationale d'éthique dans le domaine de la médecine humaine. Il travaille à l'Université de Berne et à la Fédération des Eglises protestantes de Suisse.



Les gamers se confrontent aujourd'hui à des pratiques professionnelles qui nous attendent demain. Enquête sur un phénomène de masse peu connu que l'on ne peut plus ignorer.



# Une armée de l'ombre à la conquête du futur



# Les avantages cachés du gaming

La génération des digital natives débarque sur le marché du travail. Les heures passées à jouer devant un écran pourraient bien les préparer aux défis de demain.

Par Yvonne Vahlensieck

**L**es nouveaux héros du sport n'ont que faire de chaussures à crampons ou de raquette de tennis. On les trouve assis devant un écran, ultra-concentrés, à contrôler adroitement des personnages dans un monde virtuel. Les compétitions de jeux vidéo, ou e-sport, remplissent d'immenses salles, avec des prize money atteignant des millions. Pour l'élite des joueurs professionnels, les longues heures d'entraînement devant un ordinateur sont rentables.

Mais qu'en est-il des amateurs, comme les deux tiers des jeunes Suisses qui jouent régulièrement à des jeux vidéo, selon une étude de la Haute école des sciences appliquées de Zurich? Longtemps considérés par les adultes comme une perte de temps, les jeux vidéo représentent peut-être un investissement pour un marché du travail en pleine mutation. L'intelligence artificielle et la robotique pourraient entraîner la suppression de la moitié des emplois, tandis que de nombreux postes situés à l'interface entre l'homme et la machine voient le jour. Les gamers partent-ils avec un avantage dans ce nouveau monde du travail?

## Plus rapide, plus précis

Une chose est claire: jouer est déjà un atout dans quelques professions. Les chirurgiens opèrent souvent assis devant un écran, en pilotant des instruments à l'intérieur des corps. Ces interventions par laparoscopie demandent de solides facultés de représentation spatiale et une bonne coordination entre l'œil et la main. Des études indiquent que les étudiants en médecine ayant passé une partie de leur jeunesse devant des jeux vidéo opèrent plus rapidement et commettent moins d'erreurs.

Une influence positive a été également notée chez les pilotes. Une grande partie de leur formation se déroule dans des simulateurs très similaires à ceux destinés au grand public. Les pilotes de drone, qui dirigent par ordinateur des engins volants non habités, devraient également bénéficier d'une expérience de jeux vidéo. La principale différence est de survoler des paysages non pas virtuels mais réels.

Le père de l'expression «digital natives», le spécialiste en sciences de l'éducation Marc Prensky, avait postulé que le temps passé devant un ordinateur modifie la structure du cerveau. Selon lui, les enfants du numérique réfléchissent, traitent l'information et abordent les problèmes de manière différente.

Une analyse systématique de la littérature scientifique a confirmé que les jeux vidéo influencent les capacités cognitives. La neuropsychologue genevoise Daphné Bavelier est une pionnière du domaine. Ses travaux se concentrent sur les jeux de tir. «Ils sont extrêmement complexes et variables, explique-t-elle. Les joueurs doivent garder de nombreux objets à l'œil simultanément et sont constamment bombardés de nouvelles informations.»

Une approche de recherche typique consiste à comparer les utilisateurs réguliers de jeux d'action à des personnes qui n'en ont aucune expérience. Mais les résultats risquent d'être faussés par des facteurs inconnus, notamment le fait que les personnes avec une meilleure acuité visuelle pourraient s'adonner plus volontiers et plus souvent aux jeux vidéo. Les chercheurs mènent donc également des études dans des conditions contrôlées: ils sélectionnent des personnes sans expérience et

Avec son reportage «Gamer», la photographe belge Shana de Neve fait découvrir des mondes méconnus: celui des LAN parties rassemblant des centaines de participants, ou encore celui de l'intimité des joueurs chez eux.

## Certains candidats à un emploi indiquent sur leur CV leur expérience en jeu vidéo.

les séparent en deux groupes. Le premier se voit assigner un jeu d'action comme Call of Duty, auquel il consacre par exemple 50 heures réparties sur douze semaines. L'autre joue durant la même période à un jeu de simulation tel The Sims qui ne contient pas d'éléments d'action. Les participants effectuent des tests cognitifs avant et après.

Daphné Bavelier et ses collègues ont constaté l'amélioration de nombreuses compétences chez les joueurs de jeux d'action. Tous les niveaux des processus cognitifs sont influencés, de la simple perception aux réflexions complexes. Ils distinguent mieux les différents degrés de gris et parviennent à suivre davantage d'objets en mouvement en bordure de leur champ visuel. Ils assimilent les informations et réagissent plus rapidement, affichent de meilleurs résultats dans la prise de décision et la résolution de problèmes. Ils naviguent aussi plus rapidement entre deux tâches ou parviennent mieux à mener différentes actions simultanément.

Daphné Bavelier estime que ces effets positifs découlent de l'attention sélective, soit la capacité, face à une multitude d'informations et d'impressions, à se concentrer sur une tâche et à occulter ce qui n'est pas essentiel. Autre résultat important: les compétences acquises grâce aux jeux d'action sont transposées dans des situations réelles. Daphné Bavelier est persuadée que cela constitue un avantage pour le nouveau monde du travail: «Au final, presque tout ce que nous faisons au XXI<sup>e</sup> siècle repose sur l'interaction avec les ordinateurs.»

### Jouer au bureau

Le monde des affaires connaît les effets positifs des jeux vidéo depuis longtemps et soutient l'introduction d'éléments de jeu, une tendance appelée «gamification». «Avec l'arrivée de joueurs expérimentés dans le milieu professionnel, l'idée d'utiliser des jeux pour apprendre ne semble plus totalement étrange», écrivent les développeurs américains David Edery et Ethan Mollick dans leur ouvrage sur l'usage des jeux vidéo dans l'économie. A leurs yeux, combiner travail et jeu n'est plus contradictoire: les «serious games» devraient à l'avenir permettre d'optimiser les processus, aider les employés à apprendre et améliorer le travail d'équipe. Dans le meilleur des cas, certains jeux pourraient même

rendre des tâches pénibles agréables. David Edery et Ethan Mollick citent par exemple une entreprise qui a spécialement créé un jeu pour motiver ses employés à tester la nouvelle version d'un logiciel.

L'armée américaine a visé en plein dans le mille avec son jeu de tir à la première personne America's Army. Le joueur y effectue la formation d'un soldat et remplit des missions proches de la réalité. L'objectif de la démarche est de donner une image réaliste de l'armée et de trouver de nouvelles recrues qui correspondent aux attentes. Le jeu est désormais aussi utilisé à des fins de formation. Certes, déboursier des millions pour un jeu vidéo sur mesure n'est pas à la portée de toutes les entreprises. Mais David Edery et Ethan Mollick estiment que même des jeux simples d'énigmes ou de simulation peuvent améliorer la productivité et le plaisir au travail.

Dominik Petko, expert en pédagogie des médias à la Haute école pédagogique de Schwyz, souligne l'important potentiel des «serious games» pour l'école et la formation. «Certains sont très bien faits et permettent notamment d'apprendre à des élèves de 2<sup>e</sup> primaire à résoudre des équations linéaires.» Mais d'autres ne présentent aucune utilité. «Notre question est la suivante: quels sont les éléments et les principes de conception des jeux efficaces, par rapport à ceux qui le sont moins?»

Ses recherches comparent en classe les effets sur l'apprentissage de différentes variantes d'un même jeu: dans l'une, il n'est pas possible de récolter des points; dans une autre, les personnages plutôt mignons sont absents. Le but est d'aboutir à un jeu qui captive les participants tout en laissant assez de place pour le processus d'apprentissage. Il est important que les tâches ne soient ni trop faciles ni trop difficiles, et que le jeu s'adapte automatiquement aux compétences, note Dominik Petko.

### La morale ludique

L'Université de Zurich teste actuellement une autre application de cette approche: non pas l'apprentissage de contenus, mais le développement d'une conscience éthique. «En forçant un peu le trait, on peut dire que l'éthique est souvent enseignée de manière distante et ennuyeuse: des gens s'assoient ensemble et discutent...», explique le spécialiste Markus Christen. Il a développé avec Carmen Tanner un «serious

## «Presque tout ce que nous faisons au XXI<sup>e</sup> siècle repose sur l'interaction avec les ordinateurs.»

Daphné Bavelier

moral game» afin de transmettre des valeurs éthiques dans la branche de la finance (voir «Leçons d'éthique à la banque», p.19).

En tant que conseiller d'une grande entreprise, le joueur doit affronter des situations épineuses sur le plan éthique, par exemple liées à la confidentialité des informations. «Avec cette immersion, il en apprend davantage sur lui-même et sur la moralité de ses actions qu'en réfléchissant uniquement de manière abstraite», souligne Markus Christen. Mais ce dernier ne pense pas que jouer suffise: il est probablement aussi important que la personne réfléchisse par la suite à son comportement durant le jeu, une hypothèse en cours de test. L'équipe crée par ailleurs un jeu similaire pour l'enseignement de l'éthique aux étudiants en médecine, en abordant les conflits d'intérêt auxquels les praticiens sont confrontés dans leur quotidien.

Ces projets reposent sur le constat que les jeux vidéo peuvent influencer positivement non seulement les capacités cognitives, mais aussi le comportement social. C'est ce que montre une étude du psychologue social Tobias Greitemeyer de l'Université d'Innsbruck. Il a demandé à des personnes de jouer à des jeux «prosociaux» tels que Lemmings qui consiste à protéger des petites créatures sans défense. Un

groupe de contrôle s'est consacré à Tetris, un jeu neutre. Lors de tests, les membres du premier groupe se sont montrés plus serviables que ceux du second. D'autres recherches similaires ont confirmé que les jeux vidéo prosociaux favorisent un comportement social. Selon Tobias Greitemeyer, des études à plus long terme indiquent que les effets positifs persistent même si les jeux vidéo ne représentent qu'un facteur parmi de nombreux autres.

### Nouvelles formes de travail en équipe

Nombre d'entreprises tirent déjà parti de ces conclusions et font jouer leurs employés à des jeux vidéo collaboratifs dans l'espoir qu'une bonne équipe à l'écran coopérera efficacement au bureau.

Les MMORPG (pour Massively Multiplayer Online Role-Playing Games) tels que World of Warcraft sont particulièrement intéressants, avec la participation simultanée de centaines de joueurs. Les personnages forment des équipes afin de combattre des ennemis communs et tissent des amitiés en ligne. Les psychologues estiment que de nouvelles formes de collaboration et de leadership se développent dans ces mondes virtuels.

L'étude Virtual Worlds, Real Leaders commandée par IBM identifie certains

### Jeux vidéo et violence: une relation contestée

Les jeux vidéo augmentent-ils la propension à la violence chez les jeunes? La question suscite un âpre débat de longue date. Ces dernières années, plusieurs méta-études ont toutefois conclu que les jeux vidéo n'ont qu'un effet modeste, ou pas d'effet du tout, sur le comportement agressif des jeunes. Pour l'expert en jeux vidéo suisse Marc Bodmer, il s'agit pour ainsi dire d'une «affaire classée».

Elles n'ont pas davantage démontré de liens entre jeux vidéo et crimes violents. «Les jeux vidéo ne jouent qu'un rôle minime, voire aucun rôle, dans le risque de devenir un tueur forcené», commente Marc Bodmer. La propension à la violence est déterminée de manière prépondérante par d'autres facteurs,

comme la violence domestique ou la consommation d'alcool ou de drogues. En Allemagne, le monde politique a déjà réagi: «Bien que le pays dispose d'une des lois de protection de la jeunesse les plus sévères, on n'y met presque plus de jeux vidéo à l'index, et ils sont autorisés à partir de 18 ans en version intégrale.»

D'autres méta-études établissent toutefois une relation claire entre jeux vidéo et agressions. Ces résultats contradictoires proviennent surtout du fait que les chercheurs sélectionnent les études individuelles pour leur analyse sur la base de critères différents et les évaluent de diverses manières. Dans la communauté scientifique, la controverse est loin de toucher à sa fin.

## Les jeux vidéo peuvent influencer positivement les capacités cognitives tout comme le comportement social.

éléments caractéristiques des équipes des MMORPG. Les structures de commandement ne sont souvent que temporaires, avec une personne différente qui prend la direction du groupe en fonction de l'objectif à atteindre. Les erreurs y sont tolérées; on peut simplement recommencer depuis le début. De fait, les meneurs d'équipe montrent davantage de courage dans leurs décisions et sont plus enclins à assumer des risques. Lors de postulations pour un emploi, certains candidats n'hésitent plus à indiquer sur leur CV leur expérience avec les MMORPG - comme preuve de leur aptitude à affronter le monde du travail du futur -, rapportait le magazine Forbes.

Aujourd'hui déjà, de nombreuses personnes travaillent à domicile et ne communiquent que de manière virtuelle avec leur équipe. Un remède contre cet isolement croissant au travail se profile: l'utilisation de logiciels de réalité virtuelle pour donner le sentiment aux collaborateurs qu'ils sont assis dans la même salle, même s'ils se trouvent éparpillés aux quatre coins du monde. La réalité virtuelle aidera également à imaginer de nouveaux produits, à tester des prototypes ou à visualiser des données. Le PDG de Facebook Mark Zuckerberg se disait convaincu que «ce type de réalité augmentée immersive fera un jour partie de la vie quotidienne de milliards de personnes». Il semble inévitable que les travailleurs du futur devront y trouver leurs marques. Avec leurs lunettes de réalité virtuelle sur le nez, les jeunes gamers s'y préparent déjà.

Yvonne Vahlensieck est une journaliste indépendante installée près de Bâle.

### Accros à Internet

Officiellement, l'addiction aux jeux vidéo n'est pas – encore – une maladie: la dernière édition du DSM, le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, ne mentionne les «troubles liés aux jeux vidéo en ligne» qu'en annexe et note que le sujet exige des recherches complémentaires. Le groupe d'experts Cyberaddiction en Suisse, mandaté par l'Office fédéral de la santé publique, estime que les données épidémiologiques sur l'usage problématique d'Internet «restent encore très modestes» et met en garde contre une dramatisation. Mais l'OMS prévoit de considérer ces troubles comme une maladie.

Une étude de la Haute école des sciences appliquées de Zurich (ZHAW) constate, elle, un usage problématique d'Internet chez près de 9% des jeunes Suisses, ce qui pourrait présager un comportement addictif. Les membres de ce groupe à risque jouent aussi plus souvent aux jeux vidéo. Selon les experts, le danger survient lorsqu'il ne reste plus assez de temps pour dormir, manger ou pour l'école, et lorsque le monde virtuel devient le centre de leur existence.

La ZHAW plaide pour une prévention accrue. Elle suggère d'offrir des occupations alternatives dans lesquelles les jeunes peuvent se sentir compétents, sans devoir chercher leurs expériences de succès uniquement dans le gaming.



## L'évolution pour les nuls

C'est une question de survie, mais aussi de patrimoine génétique et d'évolution. Le but de Niche est de créer des animaux capables de s'adapter. Dans ce monde cruel, des créatures mignonnes ressemblant à des lapins finissent dans l'estomac d'ours-hyènes un peu vils. Il faut donc vite faire évoluer ses créatures pour leur donner une chance de se défendre contre les prédateurs, de résister aux maladies et de s'adapter au changement climatique. Sans expérience, nos bestioles ne survivent pas longtemps. Aux joueurs de découvrir quelles caractéristiques s'avèrent bénéfiques et comment les favoriser.

Philomena Schwab a créé Niche à partir de son travail de bachelor et master à la Haute école d'art de Zurich. Et figure depuis dans la liste de Forbes des 30 Européens de moins de 30 ans les plus influents du secteur technologique.

## Entre tracteurs, magie et morale

## SIMULATION

### Le paysan numérique

Vos terres font quatre kilomètres carrés. A vous de gérer les cultures, les étables et les forêts; de semer, fertiliser et récolter; d'élever moutons, vaches et porcs. Il faut vendre céréales et bétail, investir en machines et déployer au mieux son personnel. La précision des détails – notamment des machines agricoles – est remarquable. On s'immerge petit à petit dans un monde artificiel paisible, bien éloigné des débats politiques actuels autour des pesticides ou de l'élevage intensif.

Le projet Farming Simulator a commencé il y a dix ans lorsqu'un ami du développeur Stefan Geiger, de Giant Software, lui a dit avoir une envie: pouvoir parcourir une ferme sur un tracteur virtuel. Aujourd'hui, c'est le jeu suisse le plus vendu: à la sortie de la dernière version, la 17e, un million d'exemplaires sont partis en un mois.

Pour répondre aux souhaits des fans, les développeurs ont introduit trois échelons de fertilisation et permettent la construction de nouvelles machines. Utile pour récolter cannes à sucre et autres cultures virtuelles.

Avec ses créations étonnantes, la Suisse se démarque sur la scène internationale des jeux vidéo. Une sélection.

*Par Hubert Filser*



**Farming Simulator 17**

## COOPÉRATION Jeu d'équilibre en 19 langues

La tâche est simple: empiler des pavés et cylindres de différentes tailles. Il s'agit d'un laboratoire ludique où l'on peut essayer diverses variantes, un monde expérimental qui ne cesse de s'élargir. Mais on n'en découd pas seulement avec les lois de la physique, la gravitation ou des champs magnétiques sournois. Dreii délivre un message plus profond: il y a un point dans le jeu où l'on ne peut plus avancer seul. Un bloc est trop lourd pour un joueur unique. On a besoin des autres. «Les joueurs voient concrètement les bénéfices de

l'aide mutuelle», relève Christian Etter, du studio de design zurichois Etterstudio. «Nous, les humains, devons développer une autre idée de nous-mêmes.»

Pour communiquer entre eux, les joueurs peuvent choisir des expressions en 19 langues, de l'arabe au hindi en passant par le suisse-allemand. Cela a aussi valeur de symbole: les joueurs font partie du monde globalisé mais sans perdre leur identité locale. Les lignes simples et claires du jeu s'inspirent du design minimaliste suisse.



## GAMIFICATION La gym connectée

Avec Valedo, les développeurs de l'entreprise zurichoise Hocoma ont créé un jeu pour accompagner leur ambitieux programme de musculation du dos et motiver l'utilisateur dans ses exercices. Vous vous collez sur la poitrine et au bas du dos deux capteurs de mouvements, mettez en route le programme sur votre tablette et commencez l'entraînement. Les chips transmettent la position du corps par Bluetooth à un avatar qui bouge sur l'écran. Ce robot de vol plutôt mignon montre les progrès accomplis dans

l'exercice programmé. Il en existe plus de cinquante.

L'avatar reproduit vos mouvements. Il évite les obstacles rencontrés dans des canyons ou sous la mer. Une sorte de rayon conducteur montre le chemin; le suivre fidèlement vous rapportera davantage de points. Les exercices se compliquent petit à petit, et le tout fonctionne comme un simple système de récompense. «Le jeu sert à la motivation», indique Mike Fuhrmann de Hocoma. Une gamification réussie.



## GESTION Leçons d'éthique à la banque

Comment encourager les comportements éthiques dans le monde de l'économie? Le joueur du «serious game» Ufin incarne un manager d'une banque interplanaire. Sa mission: surveiller une filiale où tout ne va pas au mieux et évaluer ce qui s'y passe. Le bilan pourrait être falsifié, les collaborateurs avoir des problèmes personnels ou une escroquerie être en cours. Le jeu fonctionne essentiellement par les dialogues, utilisés pour réunir des informations.

Le manager, lui-même sous pression, doit livrer des résultats: son chef veut un rapport

avec trois propositions d'amélioration. En cas d'échec, il risque le licenciement. «L'objectif n'est pas de récolter des points, mais de livrer ce rapport», explique l'un des développeurs, Markus Christen de l'Université de Zurich. Le joueur devra prendre de nombreuses décisions éthiques. Il est ainsi incité à fouiller dans la vie privée des collaborateurs. Au terme de la partie, il reçoit un feedback. «L'impact didactique est plus grand si l'on discute ensuite dans le monde réel son comportement au cours du jeu.»



## IMMERSION Magie virtuelle

Une fois vos lunettes de réalité virtuelle sur le nez, Break a Leg vous projette sur une scène entourée de créatures étranges. Votre mission: divertir ces drôles de spectateurs à l'aide de tours de magie. Des défis vous attendent dans chaque recoin de ce monde étrange, sur les traces de Houdini et d'autres magiciens célèbres.

C'est avant tout cette nouvelle manière de raconter

une histoire de façon interactive qui séduit – les créateurs nomment leur plateforme «Spatialstories». Ces derniers ont tous été formés à la Haute école d'art et de design de Genève, la HEAD. «Il ne s'agit pas seulement de transformer les images en 3D, dit le développeur Michaël Martin. Le joueur peut choisir où il regarde. Cela change tout.»





# La science, un véritable jeu d'adultes

C'est aussi en jouant que le grand public peut contribuer aux progrès de la science. Un bilan, dix ans après le lancement du premier jeu vidéo voué à la recherche.

Par Frederik Jötten

«Ce fut une surprise de constater qu'il existe des gens vraiment prêts à consacrer toutes leurs soirées à la recherche.»

Bruno Strasser

Cette énigme vieille de quinze ans - clarifier la structure d'une protéine d'enveloppe du VIH - a été finalement résolue par une drôle d'équipe: les participants d'un jeu vidéo. Leur contribution leur a valu l'honneur de figurer sur la liste des auteurs d'un article publié dans Nature. Pourtant, ils cherchaient avant tout simplement à récolter un maximum de points à Foldit, le premier jeu vidéo à vocation scientifique mis en ligne voilà dix ans. Son objectif: reconstituer la structure tridimensionnelle des protéines.

Les protéines contrôlent la plupart des processus vitaux, aussi bien dans les microbes que chez l'humain. Mais elles n'y parviennent que si les longues chaînes d'acides aminés qui les composent prennent leur forme tridimensionnelle spécifique. Ce repliement s'avère par exemple déterminant pour identifier les points d'attaque de médicaments. Etablir la succession des acides aminés - parfois plusieurs centaines - constituant la chaîne n'est plus une tâche difficile. Mais prédire la forme tridimensionnelle qu'elle prend s'avère jusqu'à présent presque impossible parce que les interactions entre les acides aminés sont trop complexes. Des années de travail sont parfois nécessaires avant l'élucider la manière dont les protéines se replient.

## L'humain supérieur à la machine

Au début des années 2000, David Baker, responsable de la recherche sur les protéines de l'Université de Washington à Seattle, a réalisé que les hommes résolvaient plus facilement les problèmes tridimensionnels que les ordinateurs. Avec des informaticiens réunis par son collègue Zoran Popovic, il a cherché un moyen pour impliquer des participants. Ils ont alors développé et lancé Foldit. Au fil des ans, un demi-million de joueurs se sont inscrits.

«Foldit ne représente pas seulement un succès scientifique. Ce fut avant tout une surprise de constater qu'il existe des gens vraiment prêts à consacrer toutes leurs soirées à la recherche», relève l'historien des sciences Bruno Strasser, qui étudie à l'Université de Genève le rôle des jeux vidéo

dans la recherche. Foldit s'inscrit ainsi parmi l'un des premiers projets de sciences citoyennes. Pour son co-inventeur, Zoran Popovic, sa création «a multiplié par quatre le nombre de personnes actives dans la recherche sur les protéines dans le monde. Internet ouvre une foule de possibilités pour les personnes auparavant exclues des sciences académiques».

Le jeu est exigeant et suppose de maîtriser des procédures complexes. «Il a montré que des particuliers peuvent également acquérir hors de l'université les connaissances nécessaires pour participer à des discussions de spécialistes», souligne Bruno Strasser.

L'apparence de Foldit n'est pourtant guère attrayante, rappelant plutôt des illustrations trouvées dans des ouvrages de chimie. Vibrant dans un enchevêtrement de spirales et de branches, une petite étoile rouge indique un point de tension. D'autres boules apparaissent lorsqu'on déplace les acides aminés avec une souris, signifiant que leurs branches latérales se retrouvent trop près les unes des autres et se gênent. Une situation à éviter, car une telle conformation n'existerait pas dans la nature.

Tout comme le graphisme, les joueurs eux aussi ont vieilli. Une bonne partie a désormais la cinquantaine. De tous les inscrits, seuls quelques centaines restent encore actifs. La plupart des nouveaux venus se recrutent parmi les experts: «Jouer à Foldit est moins prenant que d'abattre des zombies, remarque Bruno Strasser. Il est difficile de constituer une communauté de joueurs autour d'un jeu ennuyeux en comparaison.»

## La science s'invite dans l'espace

La start-up valaisanne Massively Multiplayer Online Science (MMOS) a ouvert une nouvelle voie intéressante en créant deux extensions pour le jeu de rôle en ligne multi-joueurs Eve Online. Cette simulation d'aventure spatiale compte 500 000 utilisateurs enregistrés, dont 40 000 en ligne à tout moment.

Les joueurs peuvent, d'une part, chercher des variations sur des images microscopiques de cellules teintées. D'autre part, ils doivent découvrir des exoplanètes

## «J'ai réintégré un projet scientifique et donné un nouveau sens à ma vie.»

Susanne Reber-Leutenegger, retraitée

cachées dans des données astronomiques. Menées sous le titre «Project Discovery», ces deux investigations permettent aux joueurs d'engranger des récompenses utilisables dans le jeu de rôle de base.

Le questionnement scientifique se trouve ainsi transmis à une énorme communauté déjà constituée. Il s'agit d'une idée très prometteuse: il s'avère déjà difficile d'attirer assez de joueurs autour d'un projet scientifique, mais les garder assez longtemps pour parvenir à une solution représente un défi encore plus grand.

Des centaines de jeux scientifiques ont été lancés, abordant des domaines aussi divers que l'astronomie, l'entomologie ou encore le changement climatique.

### Une retraitée championne

Eyewire fait partie des jeux vidéo scientifiques qui comptent le plus de joueurs: 80 000 inscriptions et 1000 personnes actives en décembre 2017. Développé au Massachusetts Institute of Technology, il doit certainement une part de son succès au fait qu'il ait été conçu autant que possible comme un jeu vidéo. Il a un côté divertissant avec des personnages fictionnels et un design moderne. Son but consiste à cartographier le tracé des neurones dans la rétine de souris. Les joueurs se voient attribuer des segments de la rétine sous forme de cubes, chacun étant constitué d'une série de prises de vue au microscope électronique. A partir de la succession de tranches en deux dimensions, ils doivent développer des représentations tridimensionnelles du réseau de neurones.

Avec 30 millions de points, la deuxième place du classement est occupée par @susi, une retraitée de 68 ans habitant Sissach (BL). «Le jeu est très gratifiant, dit Susanne Reber-Leutenegger. J'ai ainsi réintégré un projet scientifique et donné un nouveau sens à ma vie.» Elle dit avoir rencontré de nouveaux amis et le contact avec des personnes plus jeunes de la communauté Eyewire l'aide à conserver sa jeunesse.

Elle travaille encore à mi-temps comme comptable dans ce qu'elle décrit comme sa deuxième carrière. La première s'était achevée avec son doctorat en biologie sur la structure microscopique d'unicellulaires

marins. Pendant ses études dans les années 1970, elle avait travaillé à la reconstruction en 3D du cerveau d'un amphibien. «A l'époque, nous n'avions pas encore d'ordinateurs. Tout était fait à la main. Eyewire représente en quelque sorte ma troisième carrière, qui tisse un lien avec la première.»

Susanne Reber-Leutenegger reste une exception: la plus grande partie des joueurs est masculine. Pour Foldit, le jeu le plus étudié, leur proportion s'élève à 90%; les scientifiques, ingénieurs et spécialistes en informatique constituent 80% des participants. «Il y a peu de joueurs sans liens avec la science ou les ordinateurs, indique Bruno Strasser. Il nous faut donc nous montrer prudents lorsque nous parlons des sciences citoyennes comme d'une forme de démocratisation des sciences: tout le monde ne peut et ne veut pas faire de la recherche.» Considérer ces joueurs comme des scientifiques est également exagéré, poursuit-il: «Ils participent aux progrès de la connaissance, mais plutôt comme des techniciens doués de compétences spécifiques. La science, c'est plus que cela, en particulier s'agissant de nouveaux questionnements.»

Mais ici aussi, les sciences participatives font leurs premiers pas. Avec «Mapping for change» de l'University College de Londres, des profanes peuvent eux-mêmes décider quels polluants atmosphériques devraient être mesurés en Grande-Bretagne et où. La bonne gestion des stations de mesure rapporte des points - presque comme dans un jeu vidéo.

Le journaliste scientifique Frederik Jötten écrit notamment pour Das Magazin et pour la NZZ am Sonntag. Il habite à Francfort.

## Physique quantique et neuroscience: huit jeux pour la science

### MOZAK 2017

400 joueurs actifs / 3000 joueurs inscrits  
University of Washington

Les participants suivent le parcours des neurones et établissent des modèles 3D afin de tracer une carte neuronale du cerveau.

### DECODOKU 2016

50 / 3000  
Université de Bâle  
1 publication scientifique

Pour résoudre des grilles de chiffres à l'image d'un sudoku, les joueurs développent des stratégies susceptibles d'inspirer les chercheurs en quête de nouveaux codes de correction d'erreurs pour les futurs ordinateurs quantiques.

### PROJECT DISCOVERY 2016

37 000 / 320 000  
MMOS, Monthey

Dans deux modules d'un jeu populaire, les participants doivent localiser des protéines au sein de cellules et évaluer des données satellitaires sur des exoplanètes.

### BIGBELLTEST 2016

100 000 / 100 000  
Barcelona Institute for Science and Technology  
2 publications

Au cours de cette expérience unique, les participants ont généré en jouant des suites aléatoires de 0 et de 1, utilisées ensuite dans des expériences de physique quantique.

### QUANTUM MOVES 2012

12 000 / 250 000  
Université d'Aarhus  
1 publication

Le déplacement adroit de représentations graphiques d'atomes aide à manipuler de manière plus efficace de véritables structures pour la recherche sur les ordinateurs quantiques.

### EYEWIRE 2012

1000 / 80 000  
MIT  
1 publication

A partir d'une suite d'images de microscopie électronique en deux dimensions, les joueurs construisent des modèles tridimensionnels des neurones.

### ETERNA 2010

500 / 100 000  
Carnegie Mellon et Stanford  
11 publications

Les joueurs développent des modèles tridimensionnels de molécules d'ARN; les meilleures solutions sont ensuite réellement synthétisées pour comparer leurs qualités avec les prévisions.

### FOLDIT 2008

500 / 500 000  
University of Washington  
3 publications

Les joueurs trouvent des formes stables de protéines en trois dimensions.

## INTERVIEW

## «La mondialisation en Chine n'a rien à voir avec celle vue de Suisse»

Pierre-Michel DelSSERT



Depuis trois ans, des étudiants lausannois se rendent en Chine pendant deux semaines pour y développer des projets d'objets connectés. Et ouvrir les yeux sur les marchés émergents, explique Marc Laperrouza du Collège des Humanités à l'EPFL, cofondateur du China Hardware Innovation Camp.

#### Pourquoi envoyer les participants en Chine et non pas dans la Silicon Valley?

Il faut se rendre dans un pays émergent si l'on veut pouvoir comprendre les

vingt-cinq prochaines années. C'est la seule manière de connaître la dynamique de ce type de marchés. Avec la Chine, la situation s'est d'ailleurs inversée: on y va pour copier, non pas pour y être copié. Les participants se rendent à Hong Kong ainsi qu'à Shenzhen, une mégapole de 14 millions d'habitants et la capitale du hardware avec la présence d'Huawei et de Foxconn.

#### Quels types de projets sont développés?

Chaque équipe comprend des étudiants de l'EPFL, de l'ECAL et d'HEC Lausanne. Pendant une année, ils imaginent un nouveau produit connecté, par exemple un casque de vélo intelligent, un récipient auto-chauffant ou encore une sonde pour détecter l'eau souterraine. Une fois en Chine, ils perfectionnent leurs prototypes.

#### Quelles leçons tirent vos participants?

D'abord, ce qu'on peut ou ne peut pas faire dans un tel écosystème. La Chine constitue un environnement extrêmement dynamique qui permet d'autres modèles d'affaires. On gagne en temps et en argent, mais on perd en qualité et s'expose potentiellement à des risques liés à la propriété intellectuelle. Ensuite, que la mondialisation sur le terrain n'a

rien à voir avec celle vue de Suisse. Alors qu'ils imaginent souvent des produits de type Kickstarter, pensés par et pour des Occidentaux, les étudiants découvrent des usagers totalement différents. C'est souvent une révélation.

#### Quels contacts concrets ont-ils avec la population locale?

Ils travaillent avec des spécialistes dans des usines et ateliers de fabrication. Ils se doivent également de rencontrer des usagers potentiels - une équipe qui développait une montre pour aider les enfants souffrant d'autisme a ainsi pris contact avec une association locale. Ils visitent également des entreprises comme Huawei et des parcs d'innovation.

#### Le but est-il de lancer des startups suisses en Chine?

Non, nous ne sommes pas un incubateur. Les étudiants découvrent le prototypage rapide qui permet de développer des prototypes et de les tester - et ainsi de suivre la maxime «fail, but fail fast». Certains projets changent d'ailleurs complètement en cours de route. Avec la rencontre de valeurs et des cursus différents, l'interdisciplinarité est un point central du programme.

*Propos recueillis par Daniel Saraga*

## NEWS

#### ■ Auteurs et citations honorifiques très courantes

Les chercheurs sans poste permanent sont plus susceptibles d'accepter de mentionner des auteurs honorifiques et des citations injustifiées, montre une enquête récente effectuée auprès de 110 000 universitaires. Un tiers des 12 000 scientifiques qui ont répondu ont indiqué avoir ajouté des auteurs pour leur article malgré des contributions minimales. Le taux est du double chez les chercheurs débutants et de 60% plus élevé chez les chercheuses. La moitié ont précisé avoir inclus un auteur honorifique parce qu'ils dirigeaient leur unité ou pouvait influencer leur carrière. Plus de 40% ont dit être prêts à ajouter des citations non essentielles à un article soumis à un journal ayant la réputation de demander des citations additionnelles. [bit.ly/Ho\\_116\\_5](http://bit.ly/Ho_116_5)

#### ■ Devenir inventeur: question d'argent et d'origine

Les enfants classés dans les 5% jugés les meilleurs aux tests de maths en classe de 3e aux Etats-Unis ont deux fois plus de chances de devenir des inventeurs (définis comme le fait d'avoir ultérieurement déposé un brevet) si les revenus de leurs parents se situent dans les 20% supérieurs,

par opposition aux 80% inférieurs. Ceux d'origine asiatique ont deux fois plus de chances de le faire que les Caucasiens, et neuf fois plus que les Hispaniques ou les Afro-Américains. L'étude a analysé les données démographiques relatives à 1,2 million de brevets. [bit.ly/Ho\\_116\\_2](http://bit.ly/Ho_116_2)

«Nous sommes incroyablement tolérants à l'égard des gens qui ont enfreint les règles.»

Robin Nelson, professeure assistante d'anthropologie biologique à l'Université de Santa Clara, commentant le harcèlement sexuel en milieu universitaire, cité par Inside Higher Ed. En parallèle, 1761 témoignages de tels cas ont été recueillis en deux semaines par Karen Keskly, une ancienne professeure d'université. [bit.ly/Ho\\_116\\_4](http://bit.ly/Ho_116_4), [bit.ly/Ho\\_116\\_1](http://bit.ly/Ho_116_1)

#### ■ Etudes publiées mais pas citées

Le nombre d'études qui ne sont pas citées est en baisse, selon une enquête menée par Nature. Elle montre que 11,5% des articles publiés en 2006 n'ont pas été cités en dix ans, contre 30% en 1980. La médecine enregistre le taux le plus bas (5%), suivie par les sciences naturelles (13%) et sociales (14%). Le résultat dans les arts et les sciences humaines (69%) met en évidence des problèmes méthodologiques: la banque de données utilisée, le Web of Science, ignore de nombreux journaux et livres dans ces domaines. Au total, moins de 10% de la littérature pourrait ne jamais être citée. Mais l'absence de citations n'exclut pas d'être lu ou d'avoir une influence. [bit.ly/Ho\\_116\\_7](http://bit.ly/Ho_116_7)

#### ■ Seulement pour femmes

La société Max-Planck investira 30 millions d'euros pour financer en Allemagne jusqu'à 40 professeures tenure track au cours des quatre prochaines années, un programme réservé exclusivement aux femmes. [bit.ly/Ho\\_116\\_3](http://bit.ly/Ho_116_3)



EXPÉRIMENTATION ANIMALE

# SCIENCE SANS SOURIS?

La communauté scientifique tente de réduire l'impact de la recherche sur les animaux de laboratoire. Elle suit trois axes: les remplacer par d'autres techniques, réduire leur nombre et raffiner les tests pour atténuer les souffrances. Le concept des «3R» peut-il tenir ses promesses?

Par Florian Fisch, illustrations: Tara von Grebel

**D**ifficile de ne pas se sentir mal à l'aise lorsqu'on pense aux animaux de laboratoire sacrifiés pour l'intérêt de la recherche. Personne ne recourt à l'expérimentation animale pour le plaisir, mais les découvertes qu'elle rend possibles font encore et toujours avancer nos connaissances médicales et vétérinaires. Ce dilemme éthique entre avantages pour les humains et souffrances infligées aux animaux a été pris en compte

dans la législation suisse: au regard de celle-ci, les essais sur les animaux «doivent être limités à l'indispensable».

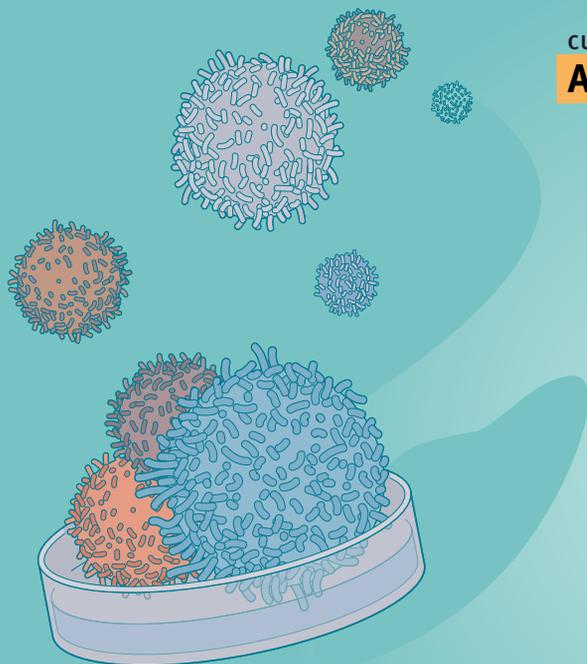
Un zoologue et un microbiologiste britanniques avaient déjà formulé en 1959 trois principes pour rendre l'expérimentation animale plus «humaine»: les chercheurs doivent utiliser des approches alternatives chaque fois que cela est possible («Remplacer», pp. 26 et 27), avoir recours au moins d'animaux possible («Réduire», p. 28) et

limiter au maximum les souffrances ressenties («Raffiner», p. 28).

Le concept 3R ne représente pas un refus complet de l'expérimentation animale ni un blanc-seing pour les scientifiques, mais exige de leur part une attention particulière. Cette approche bénéficie également à la science: elle permet des résultats plus pertinents, généralisables et reproductibles.

# Les alternatives se développent

Remplacer complètement les expériences sur les animaux relève aujourd'hui encore du rêve. Mais les alternatives s'avèrent intéressantes également en tant que nouvelles méthodes de recherche. Tour d'horizon.



## CULTURES DE CELLULES

### Au-delà de la boîte de Pétri

Les progrès dans le domaine des cultures cellulaires sont considérables et remplacent avec succès des essais sur les animaux. De plus, cette méthode autorise à procéder à des expériences directement sur du matériel humain et non animal. La production de tissus cutanés humains conformes à la réalité permet, entre autres, à l'industrie cosmétique de tester la tolérance à ses produits. «Les études réalisées avec des cellules de personnes en bonne santé et malades apportent des informations que l'on ne pourrait pas obtenir avec les essais sur les animaux», indique Stefanie Schindler, co-directrice d'Animalfree Research, une fondation qui soutient les recherches visant à rendre l'expérimentation animale superflue.

Même sans donneur humain, la voie est désormais ouverte à l'utilisation de cellules normales pour produire des cellules souches pluripotentes à partir desquelles toutes les parties du corps peuvent en principe se reformer. Cette technique permet par exemple de créer

des cellules de muscle cardiaque qui battent vraiment.

La plupart des cultures cellulaires consistent encore aujourd'hui en une couche de cellules individuelles étalées sur une surface. Mais cette géométrie ne correspond pas à leur environnement naturel, ce qui donne lieu à des modèles irréalistes au regard des vraies situations dans le corps. On investit désormais beaucoup dans le développement de tissus en trois dimensions (voir Horizons 110, p. 49).

Des échafaudages ou des gels font croître les cellules au bon endroit. Une autre technique consiste à les positionner correctement à l'aide d'une imprimante 3D. On peut également laisser les cellules s'organiser spontanément: dans une goutte d'eau ou dans de petits trous, elles s'agglomèrent les unes aux autres pour former des organoïdes (des mini-organes sphériques). C'est ainsi que des tissus cérébraux et conjonctifs de même que des tumeurs ont été créés.

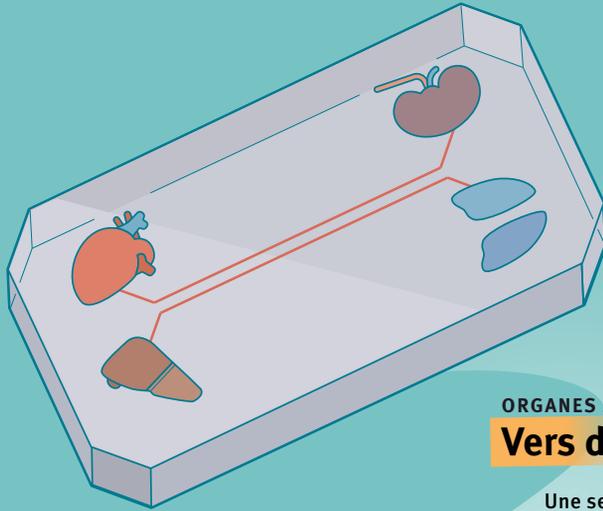
## EXPÉRIENCES SUR LES HUMAINS

### Tester directement sur les patients est interdit

Que les essais sur les animaux s'avèrent peu fiables est désormais largement reconnu: moins d'une molécule sur dix ayant franchi le cap de l'expérimentation animale aboutit effectivement sur le marché en tant que médicament. Ces substances se révèlent sans qu'on ne s'y attende être soit nocives soit inefficaces lors des essais cliniques humains. Les tests sur les animaux n'en sont pas moins utiles pour autant, car de nombreuses substances dangereuses ou inopérantes sont déjà éliminées à ce stade.

Renoncer aux expériences sur les animaux impliquerait soit de cesser complètement le développement de nouvelles substances, soit de les tester directement sur des cobayes humains. Mais «on ne peut directement passer à l'homme», souligne Ernst Hunziker, de la Fondation Recherches 3R. La loi prévoit une succession d'étapes précises: d'abord les tests sur les cellules, les tissus et les organes de culture, puis sur les animaux et enfin sur les humains.





ORGANES SUR PUCE

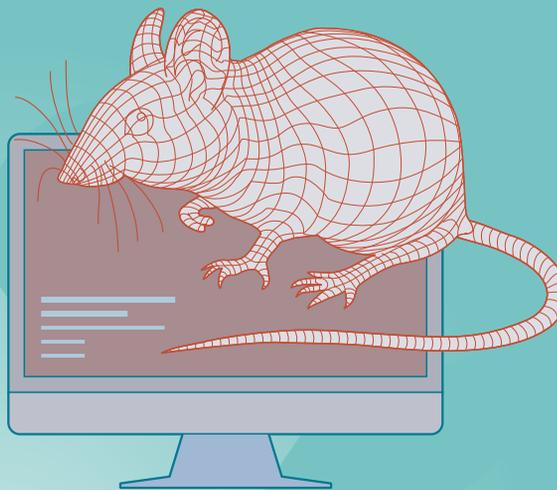
**Vers des organes artificiels**

Une seule culture cellulaire ne permet pas de modéliser les interactions entre les différents types de cellules cohabitant dans un organe. Par exemple, des substances chimiques sont transformées dans un tissu où elles acquerront des propriétés aux effets destructeurs ou réparateurs ailleurs dans l'organe. Mais des puces microfluidiques peuvent simuler cette complexité: des canaux relient différentes cultures de cellules et favorisent l'échange des substances.

Ces organes sur puce présentent un grand potentiel pour tester les nouvelles substances chimiques. «Il sera bientôt envisageable de renoncer à l'expérimentation animale

dans le domaine de la toxicologie», affirme Stefanie Schindler. Le gouvernement néerlandais prévoit d'abandonner complètement les essais toxicologiques sur les animaux d'ici 2025.

De nombreux facteurs supplémentaires doivent être pris en compte afin de reproduire tous les aspects des organes. Pour un poumon notamment, les alvéoles subissent des contraintes mécaniques lors de l'inspiration et l'expiration. Si ces dernières peuvent être imitées de manière mécanique, Stefanie Schindler reconnaît néanmoins que «la méthodologie est encore très loin de déboucher sur un organisme artificiel complet».



SIMULATION

**Générer de nouvelles pistes**

«Les phénomènes complexes ne sauraient être cernés sans recours à une modélisation sur ordinateur», lance Uwe Sauer de l'ETH Zurich. Le chercheur a déjà simulé le métabolisme du sucre sur un modèle simplifié de bactérie. Des hypothèses développées avec soin facilitent des recherches ultérieures mieux focalisées. Et remplacent des études inutiles sur des animaux.

Les simulations ne sont toutefois pas en mesure de se substituer entièrement à l'expérimentation

animale, car elles doivent reposer sur des informations issues du monde réel. «On ne parvient jamais à anticiper tout ce qui peut se passer in vivo», souligne Ernst Hunziker, président du comité d'experts de la Fondation Recherches 3R. Il évoque le triste exemple du somnifère thalidomide, qui a provoqué des malformations chez des milliers de nouveau-nés à la fin des années 1950. A noter que «même l'expérimentation animale n'avait pas permis de prévoir ces effets».

# REEMPLACER RÉDUIRE RAFFINER

## La qualité avant la quantité

Des tests menés sur un effectif accru de cobayes permettraient de réduire le nombre des expérimentations animales. Un paradoxe.

Le nombre d'animaux de laboratoire en Suisse est passé de près de deux millions en 1983 à 750 000 en 1996. Depuis lors, le chiffre est resté stable. La nécessité de recourir à l'expérimentation animale diminue pour les tests de substances pharmaceutiques, tandis qu'elle augmente dans la recherche fondamentale. «Cette hausse s'explique principalement par l'utilisation croissante de souris génétiquement modifiées», indique Stefanie Schindler, de la Fondation Animalfree Research.

Elle se dit consciente qu'il s'agit d'un but à long terme, mais reste convaincue qu'il est accessible. L'objectif intermédiaire de l'organisation est de diffuser des connaissances sur les principes 3R. Dans cette perspective, le développement d'un outil en ligne a été encouragé. Il doit aider les chercheurs à trouver de la littérature scientifique sur l'approche 3R et à intégrer des méthodes alternatives dans la planification de leurs projets.

Un point important est de réduire le nombre des essais sur les animaux grâce à une amélioration de la fiabilité des expériences. Il s'agit de renoncer aux répétitions inutiles et de rechercher pour chaque essai la meilleure pertinence scientifique possible. Paradoxalement, cela peut conduire à des expériences de plus grande ampleur réalisées sur un nombre accru d'animaux.

En 2017, Nature a ouvert ses pages à un nouveau genre d'articles consacrés aux «études précliniques pertinentes». Ce faisant, la revue vise à réduire le nombre des échecs chez l'être humain de traitements pourtant jugés prometteurs. Pour Hanno Würbel de l'Université de Berne, cette initiative va dans la bonne direction: «C'est du gaspillage que d'utiliser dans une expérience un nombre insuffisant d'animaux pour permettre d'en tirer des conclusions fiables.» Dès lors, les protocoles d'expérimentation animale tendent à s'inspirer de plus en plus de ceux mis en place pour les études impliquant des patients.

Marco Zanoni/Lumax



## «De meilleures conditions pour les animaux génèrent des résultats plus pertinents»

Réduire la douleur au minimum et améliorer le bien-être des animaux permettent d'augmenter la pertinence d'une expérience, selon Hanno Würbel. Il enseigne la protection des animaux à l'Université de Berne et représente son institution au sein du nouveau centre de compétences 3R de la Confédération.

### Comment évaluer la souffrance d'un animal de laboratoire?

Il s'agit du grand drame de notre spécialité. Nous voulons mesurer des sensations subjectives comme la douleur ou la peur qui ne sont pas du tout quantifiables. Cependant, des indicateurs tels l'espérance de vie, le taux de maladies, l'hormone du stress ou les changements de comportement constituent des outils d'évaluation objectifs.

# REEMPLACER RÉDUIRE RAFFINER

### Quelles pistes pour améliorer concrètement la situation des souris de laboratoire?

Le plus important est de fournir suffisamment de litière pour leur nid. Mais il faut aussi des gardiens d'animaux qualifiés, capables de repérer et d'apprécier les problèmes ainsi que de tester de nouvelles solutions.

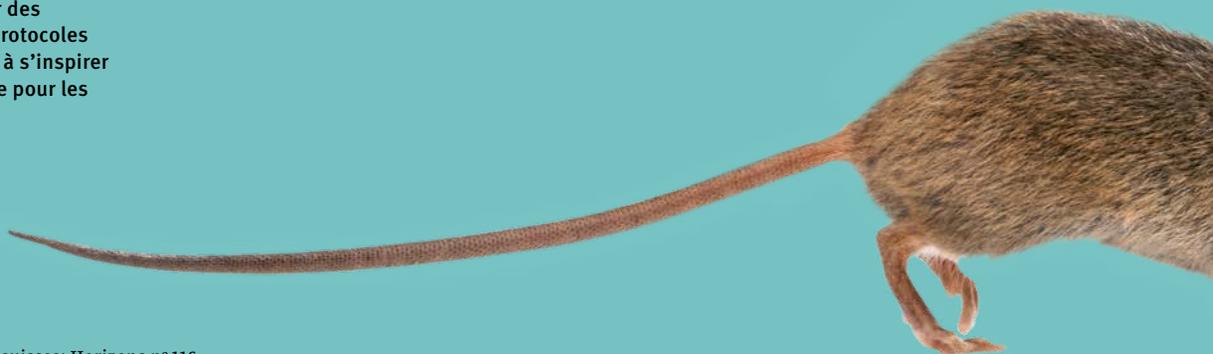
### Les commissions pour les expériences sur les animaux ne pourraient estimer la souffrance avec compétence, selon des chercheurs.

J'ai également entendu ces critiques, souvent exprimées de manière anonyme. Les commissions cantonales assument trop de tâches et sont dépassées. C'est pourquoi je plaide pour que les institutions de recherche assument davantage de responsabilités en matière de respect des principes 3R ainsi que de qualité scientifique des expériences. Les commissions devraient se limiter à contrôler uniquement si la pesée des intérêts formulée par les scientifiques est plausible.

### Y a-t-il des dysfonctionnements importants dans la recherche?

Souvent, l'animal est considéré à tort comme un «instrument de mesure» par les chercheurs. Ces derniers visent à standardiser les animaux et éviter ainsi des conditions d'élevage plus complexes qui, selon eux, induiraient une précision moindre des résultats. Mais le raisonnement est erroné d'un point de vue biologique: plus les résultats sont précis, plus ils perdront de leur portée universelle. En outre, le stress et la peur constituent les facteurs de perturbation des mesures les plus importants. Ils influencent par exemple le système immunitaire. Dès lors, de meilleures conditions de vie assurées aux animaux génèrent des résultats plus pertinents.

Eric Isselee/Shutterstock



# «La voix des Académies est la voix de la science»

Le futur président des Académies suisses des sciences, Antonio Loprieno, veut rajeunir l'institution et rendre son travail plus visible.

*Propos recueillis par Pascale Hofmeier*

## Les faits scientifiques rencontrent un scepticisme grandissant. Que comptez-vous faire contre cette tendance?

Le rôle de président est prédestiné pour se confronter à cette fracture. S'il existe une fonction première des Académies, c'est celle de jeter un pont entre la science et la société. La voix des Académies est la voix de la science en tant que telle. Il est donc d'autant plus important d'encourager le dialogue avec le public et de défendre de manière crédible la primauté de l'interprétation scientifique.

## Quelle est l'influence des Académies dans les débats de société?

C'est une question difficile. Ce qui à mon sens fait notre force nous complique aussi la tâche, à savoir notre diversité en tant qu'organisation faitière regroupant plusieurs cultures spécialisées. Ces facettes multiples nous permettent d'être proches des sciences mais s'avèrent inappropriées pour faire entendre notre voix dans le débat public. Nous pourrions avoir plus d'impact si nous formions un tout homogène.

## Quelle mesure particulière permettrait de jeter un pont entre science et société?

Parler d'une seule voix aussi souvent que possible. Si le concept d'«Académies suisses des sciences» acquerrait le rang de marque au sein du public, du monde politique et des médias sociaux, nous aurions déjà mis en place une première mesure adéquate susceptible de rendre visible le travail accompli. Y parvenir requiert toutefois un fort lien avec la base des scientifiques et là, le président doit faire le grand écart.

## Les Académies se décrivent comme le plus grand réseau scientifique de Suisse, et le meilleur marché. Une professionnalisation est-elle nécessaire?

Ce terme a dans le monde académique des connotations positives et négatives. Oui certainement si nous entendons par professionnalisation une unification pour mieux représenter les intérêts de différents acteurs concernés. En revanche, tel n'est pas le cas si l'on parle de la mise en place d'une administration qui doublerait les formes d'encouragement à la science déjà existantes. Les Académies doivent en priorité soutenir les projets scientifiques qui ne le sont pas par d'autres institutions.



La diversité des Académies constitue leur force mais représente également un défi, dit Antonio Loprieno. Photo: Valérie Chételat

## Par exemple?

L'interdisciplinarité, qui est difficile à encourager. Nous représentons la meilleure structure pour le faire et y sommes prédestinées. Les scientifiques établis peuvent s'aventurer plus facilement sur le terrain de l'interdisciplinarité que les jeunes, qui doivent encore bâtir leur carrière.

## D'autres questions importantes?

La mutation culturelle induite par la numérisation m'interpelle. On la comparera à celle provoquée par l'imprimerie à la Renaissance. Jusqu'à présent, nos connaissances étaient détenues par des individus, notamment des professeurs qui transmettaient leur savoir à des étudiants qui n'en disposaient pas encore. Dans la société numérique, nous sommes confrontés à un savoir sociétal qui remet en question la notion même d'auteur. Wikipédia constitue un exemple de concentration de connaissances générées par de nombreux auteurs. C'est une mutation radicale.

## Et qu'est-ce qui vous stimule dans votre nouvelle fonction?

En tant que président à la fois des Académies suisses des sciences et des All European Academies (ALLEA), j'ai le privilège particulier de représenter notre science au niveau européen. Comme scientifique, je trouve intéressant de contribuer à l'intégration de la science dans le discours social. L'institutionnalisation constitue un troisième

aspect: en tant qu'associations professionnelles, les diverses académies possèdent des cultures très différentes et les combiner représente une tâche séduisante.

## Y a-t-il un besoin de rajeunissement des Académies?

Un tel projet existe déjà. Dans mon rôle de président des ALLEA, je me réjouirais également d'un rajeunissement des académies en Europe. A une époque où l'encouragement de la relève s'inscrit comme une priorité, les académies ne sauraient rester un club de vieux messieurs. Il nous faut absolument devenir plus attractifs pour les jeunes scientifiques.

Pascale Hofmeier est rédactrice scientifique au FNS.

## Au cœur de la science

Agé de 62 ans, Antonio Loprieno prendra en mai 2018 la présidence des Académies suisses des sciences, et présidera les All European Academies (ALLEA) de 2018 à 2021. Il est depuis 2000 professeur ordinaire d'égyptologie à l'Université de Bâle, dont il a été le recteur de 2006 à 2015. De 2008 à 2015, il a également assuré la présidence de la Conférence des recteurs des universités suisses (CRUS).

# Le nouveau droit d'auteur freine l'open access

La révision de la loi sur le droit d'auteur ne contiendra finalement pas de droit de publication secondaire. De quoi compromettre les efforts visant à rendre les travaux scientifiques accessibles à tous.

Par Michael Baumann

**L**e grand public devrait pouvoir accéder gratuitement aux résultats des recherches financées par l'argent public - l'essence du mouvement de l'open access. En Suisse aussi, les débats autour du libre accès font rage (voir «Partager le savoir», p. 31).

Par un hasard du calendrier, le droit d'auteur fait actuellement l'objet d'une révision. La nouvelle loi devrait être finalisée d'ici à 2020 et tenir compte également des intérêts de la science. Le projet de loi a été présenté en novembre dernier. Après de longues hésitations, il n'inclut finalement pas de droit de publication secondaire, soit le droit de faire paraître gratuitement une deuxième fois une publication originale sur une plateforme électronique. Il s'agit pourtant d'un fondement important du libre accès. Dans sa prise de position lors de la procédure de consultation sur le projet législatif, le FNS écrit notamment que le libre accès nécessite un droit de publication secondaire inscrit dans la loi.

«Deux versions d'un même texte pourraient se retrouver en circulation.»

Willi Egloff

Aujourd'hui, les scientifiques cèdent généralement à leur éditeur leurs droits d'auteur. S'ils publient leurs travaux dans un réseau de recherche ou sur leur propre site Internet, ils violent les droits de l'éditeur et s'exposent à des poursuites. Ils peuvent ainsi faire l'objet d'une action en cessation ou une demande de dommages et intérêts. Il en va de même pour les universités qui incluent des textes dans leurs fonds. Résultat: certains renoncent à une publication sur Internet, ce qui n'est pas dans l'intérêt de la science et de la recherche.

Daniel Hürlimann se dit déçu. Le professeur assistant à l'Université de Saint-Gall, fervent défenseur du droit de publication secondaire, estime que renoncer à ancrer ce dernier dans le droit de la propriété intellectuelle compromet la Stratégie nationale sur l'Open Access. A ses yeux, le problème fondamental du droit de publication secondaire vient du fait qu'on prend le droit d'auteur à la légère. «De nombreux auteurs scientifiques cèdent leurs droits à leur éditeur sans réfléchir à ce que cela signifie.» Ils le font parce qu'ils ne se préoccupent pas de leurs droits ou ne leur accordent pas beaucoup d'importance. Théoriquement, il serait possible de conclure des contrats différents avec les éditeurs. «Mais le souci numéro un d'un scientifique est d'être publié et cité, explique Daniel Hürlimann, raison pour laquelle les détails du contrat passent au second plan.»

## Interdire le transfert des droits

Pour remédier à cette situation, Daniel Hürlimann propose d'ancrer le droit de publication secondaire dans le Code des obligations. Les auteurs pourraient ainsi conserver les droits sur leurs travaux et la possibilité de les publier en ligne. Dans une prise de position présentée avec le professeur de droit à l'Université de Zurich Florent Thouvenin, il suggère un nouvel article spécifiant qu'on ne peut céder à un éditeur le droit de donner accès gratuitement à un article scientifique issu de recherches financées par de l'argent public. Daniel Hürlimann en est convaincu: la loi doit mieux prendre en compte les intérêts de la science.

L'avocat bernois et expert du droit d'auteur Willi Egloff soutient une autre opinion. Il n'est pas favorable au droit de publication secondaire, jugeant qu'il serait plus judicieux de régler d'abord la question de la publication première. «La publication secondaire fait débat uniquement parce

que la publication première ne fonctionne pas.» A ses yeux, la situation présente - des éditeurs qui publient les travaux mais exigent une rétribution pour la lecture sur Internet - n'est pas tenable. Il serait nécessaire, estime-t-il, d'activer des leviers pour que chacun ait accès gratuitement en ligne aux résultats de recherches. Les éditeurs devraient changer leur stratégie commerciale, ce qui exigerait «un travail de persuasion». Au demeurant, l'avocat doute qu'avec l'approche actuelle les éditeurs génèrent des revenus importants, alors que de leur côté les auteurs ne reçoivent de toute façon aucune redevance.

Willi Egloff voit deux problèmes supplémentaires: «Avec un droit de publication secondaire, deux versions d'un même texte pourraient se retrouver en circulation. Cela aurait des conséquences négatives sur la citation de textes scientifiques.» Daniel Hürlimann réfute: «On utiliserait la même version que lors de la publication première.» Willi Egloff n'attend pas non plus grand-chose de la proposition figurant dans le projet de loi de rendre impérative l'application du droit suisse en cas de publication par une maison





**Le mouvement de l'open access veut démocratiser l'accès aux publications scientifiques, pour lequel les bibliothèques universitaires dépensent des millions de francs chaque année.** Photo: Keystone/Gaetan Bally

d'édition étrangère. Cette exigence tomberait à plat et laisserait de glace les éditeurs étrangers. «Il conviendrait de garder clairement en tête que les auteurs aspirent à pouvoir être publiés dans des revues renommées comme *Nature* ou *Science* pour faire avancer leur carrière scientifique et qu'en cas de succès, ils n'ont d'autre choix que d'accepter les conditions des éditeurs. Or, le droit étranger applicable au contrat d'édition fait aussi partie de ces conditions.» Pour Daniel Hürlimann en revanche, il importe peu que les éditeurs étrangers s'en préoccupent: «Il serait licite que les textes d'auteurs d'universités suisses soient accessibles en ligne.»

Willi Egloff est fermement convaincu que la réussite de la Stratégie nationale sur l'Open Access ne doit pas dépendre du droit de publication secondaire. «La Confédération doit mieux veiller à ce qu'en son sein et en celui de toutes les organisations qu'elle soutient financièrement le public puisse effectivement accéder aux données et aux publications.» En attendant, l'avocat propose une solution pragmatique mais contestée: publier simplement les travaux scientifiques sur les sites des instituts de

recherche ou directement sur ceux des auteurs. «A ma connaissance, il n'existe pas de cas où l'éditeur serait intervenu.»

Même si le Conseil fédéral ne retient pas l'idée d'un droit de publication secondaire dans le projet de loi, il entend néanmoins suivre attentivement la discussion au niveau européen afin de «pouvoir évaluer un éventuel besoin d'agir», comme l'indique l'Institut fédéral de la propriété intellectuelle. En contrepartie, le projet législatif introduit une clause importante en faveur de la science. Elle autorise l'utilisation de travaux protégés pour le data et text mining, à savoir l'exploitation de textes et de données à des fins d'analyse par des tierces personnes. Cela sans l'accord de l'auteur ni rétribution financière. La révision du droit d'auteur est désormais entre les mains des Chambres fédérales.

Michael Baumann est journaliste indépendant à Zurich.

### Partager le savoir

L'idée du libre accès («open access»): les résultats de recherches financées par de l'argent public constituent un bien de la collectivité qui devrait être accessible gratuitement en ligne. Depuis des années, le sujet est débattu âprement au niveau international, notamment en Allemagne et aux Pays-Bas. Au printemps 2017, la Suisse a adopté une Stratégie nationale sur l'Open Access qui vise à instaurer un libre accès aux études subventionnées dès 2024. Favorable à cette initiative, le FNS a décidé de faire de cet objectif une réalité à partir de 2020 pour la totalité des publications relatives aux travaux qu'il soutient.

# Des recherches sous haute tension

Le réseau suisse de transport d'électricité atteint ses limites. De nouvelles lignes à haute tension aériennes s'avèreraient nécessaires, mais la population s'en méfie. Le doctorant Sören Hedtke cherche à tirer un meilleur parti des lignes actuelles.

«J'ai été impressionné la première fois que j'ai pénétré dans notre laboratoire de recherche: une halle de la taille d'une salle de gym, des générateurs aussi hauts qu'un plongeur de dix mètres et des lignes aériennes entre eux. C'est autre chose que de se pencher sur un circuit électronique! Il y a quelque chose de futuriste.

D'ailleurs, notre projet est important pour l'avenir. Nous menons à la chaire de technologies à haute tension de l'ETH Zurich des recherches sur un projet d'infrastructure central pour notre société: comment transporter le courant au moyen de lignes enterrées. C'est l'un des grands thèmes du Programme national de recherche 70 «Virage énergétique» (PNR 70) auquel je collabore. Pour moi, la science n'a jamais été une fin en soi.

Le problème que nous voulons résoudre est clair: le réseau suisse de transport d'électricité atteint ses limites et souffre déjà régulièrement de congestion. D'un côté, la demande en électricité augmente - imaginez ce qu'il adviendra si nous passons entièrement à la mobilité électrique! De l'autre, la production de courant est toujours plus décentralisée. Les installations solaires, éoliennes et hydrauliques sont réparties à travers tout le pays. Le courant doit être livré chez les particuliers avec le moins de pertes possibles.

## Population méfiante

Mais il est difficile d'imaginer un grand nombre de nouveaux tracés électriques. La population se montre très critique à leur égard. Il nous faut donc tirer un meilleur parti des lignes actuelles. Nous connaissons assez bien la conversion des lignes à haute tension à courant alternatif en tracés hybrides transportant également du courant continu. Il n'y a plus de pertes de conversion et on peut envisager une tension efficace plus élevée. En théorie, la capacité pourrait être plus que doublée.

Le système hybride présente aussi des inconvénients. Les interférences entre les deux types de courants peuvent accroître les émissions de bruit et renforcer les champs électriques et magnétiques au

sol. Notre tâche consiste à minimiser les effets secondaires du transport de courant, même s'il n'est pas possible de réduire toutes les nuisances dans la même mesure. Il convient d'optimiser. C'est un projet passionnant parce que nous travaillons à l'interface de nombreuses disciplines - électrotechnique, physique, acoustique, sciences des matériaux et mécanique statique.

Nous réalisons une grande partie de nos expériences en laboratoire où nous contrôlons les conditions météorologiques. Les élèves des classes qui nous rendent visite s'étonnent toujours lorsque nous enclenchons le simulateur de pluie et que cela commence à crépiter. Ou quand nous éteignons la lumière et qu'ils peuvent voir grâce à un appareil de vision nocturne les petits éclairs produits par ce qu'on appelle des décharges de corona. Ce sont eux qui produisent ce crépitements typique. Ils résultent du renforcement du champ électrique du conducteur provoqué par des gouttes d'eau, de la saleté ou des éraflures sur la surface de celui-ci.

Nous ne parvenons cependant pas à simuler tous les effets en laboratoire, par exemple ceux qui proviennent de résidus tels que des herbes volantes ou des pollens. Et il est plus facile d'étudier à l'extérieur certaines conditions météorologiques. Nous le faisons dans notre station de recherche près d'Aarau où nous avons installé à une hauteur de dix mètres deux faisceaux de conducteurs de 35 mètres de long. Tout cela est très coûteux. Les capteurs doivent évidemment être particulièrement résistants aux intempéries. Nous ne pouvons pas non plus installer simplement un appareil de mesure câblé sur une ligne de 400 000 volts. C'est pourquoi nous travaillons avec des capteurs radios.

Et oui, en principe ici tout est dangereux, mais nous observons des mesures de sécurité très strictes. Tous les secteurs à risque sont clôturés. Le système se déclenche au moindre écart. Personne ne doit grimper aux mâts, nous disposons de grues et d'élevateurs. Il n'y a encore jamais eu d'accident. Et même lorsqu'on se trouve directement sous une ligne, on ressent tout au plus un léger frémissement dans la nuque.

Mais évidemment, personne ne veut éprouver une telle sensation là où il habite. La population est sceptique face aux nouvelles technologies. C'est pourquoi le PNR 70 intègre des spécialistes en sciences sociales qui évaluent l'acceptation que rencontre notre projet. Les ingénieurs le savent eux aussi: une bonne communication est très importante.»

Propos recueillis par Christian Weber



Sören Hedtke étudie les lignes électriques et les phénomènes de décharge, que ce soit à l'extérieur (ci-dessus), à l'intérieur sous un générateur de pluie (à droite) ou encore à l'aide d'un amplificateur de lumière ultraviolette (ci-dessous).

Photos: Martina Stadelmann, ETH High Voltage Lab (en haut); Jurij Pachin, ETH High Voltage Lab (à droite et en bas).



## Optimiser les réseaux électriques

Après des études d'électrotechnique à l'Université technique de Darmstadt, Sören Hedtke a rejoint la chaire des technologies à haute tension à l'ETH Zurich.





Ceci est un éléphant...

## Décrypter enfin les rouages de l'intelligence artificielle

Les prouesses réalisées par les réseaux de neurones impressionnent autant qu'elles intriguent. Des scientifiques tendent des pièges à ces algorithmes afin de tester leurs limites et ainsi tenter de mieux les comprendre. *Par Sven Titz*

**L**e doute a commencé à se répandre auprès des spécialistes de l'intelligence artificielle (IA). «L'apprentissage automatique est devenu une alchimie», a récemment lancé Ali Rahimi de Google lors d'une conférence récente. La provocation a déclenché un vif débat.

Le contrecoup était probablement inévitable. Les réseaux neuronaux profonds ont enregistré des succès impressionnants au cours des dernières années, en particulier dans la reconnaissance de la parole et des images. Mais ils suscitent désormais un malaise croissant. Capables d'apprendre d'elles-mêmes, ces structures composées de plusieurs couches de neurones artificielles

restent opaques. On ne se sait pas vraiment ce qui s'y passe. Peut-on les leurrer? Représentent-elles un risque pour la sécurité? Ces questions ont ouvert des champs de recherche inédits appelés «intelligence artificielle explicable» ou encore la «neuroscience de l'IA».

Différents groupes de recherche l'ont montré: il existe de nombreuses possibilités de tromper les réseaux de neurones profonds. Anh Nguyen de l'Université d'Auburn aux Etats-Unis a ainsi produit des images n'ayant pas le moindre sens pour l'homme mais que les algorithmes identifient sans équivoque comme des représentations d'animaux précis.

D'autres méthodes s'avèrent encore plus insidieuses. Des images réalistes sont très légèrement manipulées - l'œil humain n'y voit aucune différence - mais trompent les algorithmes, qui y reconnaissent un objet complètement différent. L'équipe de Pascal Frossard à l'EPFL a par exemple réussi à ce qu'une image de chaussette soit identifiée comme celle d'un éléphant!

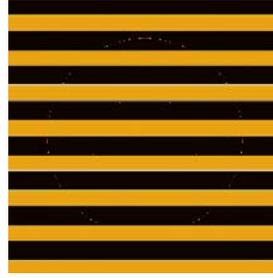
«Les systèmes basés sur les réseaux de neurones profonds s'avèrent actuellement plutôt vulnérables aux modifications des données sous-jacentes, note le chercheur. On ne peut souvent pas garantir leur performance.» Un risque pour les voitures autonomes, qui doivent être capables

Lorsque les réseaux de neurones se trompent: une chaussette devient un éléphant, une plante un perroquet. Ces images ont été créées par des scientifiques dans le but de tromper les algorithmes de reconnaissance visuelle.

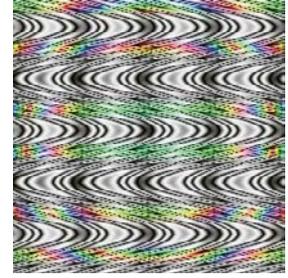
Images: S. Moosavi-Dezfooli, A. Fawzi, O. Fawzi and P. Frossard Proceedings of IEEE CVPR, 2017 (éléphant, perroquet); Nguyen et al., «DNNs are Easily Fooled», CVPR 2015 (bus, bédé)



... un perroquet



... un bus scolaire



... une bédé.

d'identifier fidèlement les panneaux de signalisation routière sans se laisser tromper par des manipulations, ou encore pour les applications médicales.

### Zèbre à huit pattes

Les chercheurs commencent à comprendre d'où proviennent les erreurs. L'une des explications réside dans le nombre limité des exemples utilisés pour l'entraînement des algorithmes. Cela peut mal tourner s'ils se retrouvent confrontés par la suite à des cas entièrement différents. Autre source d'échecs: les réseaux neuronaux n'assimilent pas la représentation structurellement correcte d'un objet. «Prenons un algorithme capable de correctement identifier un zèbre sur une photo, explique Anh Nguyen. Si l'on ajoute à la représentation de l'animal des pattes supplémentaires, l'algorithme sera d'autant plus sûr qu'il s'agit d'un zèbre. Même s'il a huit pattes.»

«On ne peut souvent pas garantir la performance des réseaux de neurones.»

Pascal Frossard

Le problème: les algorithmes ignorent la structure globale des images, la reconnaissance se basant plutôt sur des détails de forme ou de couleur. Voilà ce que montrent les premières études consacrées à ce qui se passe à l'intérieur des réseaux profonds.

Afin de percer les secrets de l'apprentissage automatique, les scientifiques tels qu'Anh Nguyen recourent notamment à des techniques de visualisation. Ils notent en particulier quels neurones réagissent à différentes propriétés des images. Ces études révèlent qu'en général les premières couches des réseaux de neurones profonds assimilent les caractéristiques de base des exemples utilisés pour l'entraînement, explique Anh Nguyen. Pour les images, il s'agit en particulier des couleurs et des lignes. Plus on pénètre dans le réseau neuronal, plus les informations se combinent. La deuxième couche saisit déjà les contours et les ombres. Ainsi de suite, jusqu'à pouvoir classer l'objet.

Des parallèles surprenants peuvent être faits avec les neurosciences. Une étude suggère par exemple que des neurones du cerveau se seraient spécialisés dans la reconnaissance de personnalités connues, une hypothèse qui rappelle certains résultats apparus dans l'étude de réseaux de neurones artificiels.

Des concepts théoriques offrent également de nouvelles perspectives telles les propriétés mathématiques des algorithmes, explique Pascal Frossard. Noter si une image est classée comme «pomme» ou comme «poire» permet de délimiter les frontières de décision, à savoir les lignes de démarcation entre diverses catégories d'images.

Mais ces approches, visuelles ou théoriques, éclairent-elles suffisamment le fonctionnement de l'apprentissage automatique? De multiples questions restent ouvertes, répond Yannic Kilcher du Data Analytics Lab à l'ETH Zurich. Elles concernent autant les erreurs que les succès parfois surprenants. Il arrive souvent qu'un programme livre des résultats acceptables même s'il est utilisé pour examiner des données inconnues. «Nous ne comprenons pas encore totalement pourquoi les réseaux neuronaux sont capables de généraliser ainsi», relève-t-il.

### Des échecs aux tumeurs

Pour de nombreuses applications, la quantité des données et des paramètres contrôlant les neurones artificiels rend très difficile l'interprétation du comportement des algorithmes. Même les joueurs d'échecs peinent à comprendre les stratégies suivies par les derniers programmes en date, notamment par Google Alpha qui a récemment écrasé le meilleur logiciel d'échecs classique. Mais personne ne sait vraiment comment il a fait. Si des difficultés se présentent déjà pour les échecs, qu'en est-il des programmes médicaux censés aider à classer les tumeurs? Sont-ils suffisamment compréhensibles et éprouvés pour qu'on puisse se fier à leurs «décisions»? De nombreux chercheurs en doutent - même s'ils n'emploieraient pas le terme «d'alchimie».

La Defense Advanced Research Projects Agency du Département américain de la défense se confronte déjà à ce défi. Son projet Explainable Artificial Intelligence

veut développer des réseaux de neurones plus transparents pour les utilisateurs. Des scientifiques de l'Université Stanford ont récemment mis au point un programme qui examine la fiabilité des systèmes d'intelligence artificielle. Il permet de mieux comprendre leurs décisions, réduisant à l'essentiel la complexité de ces modèles.

Pascal Frossard et son équipe poursuivent une autre approche. Ils insufflent des connaissances empiriques préalables dans leurs algorithmes. En combinant l'apprentissage automatique et des connaissances concrètes du réel, ils espèrent pouvoir développer un programme réunissant les avantages des deux approches: les possibilités d'apprentissage des réseaux de neurones profonds et la transparence des programmes classiques. «Finalement, tout dépend des applications, dit le chercheur. Mais le meilleur système se situe probablement quelque part à mi-chemin.»

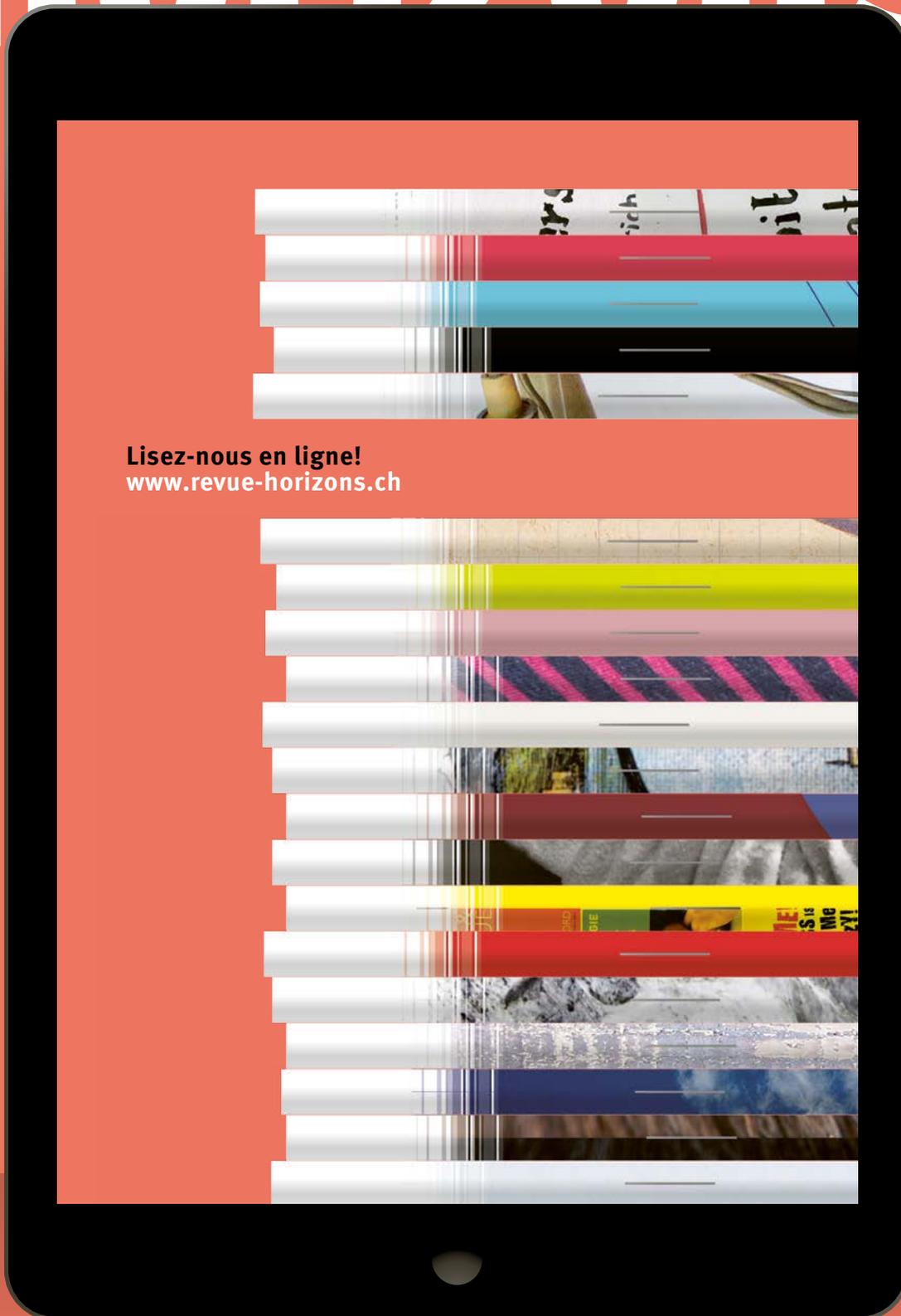
Sven Titz est journaliste libre à Berlin.

### Comment «voler» un algorithme

Une intelligence artificielle peut être dérobée. Non pas physiquement, mais en étant copiée de manière suffisamment fidèle. Les programmes s'entraînent généralement avec des données non publiques, mais une astuce permet néanmoins de reconstituer leur fonctionnement, explique Yannic Kilcher d'ETH Zurich. On leur soumet pour cela des questions (des images dans le cas d'un algorithme de reconnaissance visuelle) qui, combinées avec les résultats, rendent possibles la reproduction du programme à l'aide d'un second réseau neuronal.

Le problème: le réseau neuronal reconstitué est capable de recueillir des informations sur des données d'entraînement privées, un risque particulièrement délicat dans le cas de données confidentielles, par exemple médicales. Des scientifiques, dont Yannic Kilcher, essaient d'introduire des modifications subtiles dans les programmes afin de rendre ces vols de modèles plus difficiles à perpétrer.

# horizons



Lisez-nous en ligne!  
[www.revue-horizons.ch](http://www.revue-horizons.ch)

Fotolia/Tamara Kulikova



Une ombre passant sur un panneau solaire crée une différence de tension électrique nuisible.

## L'ombre, ennemie des cellules solaires

En moins d'une décennie, les pérovskites se sont imposées dans la recherche sur les cellules solaires. Des scientifiques aux Etats-Unis, en Corée ou encore en Suisse se penchent sur cette famille de matériaux à la structure cristalline. La technologie s'améliore rapidement: la stabilité des capteurs photovoltaïques est passée de quelques heures à plus de quarante jours, et les rendements ont quintuplé de 4% à plus de 22%.

Luca Bertoluzzi étudie la capacité des cellules photovoltaïques à supporter les différences de voltage lorsqu'une ombre passe sur une partie du panneau solaire et que les cellules n'affichent pas le même rendement au même moment. Cela risque de poser problème pour des modules basés sur la pérovskite ou sur le silicium traditionnel. «Les cellules à l'ombre agissent comme un barrage qui bloque le courant généré par les cellules exposées au soleil, explique Luca Bertoluzzi. Si l'écart de tension dépasse un certain seuil, la digue est submergée et peut être endommagée.»

Le silicium encaisse sans dommage des différences de tension de plus de 10 volts. Les prototypes de pérovskite ne tolèrent que 1 à 4 volts, mais ils peuvent récupérer une partie de leurs propriétés après un accident. Si le scénario se prolonge ou se répète, les dommages vont cependant s'accumuler et entraîner une baisse des performances, puis la mort de la cellule.

«Bien sûr, l'idéal serait de comprendre exactement ce qui se passe au niveau chimique afin de concevoir des pérovskites plus résistantes», poursuit le chercheur, actuellement post-doc à l'Université Stanford grâce à une bourse FNS. Avec la doctorante Andrea Bowring, il a identifié d'autres solutions possibles: «Il serait imaginable de concevoir des circuits électriques pour dériver le surplus de courant ou, plus simplement, installer les panneaux là où les différences d'exposition sont moindres.» *Lionel Pousaz*

A. R. Bowring et al.: Reverse Bias Behavior of Halide Perovskite Solar Cells. *Advanced Energy Materials* (2017).

## Un pacemaker alimenté par les muscles cardiaques

Les médecins implantent chaque année dans le monde plus d'un million de stimulateurs cardiaques. Il s'agit d'une intervention de routine mais, dans les cinq à dix ans, il faut la renouveler pour changer la pile du petit appareil. Toute nouvelle opération présente un risque de complications, c'est pourquoi l'ingénieur biomédical Adrian Zurbuchen veut mettre au point un pacemaker autonome fonctionnant sans batterie.

«Le but serait d'implanter et d'oublier», dit Adrian Zurbuchen, qui achève actuellement un séjour de recherche à l'Université du Michigan à Ann Arbor. En collaboration avec des collègues de l'Université de Berne, il propose une nouvelle approche: un petit appareil constitué d'aimants et de bobines doit transformer l'activité du muscle cardiaque en énergie électrique pour le stimulateur. Chaque battement de cœur ferait bouger ce qu'on appelle un harvester, un microgénérateur d'électricité. Il pourrait être implanté à l'aide d'un cathéter sur le côté droit du cœur. Cette technique a cependant un inconvénient: le patient ne peut ensuite plus se soumettre à des examens d'imagerie par résonance magnétique (IRM) en raison des aimants présents dans le générateur.

Le cœur a besoin d'une puissance de pompage d'environ un watt pour faire circuler nos six litres de sang chaque minute. Un stimulateur, en revanche, ne demande pas plus de cinq à dix microwatts et ne nécessiterait donc qu'une fraction de l'énergie produite par le muscle cardiaque. Lors d'un essai in vivo sur des porcs, l'équipe est parvenue à générer une puissance de 1,7 microwatt pour une fréquence cardiaque de 160 pulsations par minute. Cela n'est pas encore vraiment suffisant, mais Adrian Zurbuchen a établi par simulation quels paramètres du harvester devraient être modifiés afin de récupérer assez d'énergie. *Alexandra Bröhm*

A. Zurbuchen et al.: Endocardial Energy Harvesting by Electromagnetic Induction. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* (2017)

Adrian Zurbuchen



Un implant pourrait transformer l'énergie du muscle cardiaque en électricité.



L'humidité présente lors de la production du béton peut en affaiblir la résistance.

## Des prédictions en béton

Les fissures représentent un fléau pour toutes les structures en béton: elles les affaiblissent et constituent un risque d'écroulement. Une nouvelle étude montre que surveiller la croissance des pores à l'intérieur du matériau par résonance magnétique nucléaire (RMN) permettrait de mieux prédire les fissures dans les bétons à hautes performances utilisés pour des ouvrages massifs tels que piles de ponts ou gratte-ciel.

Le béton est fabriqué en mélangeant des agrégats et du sable avec de la poudre de ciment et de l'eau. Le ciment durcit sous l'action de l'eau, car les molécules de silicate de calcium forment des structures semblables à des aiguilles lorsqu'elles sont confrontées aux molécules d'eau. Au cours de la réaction, les aiguilles s'assemblent pour créer une structure solide contenant des pores renfermant un mélange d'air et d'eau. La pression sur l'interface entre l'air et l'eau comprime le béton, générant une tension qui peut conduire à des fissures.

Zhangli Hu de l'EPFL et ses collègues de l'EMPA à Dübendorf ont développé une nouvelle méthode pour prédire comment l'humidité relative à l'intérieur du ciment pourrait diminuer avec le temps et ainsi à quelle vitesse des fissures risquent de se former. La technique repose sur la mesure de l'abondance relative de pores grands et petits à l'intérieur du matériau en plaçant des échantillons de ciment dans un appareil de RMN. Contrairement aux mesures directes de l'humidité relative, cette approche ne requiert pas de briser les échantillons.

Les prédictions basées sur la RMN ne diffèrent des mesures directes que de 4% dans le cas du ciment plus aqueux, et de seulement 2% pour le ciment fabriqué avec de très petites quantités d'eau. Zhangli Hu estime qu'il s'agit d'une technique prometteuse pour l'analyse du béton à hautes performances, car il contient peu d'eau tout en étant davantage sujet aux fissures provoquées par les variations d'humidité intérieure. *Edwin Cartlidge*

Z. Hu et al.: A novel method to predict internal relative humidity in cementitious materials by H NMR. *Cement and Concrete Research* (in press)

# Un steak in vitro

L'environnement souffre de la production croissante de viande,

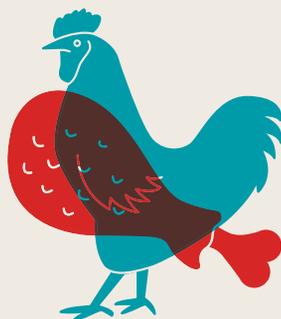
La consommation de viande a quadruplé depuis les années 1960, ce qui a provoqué une énorme pression sur les ressources naturelles. Un tiers des surfaces cultivables de la planète est consacré exclusivement à l'élevage et 40% des céréales servent de fourrage.

De nombreux efforts visent à développer des produits ayant la même apparence que la viande, le même goût et la même odeur, mais qui soient moins gourmands en ressources. Les alternatives ne tiennent cependant pas toutes leurs promesses.

## Comment quantifier l'impact

Le bilan écologique d'un produit peut être réalisé en analysant son cycle de vie. Alexander Mathys d'ETH Zurich compare les impacts environnementaux liés à la production et à la transformation d'un kilo de viande avec ceux d'un produit de substitution. Les conséquences de l'extraction de matières premières, l'utilisation des ressources et émissions sont réparties en différentes classes, comme les effets sur la couche d'ozone, le rayonnement ou encore la pollution du sol et des eaux.

Ces nombreux indicateurs sont ensuite consolidés dans trois catégories: ressources, systèmes écologiques et santé humaine. Par exemple, brûler des combustibles fossiles réduit l'espérance de vie et la santé des gens au travers de la pollution de l'air, qui provoque notamment maladies des voies respiratoires et cancers. L'analyse de cycle de vie présentée ici s'appuie sur des bases de données concernant les produits alimentaires et des publications relatives à la production et la transformation de produits de substitution à la viande.



VOLAILLE

### Impact étonnamment faible

La volaille est populaire: près de 14 kilos sont consommés par personne et par an au niveau mondial – deux kilos de moins en Suisse. Ces produits ménagent un peu mieux l'environnement que le porc et le bœuf, et s'en sort même bien comparative-ment aux produits de substitution à la viande. La volaille figure en milieu de classement dans les catégories santé, écosystème et ressources. Le plus grand problème environnemental provient des fourrages nécessaires à l'élevage des poules, qui demandent sols et eau en quantité.

0,18

0,06

0,38



SOJA

### Bon bilan environnemental

Le tofu est le plus connu des succédanés de viande élaborés à base de soja, qui permet la production d'escalopes et de saucisses plus ou moins semblables à l'original. Il contient notamment du fer et des vitamines telles que l'acide folique.

L'impact environnemental de la farine de soja est relativement réduit, car il s'agit d'un sous-produit de la fabrication de biocarburant. En fait, la consommation d'énergie principale est représentée par sa préparation à la cuisine. Les importantes surfaces agricoles nécessaires aujourd'hui à la culture du soja se justifient par le fait que les trois quarts de la récolte globale servent à nourrir du bétail.

0,1

0,02

0,16

# peu écolo

mais les substituts ne constituent pas une solution miracle.

Texte: Julia Richter

Infographie: CANA atelier graphique



## INSECTES

### Nourriture concentrée

Les insectes contiennent des protéines, des acides gras insaturés, des vitamines et des fibres alimentaires. Les aliments dérivés sont en outre bon marché et écologiques. Les 80% d'un grillon peuvent finir dans l'assiette, contre 40% pour le bœuf. L'analyse du cycle de vie attribue de bonnes notes aux substituts à base d'insectes dans les trois catégories.

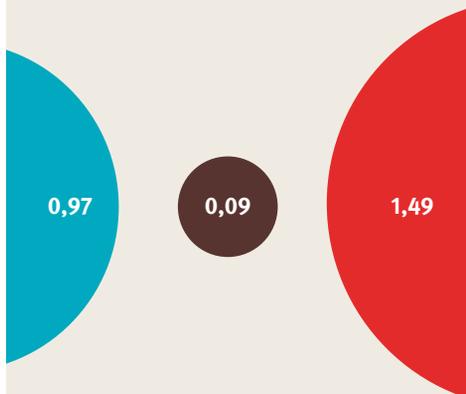


## VIANDE IN VITRO

### Gros besoin énergétique

Pour obtenir de la viande in vitro, des cellules animales sont prélevées et mises en culture dans des solutions nutritives. Elles s'y multiplient, produisent des protéines et sont «récoltées» sous forme de viande après quelques semaines. Cette méthode ne demande que quelques cellules et non un animal entier. Elle pourrait idéalement réduire considérablement la consommation d'eau et de terres.

En l'état actuel des connaissances, il n'est cependant pas évident que le burger cultivé en laboratoire puisse un jour présenter un meilleur bilan que la viande ordinaire. L'analyse du cycle de vie s'avère positive pour l'utilisation de terres et la pollution du sol et de l'eau. Mais la très grande quantité d'énergie nécessaire compromet son bilan écologique dans les trois catégories ressources, environnement et santé.



## La voix des consommateurs

Le premier steak haché in vitro présenté en 2013 n'avait pas vraiment de quoi convaincre les clients potentiels: un prix de 250 000 dollars et un goût critiqué. Il manquait de graisse et de tissus conjonctifs. Depuis, les chercheurs visent à optimiser autant le goût que le coût de ce burger afin de lui ouvrir l'accès au marché. Mais on est encore bien loin de le trouver sur les étagères des détaillants.

Le succès commercial d'un produit dépend aussi beaucoup de l'acceptation des consommateurs, comme le montre l'exemple des insectes. Un sondage de la Haute école spécialisée bernoise indique que de nombreux Suisses reconnaissent les avantages potentiels de la consommation d'insectes, mais n'ont aucune envie d'en manger. Le nouveau droit alimentaire autorise la vente en Suisse de certaines espèces depuis mai 2017, mais il faudra encore attendre avant que la consommation d'insectes entre dans les mœurs sous nos latitudes.

En millipoints (mPt)

- RESSOURCES
- ÉCOSYSTÈMES
- SANTÉ HUMAINE

L'empreinte de la production d'un kilo de viande ou de substitut est normalisée par l'empreinte annuelle totale d'un Européen moyen et exprimée en points (Pt) ou millipoints (mPt).

# La médecine personnalisée nécessite d'autres études

Les études cliniques traditionnelles ne fournissent pas les données nécessaires pour développer une médecine ajustée à l'individu, lance un chercheur.

Par Sascha Karberg

**L**a médecine a un problème: les thérapies ne fonctionnent souvent que sur une partie des patients. Selon la Food and Drug Administration américaine (FDA), quatre personnes sur dix ne réagissent pas aux antidépresseurs. La raison en est largement imputable aux gènes.

C'est sur ces différences existant entre les patients que se fonde l'idée de la médecine personnalisée. Un exemple: Iressa, une molécule contre le cancer, qui agit uniquement chez les personnes dont les cellules tumorales présentent des mutations d'un gène précis. Ce dernier agit sur un facteur de croissance qui stimule la division cellulaire. Ces mutations constituent un «biomarqueur» qui indique si le patient pourra tirer bénéfice du médicament administré (s'il est un «répondeur») - ou non.

Identifier les différences entre patients serait bien plus difficile que prévu, selon Stephen Senn, un biostatisticien travaillant au Luxembourg Institute of Health. «Dans une étude clinique, il n'est normalement pas possible d'établir qui a tiré profit du traitement ou non, avance-t-il. L'engouement pour la médecine personnalisée repose sur une hypothèse à peine testée: que les patients réagissent de manière très différentes à un traitement.» A son sens, les études citées notamment par la FDA s'appuient sur des fondements statistiques précaires.

La raison: les études n'analysent pas les réactions de patients individuels. Au contraire, elles se bornent à mettre en parallèle des groupes de patients sur la base de leur réaction moyenne. Ce pourra être la différence de pression sanguine de l'ensemble des patients ayant reçu un traitement donné par rapport aux personnes à qui un placebo a été administré. «Nous ne menons tout simplement pas le type d'études qui serait à même de distinguer un répondeur d'un non-répondeur.»

Stephen Senn ne nie pas que la diversité de l'héritage génétique des patients soit susceptible d'exercer une influence sur le succès d'un traitement. Il dit seulement que la plupart des études cliniques



La médecine personnalisée vise à individualiser les traitements, mais les études distinguent mal différences entre patients et variations naturelles chez une seule personne. Photo: Viacheslav Lopatin/Shutterstock

ne sont pas en mesure de conclure si des variations au niveau de l'efficacité ont des causes génétiques ou non. Elles pourraient être aussi provoquées par des différences fortuites dans l'alimentation ou des infections cachées.

## Placebo et traitement sur un patient

Stephen Senn propose une solution: observer les patients de manière individuelle sur une plus longue durée après leur avoir administré un traitement suivi d'un placebo, ou l'inverse. Ces études sérielles appelées «N-of-1» fournissent des données qui permettraient de distinguer la réaction des patients d'autres variations aléatoires. Dans la revue Nature en 2015, Nicholas Schork du J. Craig Venter Institute en Californie appelait également de ses vœux ce genre d'études afin de tester «les innombrables facteurs - notamment génétiques et environnementaux - qui influencent la réaction d'une personne à un traitement particulier».

Mais les études «N-of-1» ne sont pas réalistes, souligne l'épidémiologiste suisse Peter Jüni: elles sont trop fastidieuses et compliquées à mener dans un contexte clinique. L'actuel directeur de l'Applied Health Research Centre de l'Université de Toronto donne raison à Stephen Senn sur le fait que l'on tire fréquemment des conclusions infondées sur les répondeurs

et non-répondeurs. Mais des procédures «très disciplinées» peuvent ouvrir des voies à une interprétation correcte des études menées selon les protocoles traditionnels.

«L'engouement pour la médecine personnalisée repose sur une hypothèse à peine testée.»

Stephen Senn

Les résultats de sous-groupes spécifiques de patients sont souvent surinterprétés, confirme Peter Jüni: «Il n'existe pas de médecine vraiment personnalisée dans laquelle chaque patient reçoit le traitement qui lui convient exactement. Pour l'instant, nous ne sommes pas en mesure de satisfaire ces attentes.» A ses yeux, les efforts pour consolider les données nécessaires à la médecine personnalisée sont importants - même si les thèses de Stephen Senn ne font pas le consensus parmi ses collègues.

Sascha Karberg est rédacteur scientifique au Tagesspiegel à Berlin.

## Alcoolisme: prévenir les suicides par médicament

Les personnes souffrant d'alcoolisme chronique se suicident plus fréquemment que le reste de la population et mettent plus souvent fin à leurs jours à l'aide de médicaments que d'autres groupes vulnérables. C'est la conclusion d'une étude menée sur l'ensemble des suicides commis en Suisse de 2000 à 2010 pour lesquels des indications sur la concentration d'alcool dans le sang au moment du décès étaient disponibles. Dans plus d'un tiers de ces cas, les personnes décédées avaient bu avant de passer à l'acte. Trois quarts d'entre elles avaient des problèmes de consommation d'alcool, selon leur dossier médical.

L'un des auteurs de l'étude, Thomas Reisch, du Centre psychiatrique de Münsingen, n'est pas surpris par ces résultats, en particulier par le recours fréquent à l'intoxication médicamenteuse pour se suicider. «De nombreux alcooliques sont habitués à consommer régulièrement des médicaments parce qu'ils sont en traitement médical intensif.» C'est aussi pourquoi ils sont souvent en possession de substances susceptibles d'être utilisées pour s'ôter la vie.

Les auteurs trouvent précisément ici un angle de prévention. «On pourrait empêcher de nombreux suicides en limitant l'accès aux produits mortifères», assure Thomas Reisch. C'est pourquoi les médecins devraient prescrire aux personnes souffrant de problèmes d'alcool des substances telles que les benzodiazépines de manière aussi restrictive que possible. On pourrait aussi envisager qu'elles les prennent uniquement sous surveillance, directement chez le médecin ou en pharmacie, ou qu'elles ne leur soient données qu'en petit nombre. *Stéphane Praz*

P. Pfeifer et al.: Acute and chronic alcohol use correlated with methods of suicide in a Swiss national sample. *Drug and Alcohol Dependence* (2017)



Un accès restreint aux médicaments pourrait empêcher certains suicides.



Le scalpel gamma peut léser une petite région cérébrale pour le bien du patient.

## Des rayons gammas contre les tremblements

Un patient atteint de la maladie du tremblement essentiel a de la peine à écrire ou à saisir un objet: ses gestes volontaires sont perturbés par des secousses. La technique de radiochirurgie «Gamma Knife» représente une option thérapeutique. Des rayons gamma de haute énergie lèsent une zone profonde du cerveau, située dans le thalamus moteur.

50% des patients répondent bien au traitement et voient leur tremblement se réduire de moitié. Mais cette thérapie n'est pas encore bien comprise. Des chercheurs viennent d'apporter un premier élément de réponse en étudiant le cerveau de patients guéris.

«Nous avons comparé à l'aide de l'IRM structurelle la densité de la matière grise du cerveau de 38 patients avant et après la radiochirurgie, explique Constantin Tuleasca du Centre Gamma Knife du CHUV à Lausanne et premier auteur de l'étude menée avec l'EPFL et le Centre hospitalier de la Timone à Marseille. Nous avons trouvé une corrélation entre l'arrêt du tremblement et la modification d'une autre aire corticale impliquée dans la vision.»

Ce lien a pu être confirmé par la suite. Le chercheur a prédit l'efficacité du traitement chez 52 autres patients en se basant sur une analyse par imagerie de cette aire visuelle. «La réponse était d'autant meilleure que la densité de matière grise dans celle-ci était élevée avant l'intervention», résume-t-il. Le rôle de cette zone reste à préciser, car elle n'est pas touchée lors de la radiochirurgie. Des expériences sont en cours avec une autre technique d'IRM qui permet d'évaluer la corrélation de l'activité du thalamus et de celle de l'aire visuelle. «On pourra ensuite décider s'il faut également cibler une aire visuelle, précise Constantin Tuleasca. Non pas dans le but de la léser mais de moduler son activité et d'améliorer le résultat du traitement.» *Aurélie Coulon*

C. Tuleasca et al. Right Brodmann area 18 predicts tremor arrest after Vim radiosurgery: a voxel-based morphometry study. *Acata Neurochir* (2017)

## Le secret des couleurs irisées des scarabées

En polarisant la lumière, des microstructures en hélice nichées dans la carapace du scarabée indonésien lui confèrent un éclat métallique.

Les brillantes couleurs de nombreux insectes ne viennent pas de pigments, mais des nanostructures particulières de leurs carapaces. Des chercheurs réunis autour de Bodo Wilts de l'Université de Fribourg ont découvert comment le scarabée indonésien *Chalcothea smaragdina* produit son éclat vert métallique.

Ils ont étudié sa carapace en chitine au microscope électronique et au microscope à force atomique et ont constaté que l'ultime couche possédait une structure en hélice. Cette cuticule consiste en une septantaine de couches de fibres très fines, des microfibrilles, qui se décalent à chaque pas de l'hélice. «C'est précisément l'agencement nécessaire pour qu'elle ne reflète qu'une seule couleur - le vert en l'occurrence», explique Bodo Wilts. La réflexion oriente les ondes lumineuses dans une direction particulière et polarise la lumière de manière circulaire. Une structure réticulaire en surface affaiblit en outre légèrement la réflexion de la lumière non polarisée.

Les chercheurs ont également montré que cette structure polarise la lumière, rendant le scarabée plus lumineux. De nombreux insectes perçoivent cette polarisation, mais pas les oiseaux et les mammifères. «Le coléoptère attire ainsi l'attention de ses congénères, mais reste camouflé pour ses prédateurs.»

Les scientifiques veulent désormais reproduire en laboratoire des structures hélicoïdales analogues. Cela permettrait la production de couleurs plus stables et moins nocives que celles à base de pigments, voire d'éléments de sécurité invisibles à l'œil nu pour les passeports ou les billets de banque. *Simon Koehler*

L. T. McDonald et al: Circularly polarized reflection from the scarab beetle *Chalcothea smaragdina*: light scattering by a dual photonic structure. *Interface Focus* (2017)



Des microstructures dans la carapace du scarabée indonésien lui confère son vert brillant.

# Le politologue politicien

Romain Felli analyse les discours institutionnels sur le changement climatique. Il siège également au Conseil communal de Lausanne. Rencontre avec un chercheur qui ne craint pas le mélange des genres.

Par Martine Brocard

Il voulait d'abord être notaire «pour gagner beaucoup d'argent», puis géographe pour préserver la nature et, enfin, fonctionnaire dans les institutions européennes. Il a tenté sa chance dans le ski, mais ses mouvements «élégants mais pas rapides» se sont arrêtés sur la deuxième marche du podium romand de slalom spécial. Finalement, il a réalisé que rien ne le passionnait autant que la recherche. Les pièces du puzzle se sont aujourd'hui imbriquées: Romain Felli étudie les politiques du changement climatique. Maître-assistant en sciences politiques à l'Université de Lausanne (UNIL) et chargé de cours à l'Institut des sciences de l'environnement de l'Université de Genève (UNIGE), le trentenaire au nœud papillon analyse ce que font les institutions internationales pour protéger l'environnement.

Ses travaux détonnent par rapport aux discours classiques sur le réchauffement. «En fait, les gouvernances politiques actuelles ne parviennent aucunement à limiter l'augmentation des températures, assène le chercheur. Le modèle dominant ne conteste pas l'orientation vers la croissance destructrice de l'environnement, mais entend plutôt en tirer des opportunités. On le voit dans les programmes d'adaptation qui cherchent à étendre les mécanismes de marché, par exemple à travers des programmes de micro-assurances privées pour les petits agriculteurs.»

«L'appel des institutions à s'adapter au changement climatique renvoie à un échec politique majeur.»

Le fils d'un ancien directeur de l'école de ski de Leysin dans les Préalpes vaudoises s'est intéressé au changement climatique lorsqu'il a pris conscience que sa station était menacée. «J'ai réalisé que cela n'allait pas arriver ailleurs ou dans un futur lointain, mais dans un milieu familial.»

Depuis une dizaine d'années, Romain Felli travaille sur les discours portant sur le sujet, par exemple la manière dont les «réfugiés» climatiques sont devenus des «migrants». Il s'est ensuite penché sur le concept désormais omniprésent de «résilience» qui prône l'adaptation au réchauffement plutôt que son combat.

«Ses travaux sont totalement novateurs, commente Géraldine Pflieger, directrice de l'Institut des sciences de l'environnement à l'UNIGE. On n'a pas la même vision du monde avant et après les avoir lus.» Elle considère le Vaudois comme «un chercheur atypique qui allie à la fois approche critique et rigueur méthodologique, tout en étant un brillant théoricien.»

Romain Felli analyse actuellement les discours de la Banque mondiale portant sur la résilience et décrypte la sociologie des experts sollicités. «Trois quarts d'entre eux sont passés par les mêmes universités anglaises ou américaines, relève-t-il. Pourtant, nombre d'études ont démontré l'importance des savoirs locaux en la matière.» Le politologue de 36 ans se défend d'être un catastrophiste, mais porte un regard sévère sur l'appel à l'adaptation, qui «renvoie à un échec politique majeur, celui de n'avoir pas réussi à changer les structures économiques qui produisent la surexploitation des ressources». Une tendance qui s'inscrit bien dans la logique néo-libérale qui veut que les plus adaptés s'en sortent le mieux: «Les mesures de réduction des gaz à effet de serre bénéficient à tout le monde, tandis que les mesures d'adaptation ne bénéficient qu'à ceux qui les ont mises en place.»

## Un chercheur au Conseil communal

Facile de critiquer lorsqu'on ne met pas les mains dans le cambouis? Le reproche ne s'applique pas à Romain Felli qui passe de la théorie à la pratique deux mardis soir par mois comme conseiller communal à Lausanne. Ce scientifique à l'œil rieur a rejoint les rangs du Parti socialiste en 2007, en rupture avec la tradition familiale libérale.

Le chercheur siège à la sous-commission des finances en charge des Services industriels, responsable notamment de la transition énergétique de la capitale vaudoise. Malgré son expertise en matière de climat, il s'interdit d'intervenir en tant que spécialiste. Ses recherches l'ont toutefois sensibilisé sur certains points, comme «les mesures possibles contre la formation d'îlots de chaleur en période de canicule». Ce père d'un garçon de 5 ans a ainsi déposé un postulat pour la création de patageoires dans les parcs publics et un autre pour la plantation d'arbres fruitiers en ville. Pour le président du Parti socialiste lausannois, Benoît Gaillard, Romain Felli

est «un vrai social-démocrate, intéressé autant à changer les choses maintenant dans le réel que dans l'idéal à plus long terme».

Si ses travaux académiques influencent ses activités politiques, l'inverse vaut également: «Ce mandat au Conseil communal me rend très attentif aux difficultés que représentent les coalitions ou encore aux contraintes politiques et économiques qui relèvent d'arrangements institutionnels.» Le fait que ces deux rôles ne soient «pas étanches» ne le préoccupe guère. Au contraire, il qualifie ces interactions de «mutuellement bénéfiques», à condition de respecter la nature de chaque institution et de «bien comprendre la place qu'on y occupe».

Le socialiste ne craint pas pour la neutralité supposée de la recherche. «Mes projets portent sur des éléments que je considère comme politiquement importants, mais cela ne signifie pas que ma recherche sera orientée.» Selon lui, la neutralité est moins importante que l'explication du point de vue et de la méthode, afin que ses travaux soient reproductibles. «En suivant ma démarche, une personne d'une autre sensibilité politique devrait obtenir les mêmes résultats, même si elle ne se serait peut-être pas posé la même question au début.»

S'il est une question qui interroge rarement Romain Felli, c'est celle des loisirs. Malgré tout, quand ses engagements lui en laissent le temps, l'homme qui partage sa vie avec une chercheuse en sciences sociales aime emmener son fils skier. Notamment sur ses pistes natales de Leysin, tant que la neige est au rendez-vous.

Installée à Lausanne, Martine Brocard écrit pour Les Alpes et LargeNetwork.

## Entre Genève et Lausanne

Né en 1981, Romain Felli est maître-assistant en sciences politiques à l'Université de Lausanne (UNIL) et chargé de cours à l'Institut des sciences de l'environnement de l'Université de Genève (UNIGE). Ce spécialiste du changement climatique a publié en 2016 «La grande adaptation» aux éditions du Seuil. Docteur ès sciences politiques de l'UNIL (2011), il est également licencié en géographie. Il a reçu le prix de la relève de l'Académie suisse des sciences humaines et sociales en 2015.



## La licorne

Autant animal fabuleux que personnage de Disney, la licorne est une créature biblique. Comme les sirènes et les centaures, on ne la trouve pas dans la Bible hébraïque, mais uniquement dans sa traduction grecque, la Septuaginta. A l'époque néotestamentaire, celle-ci était aussi répandue chez les chrétiens que chez les juifs, et se trouve à la base du Physiologus. Dans le Psaume 22:21, la licorne est présentée comme un animal puissant et dangereux. La légende de l'animal que seule une vierge parvient à capturer s'est répandue dans l'art du haut Moyen Age. Elle provient du cœur de la théologie chrétienne, la christologie: la licorne amadouée par une jeune vierge est une image du Christ incarné qui a pris chair de la Vierge Marie. Etant donné qu'elle a été vaincue par une vierge, l'interprétation christique la présente comme fragile et mignonne.



# L'évangile de la nature

Le Physiologus conjugue la symbolique animalière de l'Ancien Testament avec l'interprétation de la nature. Des chercheurs bernois ont réinterprété le texte millénaire.

*Par Pascale Hofmeier*



## L'éléphant

L'*Historia animalium* d'Aristote l'affirme: l'idée que les éléphants dorment debout parce qu'ils n'arriveraient sinon pas à se relever est fausse. L'illustration part de là. Elle montre ce qu'on peut en fait observer dans la nature: des éléphants qui aident un des leurs à se relever. Le Physiologus rattache cette observation naturaliste à une allégorie de l'Ancien Testament: il présente d'abord la chute d'Adam et Eve – le couple de pachydermes – qui vivaient au paradis avant d'avoir goûté au fruit défendu. Ensuite, le texte rapporte les vaines tentatives des autres éléphants (Moïse et les prophètes) pour aider l'humanité déchue à se relever. Seul le dernier animal (le Christ) peut rétablir son congénère qui a chuté (Adam). Le comportement des éléphants reflète l'interprétation chrétienne de l'histoire de l'humanité.



## Le lion

Le Physiologus s'ouvre avec le roi des animaux. En Egypte et en Assyrie déjà, le lion symbolisait le pouvoir des rois et des déesses alors qu'il représente le Messie attendu dans l'Ancien Testament (Genèse 49:9). Le Physiologus voit en lui le Christ et rattache l'histoire naturelle antique et la symbolique de l'Ancien Testament. Le lion vient au monde mort-né, et ce n'est que trois jours plus tard que son père lui insuffle la vie – à l'instar du Christ ressuscité. Il efface ses traces avec sa queue comme Jésus dissimule sa nature divine dans sa chair.

**Le manuscrit dont sont tirées les illustrations a été produit autour de 830 à Reims. Il se trouve aujourd'hui dans la Bibliothèque de la Bourgogne de Berne.**

Images: Bern, Burgerbibliothek, Cod. 318, f. 19v – Physiologus Bernensis ([bit.ly/Ho\\_116\\_8](http://bit.ly/Ho_116_8))

## Le pélican

Le pélican s'ouvre la poitrine pour y laisser couler son sang: cette représentation se retrouve dans des cathédrales, des universités et des hôtels de ville, sur le drapeau de la Louisiane et dans les armoiries de la ville de Luckenwalde, près de Berlin. Le Physiologus le présente comme un symbole de la faute et de la réconciliation dans l'histoire de l'humanité: dérangé par les piailleries de ses enfants, l'oiseau les tue, raconte le texte – comme Dieu un jour détruisit le monde par le déluge. Mais il a ensuite pitié d'eux et les ramène à la vie avec les gouttes de son sang. La signification théologique de cette image est tombée dans l'oubli à la fin du Moyen Age. La poitrine blessée du pélican symbolise celle du Christ sur la croix, et son sang représente le sacrement de l'eucharistie qui confère la vie éternelle.

### Symbolique et histoire naturelle

Tout comme la Bible, la nature est lisible parce qu'on y trouve la main de Dieu. C'est l'idée fondamentale du Physiologus – littéralement «naturaliste» –, l'un des textes antiques les plus traduits après la Bible. Cette collection restée anonyme a probablement été rédigée en grec à Alexandrie au II<sup>e</sup> siècle. En une cinquantaine de chapitres, les textes traitent en priorité des animaux, mais aussi des plantes et des minéraux.

Les théologiens Rainer Hirsch-Luipold et Zbyněk Kindschi Garský

de l'Université de Berne ont examiné comment ils concilient la symbolique animalière de l'Ancien Testament et l'histoire naturelle antique pour élaborer une interprétation chrétienne de la nature. L'idée fondamentale relève de la théologie de la création: puisque le Christ, en tant qu'incarnation du Verbe, est à l'origine de l'existence de toute chose, on le retrouve dans l'ensemble de la création. Le Physiologus a exercé une influence déterminante sur l'iconographie chrétienne.

# Lorsque l'Etat se retourne contre ses citoyens

Des études de cas au Mexique et en Inde montrent comment les discours tenus par les dirigeants lors de conflits influencent le respect des droits humains.

Par Theodora Peter

La violence d'Etat n'est pas le fruit du hasard. Dix jours après son entrée en fonction en 2006, le président mexicain Felipe Calderón envoyait 7000 militaires dans l'Etat du Michoacán pour combattre les cartels de la drogue et le crime organisé. L'argument avancé était de protéger la population contre les violences. La tentative de rétablissement de la sécurité a été payée au prix fort: 60 000 personnes sont mortes en lien avec la guerre contre la drogue au cours des six années de présidence de Calderón.

La politologue Evelyne Tauchnitz a passé sous la loupe le discours du gouvernement mexicain juste avant, pendant et après le lancement de l'opération Michoacán. Dans le cadre de sa thèse à l'Institut de hautes études internationales et du développement de Genève, elle a étudié la violence d'Etat à travers le prisme des normes en matière de droits humains. Son analyse révèle que le langage guerrier et le thème global de la sécurité ne laissent, face aux problèmes à résoudre, guère de place à d'autres approches que celles entrant dans le schéma de l'augmentation de la capacité des forces armées. Au Mexique, dans les premiers temps de la guerre contre la drogue, Felipe Calderón savait qu'il jouissait du soutien de l'opinion publique.

«Le devoir de protection de la population peut être instrumentalisé pour légitimer la violence d'Etat.»

Evelyne Tauchnitz

Les cartels étaient présentés comme une menace pour la sécurité et un frein au développement économique du pays. L'éventualité que la pauvreté, l'absence de perspectives et le manque de formation ait pu constituer la principale motivation des jeunes Mexicains à rejoindre,

malgré les risques, le très lucratif trafic de drogue, est resté totalement occultée. Le gouvernement n'a jamais dit un mot non plus sur la question de la légitimité du soutien accordé à la police par l'armée et la marine dans la poursuite des criminels. Au contraire, l'intégration de l'armée était considérée comme une grande aide pour laquelle les citoyens devaient se montrer reconnaissants.

«Le gouvernement légitime souvent le recours à des mesures de contrainte par la volonté de protéger la population contre des menaces à sa sécurité», explique Evelyne Tauchnitz. Mais on attend aussi d'une démocratie comme le Mexique qu'elle respecte les droits humains fondamentaux. Elle devrait ainsi appliquer la loi et protéger le droit à la vie de tous les citoyens. «L'exemple de la guerre contre la drogue au Mexique montre toutefois que le devoir de protection de la population peut être instrumentalisé pour légitimer la violence d'Etat.» Tant que cette obligation ne vaudra pas aussi pour les criminels - potentiels - la violence d'Etat ne saurait être endiguée. Dans un conflit, la probabilité qu'un gouvernement renoue avec des méthodes plus pacifiques n'a de chances d'augmenter que si ce droit à une protection est reconnu à tout un chacun.

## Guerre et paix en Inde

Ses recherches ont également conduit Evelyne Tauchnitz en Inde. Dans deux études de cas, elle a examiné deux formes opposées de gestion du conflit politique avec les naxalites, des groupes rebelles maoïstes. En 2004 et 2005, le gouvernement et les dirigeants rebelles ont mené des négociations de paix dans l'Etat de l'Andhra Pradesh, tandis qu'en 2009, dans l'Etat du Chhattisgarh, les insurgés ont été réprimés avec violence. En analysant ces deux chapitres d'un même conflit vieux de plusieurs années, la scientifique a pu comparer les discours des acteurs clés et leurs effets tout au long d'une forte escalade de violence et de tentatives de réconciliation.



**Michoacán 2009: l'offensive armée du gouvernement contre les cartels de la drogue ne laisse aucune place à des approches alternatives.**

Photo: Keystone/AP Photo/Miguel Tovar

Dans le cas de l'Andhra Pradesh, les décideurs ont appréhendé le conflit sous des aspects socio-économiques tels que la pauvreté, les inégalités et le statut de la propriété foncière. Ce schéma laissait entendre que des réformes agraires s'imposaient pour que les pauvres renoncent à leur combat contre le gouvernement. De plus, la question de savoir comment amener les rebelles à s'investir en tant que groupe politique «normal» au sein de l'Etat démocratique a été discutée. Au cours des négociations de paix, le gouvernement a renoncé à présenter le conflit comme un grave problème de sécurité.

L'inverse s'est produit quelques années plus tard au Chhattisgarh. Le souci de protéger la population civile des attaques rebelles est devenu le principal argument du gouvernement central indien pour envoyer des unités spéciales dans l'arrière-pays difficile d'accès. Résultat: la population locale a souffert à la fois de l'escalade de la violence et du fait d'avoir été soupçonnée de soutien aux rebelles. Elle est ainsi devenue la cible d'une violence d'Etat excessive.

### **Des outils pour la diplomatie**

Les conclusions tirées de ces études de cas ont conduit Evelyne Tauchnitz à développer une boîte à outils pour décrypter une situation tendue: de quelle manière le

problème est-il défini et classé? Les causes profondes du conflit sont-elles évoquées ou utilise-t-on les mots de solution militaire? Comment l'«ennemi» est-il perçu et sur quoi les identités sont-elles construites? Quelles émotions jouent un rôle et quelles valeurs sont abordées?

La scientifique estime que cet instrument serait utile pour le domaine de la prévention des conflits «Si certains éléments reviennent fréquemment seuls ou en combinaison dans le discours, on pourrait y voir l'indice de futures éruptions de violence.»

Pour l'expert en droit international public et en droits humains Walter Kälin, la chercheuse met à disposition un précieux outil d'analyse. «Il est très important d'interpréter les situations de conflit avec un esprit nuancé et de pouvoir mettre en évidence les types d'argumentation dont se sert un gouvernement pour tenter de légitimer ses actes.» L'exemple du Mexique montre comment l'exigence de protection ancrée dans les droits humains peut être invoquée abusivement pour justifier le recours à des méthodes illicites. Seule une connaissance intime de ces mécanismes permet une contre-argumentation. Livrer des conseils pour agir n'est cependant pas la mission de la science, mais de la politique, souligne Walter Kälin. Si les diplomaties occidentales souhaitent s'impliquer

dans un conflit actuel - telle la persécution des Rohingyas en Birmanie -, il conviendra dans un premier temps d'analyser les types d'argumentation développés.

Pour Evelyne Tauchnitz, une chose est claire: «Pour amener les Etats à respecter les droits humains, il faut des discours qui promeuvent une action respectueuse de ces exigences fondamentales.» En d'autres termes: «Si la manière dont les décideurs politiques appréhendent un conflit et en débattent vient à évoluer, ils prendront d'autres décisions pour le résoudre.»

Theodora Peter est Journaliste libre à Berne.

—  
E. Tauchnitz. Old Violence – New Package: The Discursive Legitimation of State Violence in Mexico. Peter Lang (à paraître en 2018)

E. Tauchnitz. When States Use Lethal Force against their Own Citizens – Human Life Protection Norms on a Crossroad (2016)

## Des dignitaires africains aux jeux séculaires romains

Si nous célébrons aujourd'hui le passage d'un siècle à l'autre, nous le devons aux Romains et à leur conception du temps comme un enchaînement de périodes de cent ans. Les jeux séculaires de la Rome antique duraient plusieurs jours et devaient à chaque fois marquer un renouveau politique. La fête était grandiose. Elle comprenait non seulement des jeux, mais aussi des oracles, des prières, des sacrifices et des processions auxquelles participaient les représentants des classes supérieures et de la famille impériale. Ces festivités n'avaient toutefois pas lieu exactement tous les cent ans, mais en général quand le potentat jugeait bon de proclamer l'avènement d'un nouveau siècle.

Les cérémonies rituelles de deux jeux séculaires – les uns sous le règne d'Auguste en 17 avant J.-C. et les autres durant celui de Septime Sévère en 204 après J.-C. – sont décrites dans des inscriptions fragmentaires qui ont été décryptées et interprétées à nouveau. Les textes eux-mêmes faisaient partie du rituel. «Comme la religion romaine exigeait toujours l'accomplissement exact du même cérémonial, le déroulement des jeux devait à chaque fois être consigné dans une sorte de procès-verbal», explique le directeur du projet Thomas Späth, professeur à la chaire de cultures antiques de l'Université de Berne. Tout simplement parce que, cent ans plus tard, «il n'y avait plus personne de vivant pour donner des renseignements sur les jeux séculaires».

Bärbel Schnegg, collaboratrice scientifique, a procédé à un nouveau décodage plus complet de l'inscription remontant à 204 et l'a traduite pour la première fois. Les listes de noms montrent que des élites d'Afrique du Nord et du nord de l'Italie assumaient déjà des fonctions culturelles à Rome. Il est également singulier de constater que les noms des épouses et des enfants étaient aussi mentionnés.

*Christoph Dieffenbacher*

B. Schnegg, *Commentaria ludorum saecularium*, De Gruyter (à paraître en 2019)



Les rites furent gravés dans la pierre pour survivre à la mémoire humaine.



La destinée des demandeurs d'asile dépend de la culture au sein de l'administration.

## Asile: le système influence les décisions

La plus grande partie des décisions d'asile négatives en Suisse sont motivées par le «manque de crédibilité» du requérant. Il faut cependant constater que la proportion des rejets justifiés ainsi reste constante au fil des ans, indépendamment de l'origine des demandeurs et du nombre de requêtes.

Une équipe de chercheurs conduite par l'anthropologue sociale Julia Eckert de l'Université de Berne a mis en évidence que «l'habitus institutionnel» joue un rôle décisif dans cette procédure. «Il s'agit d'une certaine manière de penser, de sentir, de percevoir et d'agir que l'on acquiert par la socialisation au sein d'une institution», explique Laura Affolter, qui vient d'achever une thèse sur la question. Après deux ans de recherches menées au Secrétariat d'Etat aux migrations, elle a constaté ceci: «Il y règne un climat de suspicion. Une attitude critique à l'égard des requérants y est considérée comme plus professionnelle.» Les collaborateurs font leurs certains modèles et objectifs opérationnels indépendamment de leurs valeurs personnelles. Ils utilisent ainsi dans les entretiens des techniques qui incitent les requérants à se contredire.

Laura Affolter estime que le rôle joué par la crédibilité dans la procédure s'explique principalement par la difficulté à recourir contre cet argument. En outre, «en remettant en question la crédibilité d'un requérant, on lui renvoie la responsabilité de la décision négative: c'est pratiquement de sa faute», dit la chercheuse. Le projet avait pour but de comprendre les processus de décision. Les chercheurs n'ont pas formulé de recommandations pratiques. «Nous sommes tout à fait disposés à discuter de nos résultats avec les autorités», déclare Julia Eckert. *Astrid Tomczak*

L. Affolter: *Asyl-Verwaltung kraft Wissen: Die Herstellung von Entscheidungswissen in einer Schweizer Asylbehörde*. In Ch. Lahusen et al.: *Asyl verwalten: Zur bürokratischen Bearbeitung eines gesellschaftlichen Problems*. Transcript Verlag (2017)

## Réseaux en guerre

Les récentes guerres civiles en Afrique et au Proche-Orient se distinguent fondamentalement des conflits de l'époque de la guerre froide: au lieu de deux camps soutenus par des grandes puissances, elles impliquent souvent des dizaines de parties qui s'associent pour former des alliances tactiques changeantes. Par conséquent, les options politiques en matière de pacification se révèlent très diverses. Mais quelles mesures sont garantes du succès escompté?

L'économiste Michael D. König de l'Université de Zurich a développé des modèles qui améliorent la compréhension des réseaux en présence lors de la naissance de tels conflits, et contribuent à évaluer l'efficacité des mesures politiques. Au travers de l'exemple de la deuxième guerre civile congolaise entre 1998 et 2003, Michael D. König montre comment les réseaux et le comportement des acteurs impliqués – 80 groupes armés – s'influencent mutuellement. La pugnacité d'un groupe croît notamment lorsque ses alliés réduisent leur engagement durant la saison des pluies, ou quand ses adversaires redoublent leurs efforts de guerre. L'interdiction de livrer des armes à un groupe peut certes réduire ses activités jusqu'à 60%, mais pas nécessairement le nombre total des combats, car ses alliés luttent alors d'autant plus intensément.

«Les négociations qui aboutissent au retrait des hostilités de certaines parties sont plus efficaces», explique Michael D. König. Si tous les groupes étrangers décident de se tenir à l'écart, le nombre d'opérations militaires baisse de 41% selon notre modèle.» Ce résultat prouve l'influence belliciste exercée par les pays voisins. *Nicolas Gattlen*

M. D. König et al.: *Networks in Conflict: Theory and Evidence from the Great War of Africa*. *Econometrica* (2017)



La deuxième guerre du Congo (1998 – 2003) impliqua neuf nations – et de très jeunes soldats.

# Mieux cibler son public

Une start-up utilise les lois de la physique pour analyser les données de téléphonie mobile et prédire les déplacements des gens. Et promet d'optimiser ainsi le marketing de rue.

Texte: Florian Fisch

Infographie: ikonaut

## 1 Simuler les gens

Les foules se comportent à certains égards tels des liquides quantiques composés d'électrons ou d'atomes d'hélium. Pour Alberto Hernando de Castro de l'EPFL, il devrait être possible de prédire avec précision le comportement global de larges groupes, même si la décision de chaque individu semble indépendante.

## 2 Exploiter les données mobiles

La start-up Sthar analyse les données des opérateurs de téléphonie mobile. La localisation et le statut socio-économique des utilisateurs sont anonymisés par agrégation. «Nous nous intéressons aux statistiques, par exemple aux 10% qui ont moins de 25 ans et font de l'alpinisme le week-end, ou aux 15% qui prennent l'autoroute chaque jour», dit son fondateur Alberto Hernando de Castro. Grâce à des formules de thermodynamique, il peut prédire la position statistiquement la plus probable des membres de tels groupes à un moment donné.

## 3 Diriger les campagnes

Une app vendue par Sthar aide les partis politiques, les ONG et les entreprises à positionner leurs militants ou rabatteurs de rue au bon endroit et au bon moment. Les gares sont fortement fréquentées, mais le public cible y est souvent trop dilué. Il y aura peut-être moins de monde dans un autre endroit, mais davantage de gens au profil désiré.



## 4 Surveiller épidémies et trafic

Des antennes mobiles sur les routes surveillent le trafic. Elles peuvent contribuer à améliorer les transports publics et livrer des données aux exploitants d'autoroutes. L'analyse de la mobilité aide aussi à prévoir la propagation de maladies contagieuses telles que le choléra.

mobility

epidemic

# Digitale21: formation et travail en mutation

Par Maurice Campagna

La numérisation ne nous demande pas de quel côté nous nous situons. La science et l'économie ne doivent pas craindre de travailler ensemble. Quelle contribution pouvons-nous apporter afin que tous les travailleurs de Suisse soient prêts pour

la révolution numérique? Un symposium de plusieurs jours se déroulera autour de cette question en avril 2018 à Lugano. Digitale21 réunira des acteurs venant de la formation, de la science et du monde du travail, et il invitera à discuter des défis posés à la formation et à la formation continue.

En tant que partenaires du réseau, les

Académies suisses des sciences mettent à disposition la plateforme nécessaire aux interactions. Elles espèrent que le dialogue interdisciplinaire apportera une plus-value à chacun. Il est capital que les disciplines MINT, donc mathématiques, informatique, sciences de la nature et technique, soient largement propagées afin que toutes les composantes de la société disposent d'une compréhension de base de la numérisation et, dans le meilleur des cas, de connaissances spécialisées en ce domaine. Dans la formation professionnelle, la collaboration entre acteurs publics et privés permet de transmettre des contenus très prisés sur le marché. L'agilité urgemment requise pourrait aussi être obtenue par des collaborations analogues au niveau de la formation continue. Le know-how pratique dont dispose le monde du travail doit être mieux répercuté dans les hautes écoles. Et inversement, il faut que les découvertes scientifiques continuent à déboucher sur des innovations pratiques.

L'avenir réserve de nombreux défis mais également de grandes chances. Il est possible de réussir grâce à l'engagement de tous. Le premier pas sera fait par le Parlement des jeunes en mars 2018 à Bellinzone. Je suis curieux de voir quelles mesures les enfants du numérique jugeront nécessaires dans le cadre de la révolution digitale.

Maurice Campagna est président des Académies suisses des sciences.

www.digitale21.ch

## Courrier des lecteurs

### Effets complexes de la technologie

Un complément aux deux prises de position sur la question «Les nouvelles technologies mettent-elles les personnes handicapées sous pression?» (Horizons 115, décembre 2017, p. 8): elles réduisent la notion de handicap surtout au handicap physique. Les nouvelles technologies concernent également les personnes qui souffrent de troubles cognitifs ou de comportement. D'un côté, les diagnostics prénataux conduisent, lorsqu'ils sont positifs, à une interruption de grossesse jusque dans 96% des cas. De l'autre, davantage de personnes atteintes de handicaps lourds ou multiples survivent grâce aux nouvelles technologies. C'est le cas également des très grands prématurés, qui présentent un risque plus élevé de handicap. Les effets des nouvelles technologies sont très complexes et soulèvent des pour et des contre dans un contexte plus large.

*Riccardo Bonfranchi, pédagogue curatif et spécialisé, Wolfhausen (ZH)*

### Absence de feedback pour les experts

Dans la relation entre la justice et les experts judiciaires («Science incompromise, justice erronée», Horizons 115, p. 12), une défaillance structurelle subsiste: l'expert rend son rapport, mais ne reçoit en général pas de feedback. Il ne sait donc pas si son expertise a été utile. Il lui est ainsi difficile d'apprendre de la pratique. Il arrive aussi que la justice adopte intégralement un rapport et se cache même derrière les experts au moment du jugement. La possibilité d'apprendre de cas majeurs est encore compliquée par le manque de transparence: bien que la justice suisse prévoit un accès public aux jugements, il s'avère souvent difficile. Par ailleurs, dans un rapport d'experts également, une falsification claire constitue un argument plus fort qu'une vérification. Cela peut être facilement démontré à l'aide des exemples de cas.

*Prof. em. Willem B. Stern, membre de la Chambre suisse des experts judiciaires, Bâle*

### Une image obsolète de la science

Dans son article «Une vérité à deux faces» (Horizons 115, p. 21), Nic Ulmi évoque un modèle de sciences complètement dépassé: l'objectif des sciences aujourd'hui ne serait plus la vérité absolue. La conception de Nic Ulmi est objectivement erronée. Car il est évident que toutes les sciences se préoccupent de la vérité, c'est-à-dire de ce que nous décrivons comme une «information fiable». Mais un autre problème survient souvent: les scientifiques sont-ils en mesure de toujours pouvoir nous donner une réponse claire et correcte à nos questions lorsqu'il s'agit de domaines dans lesquels il est nécessaire d'évaluer des influences différentes? Dans ce genre de cas, la fiabilité de la réponse va en général de pair avec le nombre de spécialistes ayant pu se mettre d'accord sur une opinion.

*Karl Hostettler, Aadorf (TG)*

### Incohérence

J'ai un problème avec une phrase de l'article «Une vérité à deux faces» de Nic Ulmi (Horizons 115, p. 21): «L'épisode relève que la tendance à questionner sans ménagement les experts s'implante désormais sur notre continent.» Tout le reste du numéro raconte qu'il faut absolument se fier aux expertises des spécialistes. Quelque chose a dû dérailler.

*Herbert Manser, Bâle*

### Trou de ver et point d'interrogation

Il manque un grand point d'interrogation dans le titre accrocheur «Aller simple pour le futur» (Horizons 115, p. 37). Le texte se réfère à un travail théorique qui étudie le «phénomène» d'un trou de ver qui permettrait de voyager par «téléportation». La recherche utilise deux approches, dont une repose sur une «théorie quantique de la gravitation». En tant que physicien théorique des particules, je ne peux pas dire grand-chose de ce modèle. Il serait utile d'expliquer au lecteur profane qu'il n'existe pas de théorie quantique de la gravitation reconnue. Par ailleurs, l'affirmation qu'il serait théoriquement «concevable de créer un trou noir artificiel» n'est soutenue par presque aucun physicien.

*Roland Rosenfelder, Waldshut-Tiengen (Allemagne)*

### Emballage plastique inutile

Je me réjouis toujours quand Horizons arrive dans mon casier. Les articles sont courts et stimulants. J'ai déjà pu les utiliser à plusieurs reprises dans mes cours. Je suis cependant à chaque fois irrité par l'emballage plastique qui me semble inutile et en totale contradiction avec l'option écologique d'un magazine imprimé sur papier recyclé. Serait-il possible de faire un petit geste mais efficace contre les déchets en plastique en renonçant à cet emballage?

*Jens Listemann, enseignant, école cantonale de Sargans (SG)*

**Réponse de la rédaction:** La distribution du magazine sans emballage avec une simple étiquette serait considérée par la poste comme envoi ouvert, nettement plus onéreux, et risquerait d'abîmer les pages. L'emballage est constitué par un film de polyéthylène recyclé.



### Votre avis nous intéresse!

Vous souhaitez réagir à un article? Envoyez-nous une courte lettre de lecteur (maximum 800 signes) à [redaction@revue-horizons.ch](mailto:redaction@revue-horizons.ch) ou poster un commentaire sur Facebook.

## Le Prix Latsis à un chimiste

Valérie Chételat



Le Prix Latsis national 2017 a été décerné à Xile Hu, professeur de chimie à l'EPFL et spécialiste de la catalyse, la transformation de molécules à l'aide d'autres substances. Il a conduit des études pionnières sur la production de carburants solaires et la synthèse de molécules chimiques. Ce prix est décerné chaque année par le FNS sur mandat de la Fondation Latsis Internationale.

## Les chercheurs face aux médias

Que faire lorsqu'un journaliste vous appelle? En 2018, le FNS offre aux chercheurs des cours de media training pratiques, des ateliers d'écriture et, pour la première fois, un atelier sur les médias sociaux. Le FNS soutient les cours en partenariat avec Innosuisse ainsi qu'avec les fondations Gebert Rûf et Mercator Suisse.

## Transparence des organes d'évaluation

Les procédures de sélection du FNS sont plus transparentes: désormais, les noms de tous les membres des organes d'évaluation du FNS sont publiés sur son site. Les 90 organes du FNS évaluent les requêtes et préparent les décisions du Conseil de la recherche. Ils réunissent plus de 700 membres, pour la plupart actifs dans des hautes écoles. Un tiers sont des femmes et un tiers travaillent dans des institutions à l'étranger.

## Conséquences de la transition numérique

La numérisation et les technologies de rupture modifient toujours plus d'aspects de notre vie privée et professionnelle. Dans le cadre de la mise au concours Digital Lives, le FNS soutient des chercheurs en sciences humaines et sociales qui étudient les conséquences de la transition numérique dans une haute école suisse. Le FNS met 6 millions de francs à disposition. Les requêtes peuvent être déposées jusqu'au 1er mai.

## Repérer et soutenir les filles talentueuses

S'initier aux thèmes techniques de manière ludique - c'est l'objectif du programme Swiss TecLadies. L'Académie suisse des sciences techniques souhaite enthousiasmer les filles pour la technique et l'informatique. Le défi [www.tecladies.ch](http://www.tecladies.ch) démarre le 1er mars 2018 en Suisse alémanique. Les jeunes filles de 13 à 16 ans peuvent s'y qualifier pour un parrainage.

## Davantage que des longues-vues

Plus de 50 télescopes, satellites et instruments de recherche permettent d'observer l'univers. L'accès à ces grandes installations est essentiel pour l'astronomie suisse. La brochure «Les grandes installations astronomiques» de l'Académie des sciences naturelles détaille leur utilité et leur importance pour notre pays.

## Trois femmes au Conseil de la recherche



Le Comité du Conseil de fondation du FNS a élu trois femmes au Conseil de la recherche. Dans la Division Sciences humaines et sociales, il a nommé Claudia Mareis (arts, Haute Ecole spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse) et Eszter Hargittai (sciences de la communication et des médias, Université de Zurich). Ulrike Lohmann (sciences de l'environnement, ETH Zurich) entre à la Division Mathématiques, sciences naturelles et de l'ingénieur.

## En bonne santé et intégrés

La nouvelle Platform Ageing Society des Académies suisses des sciences réunit recherche et pratique sur la question du vieillissement de la société afin de leur permettre un échange continu. Avec cette initiative, les Académies soutiennent le projet Stratégie et plan d'action mondiaux sur le vieillissement et la santé de l'OMS. [www.ageingsociety.ch](http://www.ageingsociety.ch)

### Horizons

Le magazine suisse de la recherche paraît quatre fois par an en français et en allemand. Les articles sont disponibles en ligne en anglais. 31<sup>e</sup> année, n° 116, mars 2018.

[www.revue-horizons.ch](http://www.revue-horizons.ch) en français  
[www.horizonte-magazin.ch](http://www.horizonte-magazin.ch) auf Deutsch  
[www.horizons-mag.ch](http://www.horizons-mag.ch) in English

[www.facebook.com/horizonsmagazine](https://www.facebook.com/horizonsmagazine)  
[www.twitter.com/horizons\\_fr](https://www.twitter.com/horizons_fr)

[contact@revue-horizons.ch](mailto:contact@revue-horizons.ch)

### Editeurs

Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)  
Wildhainweg 3  
Case postale  
CH-3001 Berne  
Tél. 031 308 22 22  
[com@snf.ch](mailto:com@snf.ch)

Académies suisses des sciences  
Maison des Académies  
Laupenstrasse 7  
Case postale  
CH-3001 Berne  
Tél. 031 306 92 20  
[info@akademien-schweiz.ch](mailto:info@akademien-schweiz.ch)

### Rédaction

Daniel Saraga (dsa), direction  
Marcel Falk (mf), Florian Fisch (ff),  
Pascale Hofmeier (hpa), This Rutishauser (tr)

### Graphisme, rédaction photos

2. stock süd netthoevel & gaberthüel,  
Valérie Chételat

### Traduction

Sophie Gaitzsch, Olivier Huether

### Correction

Jean-Pierre Grenon

### Impression et lithographie

Stämpfli SA, Berne et Zurich  
Climatiquement neutre, [myclimate.org](http://myclimate.org)  
Papier: Refutura FSC, Recycling, matt  
Typographie: FF Meta, Greta Text Std

### Tirage

36 000 exemplaires en allemand et  
16 500 en français

© Tous droits réservés.

Reproduction possible avec l'autorisation de l'éditeur.  
ISSN 1663 2710

L'abonnement est gratuit.

[www.revue-horizons.ch/abo](http://www.revue-horizons.ch/abo)

Les articles publiés n'engagent pas les éditeurs (FNS et Académies).

### Le FNS

Sur mandat de la Confédération, le FNS encourage la recherche fondamentale et soutient chaque année, grâce à quelque 800 millions de francs, plus de 3200 projets auxquels participent environ 14 000 scientifiques. Il constitue ainsi la principale institution d'encouragement de la recherche scientifique en Suisse.

### Les Académies

Sur mandat de la Confédération, les Académies suisses des sciences s'engagent en faveur d'un dialogue équitable entre la science et la société. Elles représentent la science, chacune dans son domaine respectif, mais aussi de façon interdisciplinaire. Leur ancrage dans la communauté scientifique leur permet d'avoir accès à l'expertise de quelque 100 000 chercheurs.

**«Le souci numéro un  
d'un scientifique est d'être publié et cité.»**

Daniel Hürlimann page 30

**«Oui, en principe ici  
tout est dangereux.»**

Sören Hedtke page 32

**«Il n'y avait plus personne de vivant  
pour donner des renseignements.»**

Thomas Späth page 48



Depuis 1990, Dr. Mario agence  
des médicaments selon leur  
couleur afin d'éliminer des virus.  
Aujourd'hui, des jeux vidéo  
aident des scientifiques à prévoir  
la forme des protéines.

Image: 2018 Nintendo