

CAP SUR LES NOUVELLES TERRES

P. 18 DEPUIS LA DÉCOUVERTE DE 51 PEG IL Y A VINGT ANS, LA DIVERSITÉ DES EXOPLANÈTES NE CESSE D'ÉTONNER LES SCIENTIFIQUES. LE PÔLE DE RECHERCHE NATIONAL «PLANETS» A UNE DÉCENNIE POUR CHERCHER À MIEUX LES COMPRENDRE

campus

HISTOIRE

COLIS DE GUERRE
ET RÉVOLUTION
HUMANITAIRE
PAGE 13

EXTRA-MUROS

ENQUÊTE SUR LES
VILLES DURABLES
DE DEMAIN
PAGE 46

TÊTE CHERCHEUSE

LE GÉNÉRAL
QUI AIMAIT
LES SCIENCES
PAGE 50



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE



Pensez à jeter vos mégots
dans les cendriers



UNI PROPRE
C'EST FACILE
unige.ch/unipropre

AGEDD



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

04 ACTUS

RECHERCHE

06 PSYCHOLOGIE

LA PÉDAGOGIE DES JEUX VIDÉO D'ACTION



Les adeptes de jeux d'action obtiennent de meilleurs scores dans des tests de performance visuelle, car ils augmentent leur capacité d'apprentissage grâce à la pratique de leur divertissement.

13 HISTOIRE

COLIS DE GUERRE ET RÉVOLUTION HUMANITAIRE



L'envoi de nourriture aux prisonniers de guerre, puis aux populations civiles et aux déportés a permis de sauver un nombre incalculable de vies au cours des deux conflits mondiaux. Il a également profondément influencé l'évolution des organisations caritatives.

11 GÉNÉTIQUE

LE PÉNIS : UN DOIGT GÉNÉTIQUEMENT DÉTOURNÉ

Les organes génitaux externes et les doigts se sont développés grâce à des mécanismes génétiques identiques comprenant plusieurs gènes et un système de régulation particulièrement complexe.



RECYCLÉ

Papier fait à partir
de matériaux recyclés

FSC® C008839

DOSSIER : UN UNIVERS PLEIN DE MONDES



18 UN LEADERSHIP MONDIAL

Le Pôle de recherche national PlanetS permettra sans doute à la Suisse de conserver pour une décennie encore son leadership mondial dans la découverte et l'étude des exoplanètes.

23 DU ZÉRO À L'INFINI

L'humanité s'interroge depuis l'Antiquité sur l'existence d'autres mondes. Au fil des siècles, la réponse de la science à cette question a varié du tout au tout jusqu'à la découverte de 51 Peg b. Récit.

28 UNE DIVERSITÉ INATTENDUE

Elles peuvent être grosses ou petites, tourner autour d'étoiles doubles, former des systèmes multiples très compacts : les planètes extrasolaires ne cessent d'étonner par leur diversité.

30 LES PLANÈTES, CES GRANDES MIGRATRICES

Dès la découverte de la première exoplanète, il est apparu que les planètes migrent, parfois sur de grandes distances, à l'intérieur des systèmes solaires. Le défi consiste depuis à modéliser ce phénomène.

32 CAP SUR L'ATMOSPHÈRE DES EXOPLANÈTES

L'étude des atmosphères des exoplanètes pousse les instruments de mesure actuels à la limite de leurs performances. Objectif : la recherche de la vie extraterrestre.

38 LES MONDES SELON HARPS

Le spectrographe genevois, installé sur un télescope au Chili, est l'instrument le plus précis du monde dans sa catégorie.

40 CHEOPS MET LA SUISSE SUR ORBITE

Le satellite helvétique étudiera des exoplanètes déjà connues tournant autour d'étoiles proches. Il mesurera leur transit afin de connaître leur diamètre et d'en déduire leur densité.

RENDEZ-VOUS



42 L'INVITÉ

« IL Y A 15 000 ANS, LA MER EST MONTÉE DE 16 MÈTRES EN 300 ANS »

D'inestimables trésors scientifiques renseignant sur le climat du passé, la biodiversité des bactéries de l'extrême et les risques de tremblements de terre se cachent dans la croûte océanique. Explications avec Gilbert Camoin, un chercheur qui aime forer des trous dans les roches

46 EXTRA-MUROS

ENQUÊTE SUR LES VILLES DURABLES DE DEMAIN

Comment les villes peuvent-elles réussir le virage vers une plus grande durabilité ? En observant les choix opérés dans la cité avant-gardiste de Masdar et dans la mégapolis de Los Angeles, l'atelier « Urban Futures » cherche des éléments de réponse

50 TÊTE CHERCHEUSE

LE GÉNÉRAL QUI AIMAIT LES SCIENCES

Sauveur de la nation lors du Sonderbund, inventeur du drapeau à croix blanche et fondateur de la Croix-Rouge, Guillaume-Henri Dufour fut aussi un homme de science et un éphémère professeur d'Académie

54 À LIRE

56 THÈSES DE DOCTORAT

SCIENCES AFFECTIVES

LE CISA ÉTALE SES «ÉMOTIONS» AU MUSÉUM DE NEUCHÂTEL

**YVES FLÜCKIGER
A ÉTÉ DÉSIGNÉ
AU POSTE DE RECTEUR**



CHRISTIAN LUTZ

Lors de sa séance du 19 novembre 2014, l'Assemblée de l'Université de Genève a désigné Yves Flückiger comme recteur de l'institution, un poste qu'il pourrait occuper à partir du 15 juillet 2015.* Ce processus de désignation constitue la clé de voûte de la nouvelle loi sur l'Université, entrée en vigueur en 2009. Il s'agissait donc d'une première pour l'UNIGE. Professeur d'économie à la Faculté d'économie et de management, Yves Flückiger occupe actuellement le poste de vice-recteur. Après avoir suivi une formation en économie et en sociologie à l'Université de Genève où il a obtenu un doctorat en 1983, il a été chercheur associé aux universités de Harvard et d'Oxford. En 1993, il a été nommé professeur ordinaire au Département des sciences économiques de l'UNIGE, puis vice-recteur en 2007. Directeur de l'Observatoire universitaire de l'emploi, il a siégé dans de nombreuses commissions fédérales, en particulier la Commission de la concurrence, dont il a assuré la vice-présidence de 2003 à 2007, et le Conseil national de la recherche du Fonds national suisse de la recherche scientifique, entre 1998 et mars 2008.

*A l'heure de mettre sous presse, cette proposition doit encore être soumise à la nomination par le Conseil d'Etat.

On va rire, pleurer, se fâcher, trembler ou encore faire la grimace toute une année au Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel. C'est en effet en collaboration avec cette institution que le Centre interfacultaire en sciences affectives a monté une exposition sur les émotions visible jusqu'au 29 novembre 2015. *Emotions – une histoire naturelle* présente l'état des connaissances sur la question. Le catalogue qui l'accompagne en est un vrai manuel à l'usage du grand public. Vraisemblablement, les fruits d'adaptations qui facilitent la survie et la reproduction, la peur, la surprise, la tristesse, le dégoût, la colère ou encore la joie sont qualifiés d'émotions primaires – selon l'une des théories en vigueur du moins – car elles sont liées aux besoins fondamentaux des individus.

Leur expression sur le visage ou sur l'organisme (claquements de dents, palpitations, accès de sueur, yeux écarquillés...) est connue depuis longtemps. Les neuroscientifiques tentent désormais de mieux comprendre, à l'aide de différentes techniques d'imagerie, les mécanismes physiologiques des émotions dans le cerveau et le système nerveux périphérique.

A priori, il n'y a pas de raison de croire que l'être humain soit la seule espèce douée d'émotions. Des chercheurs pensent que les animaux en ressentent aussi, comme certains mammifères mais peut-être aussi les oiseaux et même les insectes.

Quoiqu'il en soit, les mécanismes affectifs et les émotions sociales sont apparus au cours de l'évolution pour mettre de l'huile dans la dynamique complexe des groupes. Ils sont une réponse aux contraintes de la vie en promiscuité. On retrouve souvent chez les mammifères des signes d'attachement entre des mères et leurs petits ou des attouchements qui, en provoquant la production d'une substance chimique (l'ocytocine) diminuent le stress et l'agressivité. Les jeux sociaux, sources de plaisir (mesuré par la production d'autres molécules comme la dopamine ou la sérotonine), se retrouvent chez des chats, des chiens, des dauphins et même certains oiseaux.

Les émotions sont destinées à provoquer une réaction de l'individu mais aussi à envoyer un message à son entourage qui doit, à son tour, pouvoir le comprendre, c'est-à-dire faire preuve d'empathie. L'aptitude à ressentir les émotions d'un autre individu est en effet fondamentale



ALAIN GERMOND

pour la vie en société. Elle est parfois déficiente chez les personnes souffrant d'autisme ou de certaines formes de démence.

Plus délicate est la question, chez l'être humain, de l'universalité des émotions ou de leur spécificité à certaines cultures. Les chercheurs tentent d'identifier les divergences et les ressemblances dans la manière dont celles-ci sont ressenties, exprimées, reconnues et classifiées d'un point de vue linguistique dans différentes populations. Cela dit, d'un point de vue évolutif, il est possible que la culture elle-même ait été façonnée par les émotions sociales. A un certain moment, l'aptitude émotionnelle, l'humour ou la créativité ont peut-être en effet commencé à jouer un rôle dans la recherche d'un ou d'une partenaire.

Aujourd'hui et probablement plus encore à l'avenir, les progrès technologiques, la recherche scientifique et le développement sociétal mettent à l'épreuve les capacités d'adaptation émotionnelle de l'être humain, notamment face au «marketing sensoriel» ou le «neuromarketing», qui exploitent de manière sophistiquée les émotions des consommateurs.

SANTÉ

LA CIGARETTE ÉLECTRONIQUE EST UN «SUBSTITUT BÉNÉFIQUE»

Le succès grandissant de la cigarette électronique continue de provoquer des réactions contradictoires dans les milieux de la santé et auprès des pouvoirs publics. Une étude, qui a passé en revue de manière extensive les recherches scientifiques menées jusqu'ici sur ses effets sur la santé, en arrive toutefois à la conclusion que les bénéfices de l'e-cigarette comme substitut au tabac dépassent ses inconvénients. Publiée dans la revue *Addiction* du mois de septembre, cette étude a été menée par une équipe internationale de cinq chercheurs spécialisés dans la prévention du tabagisme, dont le professeur Jean-François Etter de l'Institut de médecine sociale et préventive (Faculté de médecine). Bien que les connaissances actuelles sur les effets de la cigarette électronique soient encore lacunaires, notamment en ce qui concerne ses effets à long terme, la littérature scientifique ne justifie pas jusqu'à présent une réglementation sur son usage plus stricte voire aussi stricte que pour les cigarettes conventionnelles, relèvent les auteurs.



L'e-cigarette s'avère en effet un substitut bénéfique pour les personnes souhaitant arrêter de fumer des cigarettes conventionnelles, sans y parvenir en raison de leur dépendance à la nicotine, ajoutent les chercheurs. Selon le responsable de cette étude, le professeur Peter Hajek de l'Université Queen Mary à Londres, «ce que nous savons actuellement de l'e-cigarette est clair: elle doit être autorisée à concurrencer la cigarette conventionnelle sur le marché».

MÉDECINE

L'EPO PROTÈGE LE CERVEAU DES GRANDS PRÉMATURÉS

Chaque année, plus de 2,5 millions d'enfants viennent au monde avant la 32^e semaine de grossesse. Ces bébés, définis par la médecine comme de «grands prématurés», ont aujourd'hui de bonnes chances de survie. Ils présentent néanmoins un risque plus élevé que la moyenne de développer des troubles neurologiques qui peuvent se traduire par un retard de croissance, des difficultés d'apprentissage, des problèmes de coordination, des difficultés de langage, un déficit de l'attention, voire de l'hyperactivité.

Or, selon une étude publiée dans le *Journal of American Medical Association* du 27 août et pilotée par Petra Susan Hüppi, professeure à la Faculté de médecine et cheffe du Service de développement et croissance du Département de pédiatrie des Hôpitaux universitaires de Genève, l'administration, juste après leur naissance, de trois doses d'érythropoïétine (EPO) permet de réduire de manière importante les lésions cérébrales chez ces bébés.

L'érythropoïétine (EPO) de synthèse, dont l'effet dopant chez les sportifs est bien connu,

est un traitement couramment utilisé pour prévenir l'anémie en cas d'insuffisance rénale chez les adultes par exemple. Il est également administré aux prématurés afin de diminuer le nombre de transfusions sanguines. Il se trouve, par ailleurs, que cette hormone présente également, selon plusieurs études, un effet neuroprotecteur. Afin de vérifier si cet effet existe aussi sur les prématurés, l'équipe genevoise a examiné les IRM de 165 enfants dont la moitié a reçu trois doses d'EPO dans les deux jours suivant leur naissance.

Il en ressort que les cerveaux des enfants traités présentent beaucoup moins de lésions que ceux du groupe ayant reçu un placebo. Cette étude n'est cependant qu'un premier pas. L'étude genevoise s'insère en effet dans un programme national portant sur 495 enfants nés en Suisse entre 2005 et 2012 qui participeront à différents tests à l'âge de 2, puis de 5 ans. L'objectif est de confirmer l'effet du traitement par EPO sur les troubles neuro-développementaux que présentent souvent les grands prématurés au cours de leur enfance.

LE PRIX DALLE MOLLE ATTRIBUÉ À JUAN DIEGO GOMEZ

Chercheur au Centre universitaire d'informatique, Juan Diego Gomez s'est vu remettre le prix de la Fondation Dalle Molle récompensant le meilleur projet de recherche pour la qualité de la vie. Il partage cette distinction avec Hanna Krasnova de l'Université de Berne. Le projet SeeColOr de Juan Gomez a pour but de développer un prototype de substitution visuelle pour aider les personnes aveugles ou malvoyantes.

NICOLAS GISIN LAURÉAT DU PRIX MARCEL BENOIST



Professeur et directeur du Département de physique appliquée (Faculté des sciences), Nicolas Gisin est le lauréat 2014 du Prix Marcel Benoist, l'une des principales distinctions scientifiques de Suisse. Elle lui est remise «pour ses travaux remarquables sur les fondements et les applications possibles de la mécanique et de la cryptographie quantiques».

DISTINCTION POUR HANNELORE LEE-JAHNKE

Ancienne professeure de la Faculté de traduction et d'interprétation, Hannelore Lee-Jahnke s'est vu décerner le Abdullah bin Abdulaziz International Award for Translation 2014. Cette distinction souligne la reconnaissance internationale des travaux de Hannelore Lee-Jahnke dans le domaine de la traduction et en faveur de la communication interculturelle.

ENVIRONNEMENT

À LA RACINE DES PIQUANTS DE LA SOURIS ÉPINEUSE

La croissance de piquants sur le dos de la souris épineuse (*Acomys dimidiatus*) est due à la structure asymétrique des follicules pileux qui leur ont donné naissance. Cette observation, rapportée dans un article paru le 25 septembre dans la revue en ligne *EvoDevo*, montre comment une modification morphologique apparue au cours de l'évolution a abouti à la transformation de poils du pelage droits et ronds en des piquants beaucoup plus grands et concaves. Ces travaux, dirigés par Michel Milinkovitch, professeur, et Athanasia Tzika, maître assistante au Département de génétique et évolution (Faculté des sciences), s'inscrivent dans l'étude de la diversité des phanères (productions issues de l'épiderme) chez les mammifères et, plus particulièrement, des piquants des hérissons ou des porcs-épics.



Les gros poils concaves de la souris épineuse ont la particularité de s'arracher facilement, parfois avec des bouts de peau. Le derme se régénère ensuite avec de nouveaux follicules, évitant ainsi de créer des zones chauves. Cette stratégie pourrait représenter un moyen de défense du petit rongeur contre ses congénères ou des prédateurs qui, croyant avoir attrapé

leur proie, se retrouvent avec seulement une touffe de piquants dans la gueule.

«Nous avons montré que la forme concave des piquants est associée à l'asymétrie de deux parties anatomiques du follicule pileux (le cortex et la gaine épithéliale), note Sophie Montandon, doctorante au Département de génétique et évolution et première auteure de l'article. *Une simulation numérique, réalisée par Bastien Chopard, professeur au Département d'informatique, a ensuite confirmé que la gaine épithéliale asymétrique exerce sur le poil en pleine croissance une force mécanique suffisante pour lui donner la forme observée.»*

Les chercheurs aimeraient maintenant comprendre comment cette asymétrie est apparue en identifiant les gènes et les processus physiques impliqués dans le processus.

PHYSIQUE

NOUVEAUX ANTIBIOTIQUES: L'UNIGE SE MOBILISE

Les bactéries résistantes aux antibiotiques représentent l'une des plus grandes menaces pour la santé humaine, selon l'Organisation mondiale de la santé. Pour y faire face, un consortium européen piloté par l'UNIGE a lancé fin octobre le programme DRIVE-AB. Celui-ci regroupe des partenaires publics et privés originaires de 11 pays (institutions académiques, organismes de recherche, industries pharmaceutiques et biotechnologiques).

Financé à hauteur de 9,5 millions d'euros par l'Initiative européenne sur les médicaments innovants, ce programme ambitionne de définir des standards pour l'utilisation responsable des antibiotiques. Il vise également à développer et tester de nouveaux modèles économiques qui permettront, à terme, de favoriser la recherche et le développement de futurs médicaments.

Environ 25 000 personnes meurent chaque année dans l'Union européenne à la suite d'infections résistantes à plusieurs médicaments. De nouvelles formes de résistance continuent d'apparaître et de se propager, réduisant progressivement le champ d'action des traitements actuels. Les coûts annuels de ce fléau s'élèvent à près de 1,5 milliard d'euros. Malgré

le besoin croissant de nouveaux médicaments, seuls deux nouveaux types d'antibiotiques ont été mis sur le marché ces trois dernières décennies. Considérant que le retour sur investissement est trop faible, l'industrie n'investit plus dans la recherche et le développement de nouveaux antibiotiques.

Pendant les trois prochaines années, le consortium tentera de relancer les investissements dans ce domaine tout en développant des solutions pour maintenir et préserver l'efficacité des médicaments déjà existants.

DRIVE-AB collaborera avec des partenaires œuvrant dans le même domaine à travers le monde afin d'assurer la mise en œuvre des recommandations qui seront formulées.

«C'est un programme ambitieux qui fédère un panel unique d'experts internationaux dans des domaines très variés, estime Stephan Harbarth, professeur à la Faculté de médecine et coordinateur de DRIVE-AB. Je suis convaincu que l'expertise, la motivation et la diversité des partenaires engagés dans le programme représentent la meilleure solution pour se confronter à la complexité et à la nature du problème de la résistance aux antibiotiques et de la diminution du nombre de nouveaux médicaments.»

**LA SUISSE PARTICIPERA
À HORIZON 2020**

Le Conseil fédéral a approuvé le 22 octobre l'accord sur la participation de la Suisse au programme européen Horizon 2020. Celui-ci prévoit une association partielle de la Suisse jusqu'à fin 2016.

Les chercheurs actifs en Suisse peuvent participer pleinement à certains volets du programme et poser leur candidature aux bourses du Conseil européen de la recherche. Pour la période 2017-2020, l'accord prévoit une pleine association de la Suisse à Horizon 2020 à condition qu'une solution ait été trouvée au sujet de la libre circulation des personnes.

**LE PRIX BIOALPS 2014
POUR RON APPEL**

Ron Appel a reçu le prix Bioalps 2014 en récompense de sa contribution à la création et à l'essor de l'Institut suisse de bioinformatique dont il est le directeur. L'ISB fournit l'infrastructure nécessaire à la recherche médicale et des sciences de la vie et compte parmi les leaders de la scène bio-informatique mondiale.

GÉNÉTIQUE

LA FATALITÉ DU DIABÈTE DE TYPE 1 REMISE EN CAUSE

Le diabète de type 1 a longtemps été perçu comme une maladie causée par la perte irréversible des cellules bêta du pancréas, responsables de la synthèse de l'insuline, une hormone dont l'effet consiste à faire baisser le taux de sucre dans le sang. C'était compter sans la plasticité de deux autres types de cellules du même organe, fort logiquement baptisés alpha (productrices de glucagon) et delta (productrices de somatostatine).

Dans un article publié le 20 août sur le site Internet de la revue *Nature*, Pedro Herrera, professeur au Département de médecine génétique et développement (Faculté de médecine), et son équipe ont en effet montré sur des souris que le pancréas parvient à compenser une éventuelle perte de cellules bêta en ramenant l'intégralité des cellules delta à un stade immature. A partir de cet état indifférencié, elles se multiplient de nouveau, se spécialisent et reconstituent les deux populations de cellules. Les chercheurs ont cependant remarqué que ce mécanisme, dont les rouages microbiologiques ne sont de loin pas tous découverts, ne se déclenche spontanément qu'avant l'âge de la puberté.

Ce résultat est la prolongation d'une première découverte réalisée par la même équipe il y a quatre ans. Les chercheurs avaient alors montré



que dans un pancréas malade de souris transgénique, des cellules alpha se transforment spontanément en cellules bêta et commencent à produire de l'insuline. Dans ce cas, ce mécanisme de conversion est possible durant toute la vie adulte de l'animal, mais il n'implique qu'une petite partie de cellules alpha.

Selon les auteurs, plusieurs observations suggèrent que le pancréas humain pourrait fonctionner de manière analogue à celui des rongeurs. «*Le chemin est encore long avant que les personnes souffrant de diabète puissent bénéficier de ces résultats*, estime Pedro Herrera. *Mais la découverte de cette capacité d'adaptation des cellules delta nous laisse imaginer de nouvelles interventions thérapeutiques.*»

LE BIOSCOPE A OUVERT SES PORTES

Laboratoire public des sciences de la vie et des sciences biomédicales de l'UNIGE, le Bioscope a ouvert ses portes le 3 novembre. Cet espace ludique et interactif est destiné à accueillir en majorité des classes. Les visiteurs pourront y réaliser des expériences scientifiques, participer à des projets de science citoyenne et découvrir l'actualité de la recherche en biologie (<http://bioscope.ch>).

REMISE DES PRIX GERTRUDE VON MEISSNER

Les prix de recherche de la Fondation Gertrude von Meissner, qui récompense des projets scientifiques dans le domaine de la prévention et du traitement des handicaps et des maladies chez les enfants et les adolescents, ont été attribués cette année à Roberto Coppari, Melis Karaca Emre, Camille Piguet, Virginie Sterpenich et Serge Vulliemoz (tous de la Faculté de médecine).

ABONNEZ-VOUS À «CAMPUS»!

Découvrez les recherches genevoises, les dernières avancées scientifiques et des dossiers d'actualité sous un éclairage nouveau. Des rubriques variées vous attendent traitant de l'activité des chercheurs dans et hors les murs de l'Académie. L'Université de Genève comme vous ne l'avez encore jamais lue!

Université de Genève
Presse Information Publications
24, rue Général-Dufour
1211 Genève 4
Fax 022 379 77 29
campus@unige.ch
www.unige.ch/campus

Abonnez-vous par e-mail (campus@unige.ch) ou en remplissant et en envoyant le coupon ci-dessous :

Je souhaite m'abonner gratuitement à «Campus»

Nom

Prénom

Adresse

N° postal/Localité

Tél.

E-mail

NEUROSCIENCES

LA SÉROTONINE GUIDE L'ASSEMBLAGE DES NEURONES

UN EARLY CAREER AWARD POUR OLGA KLIMECKI



DR

Olga Klimecki, chercheuse au Centre interfacultaire en sciences affectives, a reçu le «Early Career Award» de la Society for Social Neuroscience qui récompense les contributions significatives des jeunes chercheurs en neurosciences. Olga Klimecki mène des recherches sur les émotions liées à la socialisation, l'empathie et la compassion.

MICHAEL HOTHORN, CHOISI COMME EMBO YOUNG INVESTIGATORS

Professeur au Département de botanique et biologie végétale (Faculté des sciences), Michael Hothorn a été sélectionné comme EMBO Young Investigators. Ce programme vise à encourager les meilleurs jeunes chercheurs dans le domaine des sciences de la vie en Europe. Les travaux de Michael Hothorn portent principalement sur la capacité des plantes à capter des signaux hormonaux à la surface de leurs cellules pour coordonner leur croissance et leur développement.

FARHAD HAFEZI REÇOIT L'ISRS CASEBEER AWARD

Farhad Hafezi, professeur à la Faculté de médecine, a reçu le prix Casebeer Award, délivré par l'International Society of Refractive Surgery, un partenaire de l'Académie américaine d'ophtalmologie. C'est la première fois que cette distinction est attribuée à un ophtalmologue suisse.

Le câblage des neurones du cerveau au cours du développement n'est pas une mince affaire. À l'âge adulte, le nombre de connexions dans le système nerveux central humain se compte en milliers de milliards et les erreurs peuvent se payer par des troubles psychiatriques importants. Une équipe genevoise a montré chez la souris que le mécanisme permettant aux neurones de croître dans la bonne direction et de trouver leur emplacement correct dans le cortex dépend du bon fonctionnement d'un type de récepteur sensible à la sérotonine, un neurotransmetteur impliqué dans la régulation de l'humeur. L'article qui rapporte cette découverte a été publié le 17 novembre dans la version électronique de la revue *Nature Communications* par l'équipe d'Alexandre Dayer, professeur au Département des neurosciences fondamentales (Faculté de médecine).

Les chercheurs savent depuis plusieurs années qu'une mauvaise régulation du système de la sérotonine, due à des causes génétiques notamment, peut augmenter le risque de développer des maladies psychiques telles que l'autisme, la dépression ou les troubles anxieux.

La sérotonine est un messager chimique relâché par un neurone et capté par un autre à



l'aide de récepteurs situés à sa surface. Afin d'en savoir plus sur sa régulation, l'équipe d'Alexandre Dayer s'est intéressée à l'un d'eux, exprimé dans les «interneurones inhibiteurs», des cellules dont le rôle est de tempérer l'excitation cérébrale afin d'éviter une suractivité potentiellement pathologique.

Les chercheurs ont montré que la stimulation de ce récepteur module l'activité et la migration des interneurones pendant une phase spécifique de leur processus migratoire. Ce mécanisme leur permet de se positionner correctement dans les différentes couches corticales. À l'inverse, un mauvais fonctionnement de ce récepteur altère la mise en place des circuits et pourrait expliquer les perturbations comportementales observées chez les souris.

NEUROSCIENCES

LA PROTÉINE QUI DÉCAPE LES BACTÉRIES PATHOGÈNES

C'est une excellente nouvelle à l'heure où la résistance des bactéries aux antibiotiques pose un problème croissant à la santé publique (lire en page 6). Dans un article paru le 18 novembre dans la revue en ligne *eLife*, Silvia Ardissoni, chercheuse au Département de microbiologie et médecine moléculaire (Faculté de médecine) et ses collègues de l'équipe du professeur Patrick Viollier ont en effet découvert une protéine qui a le pouvoir d'empêcher la formation de la capsule qui enveloppe les bactéries pathogènes et les protège des virus et du système immunitaire humain. L'étude a porté sur une bactérie, *Caulobacter crescentus*, qui a la particularité, lors de la division cellulaire, de donner naissance à deux cellules filles différentes. L'une, munie d'un flagelle, est mobile. L'autre, pourvue d'un pédoncule, est fixe comme la

cellule mère. Les chercheurs genevois se sont également aperçus que seule une des deux cellules filles est pourvue de la fameuse capsule composée de polysaccharides, à savoir du sucre. Ils ont alors découvert que la production des polysaccharides est contrôlée par les mêmes mécanismes qui régulent le cycle cellulaire. Et c'est en étudiant ce dernier qu'ils ont pu identifier la protéine qui inhibe la formation de la capsule chez l'une des deux cellules filles.

«Cette découverte ouvre une voie pour le développement de nouveaux antibiotiques, commente Silvia Ardissoni. On peut imaginer la conception de produits qui imiteraient la nature et l'action de cette protéine inhibitrice.» Les bactéries pathogènes, dépourvues de leur manteau sucré protecteur, deviendraient ainsi plus vulnérables à l'armada bactéricide du système immunitaire.

MÉDECINE

IL N'EST JAMAIS TROP TARD POUR AGIR CONTRE ALZHEIMER



Le Rapport mondial 2014 sur la maladie d'Alzheimer* a été publié le 17 septembre dernier. Emiliano Albanese, professeur assistant au Département de psychiatrie ainsi qu'à l'Institut de santé globale (Faculté de médecine), en est l'un des principaux auteurs. Explication de texte.

Campus : Le rapport évoque indifféremment la maladie d'Alzheimer et la démence. Ces deux termes signifient-ils la même chose ?

Emiliano Albanese : Pas exactement. La démence désigne le syndrome plus général dont la maladie d'Alzheimer est une des causes au même titre que la démence vasculaire (causée, entre autres, par de multiples petits accidents vasculaires cérébraux), la démence à corps de Lewy ou encore la dégénérescence lobaire fronto-temporale. Cela dit, les démences que l'on rencontre ont généralement des causes mixtes.

Comment peut-on définir le syndrome de démence ?

Il s'agit d'un syndrome qui touche la mémoire, la réflexion, le comportement et la capacité à effectuer des tâches quotidiennes. Il touche surtout les personnes âgées bien qu'entre 2 et 10% des cas apparaissent avant 65 ans. Après cette limite, la prévalence double tous les cinq ans.

est l'Alzheimer's Disease International et les associations nationales, dont l'Association Alzheimer Suisse, portent presque toutes ce nom. La maladie d'Alzheimer est également la cause la plus fréquente de démence (entre 50 et 75% des cas). Enfin, le terme d'Alzheimer est beaucoup mieux accepté que le mot démence, connoté très négativement. En évitant ce dernier, on réduit les risques de stigmatisation et de discrimination des patients au sein de la société et même de leur propre famille tout en améliorant les chances d'acceptation du diagnostic, ce qui est une condition indispensable au traitement de la maladie.

Quel est le message principal du rapport 2014 ?

Le rapport reconnaît qu'on ne peut pas guérir la démence à l'heure actuelle, mais qu'il existe des manières efficaces pour la prévenir.

Il n'existe pas de médicaments ?

Si, mais ceux que l'on utilise permettent seulement de traiter les symptômes (perte de mémoire, difficultés cognitives, etc.). De plus, ils ne fonctionnent que durant un temps limité (six mois pour la plupart) et ne sont pas efficaces sur tous les patients. La prévention est donc clairement cruciale si l'on veut agir sur le fardeau que représente la démence et qui coûte à la société tout de même quelque 600 milliards

Pourquoi continue-t-on à parler seulement de la maladie d'Alzheimer, comme c'est d'ailleurs le cas dans le titre de votre rapport, alors que l'on traite en réalité de la démence dans un sens plus large ?

Il y a des raisons historiques et culturelles à cela. Tout d'abord, l'association faîtière qui est à l'origine de la publication de ce rapport depuis 2009

de dollars par année. Il est important de préciser qu'il n'est jamais trop tard pour agir. Le contrôle du diabète et de l'hypertension artérielle ainsi que les mesures encourageant à cesser de fumer et à réduire les risques de maladies cardiovasculaires ont le potentiel d'abaisser également les risques de démence, même après la cinquantaine.

Le diabète est-il un facteur de risque pour la démence ?

Oui. Plusieurs études montrent que le diabète augmente le risque de démence. D'autres travaux montrent que l'abandon de la cigarette est très fortement associé à une diminution de ce même risque. Des études sur des personnes de 65 ans et plus ont montré que chez les anciens fumeurs ce risque est retombé au niveau de celui des personnes qui n'ont jamais consommé de tabac, tandis que celui des fumeurs est nettement plus élevé. En général, si l'on modifie ces facteurs (et c'est possible), on peut retarder l'apparition de la maladie de plusieurs années.

Que faut-il faire pour éviter la démence dans ses vieux jours ?

En résumant : investir dans l'éducation, éviter ou arrêter de fumer, contrôler et traiter l'hypertension et le diabète et, de manière générale, bouger plus et manger mieux. Ce sont les mêmes recommandations que pour prévenir les maladies cardiovasculaires, le cancer, etc. Le rapport que nous avons rédigé demande d'ailleurs à ce que la démence puisse être intégrée dans les programmes de santé publique nationaux ou globaux au même titre que les autres maladies chroniques. Ces programmes pourraient gagner en efficacité si, par exemple, les campagnes de sensibilisation associaient l'activité physique ou une bonne alimentation à une meilleure santé non seulement physique mais aussi mentale.

* www.alz.co.uk/research/world-report-2014

MONDE VIRTUEL

APPRENDRE À APPRENDRE GRÂCE AUX JEUX VIDÉO D'ACTION

LES ADEPTES

DE JEUX D'ACTION
OBTIENNENT DE
MEILLEURS SCORES
DANS DES TESTS
DE PERFORMANCE
VISUELLE, CAR
ILS AUGMENTENT
LEUR CAPACITÉ
D'APPRENTISSAGE
GRÂCE À LA
PRATIQUE DE LEUR
DIVERTISSEMENT

Les neuroscientifiques sont parvenus à montrer que les jeux vidéo d'action du type *Call of Duty*, (plus de 40 millions de joueurs à travers le monde) exercent une influence notable sur leurs utilisateurs. Il ne s'agit pas de modifications négatives du comportement comme celles que leur attribuent les opposants aux divertissements de ce type. Au contraire. Le fait de pratiquer régulièrement un tel passe-temps permet non seulement d'améliorer ses performances dans certaines tâches cognitives enseignées dans le jeu (reconnaissance visuelle, suivi simultané de plusieurs objets en mouvement, focalisation de l'attention...) mais aussi, de manière plus générale, d'augmenter sa capacité d'apprentissage. C'est ce dernier point qu'a mis en évidence une étude parue le 10 novembre dans la version en ligne des *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* et menée par Daphné Bavelier, professeure à la Section de psychologie (Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation), et ses collègues de l'Université de Rochester aux Etats-Unis.

«On sait depuis quelques années que les adeptes de jeux d'action excellent dans de nombreuses tâches cognitives et notamment visuelles, explique Daphné Bavelier. Ces bénéfices semblent même se transposer parfois dans la vie réelle. En effet, dans des métiers comme pilote d'avion ou chirurgien endoscopique, qui comportent une forte composante multitâche, certaines études ont constaté que les performances professionnelles de ceux qui pratiquent des jeux d'action dépassent celles des autres.»

L'étude parue dans les *PNAS* fait un pas supplémentaire en démontrant que si les joueurs sont plus performants dans certaines tâches de perception visuelle, c'est parce qu'ils apprennent mieux que les autres. Et s'ils apprennent mieux, c'est précisément parce qu'ils jouent à des jeux

d'action très rythmés qui exigent, entre autres, que leur attention passe sans cesse d'une cible ponctuelle à ce qui se déroule dans un environnement plus large. Ils doivent également prendre des décisions rapides et réévaluer régulièrement leurs objectifs.

Machine à prévision Le cerveau est une machine à prévision. Afin d'anticiper et de réagir de manière appropriée, le système nerveux central tente constamment de prédire ce qui va se produire l'instant d'après, que ce soit lors d'une conversation, d'une séance de conduite ou d'une opération chirurgicale.

Pour ce faire, il élabore des modèles du monde qui nous entoure basés sur son expérience. Et,

**«LA PRATIQUE DU
JEU D'ACTION PERMET
AU CERVEAU
DES JOUEURS DE
DÉVELOPPER DE
MEILLEURS MODÈLES
DU MONDE ET
DE LE FAIRE PLUS
RAPIDEMENT»**

selon la théorie, plus ces modèles sont bons, plus les performances cognitives le sont.

«Nous pouvons affirmer que la pratique du jeu d'action permet au cerveau des joueurs de développer de meilleurs modèles du monde et de le faire plus rapidement», précise Daphné Bavelier.

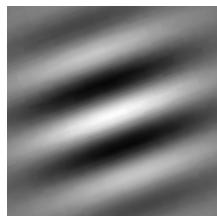
Pour parvenir à cette conclusion, son équipe a mené différentes expériences de perception visuelle au cours desquelles elle a soumis des volontaires, joueur et non-joueur, à une figure



DR

CAPTURES D'ÉCRAN
DES JEUX VIDÉO « CALL
OF DUTY » (CI-DESSUS)
ET « THE SIMS » (PAGE
SUIVANTE).

LE SIGNAL DE GABOR
EST UTILISÉ PAR LES NEU-
ROSCIENTIFIQUES COMME
STIMULUS VISUEL DANS
LEURS EXPÉRIENCES



PSYCHO-COGNITIVES.

CETTE FIGURE, ISSUE
D'UNE FORMULE MATHÉ-
MATIQUE, PROVOQUE
UNE RÉPONSE CONNUE
DANS LE CORTEX VISUEL
ET PERMET DE MENER
DES EXPÉRIENCES BIEN
CONTÔLÉES.

«NOUS NE FAISONS PAS L'APOLOGIE DES JEUX VIDÉO»

« Nous ne faisons pas l'apologie des jeux vidéo, se défend Daphné Bavelier, professeure à la Section de psychologie (Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation). Le cœur de notre recherche est la plasticité cérébrale et la compréhension des mécanismes cognitifs impliqués dans l'apprentissage. C'est par hasard que nous avons été amenés à étudier les jeux vidéo d'action il y a une quinzaine d'années. » Alors qu'elle travaille encore à l'Université de Rochester, dans l'Etat de New York, un de ses collaborateurs met au point un programme destiné à mesurer l'attention visuelle dans le cadre d'une recherche auprès de personnes sourdes. En testant le logiciel sur lui-même et quelques amis, le docteur obtient systématiquement des résultats bien plus élevés que ce que rapporte la

littérature scientifique. En revanche, quand Daphné Bavelier essaie à son tour, le score obtenu retombe à la normale. Les chercheurs identifient rapidement que le point commun entre tous les cobayes est leur passion pour les jeux vidéo d'action. « Ces derniers déploient des effets particulièrement forts et mesurables, poursuit la chercheuse. Si nous poursuivons dans cette voie, c'est qu'elle est particulièrement fructueuse. » Les jeux d'action violents ont aussi leurs aspects négatifs. Mais, curieusement, ils ne sont pas si faciles à mesurer, à l'exception d'un seul : les enfants qui passent du temps à jouer avec des écrans le prennent sur celui qui devrait servir à faire leurs devoirs. Des expériences ont montré que le fait de distribuer des consoles de jeu à certaines familles

affecte les résultats scolaires au fur et à mesure de l'année. Un résultat valable aussi pour les jeux d'action violents.

Quant à savoir si ces derniers peuvent augmenter l'agressivité des joueurs, les effets à long terme restent contestés. Les dernières études longitudinales sont arrivées à la conclusion qu'ils contribueraient à 1 ou 2 % du comportement violent d'une personne.

Sur le court terme, en revanche, des expériences ont révélé un effet qui dure une dizaine de minutes après une séance de massacre virtuelle de vingt minutes. Si on demande à ce moment au joueur anglophone de compléter un mot de quatre lettres commençant avec K, il aura tendance à préférer *kill* (tuer) à *knit* (tricoter).



abstraite (le signal de Gabor, lire ci-contre). A chaque essai, celle-ci est légèrement tournée dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens contraire par rapport à une position de départ donnée. Elle apparaît de manière furtive sur un écran (entre 15 et 30 microsecondes), prise en sandwich entre deux autres images contenant un niveau variable de bruit de fond (comme la neige sur les téléviseurs). La tâche des participants consiste à reconnaître le sens dans lequel l'image a été tournée.

La première expérience a consisté à mesurer les performances obtenues à ces tests de perception visuelle par les adeptes des jeux d'action et à les comparer à celle de personnes ne partageant pas cette distraction. Sans surprise, confirmant les études antérieures, les premiers ont surpassé les seconds.

Les scientifiques ont ensuite cherché à savoir si les joueurs possèdent naturellement de meilleurs modèles perceptifs ou si ces derniers sont le résultat de leur pratique. Ils ont alors demandé à des personnes ayant peu d'expérience en jeux vidéo de s'y consacrer durant 50 heures réparties sur neuf semaines. A des fins de comparaison, un groupe s'est mis à *Call of Duty*, un jeu d'action particulièrement rythmé, et un autre à *The Sims*, un jeu social plus paisible (voir les images des pages précédentes).

Lors des tests de perception visuelle, menés avant et après la période de jeu, le premier groupe a amélioré ses performances de manière significative, contrairement au second. Il en ressort que tous les jeux, aussi passionnantes

«CERTAINS INDICES MONTRENT QUE L'INGRÉDIENT DE LA VIOLENCE NE SEMBLE PAS NÉCESSAIRE»

soient-ils, ne développent pas les mêmes effets. Et ce sont les jeux d'action qui sont largement les plus efficaces.

Meilleurs modèles Sachant que les performances sont supérieures chez les joueurs que chez les non-joueurs, grâce à l'utilisation de meilleurs modèles, et que cette différence vient de la pratique du jeu, les chercheurs ont dans un deuxième temps souhaité évaluer les capacités d'apprentissage des uns et des autres. Ils ont pour cela comparé les résultats des participants obtenus sur la durée au cours de huit séances étalées sur deux jours.

Lors de la première série d'essais, joueurs chevronnés et non-joueurs ont obtenu les mêmes résultats. Cependant, au fur et à mesure de la progression de l'entraînement, les joueurs ont commencé à se démarquer des non-joueurs pour finir avec des performances, une fois de plus, supérieures aux autres, démontrant une plus grande faculté d'apprentissage.

«Nous voulons maintenant savoir plus précisément quelles sont les caractéristiques des jeux

vidéo d'action qui améliorent les capacités d'apprentissage des joueurs, explique Daphné Bavelier. Ils doivent être rythmés, c'est sûr, mais certains indices nous suggèrent que la violence ne semble pas nécessaire. En tout cas, les jeux violents mais sans action n'entraînent pas les mêmes effets.»

Vérifier cette hypothèse nécessiterait de mettre la main sur un jeu qui ait la même dynamique que celle qui anime *Call of Duty*, la violence en moins. Or, un tel produit n'existe pas encore sur le marché. C'est pour cette raison, ainsi que pour disposer d'un outil pédagogique plus présentable à d'éventuels élèves qu'un jeu consistant à tuer un maximum d'ennemis, que Daphné Bavelier et son équipe ont décidé d'en fabriquer un eux-mêmes. Toutefois, pour concevoir un jeu d'action qui fasse l'affaire, c'est-à-dire qui soit d'une complexité suffisante, qui exige une attention de tous les instants et qui joue autant sur l'espace que sur la gestion du temps (sans même parler du graphisme), il faut compter un financement de plusieurs dizaines de millions de francs.

Pour parvenir à ses fins, la chercheuse genevoise, qui ne dispose pas d'un budget sans limite, doit collaborer avec des professionnels de l'industrie du divertissement. Le projet est en cours et, tant qu'à faire, il prévoit non seulement de bannir la violence mais aussi d'ajouter du contenu plus intéressant comme des tâches de mathématique ou de physique intuitives.

Anton Vos

AIDE D'URGENCE

LE COLIS DE GUERRE ET LA RÉVOLUTION HUMANITAIRE

L'ENVOI DE NOURRITURE AUX PRISONNIERS DE GUERRE, PUIS AUX POPULATIONS CIVILES ET AUX DÉPORTÉS, A PERMIS DE SAUVER UN NOMBRE INCALCULABLE DE VIES AU COURS DES DEUX CONFLITS MONDIAUX. IL A ÉGALEMENT PROFONDÉMENT INFLUENCÉ L'ÉVOLUTION DES ORGANISATIONS CARITATIVES

LE COLIS STANDARD
DE LA CROIX-ROUGE EST
DESTINÉ À APPORTER UN
COMPLÉMENT CALORIQUE
AUX PRISONNIERS DE
GUERRE.

**PESANT AU MAXIMUM
5 KG,** IL EST EMPAQUETÉ
DANS UNE BOÎTE UNE
CARTON DE 25 CM
DE CÔTÉ ET DE 11 CM DE
PROFONDEUR.

**SON CONTENU EST
UNIFORME** MÊME S'IL
VARIE SELON LES PAYS
DONATEURS, L'ÉPOQUE
OU LES DESTINATAIRES.

**IL CONTIENT GÉNÉRA-
LEMENT DE LA VIANDE EN
CONSERVE, DU RIZ, DES
PÂTES OU DES LENTILLES,
DU FROMAGE ET DES
BISCUITS.** ON Y TROUVE
AUSSI DES PRODUITS
«DE LUXE», COMME DE LA
CONFITURE, DES JUS DE
FRUITS OU DES RAISINS
SECS ET, LE PLUS SOU-
VENT, DES CIGARETTES.

TROP RICHES, CES
ALIMENTS NE SONT PAS
ADAPTÉS À UNE POPULA-
TION SOUS-ALIMENTÉE.
ILS ONT ÉTÉ FATALS AUX
PLUS FAIBLES, EN PARTI-
CULIER DANS LES CAMPS
DE CONCENTRATION.

Pour des centaines de milliers de prisonniers, de civils ou de déportés du siècle dernier, le souvenir de son emballage de toile beige et de son étiquette ornée du logo de la Croix-Rouge restera à jamais synonyme d'espoir, sinon de survie. Pour l'historien d'aujourd'hui, le colis de guerre est d'abord et surtout un passionnant objet d'étude. Au travers de cette petite boîte de carton, il est en effet possible de rendre compte du formidable développement qu'ont connu les organisations caritatives au cours du XX^e siècle, mais aussi de questionner leurs limites et leur efficacité. C'est l'exercice auquel s'est livré Sébastien Farré, adjoint scientifique au sein de la Maison de l'histoire, avec l'ouvrage *Colis de guerre. Secours alimentaire et organisations humanitaires (1914-1947)*.

Conflits de masse Si le colis alimentaire connaît une forme d'âge d'or entre le déclenchement de la Première Guerre mondiale et la fin de la Deuxième, c'est parce que sa production et sa distribution à grande échelle supposent un certain nombre de prérequis. Tout d'abord, l'avènement des conflits de masse qui se traduit, tout au long du XIX^e siècle, par l'augmentation progressive des contingents de soldats sur le champ de bataille, et, par conséquent, du nombre de prisonniers de guerre.

Autre élément essentiel: le développement de services postaux nationaux, des chemins de fer et des transports maritimes qui accélère considérablement la circulation des personnes, mais aussi des marchandises. «*Ces progrès participent de manière bien plus décisive à la transformation des*

institutions philanthropiques et à la configuration de nouvelles pratiques humanitaires que les discussions juridiques et philosophiques sur la nécessité de civiliser la guerre», souligne Sébastien Farré. Enfin, il faut des normes permettant d'encastrer l'action de ces organisations sur le terrain. Un premier pas en ce sens est franchi avec les conventions de La Haye de 1899, qui contiennent plusieurs articles définissant l'action des sociétés de secours – au premier rang desquelles figurent les Croix-Rouge nationales – en faveur des prisonniers de guerre. Ils précisent que ces derniers doivent pouvoir bénéficier d'une alimentation semblable à celle de la troupe, prévoient l'envoi de délégués pour superviser la distribution des secours et garantissent surtout un élément qui va s'avérer central dans les années à venir: la gratuité de port pour la correspondance et les colis aussi bien dans les pays destinataires que dans les pays de transit.

Premiers essais Au moment où s'ouvre cette première «Conférence pour le désarmement et la prévention de la guerre», l'envoi de fournitures aux soldats captifs n'est pas à proprement parler une nouveauté. Le procédé a notamment été expérimenté durant la guerre de Crimée (1853-1856) par le mécène russe Anatole Nicolaïevitch Demidoff qui met alors en place un service permettant de faire parvenir des vêtements et de l'argent aux soldats français, anglais et italiens prisonniers sur le territoire du tsar. De l'autre côté de l'Atlantique, des envois de colis sont également réalisés durant la guerre de Sécession (1861-1865), tandis que le Comité

À BÂLE, DANS L'ENTREPÔT DU CICR, DES EMPLOYÉES PRÉPARENT DES COLIS DE SECOURS BRITANNIQUES (SECONDE GUERRE MONDIALE).

international de secours pour les prisonniers de guerre mis sur pied par le CICR à Genève durant la guerre franco-prussienne de 1870-1871 distribue l'équivalent de 400 000 francs de matériel (principalement en vêtements, vin, tabac et savon).

A ce stade, le contenu des colis, souvent confectionnés directement par les familles, demeure très hétérogène et leur nombre reste restreint en regard de celui qui sera atteint dans les décennies suivantes. Créé en 1916, le *Joint War Committee* britannique produit ainsi plus de 9 millions de colis alimentaires en deux ans.

Le Japon donne le ton Ce saut d'échelle est rendu possible par l'apparition sur la scène humanitaire de grandes organisations caritatives américaines, ainsi que par la réorganisation de celles qui existent déjà. Sur ce dernier point, c'est le Japon qui donne le ton en développant un système d'organisation de secours inspiré par les méthodes militaires et piloté par l'Etat qui va s'avérer très efficace lors de la guerre russo-japonaise (1904-1905). Repris par la Croix-Rouge américaine qui se réforme au même moment, le modèle est adopté dans les années qui suivent par la Grande-Bretagne et la France.

Se pensant dorénavant comme un service auxiliaire des armées en campagne, les sociétés nationales de la Croix-Rouge n'ont cependant pas les moyens de leurs ambitions au moment où le nationaliste yougoslave Gavrilo Princip assassine l'archiduc François-Ferdinand, héritier de l'Empire austro-hongrois, et son épouse à Sarajevo.

Au début de la Première Guerre mondiale, de nombreux problèmes liés à l'acheminement ou au vol de colis sont en effet signalés. Face à l'ampleur du défi que représente l'engagement de centaines de milliers de soldats sur le front et la captivité de masse, les organisations de secours n'ont d'autre choix que de s'appuyer sur l'armée pour encadrer leur activité.

Parallèlement à la création de structures centralisées capables d'offrir un service plus sûr et plus efficace, se met alors en place une véritable industrie du colis alimentaire basée sur une optimisation des méthodes de production, de contrôle et de distribution.

«Du colis alimentaire privé, préparé dans l'intimité des proches et des familles, on passe à un produit standardisé résultant de la taylorisation et d'une professionnalisation des pratiques humanitaires qui est

proposé aux donateurs pour un prix fixe (10 dollars aux Etats-Unis)», résume Sébastien Farré.

Conçu pour apporter au soldat captif, dont l'ordinaire est souvent misérable, les compléments nécessaires à son équilibre alimentaire, le «colis standard» s'inspire des dernières avancées des sciences de la nutrition (qui connaissent alors un important essor) et fait une large place aux aliments en conserve, eux aussi en plein boom. Le tout doit peser au maximum 5 kilos et résister aux transports ainsi qu'aux intempéries.

LE «COLIS STANDARD» S'INSPIRE DES DERNIÈRES AVANCÉES DES SCIENCES DE LA NUTRITION ET FAIT UNE LARGE PLACE AUX ALIMENTS EN CONSERVE

Pain perdu De ce point de vue, le pain pose longtemps problème dans la mesure où il est généralement moisi lorsqu'il arrive à destination. La solution adoptée par les Anglais au cours de l'été 1917 passe par la mise sur pied d'une boulangerie à Berne qui, avec l'aide d'un expert nutritionniste, a pour mission de fabriquer un pain à la fois plus résistant et plus savoureux. De leur côté, les Français élaborent un «pain concentré» pouvant se conserver durant dix mois.

Pour les sociétés de secours, qui sont entre-temps devenues des organisations de masse gérant des fonds considérables, à l'exemple de la Croix-Rouge américaine qui réunit un budget de plus de 400 millions de dollars, emploie près de 15 000 salariés et mobilise une véritable armée de volontaires (20 millions de membres), le premier test à grande échelle a pour objectif de secourir la population belge. Pilotée par le futur président des Etats-Unis, Herbert Hoover, l'opération, lancée dès l'année 1914, mobilise près de 130 000 personnes dans le monde entier. Elle permettra d'assurer à l'ensemble de la population belge une subsistance minimum pendant le reste du conflit.

«La création de la 'Commission for the Relief of Belgium' marque une étape décisive dans l'*histoire des pratiques et des opérations humanitaires*, commente Sébastien Farré. L'institution mise sur pied par Hoover apparaît en effet comme une véritable fabrique de secours dont les capacités sont liées à une gestion mondiale des ressources alimentaires et à la gouvernance de populations civiles, ce qui permet une opération humanitaire d'une ampleur jusque-là inédite.»

Dans le tableau qui se dessine alors, les Etats-Unis, qui dominent les voies de communication intercontinentales et qui disposent de surplus agricoles pour lesquels il faut trouver des débouchés, ne tardent pas à apparaître comme un véritable «empire caritatif».

La Suisse, de son côté, tient également un rôle important. D'une part, parce qu'elle abrite le siège du Comité international de secours pour les prisonniers de guerre, émanation du CICR qui fonctionne comme un gigantesque centre d'informations. De l'autre, parce que son statut de neutralité et sa position géographique lui permettent de jouer un rôle de facteur international. On estime ainsi que les services

postaux de la Confédération ont acheminé la bagatelle de 115 millions de colis vers les différents pays belligérants entre 1914 et 1918.

La terrible situation des populations civiles dans l'immédiat après-guerre ne laisse que peu de répit aux organismes d'entraide qui vont dès lors concentrer leur attention sur le sort des enfants. Côté américain, cette croisade contre la faim se double d'une dimension idéologique, l'ARA (*American Relief Association*) ne cachant pas sa volonté de créer un cordon sanitaire autour du régime bolchevique.

Blocus et blocages Souvent considérée comme la répétition générale du second conflit mondial, la guerre d'Espagne va démontrer que le dispositif de secours élaboré depuis le début du siècle est encore largement perfectible.

Ce qui va se confirmer dès l'invasion de la Pologne en septembre 1939. Après quelques semaines de combats seulement, on dénombre près de 700 000 prisonniers dans une situation sanitaire et alimentaire très délicate sur le territoire polonais. Or, le pays étant fermé aux organisations non allemandes, les



acm

captifs se trouvent hors de portée de toute aide extérieure.

Comme le souligne Sébastien Farré, «seules la captivité de centaines de milliers de prisonniers alliés et la situation dramatique de la population grecque dès avril 1941 facilitent la mise en place du premier programme de secours d'envergure et le déblocage progressif de la situation». L'industrie du colis alimentaire se remet alors à tourner à plein régime dépassant bientôt les cadences de production atteintes durant la Première Guerre mondiale. En tête de pont: le CICR et ses sociétés nationales qui se profilent progressivement comme des acteurs incontournables de la scène humanitaire.

Reste l'épineuse question des déportés, longtemps «oubliés» par l'institution genevoise. Sans nier la lenteur de l'intervention alliée ni les responsabilités du Comité international dans cet échec, analysées dans le détail par Jean-Claude Favez dans l'ouvrage *Une mission impossible? Le CICR, les déportés et les camps de concentration nazis* (Payot, 1988), Sébastien Farré souligne les innombrables difficultés d'une opération de sauvetage tardive, menée par tâtonnements, dans un pays où les voies de communication sont dévastées et où l'essence est un bien aussi rare que précieux.

Il insiste également sur le rôle clé joué dans les derniers mois de la guerre par des délégués pour

la plupart fraîchement nommés et sans expérience ainsi que par leurs chauffeurs qui, en prenant parfois des risques importants, ont été les acteurs d'une transformation fondamentale pour le CICR: «Pour la première fois, écrit-il, ses représentants ne sont plus uniquement des experts en charge de rédiger des rapports ou de simples mandataires, mais les protagonistes d'une action directe en faveur des victimes de la politique national-socialiste.» Un premier face-à-face direct avec la mort qui, hélas, sera loin d'être le dernier.

Vincent Monnet

Colis de guerre. Secours alimentaire et organisations humanitaires (1914-1947), par Sébastien Farré, Presses universitaires de Rennes, 284 p.

EMBRYOGENÈSE

LE PÉNIS EST UN DOIGT GÉNÉTIQUEMENT DÉTOURNÉ

**LES ORGANES
GÉNITAUX EXTERNES**
ET LES DOIGTS SE SONT
DÉVELOPPÉS GRÂCE
À DES MÉCANISMES
GÉNÉTIQUES IDENTIQUES
COMPRENANT
PLUSIEURS GÈNES
ET UN SYSTÈME
DE RÉGULATION
PARTICULIÈREMENT
COMPLEXE

La machinerie génétique mise en œuvre dans la fabrication des doigts chez l'embryon est identique à celle qui préside à la croissance de ses organes génitaux externes (pénis ou clitoris). Le développement de ces deux types d'extrémités est en effet exécuté par les mêmes «gènes architectes» (les gènes *Hox*) et ces derniers sont contrôlés, dans les deux cas, par le même système de régulation. C'est la première fois qu'est mis en évidence un cas aussi complexe de détournement génétique, dans lequel un seul appareillage génétique est utilisé pour au moins deux fonctions différentes.

Ce résultat, obtenu grâce à des expériences sur des souris, a été publié dans la revue *Science* du 21 novembre par l'équipe de Denis Duboule, professeur au Département de génétique et évolution (Faculté des sciences) et à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

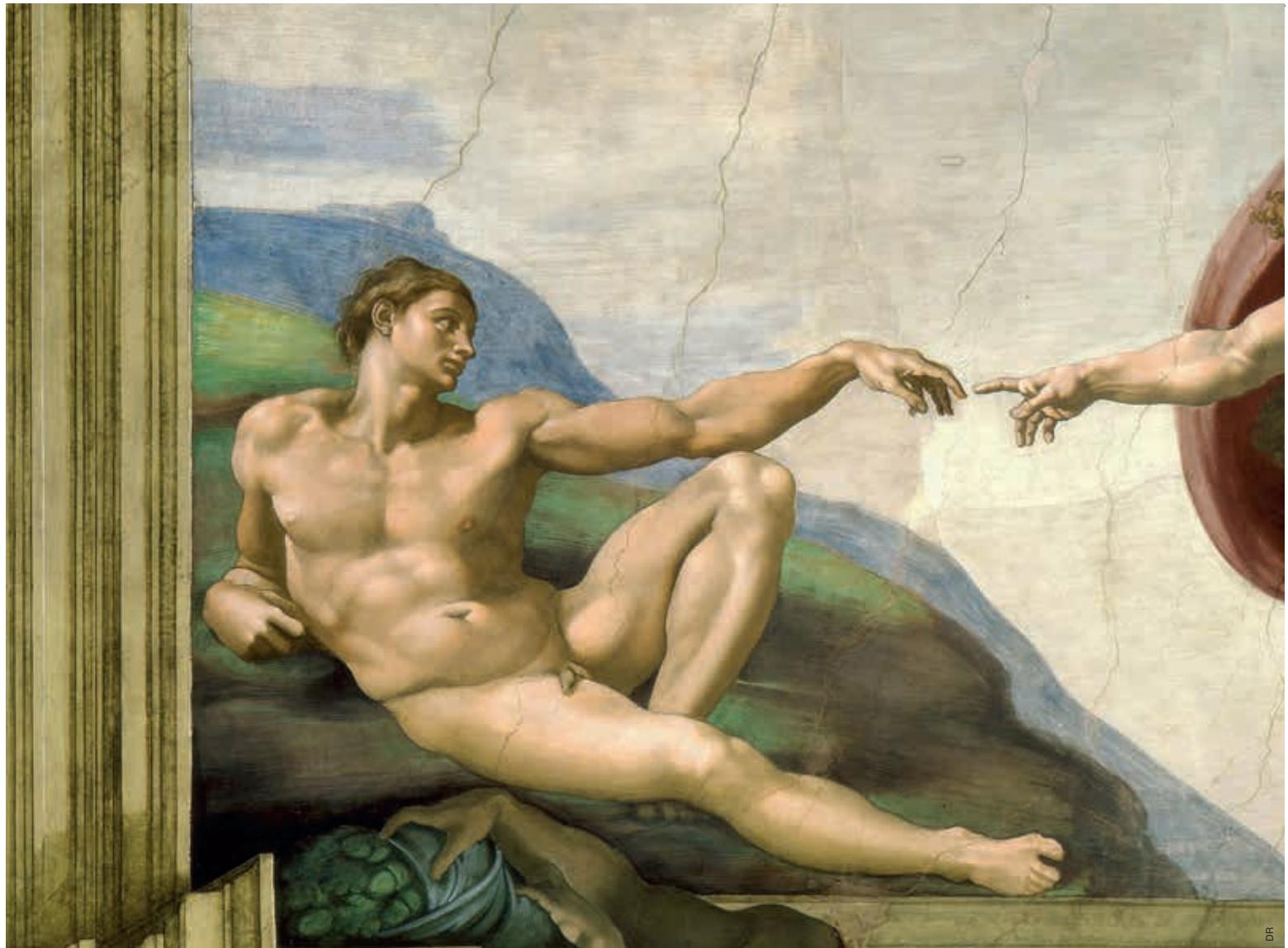
Gènes architectes Les gènes *Hox* sont qualifiés d'architectes, car ils sont responsables de la formation, aux bons endroits et au bon moment, des différentes structures de l'organisme. Chez les mammifères, ils sont divisés en quatre groupes (A, B, C et D), répartis sur quatre chromosomes différents. Chaque ensemble compte entre neuf et douze gènes situés très près les uns des autres. L'ordre des gènes dans l'ADN ne doit rien au hasard. Lorsqu'ils sont sollicités, les premiers de la liste sont activés, puis les suivants et ainsi de suite jusqu'au dernier, chacun accomplissant une fonction bien précise. Ils représentent en quelque sorte le plan de fabrication de l'organe ou du tissu qu'ils doivent concevoir. Les gènes des ensembles *HoxA* et *HoxD*, par exemple, sont mobilisés pour l'organisation du corps selon l'axe principal constitué par la

colonne vertébrale. Ce sont également eux qui interviennent dans le développement des doigts et des organes génitaux. Au fur et à mesure de la croissance de ces extrémités chez l'embryon, une combinaison légèrement différente de gènes est activée, indiquant à la cellule hôte quel genre de tissus elle doit fabriquer. La désactivation combinée des derniers gènes des groupes *HoxA* et *HoxB* entraîne la fin de la genèse des doigts et des organes génitaux.

«Nous savons depuis près de vingt-cinq ans que toutes les parties du corps qui sont organisées ou se développent selon un axe avec une partie proximale (proche de la racine) et distale (extrémité) sont contrôlées par les mêmes gènes Hox, explique Denis Duboule. *Mais on ne comprenait pas alors comment cela était possible.»*

IL EN EXISTE TOUT LE LONG DE L'ADN, FAISANT RESSEMBLER CE DERNIER À UN CHAPELET DE PERLES

Les chercheurs se sont par la suite aperçus que les gènes architectes sont eux-mêmes pilotés par des systèmes de régulation situés à proximité. Il s'agit de structures formées de chromatine, c'est-à-dire d'ADN enroulé sur lui-même, d'ARN et de protéines diverses. Une étude récente a montré qu'il en existe tout le long de l'ADN, faisant ressembler ce dernier à un chapelet de perles. Les gènes *Hox* sont flanqués de part et d'autre de ces «tours de contrôle». Lors du



développement des membres antérieurs, lorsque le premier système de régulation est en activité, les cellules fabriquent un bras suivi d'un avant-bras. A partir du poignet, en revanche, c'est l'autre tour de contrôle qui prend le relais et dirige les opérations afin de fabriquer une main et des doigts.

Les biologistes ont ensuite cherché à savoir quelle tour de contrôle est nécessaire pour la croissance des organes génitaux. L'article de *Science* apporte la réponse : c'est la même que celle qui préside à la genèse des doigts. L'autre, celle qui s'occupe du bras, reste silencieuse.

«Le système de régulation est une structure en trois dimensions très complexe, commente Denis Duboule. Il est inactif jusqu'au moment où une protéine particulière vient le réveiller comme le ferait une clé dans une serrure. La forme du système de régulation subit alors une légère transformation spatiale qui lui permet de commencer à fonctionner et à activer les Hox. La seule différence qui existe lorsqu'il s'agit de faire pousser des doigts ou des organes génitaux, c'est l'identité de la protéine clé et le site sur la tour de contrôle où cette dernière vient s'accrocher.»

Il s'agit donc d'une homologie profonde, mais qui ne signifie pas encore que l'on peut faire pousser des doigts dans l'entrejambe ou des pénis sur les mains. En effet, les cellules à partir desquelles seront construites ces extrémités ont une histoire. Elles font déjà partie d'une tranche du corps précise (définies par les mêmes gènes *Hox* d'ailleurs à un stade plus précoce de l'embryogenèse) et ne peuvent plus produire n'importe quoi. Ainsi, des expériences sur des poulets ont montré que si l'on fait pousser un membre supplémentaire au niveau des épaules, cela donne une aile. Si l'on fait de même au niveau du bassin, on obtient une patte. Du point de vue évolutif, les doigts et les organes génitaux externes sont apparus sur une période relativement courte (qui se compte en millions d'années tout de même), il y a environ 400 millions d'années, lorsque les animaux sont sortis de l'eau pour coloniser les terres émergées. Ces deux nouvelles fonctions étaient indispensables aux premiers tétrapodes pour se déplacer et pour se reproduire dans ce nouvel environnement. Le pénis permet en effet un mode de fécondation interne qui pallie l'absence de milieu liquide

environnant. Logiquement, l'une des deux fonctions est apparue avant l'autre, mais les scientifiques ignorent laquelle et se sont même résignés au fait qu'ils ne le sauront jamais (ou au fait qu'ils devront en débattre sans fin dans des colloques scientifiques).

En revanche, il est désormais avéré que la nature n'a pas réinventé la poudre deux fois. Profitant d'un mécanisme génétique complexe déjà existant pour remplir une première fonction, elle l'a «simplement» détourné pour qu'il serve également à la seconde. Les scientifiques appellent cette propriété la pléiotropie.

Par la même occasion, la très grande similitude génétique dans la construction de ces structures corporelles permet d'expliquer un certain nombre de syndromes génétiques humains qui sont associés à la fois à des malformations des doigts, telles que la polydactylie (présence d'un ou de plusieurs doigts surnuméraires) ou la brachydactylie (brièveté d'un ou de plusieurs doigts), et du pénis, telles que l'hypospadias (ouverture de l'urètre dans la face inférieure du pénis plutôt qu'à son extrémité).

Anton Vos

PRN « PLANETS »

L'UNIVERS EST PLEIN DE MONDES

LE PÔLE DE RECHERCHE

NATIONAL PLANETS,
CODIRIGÉ PAR L'UNIVERSITÉ
DE GENÈVE, PERMETTRA
SANS DOUTE À LA SUISSE
DE CONSERVER POUR
AU MOINS UNE DÉCENNIE
ENCORE LE LEADERSHIP
MONDIAL DANS LA
DÉCOUVERTE ET L'ÉTUDE
DES EXOPLANÈTES



NOTRE SEULE GALAXIE ABRITERAIT AU MOINS 100 MILLIARDS DE PLANÈTES

Le 6 octobre 1995, l'annonce de la découverte de la première planète située hors du système solaire par Michel Mayor et Didier Queloz relançait une quête vieille de plus de deux mille ans : celle d'un autre monde habitable. Depuis, la chasse aux exoplanètes a débouché sur l'identification (et la confirmation) de plus de 1700 de ces objets célestes apportant une foule de nouvelles connaissances – et de nouvelles questions – aux spécialistes de la planétologie. Au point qu'il est aujourd'hui temps de franchir une nouvelle étape en s'attachant non plus uniquement à la découverte de nouvelles planètes, mais également à leur caractérisation physique et chimique. Un gigantesque chantier auquel le Pôle de recherche national (PRN) PlanetS est destiné à apporter une contribution essentielle. Entretien avec Stéphane Udry, professeur au Département d'astronomie (Faculté des sciences) et codirecteur du Pôle.

Campus : Sur le plan scientifique, quels sont les principaux objectifs du PRN « PlanetS » ?

En fait, c'est l'évolution même de la science qui dicte nos priorités. Ces vingt dernières années ont été consacrées à la quête de nouvelles planètes et ont été marquées par un climat de forte concurrence entre les différents groupes impliqués dans ces recherches. Mais nous sommes aujourd'hui à un tournant dans la mesure où pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, il devient possible d'apporter des réponses scientifiques et objectives aux questions qui

entourent l'unicité de la vie. Face à cet enjeu majeur, les grandes orientations sont fixées et chaque membre de la communauté scientifique engagé dans cette voie sait ce qui l'attend pour les deux prochaines décennies. Chacun est également conscient que cette nouvelle étape implique la coopération de toutes les forces en présence. C'est dans cette dynamique que s'inscrit la création de PlanetS. Un petit pays comme la Suisse ne peut pas en effet se permettre d'avoir plusieurs centres d'excellence en compétition sur les mêmes thématiques. Porté par une très forte cohérence scientifique, ce PRN permet à chacun de ses membres, qu'il soit Genevois, Bernois ou Zurichois, de développer des axes de recherche complémentaires.

Concrètement, cela signifie que vous espérez être capable de définir les conditions favorables à l'apparition de la vie sur une autre planète que la nôtre au cours des douze ans impartis au Pôle ?

Exactement. Ce qui implique que nous devrons non seulement être capables d'identifier les planètes qui peuvent être de bonnes candidates mais également de comprendre

VUE D'ARTISTE DE L'ÉTOILE GLIESE 581 ET TROIS DE SES PLANÈTES, DÉCOUVERTES À L'AIDE DU SPECTROGRAPHE GENEVOIS HARPS.

CELLE DU PREMIER PLAN, GLIESE 581 C A UNE MASSE DE 5 FOIS CELLE DE LA TERRE ET ACCOMPLIT LE TOUR ENTIER DE SON ORBITE EN 13 JOURS.

comment ces planètes se sont formées, comment elles interagissent avec leur étoile et de quoi est constituée leur atmosphère. En conséquence, les activités de PlanetS s'articulent autour de trois thèmes principaux : l'origine, l'évolution et la caractérisation des systèmes planétaires.

Quelles sont les principales difficultés de l'exercice ?

La première tient au fait que tout est interconnecté. Si on veut analyser l'atmosphère d'une planète, qui dépend de sa gravité, on a besoin de connaître sa masse et son rayon. De la même manière, pour comprendre sa structure interne, il faut connaître sa taille, sa masse et sa densité. Or, les techniques de mesure actuelles n'apportent en général que des informations partielles. Enfin, on ne peut pas non plus négliger la dynamique du système, domaine dans lequel il reste encore beaucoup de choses à comprendre. La seconde difficulté est liée à la nature même de ce qui a été découvert depuis vingt ans.

Qu'entendez-vous par là ?

Les résultats que nous avons obtenus montrent qu'une étoile sur deux possède une ou plusieurs planètes gravitant autour d'elle. En extrapolant, cela signifie que notre seule galaxie abriterait au moins 100 milliards de planètes. Or, la principale surprise que nous avons connue depuis la découverte de 51 Peg, c'est la très grande diversité qui prévaut parmi les corps célestes. Si bien que même après avoir détecté plusieurs milliers de nouvelles planètes, il reste difficile d'établir des catégories pertinentes

sur le plan statistique. Autant dire que l'on est encore loin de disposer de suffisamment de données observationnelles.

Comment comptez-vous dépasser ces divers obstacles ?

Nous allons tenter d'y parvenir, d'une part, en optimisant les ressources à disposition afin de consacrer les bons instruments au suivi des bonnes étoiles. Puis en faisant converger différentes techniques vers les mêmes objets, nous devrions déjà augmenter nettement la confiance que nous pouvons avoir dans nos résultats et mieux trier les différents signaux que nous captions. D'autre part, nous pourrons dans quelques années recourir à une nouvelle génération d'instruments dont le lancement dans l'espace ou l'installation sur Terre est prévu à partir de 2017 afin de combler les manques actuels.

Par exemple...

La méthode actuellement la plus prolifique dans la détection d'exoplanètes est celle dite des transits (lire en page 36),

grâce surtout au satellite américain KEPLER, qui a déniché à lui seul plus de 4000 candidats. L'inconvénient majeur de cette approche, c'est que la nature planétaire des objets découverts doit être systématiquement confirmée de manière indépendante. En effet, la mesure d'un transit fournit la taille du corps mais pas sa masse. Du coup, on ne sait pas s'il s'agit vraiment d'une planète ou d'une petite étoile, qui peut avoir la taille de Jupiter, ou encore d'une naine blanche, au diamètre similaire à celui de la Terre. Le problème, c'est que les étoiles suivies par KEPLER sont souvent trop faibles pour être étudiées par d'autres techniques comme celle dite des vitesses radiales qui permet d'obtenir la masse. C'est pourquoi les projets suisse CHEOPS (lire en page 40) et européen PLATO, deux futurs satellites spécialisés dans la mesure de transits, vont se concentrer sur des étoiles brillantes avec l'espoir de découvrir des dizaines de milliers de nouvelles planètes à portée de télescope et de compléter les données de

nombreuses autres déjà connues. Parallèlement, les astronomes de PlanetS participent à la construction de nouveaux spectrographes (dont ESPRESSO, prévu pour 2017) destinés à la mesure de la vitesse radiale des étoiles et de l'étude de l'atmosphère de leurs éventuels compagnons (lire en page 36).

Avec ces nouveaux outils, sera-t-il possible d'observer des planètes similaires à la Terre et se trouvant à une distance suffisante d'une étoile de type solaire pour que la vie soit envisageable ?

Oui. C'est le but du projet PLATO, un observatoire spatial de l'Agence spatiale européenne, auquel nous participons également et dont le lancement est prévu pour 2024. Cela dit, les instruments actuels ne le permettent pas. Plus les planètes sont petites par rapport à leur étoile et plus elles en sont éloignées, plus il est difficile de les détecter. Pour l'instant, on peut trouver des Terre dans la zone habitable de petites étoiles comme les naines rouges ou les naines M. Dans ces cas, les distances planète-étoile sont relativement petites. Mais faire de même autour d'une étoile aussi massive que le Soleil, c'est une autre paire de manches.

Quand on découvre une planète évoluant dans la zone habitable de son étoile, il faut encore déterminer si l'atmosphère de cette planète est compatible avec la vie. Est-ce possible aujourd'hui ?

Des études d'atmosphères d'exoplanètes existent déjà. Elles exploitent en général la lumière qui provient directement

LA FICHE TECHNIQUE DE «PLANETS»

DIRECTEUR: WILLY BENZ,
PROFESSEUR À L'INSTITUT
DE PHYSIQUE DE
L'UNIVERSITÉ DE BERNE

CODIRECTEUR: STÉPHANE
UDRY, PROFESSEUR
AU DÉPARTEMENT
D'ASTRONOMIE DE L'UNI-
VERSITÉ DE GENÈVE

PROJETS DE RECHERCHE
PILOTÉS PAR DES ÉQUIPES
GENEOISES:

- DÉTECTION ET CARAC-
TÉRISATION DES SYS-
TÈMES PLANÉTAIRES ET
DE LEUR ARCHITECTURE
(STÉPHANE UDRY)

- ÉTUDES ET CARACTÉRI-
SATION DES ATMOS-
PHÈRES PLANÉTAIRES:
THÉORIE, OBSERVA-
TIONS ET DÉVELOPPE-
MENTS INSTRUMENTAUX
(FRANCESCO PEPE)

FINANCEMENT DU FONDS
NATIONAL POUR LA RE-
CHERCHE SCIENTIFIQUE:
17,6 MILLIONS DE FRANCS
POUR QUATRE ANS



ESO

du corps céleste quand on a la chance de pouvoir l'observer grâce à la technique dite de l'imagerie directe. On peut aussi essayer d'isoler et d'analyser la faible portion du rayonnement d'une étoile qui passe à travers l'atmosphère d'une planète lorsque cette dernière effectue un transit (lire en page 36). Toutefois, indépendamment de la méthode utilisée, le principal défi consistera à bien comprendre les résultats obtenus.

C'est-à-dire ?

Si les choses se passent comme sur Terre, la présence de gaz carbonique (CO_2) et d'eau indiquera que la planète est habitable et si l'on y trouve de l'ozone, on aura la preuve qu'elle est habitée. Cependant, les choses pourraient très bien se passer différemment.

Dans quelle mesure ?

Il n'est pas certain que le cycle du CO_2 , si essentiel sur Terre, revêt la même importance sur une planète dont la masse est cinq fois supérieure. Et quel pourrait être le rôle de la tectonique des plaques sur de tels mondes, pour autant qu'elle existe ? Ces questions sont au cœur de nombreuses études actuelles, mais il n'existe pas encore de réponse définitive.

Peut-on imaginer un monde où le vivant fonctionnerait sur la base d'une chimie différente de celle qui prévaut sur Terre ?

Théoriquement, oui, mais la nature a tendance à toujours choisir les solutions les plus simples. Il se trouve que les éléments de base de la vie terrestre sont les plus abondants dans l'Univers (hydrogène, carbone, azote, oxygène...). Donc si l'on retrouve les mêmes ingrédients sur d'autres planètes et que les lois de la physique et de la chimie sont identiques (ce qui est une hypothèse de base), alors il n'y a pas de raison de

HD 69830 EST UNE ÉTOILE UN PEU MOINS MASSIVE QUE LE SOLEIL COMPTANT TROIS COMPAGNONS COMPARABLES À NEPTUNE (DÉCOUVERTS PAR LES ASTRONOMES GENEVOIS) ET D'UN DISQUE DE POUSSIÈRES OU D'ASTÉROÏDES.

VUE D'ARTISTE DE
KEPLER 20e, LA PLUS
PETITE EXOPLANÈTE
DÉCOUVERTE À CE
JOUR PAR LE SATELLITE
AMÉRICAIN KEPLER.
SON RAYON VAUT
0,87 FOIS CELUI DE LA
TERRE ET ACCOMPLIT
SON ORBITE EN UN PEU
PLUS DE 6 JOURS.

ELLE FAIT PARTIE D'UN
SYSTÈME COMPTANT AU
MOINS CINQ PLANÈTES
TOUTES TRÈS PROCHES
DE LEUR ÉTOILE,
LÉGÈREMENT PLUS PETITE
QUE LE SOLEIL ET
SITUÉE À UNE DISTANCE
DE 950 ANNÉES-LUMIÈRE.



NASA/JPL

penser que la vie, si elle devait apparaître, aurait une base tellement différente.

La constitution du PRN PlanetS assure-t-elle à la Suisse un leadership durable dans le domaine des exoplanètes ?

Ce pôle, qui devrait à terme se transformer en un Institut national des sciences planétaires, va nous permettre de rester sur le devant de la scène pour une bonne dizaine d'années. A l'heure actuelle, il n'existe pas d'autre projet dédié aux exoplanètes disposant d'une telle force de feu. Et puis, au-delà du Pôle, nous sommes également engagés dans l'instrumentation du futur, comme PLATO ou le spectrographe qui devrait être installé sur l'E-ELT (European Extremely Large Telescope) de 40 mètres de diamètre, avec laquelle se fera la science de haut niveau de demain.

Malgré ces atouts, l'idée de PlanetS a mis du temps à se faire accepter...

En effet, nous avons dû nous y reprendre à trois reprises pour convaincre la Confédération. La première fois, lors du tout premier appel à projet, on nous a reproché de faire de la science-fiction, alors que la plupart des projets que nous proposions sont depuis devenus réalité. Il y a 4 ans, nous sommes arrivés dans les 13 derniers candidats, mais nous n'avons finalement pas été retenus.

A l'intérieur du PRN, chaque groupe a sa spécialité. Dans les grandes lignes, comment se répartissent les tâches ?

Aucun des deux partenaires qui partagent la direction du pôle, à savoir les universités de Genève et de Berne, n'aurait pu se lancer sans l'autre. Nos activités sont complémentaires et c'est une des raisons d'être du PRN. Les équipes

genevoises se concentreront sur l'observation, le développement des instruments nécessaires aux mesures que nous souhaitons réaliser et le développement de modèles théoriques qui permettront de les interpréter. De son côté, l'équipe de Willy Benz, professeur à l'Institut de physique de l'Université de Berne et directeur du Pôle, est surtout active dans la réalisation de modèles théoriques de formations planétaires, qu'il s'agisse de leur structure interne mais aussi de leur atmosphère. D'autres groupes bernois participent à PlanetS, notamment au niveau de l'exploration du système solaire.

Qu'en est-il des autres partenaires de PlanetS, l'Université et l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) ?

La spécialité de l'équipe de Michael Meyer, professeur à l'EPFZ, est la gestation des planètes. Sa tâche consiste à étudier des disques proto-planétaires afin d'augmenter nos connaissances sur les conditions initiales nécessaires à la formation d'une planète. Les chercheurs zurichois vont aussi se pencher sur la détection d'objets célestes très jeunes. Lorsque les planètes sont en formation, elles sont en effet beaucoup plus brillantes que les plus anciennes. Elles sont donc plus facilement repérables, notamment dans l'infra-rouge. Ce volet de la recherche est indispensable. Une des choses les plus surprenantes que nous avons apprises depuis la découverte de 51 Peg, il y a 20 ans, c'est la très grande diversité des exoplanètes: des systèmes à plusieurs étoiles, d'autres extrêmement compacts, des planètes gravitant très près de leur étoile, bref beaucoup d'exemples qui ne collent pas avec les modèles théoriques existants. Il s'agit donc d'en développer de nouveaux, qui soient à même de rendre compte de ce qui se passe non seulement dans le système solaire, mais également ailleurs.

EXOPLANÈTES

UNE HISTOIRE DU ZÉRO À L'INFINI

L'HUMANITÉ S'INTERROGE AU MOINS DEPUIS L'ANTIQUITÉ SUR L'EXISTENCE POSSIBLE D'AUTRES MONDES. AU FIL DES SIÈCLES, LA RÉPONSE DE LA SCIENCE À CETTE QUESTION A VARIÉ DU TOUT AU TOUT JUSQU'À LA DÉCOUVERTE DE 51 PEG B PAR DEUX ASTRONOMES GENEVOIS, MICHEL MAYOR ET DIDIER QUELOZ. RÉCIT

Le 6 juillet 1995 marque une date clé dans l'histoire de l'astronomie. Ce soir-là, deux chercheurs de l'Université de Genève, Michel Mayor et Didier Queloz, ont un rendez-vous dans le ciel de Provence. Ils attendent le retour dans l'hémisphère Nord de 51 Pegasi, une étoile autour de laquelle semble graviter un étrange corps céleste repéré quelques mois plus tôt et qui pourrait bien être la première planète jamais détectée en dehors du système solaire. Le suspense dure le temps de pointer le télescope dans la bonne direction, avant que l'ordinateur ne confirme la présence d'une géante gazeuse dont la masse équivaut à la moitié de celle de Jupiter.

La nouvelle est de taille : à 2000 ans d'intervalle, elle confirme ce que le philosophe grec Epicure pressentait de manière totalement spéculative, à savoir que d'autres planètes peuplent le ciel et que nous ne sommes par conséquent probablement pas le seul monde habité du vaste cosmos.

Sur le plan scientifique, cette formidable découverte, qui s'inscrit dans une immense chaîne de savoirs et de questions, a deux conséquences majeures. La première est de remettre en cause la plupart des théories existantes sur la formation des systèmes planétaires, dont le nôtre. La seconde est de relancer une quête à laquelle plus grand monde ne croyait au milieu du XX^e siècle : celle des autres mondes. Récit.

**«LA QUANTITÉ
D'ATOMES PROPRES
À SERVIR D'ÉLÉMENTS
OU, AUTREMENT DIT,
DE CAUSES À UN
MONDE, NE PEUT ÊTRE
ÉPUISÉE PAR
LA CONSTITUTION
D'UN MONDE UNIQUE»**

Tout commence avec les Grecs. S'ils n'ont pas à proprement parler inventé l'astronomie, les Hellènes sont en effet les premiers à l'avoir abordée comme une science et non d'un point de vue mythique ou religieux.

Un cosmos vaste A défaut de pouvoir observer directement des planètes en orbite lointaine, les compatriotes d'Aristote, fondant leur raisonnement sur la logique, avaient déjà compris l'essentiel : que la Terre était sphérique – Eratosthène avait d'ailleurs calculé assez précisément son diamètre – et que le système solaire était peuplé d'autres planètes (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne).

Alors que la majorité de ses contemporains estime encore que le ciel est un espace clos sur lequel sont accrochées les étoiles, Epicure (341-270 av. J.-C.) écrit dans sa fameuse lettre à Hérodote : «*La quantité d'atomes propres à servir d'éléments ou, autrement dit, de causes à un monde, ne peut être épuisée par la constitution d'un monde unique, ni par celle d'un nombre fini de mondes, qu'il s'agisse d'ailleurs de tous les mondes semblables au nôtre ou de tous les mondes différents. Il n'y a donc rien qui empêche l'existence d'une infinité de mondes.*» Mise à mal par l'avènement du christianisme, selon lequel le royaume des cieux est, à l'image de Dieu, parfait et immuable, cette conception d'un cosmos vaste connaît



quelques éclipses durant le Moyen Age. Mais c'est pour mieux ressurgir, souvent dans les rangs mêmes de l'Eglise. «*Existe-t-il plusieurs mondes ou n'y en a-t-il qu'un seul? C'est là l'une des plus nobles et des plus exaltantes questions dans l'étude de la nature*», écrit ainsi au XIII^e siècle Albert le Grand, évêque de Ratisbonne.

Deux siècles plus tard, un autre prélat, Nicolas de Cues, évêque de Brixen (1401-1464), s'interroge dans son livre *De la docte ignorance*: «Pourquoi la puissance divine se serait-elle contentée de créer un Univers clos alors qu'elle peut tout?»

Chanoine, médecin et astronome, le Polonais Nicolas Copernic (1473-1543) franchit un pas supplémentaire en affirmant non seulement que les planètes tournent autour du Soleil mais également en donnant au cosmos des dimensions jamais imaginées jusque-là.

Après avoir mis en doute l'Immaculée conception, contesté la Sainte Trinité et qualifié Jésus-Christ de «mage habile», le dominicain Giordano Bruno (1548-1600) défend à son tour l'idée que les étoiles du ciel sont autant de soleils autour desquels tournent des planètes abritant la vie dans *De l'infini, de l'univers et des mondes* avant d'être brûlé vif sur le Campo de' Fiori à Rome pour hérésie et apostasie.

Difficile d'aller plus loin que des spéculations philosophiques en observant le ciel à l'œil nu. D'où l'immense intérêt suscité par la lunette développée par un autre Italien, Galileo Galilée (1564-1642). Cet instrument révèle en effet à une humanité encore sceptique les reliefs qui creusent la surface de la Lune, les satellites de Jupiter ainsi que nombre de nouvelles étoiles.

L'après-Copernic La cause semble dès lors entendue. Pour le découvreur du secret des anneaux de Saturne, le Hollandais Christiaan Huygens (1629-1695), la thèse de la pluralité des mondes ne fait en tout cas plus de doute. «*Un homme qui est de l'opinion de Copernic, qui fait de notre Terre une planète comme les autres, entraînée autour du Soleil et éclairée par lui, celui-là peut raisonnablement croire, même si cela semble osé, que les autres planètes ont des habitants tout comme la Terre*», écrit-il dans son *Cosmotheoros*. Même son de cloche dans les *Entretiens sur la pluralité des mondes*, ouvrage publié en 1686 par Bernard Le Bouyer de Fontenelle, et dont le succès fait entrer l'astronomie dans les salons. Un siècle plus tard, Kant et Laplace précisent encore le trait en proposant un ciel fabuleusement profond modelé

LA LUNETTE ASTRONOMIQUE
DÉVELOPPÉE
PAR GALILÉE AU DÉBUT
DU XVII^E SIÈCLE A PERMIS
À L'HUMANITÉ DE REGARDER
LE CIEL SOUS UN JOUR NEUF.

par la gravitation et peuplé de myriades de galaxies et de nébuleuses.

L'Univers vide Curieusement, au cours de la première partie du XX^e siècle, il n'y a plus grand monde pour soutenir cette idée hormis les auteurs de ce que l'on appelle désormais la science-fiction. Toutes les estimations qui sont alors données par la littérature scientifique font en effet état d'un nombre très limité, voire de l'absence, d'autres systèmes planétaires dans la galaxie.

«Ce revirement s'explique par un raisonnement qui, sans être faux en soi, repose sur une hypothèse erronée», explique Michel Mayor, aujourd'hui professeur honoraire de la Faculté des sciences. Depuis Laplace, on sait que les planètes se forment au sein de disques de matière sans parvenir à comprendre d'où proviennent ces derniers. Vers 1900, James Hopwood Jeans, professeur à Cambridge et grande figure de la cosmologie britannique, parvient à imposer l'idée que ces disques de matière sont arrachés à une étoile par le passage d'un autre astre à proximité. Or, si la chose est possible sur le plan purement physique, la probabilité de rencontre entre deux étoiles est proche de zéro sur la durée de vie d'une galaxie. «Faute d'être en mesure d'identifier le phénomène physique capable de créer ces disques de matière jusqu'au milieu des années 1950, on a mis très longtemps à sortir de cette hypothèse», complète Michel Mayor. Conséquence: aux yeux de la plupart des spécialistes, les planètes devaient être extrêmement rares en dehors de notre système.»

Fausses alertes Cela n'a pas empêché les scientifiques de continuer à scruter le ciel à la recherche d'autres planètes, parfois avec des moyens considérables, notamment après la découverte de Pluton en 1930.

Et, en 1943, alors que la Deuxième Guerre mondiale bat son plein, plusieurs équipes annoncent qu'elles ont décroché le «jackpot» en découvrant des compagnons autour d'étoiles proches grâce à la méthode de l'astrométrie (lire en page 36). Même s'il s'avère rapidement que ces planètes sont le fruit de détections erronées, sur le coup la nouvelle suscite l'enthousiasme des astronomes. D'autant qu'on comprend au même moment que les disques de matière requis pour la formation des planètes sont les sous-produits inéluctables de la formation des étoiles elles-mêmes.

Cette fois, cela semble certain: le ciel est bel et bien rempli d'autres planètes. Mais dans ce cas où se cachent-elles

et pourquoi diable est-il si difficile de mettre les yeux dessus? La réponse se fera attendre jusqu'à la découverte de 51 Pegasi b en 1995, après une longue série de fausses alertes supplémentaires.

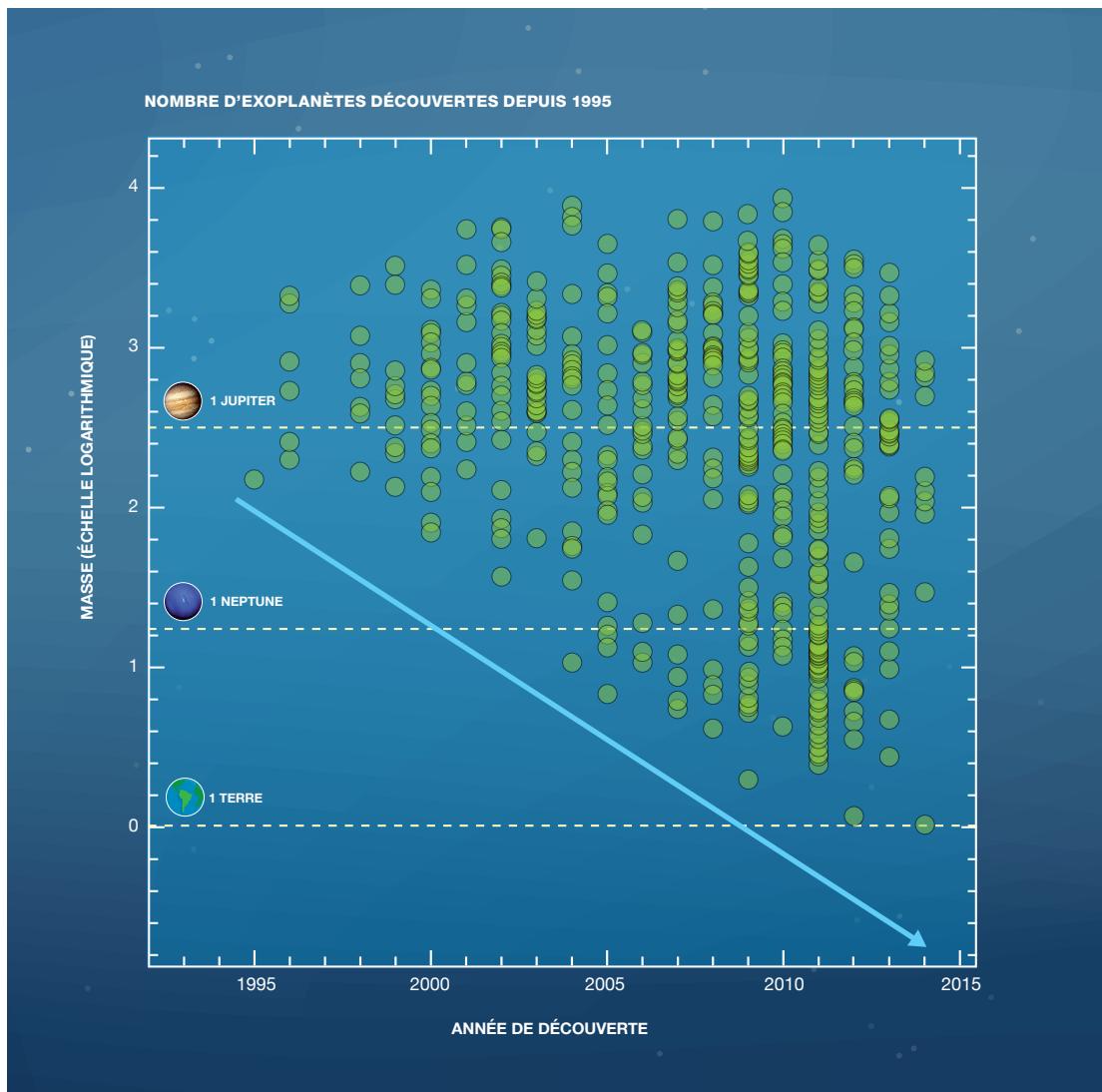
Au milieu des années 1980, Peter van de Kamp, qui suit alors depuis près de quarante ans l'étoile de Barnard, est ainsi certain d'avoir touché au but. Mais, là encore, il s'agit d'erreurs de mesure liées à l'instrumentation. Face à ce nouvel échec, plusieurs équipes décident de changer de technique en passant de l'astrométrie, trop peu précise, à celle dite des «vitesses radiales» (lire en page 36).

«NOTRE CHANCE, C'EST QUE NOUS NE CHERCHIONS PAS SEULEMENT DES PLANÈTES, MAIS AUSSI DES NAINES BRUNES»

MICHEL MAYOR

Elodie et les naines brunes Outre les Américains Geoffrey Marcy et Paul Butler, les Canadiens Gordon Walker et Bruce Campbell, l'équipe de Michel Mayor est elle aussi de la partie, avec un nouvel instrument installé sur le télescope de l'Observatoire de Haute-Provence et baptisé Elodie.

«Nous avons commencé notre campagne d'observation durant le printemps 1994, se souvient le chercheur genevois. Et l'ambiance n'était alors pas franchement à l'optimisme. Les premiers résultats que venaient de publier Campbell et Walker, après avoir étudié pendant une dizaine d'années une vingtaine d'étoiles très brillantes, ne faisaient en effet état d'aucune



planète. De leur côté, Marcy et Butler avaient également fait chou blanc auprès de 25 astres.»

Le problème, c'est qu'ils n'adoptent pas la bonne stratégie de mesure. D'une part, persuadé a priori que la majorité des étoiles doivent avoir une planète géante telle Jupiter, ils décident de concentrer leurs efforts sur un nombre très limité d'étoiles. De l'autre, ils adoptent un rythme de mesure adapté à des périodes orbitales de plusieurs années.

L'ensemble de la communauté scientifique est en effet encore convaincu que les grandes planètes, qui sont les plus faciles à repérer, se trouvent loin de leur étoile, dans une zone où se trouvaient les grains de glace qui ont permis de les constituer et qu'elles ont par conséquent des périodes de rotation autour de leur étoile s'étalant sur des années, voire des dizaines d'années.

«Notre chance a été double, explique Michel Mayor. D'une part, nous disposions d'un instrument équipé d'un système informatique plus performant que celui de nos concurrents. De l'autre, nous ne cherchions pas seulement des planètes mais aussi des naines brunes. Et comme on ne savait quasiment rien à l'époque sur ces étoiles de petite masse, rien n'empêchait de penser qu'elles puissent avoir des orbites courtes. Nous avons donc adopté un calendrier permettant d'observer des objets qui se déplacent rapidement, ce qui s'est avéré être la bonne stratégie.»

L'énigmatique compagnon Après quelques mois de mesures, 51 Peg b est en effet repérée dès la fin de l'année 1994. Echaudés par les mésaventures de leurs collègues, les deux chercheurs genevois veulent toutefois être certains de leur fait avant d'annoncer leur fabuleuse découverte. «Si nos calculs s'avéraient exacts, nous avions déniché une planète dont les caractéristiques n'avaient été prévues par aucune théorie, puisque cet objet dont la masse équivale à la moitié de celle de Jupiter était vingt fois plus proche de son étoile que la Terre ne l'est du Soleil et avait une période orbitale de 4,2 jours seulement», commente l'astronome.

Pour en avoir le cœur net, Michel Mayor et Didier Queloz sont contraints d'attendre que 51 Peg et son énigmatique compagnon ne réapparaissent dans le ciel de Provence, ce qui est le cas au début du mois de juillet 1995.

«Didier et moi avions demandé à nos familles de nous accompagner pour fêter l'événement si celui-ci devait se confirmer, ce qui a été le cas dès nos premières nuits d'observation, raconte Michel Mayor. C'est seulement à partir de ce moment-là que nous y avons réellement cru.» Il reste cependant à convaincre la communauté des astronomes qui, à force d'être échaudée, se montre plutôt circonspecte. L'annonce de la découverte, en octobre 1995, a beau faire le tour du monde en quelques heures, la nature imprévue de la nouvelle venue pose en effet question.

DIDIER QUELOZ ET

MICHEL MAYOR

(A DROITE), EN

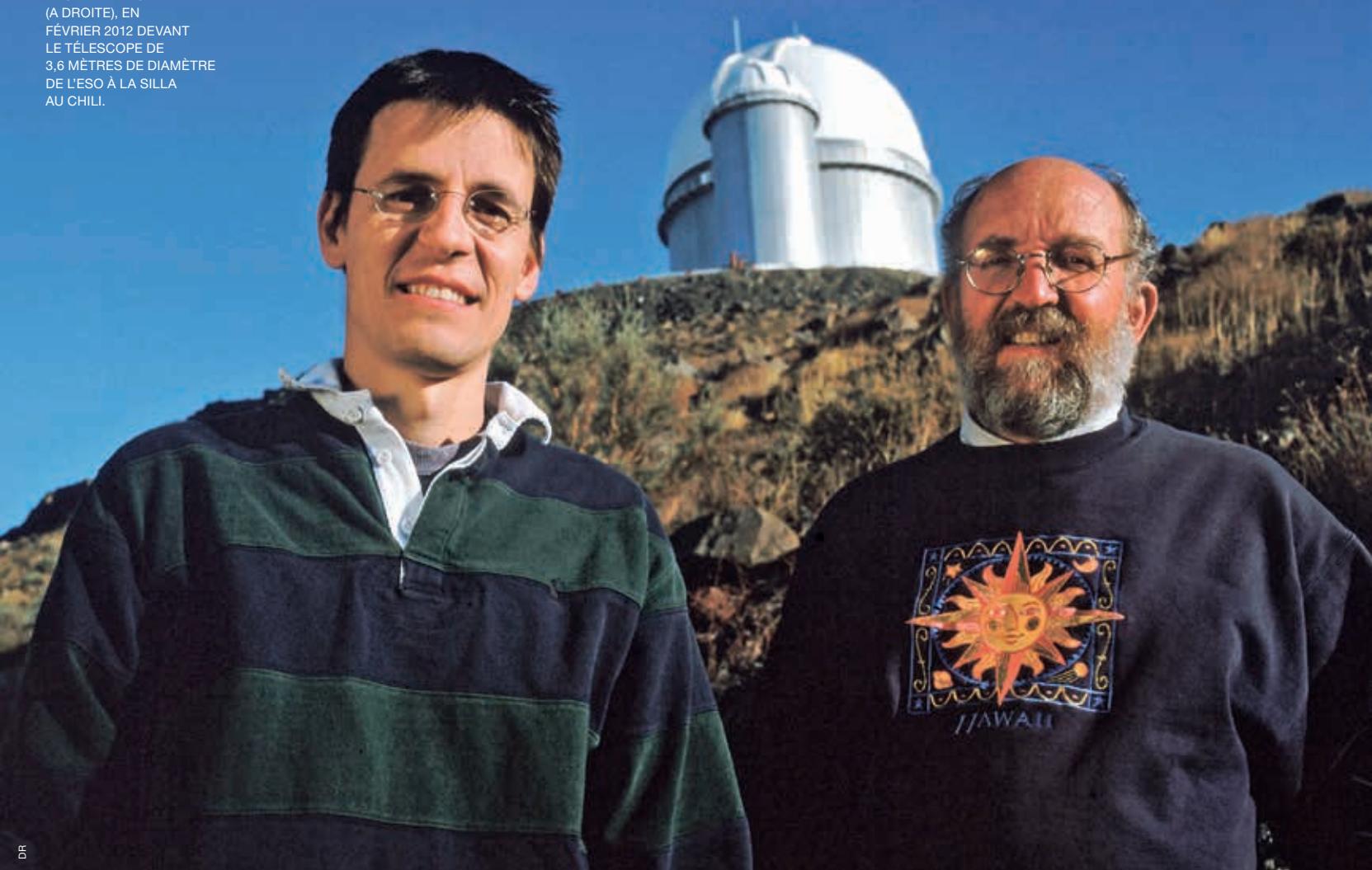
FÉVRIER 2012 DEVANT

LE TÉLESCOPE DE

3,6 MÈTRES DE DIAMÈTRE

DE L'ESO À LA SILLA

AU CHILI.



DR

En réalité, la réponse existe déjà. Elle a été formulée par deux astronomes Peter Goldreich et Scott Tremaine en 1980 déjà et est liée au concept de migration orbitale. «*C'est un développement théorique majeur dont le détail est très complexe, mais dont les idées de base sont relativement simples*, résume Michel Mayor. Schématiquement, les planètes géantes comme 51 Peg b ou Jupiter dans notre système solaire naissent à une distance importante de leur étoile, là où le disque d'accrétion contient des grains de glace. Ensuite, ces jeunes planètes s'approchent de leur étoile en spirale durant un temps court – 1 à 2 millions d'années en direction de l'étoile. Une fois qu'il est totalement absorbé, le disque disparaît et l'orbite des planètes se stabilise. C'est ce qui explique la présence de 51 Peg b si près de son étoile.»

La chasse est lancée Quelques jours à peine après l'annonce officielle de la découverte de la première planète située hors de notre système solaire, les astronomes ont toutes les armes en main pour se lancer dans la quête de nouveaux mondes. Et la chasse sera fructueuse : en janvier 1996, Marcy, qui a entre-temps revisité toutes ses données, annonce la découverte de deux nouvelles exoplanètes (70 Virginis et 47 Ursae Majoris).

Dans les six mois qui suivent, la même équipe double la mise puis les chiffres s'emballent. Alors que les exoplanètes

commencent à se compter par centaines (on en connaît aujourd'hui plus de 1700 de façon certaine, dont plus de 250 détectées par les astronomes genevois), des objets de plus en plus singuliers font leur apparition dans le ciel : systèmes comportant jusqu'à sept planètes tournant autour de la même étoile, planètes gravitant autour de deux étoiles, systèmes composés d'une étoile tournant dans un sens et d'une planète tournant dans l'autre sens, etc. (lire également en page 36).

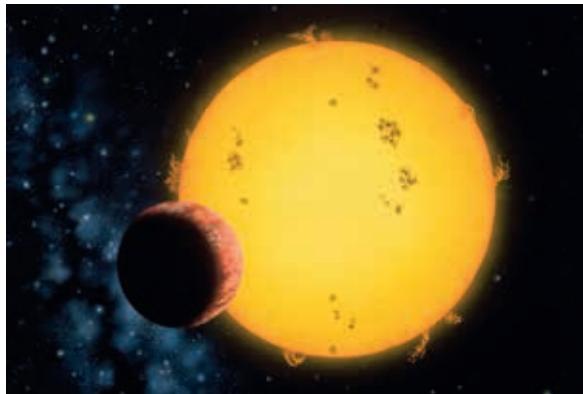
«*Ces découvertes ont radicalement transformé notre vision de l'Univers et remis en cause la plupart des choses que l'on croyait savoir à propos de la formation des planètes*, conclut Michel Mayor. Mais tout cela était tellement étonnant qu'il a fallu attendre septembre 1999 et la découverte du premier transit – à laquelle notre équipe est associée – pour balayer les doutes des derniers sceptiques, témoigne Michel Mayor. Gordon Walker, par exemple, m'a avoué plus tard que ce n'était qu'à partir de ce moment-là qu'il avait été convaincu de la réalité de ces nouveaux mondes.»

* «Les nouveaux mondes du cosmos. A la découverte des exoplanètes», par Michel Mayor et Pierre-Yves Frei, Seuil 2001, 261 p.

LES MONDES D'AILLEURS

UNE DIVERSITÉ DE SYSTÈMES INATTENDUE

ELLES PEUVENT ÊTRE GROSSES OU PETITES, ACCOMPLIR UNE ORBITE ENTIÈRE EN MOINS D'UN JOUR, TOURNER AUTOUR D'ÉTOILES DOUBLES, FORMER DES SYSTÈMES MULTIPLES TRÈS COMPACTS : LES PLANÈTES EXTRASOLAIRES NE CESSENT D'ÉTONNER LES ASTRONOMES



51 Peg b

Le 6 octobre 1995, Michel Mayor et Didier Queloz annoncent la découverte de la première planète extrasolaire. D'emblée, elle interpelle les astronomes qui ne comprennent pas ce qu'une géante gazeuse de cette masse fabrique si près de son étoile. Une telle planète, de type Jupiter, prend forcément naissance dans une région beaucoup plus éloignée, là où la glace, le gaz et les poussières dont elle est constituée ne sont pas vaporisés. Pour expliquer sa position, il a donc fallu recourir à la théorie dite de la migration planétaire qui explique comment les planètes changent d'orbite lorsque le disque protoplanétaire est encore présent. 51 Peg b est située à 51 années-lumière de la Terre, dans la direction de la constellation de Pégase. Les forces de marées sont telles qu'elle expose toujours la même face à son étoile. La température à sa surface atteint les 1000 °C.

Masse: plus de 0,47 fois la masse de Jupiter

Rayon: inconnu

Période: 4,23 jours

Distance à l'étoile: 20 fois plus proche que la distance Terre-Soleil
(0,05 Unité astronomique)



HD 10180 c, d, e, f, g et h

En 2011, l'équipe de Michel Mayor annonce la découverte, grâce au spectro-mètre HARPS, d'un système composé d'au moins cinq planètes du même type que Neptune et dont les masses s'échelonnent entre 12 et 25 masses terrestres. C'est la première fois que l'on découvre autant de compagnons d'un coup orbitant autour de la même étoile. Le système est très compact puisque les cinq compagnons sont plus proches de leur étoile (un astre de type solaire) que Mars du Soleil. Les chercheurs notent que ce genre de configuration ramassée, ne laissant pas de place à d'autres planètes, se rencontre régulièrement. Une sixième planète (de 65 masses terrestres) a depuis été attestée. Un septième candidat, non confirmé pour l'instant, pourrait également être de la partie, une planète de 1,4 masse terrestre, située très près de l'étoile.

Nombre de planètes: 6

Masses: entre 12 et 65 masses terrestres

Rayons: inconnus

Périodes: entre 5,75 et 2222 jours

Distances à l'étoile: entre 0,064 et 3,4 fois la distance Terre-Soleil

HD 209458 b

Découverte en novembre 1999 par l'équipe de Michel Mayor, HD 209458 b a la particularité de transiter devant son étoile. Profitant de cette géométrie, une équipe internationale détecte en 2002 du sodium dans les couches profondes de son atmosphère puis, en 2003, de l'hydrogène qui semble s'échapper dans l'espace à grande vitesse à la manière d'une queue de comète. Une étude plus poussée trouve en 2004 du monoxyde de carbone (CO) dans les couches supérieures de l'atmosphère animées de mouvements très rapides atteignant plusieurs milliers de kilomètres par heure. En 2008, on découvre une diffusion dite de Rayleigh (celle qui est responsable sur Terre de la lumière bleue du ciel). Et en 2009, les chercheurs de la NASA annoncent la présence de vapeur d'eau et de méthane. Il est néanmoins hors de question de trouver de la vie sur cette géante gazeuse presque aussi grosse que Jupiter.

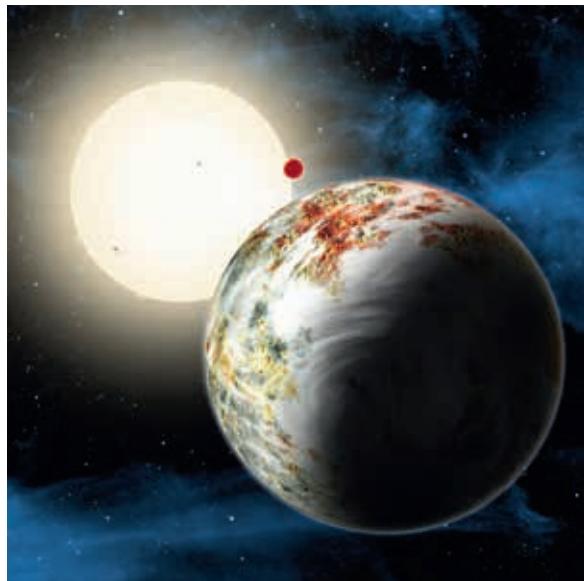
Masse: 0,7 fois la masse de Jupiter

Rayon: 1,38 fois le rayon de Jupiter

Période: 3,52 jours

Distance à l'étoile: 21 fois plus proche que la distance Terre-Soleil (0,047 UA)





KEPLER 10 c

Kepler 10 c est la première planète rocheuse découverte par le satellite américain KEPLER. Mais c'est le spectrographe HARPS-N qui a permis d'obtenir la valeur la plus précise de sa masse et donc de sa densité. Une information qui a surpris les astronomes. Avec ses 17 masses terrestres, Kepler 10 c aurait dû, selon les modèles théoriques, attirer des éléments plus légers comme l'hélium et l'hydrogène du disque d'accrétion et devenir une géante gazeuse. De plus, avec Kepler 10 b (un monde de lave de 3 masses terrestres), Kepler 10 c est en orbite autour d'une étoile âgée de 10,5 milliards d'années, ce qui en fait le plus vieux système connu abritant des planètes telluriques. Cette découverte signifie que la formation de ce système remonte à une époque où l'on pensait que les éléments constitutifs des roches n'étaient pas encore si abondants dans l'Univers.

Masse: 17,2 fois la masse terrestre

Rayon: 2,35 fois le rayon terrestre

Période: 45,3 jours

Distance à l'étoile: un quart de la distance Terre-Soleil (0,24 unité astronomique)

KEPLER 186 f

Plusieurs exoplanètes de la taille de la Terre ont été découvertes et plusieurs autres sont situées dans la zone habitable de leur étoile. Kepler 186 f est, à l'heure actuelle, la seule connue qui réunit les deux paramètres. Détectée en 2014 par le satellite américain KEPLER à l'aide de la technique du transit, elle fait partie d'un système de cinq planètes dont elle est la plus excentrique. On ne connaît pour l'heure que son rayon (1,1 fois celui de la Terre) et la distance à son étoile (0,35 fois la distance Terre-Soleil). L'analyse de l'intensité et du spectre de l'astre a montré qu'elle évolue dans la zone habitable. Cela signifie que si Kepler 186 f possédait une atmosphère comme la Terre et si l'on détectait de l'eau à sa surface, celle-ci pourrait bien être sous forme liquide. Située entre 490 et 500 années-lumière de la Terre, l'étoile est une naine rouge dont le rayon est la moitié de celui du Soleil. La surface de Kepler 186 f reçoit un flux lumineux trois fois moins intense que la Terre. L'exoplanète pourrait avoir un climat tempéré à condition qu'elle possède une atmosphère beaucoup plus dense que la Terre.

Masse: inconnue

Rayon: 1,1 fois le rayon terrestre

Période: 130 jours

Distance à l'étoile: 0,35 fois la distance Terre-Soleil



WASP 94 Ab et WASP 94 Bb

En 2011, une équipe britannique découvre, à l'aide de la technique du transit, une planète orbitant autour de l'étoile A du système binaire appelé WASP 94. En cherchant à identifier cette planète, des astronomes genevois et belges ont découvert par hasard qu'il n'y avait pas une mais deux planètes, chacune tournant autour de son étoile. Il s'agit de deux géantes gazeuses de type «Jupiter chaud» très proches de leur astre respectif et parcourant leur orbite en quelques jours seulement alors que les deux étoiles mettent plusieurs milliers d'années pour accomplir un tour l'une autour de l'autre. La planète WASP 94 Ab suit probablement une trajectoire rétrograde, c'est-à-dire que le sens de rotation de son orbite est l'inverse du sens de rotation de son étoile sur elle-même.

Nom: WASP 94 Ab

Masse: 0,45 fois la masse de Jupiter

Rayon: 1,72 fois le rayon de Jupiter

Période: 3,95 jours

Distance à l'étoile: 18 fois plus proche (0,055 UA) Terre-Soleil (0,033 UA)

WASP 94 Bb

0,6 fois la masse de Jupiter

inconnu

2 jours

30 fois plus proche que la distance Terre-Soleil

MÉLANGE D'ORBITES

LES PLANÈTES, CES GRANDES MIGRATRICES

DÈS LA DÉCOUVERTE DE LA PREMIÈRE EXOPLANÈTE, IL EST APPARU QUE LES PLANÈTES MIGRENT, PARFOIS SUR DE GRANDES DISTANCES, À L'INTÉRIEUR DES SYSTÈMES SOLAIRES. LE DÉFI CONSISTE DEPUIS À MODÉLISER CE PHÉNOMÈNE

Il n'est pas certain que Jupiter et Saturne aient occupé la même place dans le système solaire depuis leur naissance. Certains chercheurs ont même imaginé, dans un article paru dans la revue *Nature* en 2011, que ces deux géantes gazeuses ont, dans le passé, visité l'orbite de Mars avant de regagner des régions plus éloignées, là où elles évoluent actuellement. Ce voyage a été baptisé « Grand Tack », un terme tiré de la voile désignant un demi-tour effectué par un bateau après avoir contourné une bouée.

Cette hypothèse ne surprend pas Willy Benz, professeur à l'Institut de physique de l'Université de Berne et directeur du Pôle de recherche national PlanetS. Le chercheur a même cherché à vérifier si un tel scénario était compatible avec les modèles de formation des systèmes planétaires qu'il met au point avec son groupe. Et les premiers résultats indiquent que la réponse est probablement affirmative.

Petite Mars « *L'idée de cette migration de Jupiter et Saturne est apparue pour tenter d'expliquer pourquoi Mars est si petite par rapport à la Terre et à Vénus, explique-t-il. La masse de la planète rouge vaut en effet un dixième de celle de la planète bleue. Et il n'y a, a priori, aucune raison que ce soit le cas. Dans le disque de poussière original, la quantité de matière à disposition pour la formation de ces trois planètes telluriques devait être grossièrement la même. En revanche, si Jupiter et Saturne avaient séjourné dans la région au cours des tout premiers temps du système solaire, ces géantes gazeuses déjà bien formées auraient pu avaler*

ou éjecter une grande partie de la matière destinée à Mars avant de repartir dans les régions plus excentriques du système solaire. Par ailleurs, ce voyage de Jupiter et de Saturne aurait peut-être aussi créé une perturbation suffisante pour empêcher la ceinture d'astéroïdes de se concentrer en une planète.»

Que des chercheurs proposent aujourd'hui des scénarios dans lesquels des géantes gazeuses se baladent aussi librement à l'intérieur d'un système solaire est un des résultats les plus importants de la découverte des exoplanètes. Dès la publication de la première d'entre elles, il est devenu clair que la théorie traditionnelle selon laquelle les planètes évoluent plus ou moins sur l'orbite qui les a vu naître était insuffisante. Découverte en 1995 par les astrophysiciens Michel Mayor et Didier Queloz, 51Peg b tourne en effet autour de son étoile en un peu plus de 4 jours, à une distance cent fois plus petite que celle qui sépare Jupiter du Soleil. Le problème, c'est qu'il s'agit d'une géante gazeuse ayant la moitié de la masse de Jupiter. Et les planètes de ce genre naissent à une grande distance de l'étoile, là où l'accré-

CE VOYAGE DE JUPITER A ÉTÉ BAPTISÉ « GRAND TACK », UN TERME TIRÉ DE LA VOILE DÉSIGNANT UN DEMI-TOUR EFFECTUÉ PAR UN BATEAU APRÈS AVOIR CONTOURNÉ UNE BOUÉE

tion de poussières et de glace est possible. Dès lors, la seule explication possible à la présence d'une géante gazeuse aussi proche de son étoile est qu'elle a changé d'orbite entre sa naissance et son observation. Le concept de migration planétaire s'est alors imposé et est aujourd'hui largement accepté par les astronomes. Il est expliqué par l'interaction gravitationnelle existant entre la planète en

**LES SYSTÈMES
PLANÉTAIRES NAISSENT**
D'UN DISQUE PRIMOR-
DIAL DE GAZ, DE GLACE
ET DE POUSSIÈRE
AU CENTRE DUQUEL SE
TROUVE L'ÉTOILE

CETTE VUE D'ARTISTE
MONTRÉ UN SYSTÈME
SIMILAIRE AU NÔtre
AVEC UNE PLANÈTE DE
LA TAILLE DE JUPITER
DÉJÀ FORMÉE ET QUI
ASPIRE DE LA MATIÈRE.

PRÈS DE L'ÉTOILE, LA
CHALEUR PROVOQUE
L'ÉVAPORATION DES
ÉLÉMENTS LÉGERS. IL NE
RESTE QUE LA ROCHE
ET LES MÉTAUX QUI
FORMENT LES PLANÈTES
TELLURIQUES.

PLUS LOIN, LE GAZ,
LA GLACE ET LA POUS-
SIÈRE SE CONTRACTENT
POUR FORMER DES
PLANÈTES GAZEUSES.

UNE FOIS FORMÉES,
LES PLANÈTES NE
RESTENT PAS FORCÉ-
MENT EN PLACE. L'INTE-
RACTION DE CES CORPS
AVEC LE DISQUE DE
POUSSIÈRE PROVOQUE
LEUR MIGRATION EN
DIRECTION DE L'ÉTOILE
OU VERS L'EXTÉRIEUR
DU SYSTÈME



DAVID A. AGUILAR, CfA

formation et le disque de gaz et de poussières dans lequel elle évolue au cours des premiers millions d'années du système planétaire.

Frein à la migration «*La modélisation de ce phénomène a posé des problèmes au début, explique Willy Benz. Dans toutes nos simulations, l'étoile finissait systématiquement par avaler la planète. Nous en avons conclu qu'il doit exister un mécanisme qui freine cette migration. Et en faisant l'étude plus détaillée des interactions entre la planète et le disque de gaz, des chercheurs ont découvert certains effets subtils qui n'attirent pas la planète vers l'intérieur mais la poussent vers l'extérieur.*»

En plus du disque de gaz primordial, les astronomes tiennent également compte dans leurs modèles d'autres interactions, comme celles qui s'exercent entre les planètes d'un même système (s'il y en a plusieurs) et qui peuvent, entre autres, influencer l'excentricité de leurs orbites. Ils intègrent aussi dans leurs simulations l'influence de l'étoile sur la planète, la première pouvant par exemple évaporer l'enveloppe gazeuse de la seconde si elle se rapproche trop.

A l'aide de ces modèles, l'équipe de Willy Benz tente de produire des simulations qui débouchent sur des résultats similaires aux observations des astronomes. Plus précisément, les chercheurs bernois imaginent des conditions de départ, choisissent les différents paramètres et font chauffer les ordinateurs autant de fois qu'il le faut pour que les modèles reflètent au mieux la réalité. Chaque scénario fait partir l'embryon de planète d'une distance différente de l'étoile et la fait grandir au fur et à mesure qu'il agglomère de la matière sur son trajet. La nature de cette matière varie en fonction de la distance à l'astre, une distance qui change à cause de la migration et qui détermine ainsi la composition et la structure finale du corps céleste. Pour chaque résultat final, il existe une probabilité, liée au nombre de scénarios qui y mènent. Ainsi, lorsque les astronomes parviennent à obtenir la masse, la densité et l'orbite d'une vraie exoplanète, ils peuvent déduire de leur modèle quelles sont les chances qu'elle soit formée d'un noyau de fer entouré d'une enveloppe de gaz ou plutôt d'un noyau de roche sous un manteau de glace.

VUE D'ARTISTE DE
HD 209458B ET DE
SON ATMOSPHÈRE.

CETTE PLANÈTE A
ÉTÉ DÉCOUVERTE PAR
L'ÉQUIPE DE MICHEL
MAYOR EN 1999.

HABITABILITÉ

L'ATMOSPHÈRE DES EXOPLANÈTES, LE PROCHAIN GRAAL

L'ÉTUDE DES ATMOSPHÈRES DES EXOPLANÈTES POUSSÉ LES INSTRUMENTS DE MESURE ACTUELS À LA LIMITÉ DE LEURS PERFORMANCES. OBJECTIF: LA RECHERCHE DE VIE EXTRATERRESTRE

Il ne faut pas se leurrer: la chasse aux exoplanètes cache à peine une autre quête, encore plus impérieuse, celle de la vie extraterrestre. Depuis 1995 et la découverte de 51Peg (lire en page 23), le nombre théorique de systèmes planétaires présents dans la galaxie est devenu si gigantesque (des dizaines de milliards) que les astronomes estiment désormais que plusieurs d'entre eux renferment forcément d'autres mondes évoluant dans des conditions favorables à l'élosion de la vie telle qu'on la connaît sur Terre. L'écrasante majorité d'entre eux se situe probablement hors de portée des télescopes humains. Mais peut-être pourra-t-on en dénicher quelques-uns malgré tout...

Le Pôle de recherche national (PRN) PlanetS a en tout cas l'ambition de contribuer à cette quête. L'un de ses projets, dirigé par Francesco Pepe, professeur au Département d'astronomie (Faculté des sciences), est consacré à l'étude de l'atmosphère des planètes extrasolaires. Leur composition chimique peut en effet renseigner sur les conditions physiques qui y règnent et, en associant ces données aux informations concernant la masse de la planète et sa distance à l'étoile, fournir des indices sur son habitabilité.

Photographie directe Les premières analyses d'atmosphères d'exoplanètes ont commencé à être publiées depuis quelques années. Il s'agit pour l'instant de géantes gazeuses équivalentes à Jupiter ou plus massives. Elles ont la particularité soit d'avoir été photographiées directement, soit de transiter devant leur étoile. A ce jour, les astronomes pensent avoir détecté sur ces planètes la présence de monoxyde de carbone (CO), de gaz carbonique (CO₂), de sodium (Na) ou encore d'eau (H₂O). Certaines annonces font même part de

méthane (CH₄). C'est une étape importante, car il s'agit de la plus simple molécule organique et elle représente une des signatures possibles du vivant.

«*La question de savoir quelle doit être la signature d'une atmosphère abritant des formes de vie n'est pas encore résolue*, note Francesco Pepe. *Si l'on se base sur ce que l'on connaît, il faut d'abord de l'eau. L'ozone (O₃), à savoir de l'oxygène non lié au carbone, est sur Terre un produit indirect de la vie végétale. Si l'on détecte ce composé sur d'autres planètes, cela pourrait représenter un indice important, au même titre que le méthane. Cela dit, on ignore encore quel profil chimique précis prouverait la présence de la vie sur une autre planète.*

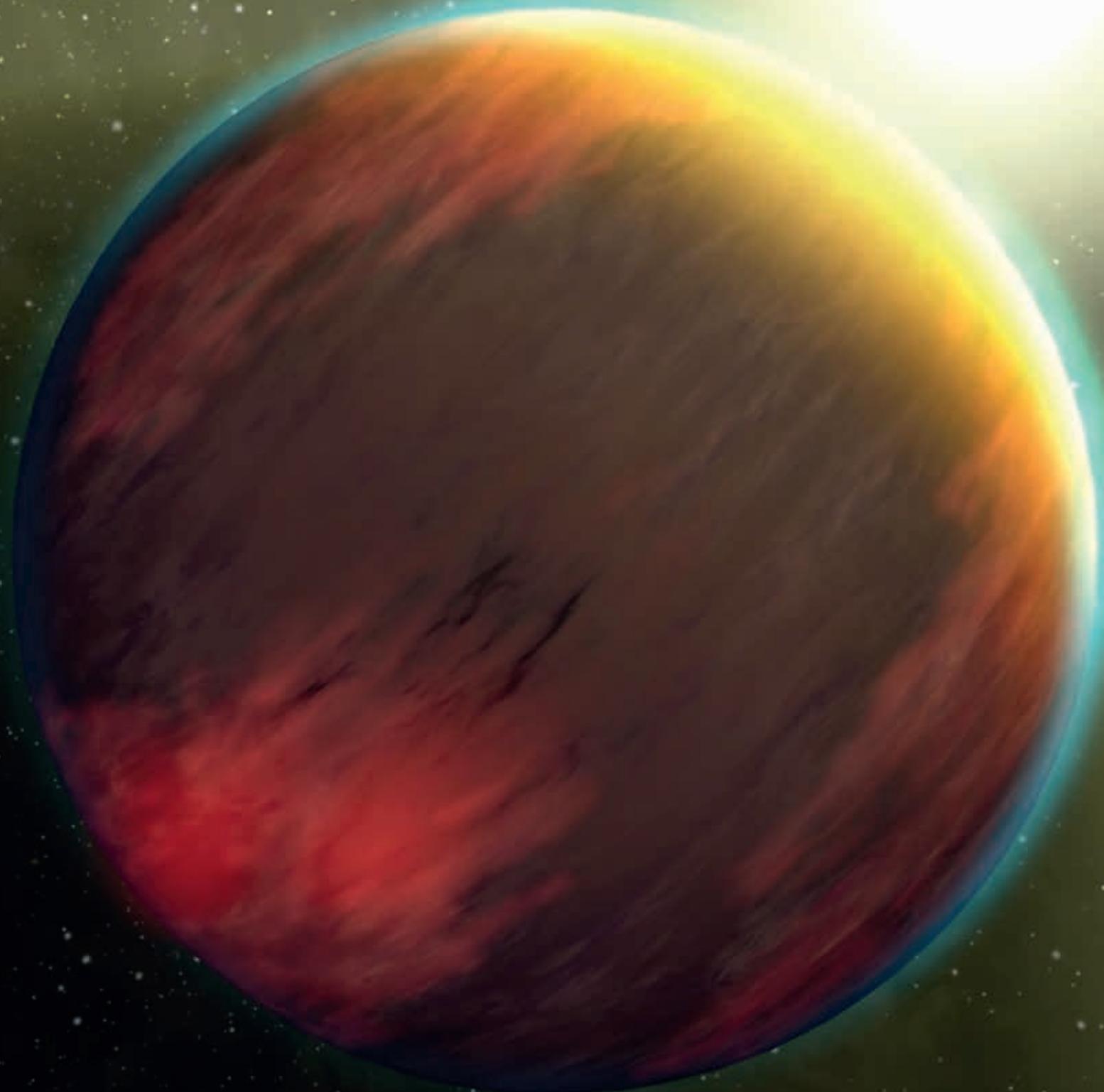
Ce n'est d'ailleurs pas notre travail mais celui des exobiologistes. Nous, les astronomes, sommes en mesure, notamment grâce aux moyens dont nous disposons désormais avec le PRN PlanetS, d'apporter nos observations et de développer des modèles théoriques de formation planétaire capables d'expliquer ce que l'on mesure. Et c'est une pièce importante du puzzle.»

L'analyse des atmosphères d'exoplanètes exige des mesures d'une très grande précision. L'idée consiste à obtenir le spectre électromagnétique de ces couches de gaz, c'est-à-dire la composition

spectrale de la lumière qui les traverse. Cela est possible lorsque la planète passe devant son étoile mère mais aussi lorsque, vue depuis la Terre, elle est à côté et que sa surface soit émet son propre rayonnement infrarouge si elle est assez chaude, soit reflète suffisamment les rayons stellaires pour être détectable comme une source ponctuelle.

Le signal récupéré par les télescopes est ensuite décomposé par un spectrographe. Cette opération fait apparaître des «raies d'absorption», c'est-à-dire des creux dans la

**«LA QUESTION
DE SAVOIR QUELLE
DOIT ÊTRE LA
SIGNATURE D'UNE
ATMOSPHÈRE
ABRITANT DES
FORMES DE VIE
N'EST PAS
ENCORE RÉSOLUE»**





ESO/L. CALÇADA

L'ORIGINE DE LA VIE

Chercher la vie ailleurs exige que l'on sache comment elle est apparue sur Terre. Voici quelques-unes des conditions identifiées par les chercheurs.

La tectonique des plaques et les volcans ont probablement joué des rôles importants. Il y a 4 milliards d'années, l'activité volcanique était très intense et a rejeté dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz tels que le sulfure d'hydrogène et du dioxyde de carbone. Une fois déposés au fond des océans, ces éléments auraient alors participé à la synthèse des premières molécules organiques.

Ces dernières auraient aussi pu provenir de l'espace et avoir été déposés sur Terre par des météorites et des comètes lors de la période d'intense bombardement vécu par la Terre au début de son histoire.

La présence de soleil comme source d'énergie, ainsi que d'eau, est indispensable. Cette dernière est un solvant qui augmente les probabilités de réaction chimique en mettant en contact les molécules entre elles.

Les expériences de chimie prébiotique ont montré qu'il était possible de synthétiser certains composants de base de l'ADN et de l'ARN à partir d'un mélange d'eau, de méthane d'ammoniac et d'hydrogène soumis à des décharges électriques censées simuler l'effet des éclairs. Les étapes ultérieures sont plus problématiques à reconstituer.

La première étape du vivant a peut-être été représentée par une forme primitive d'ARN, des molécules capables à la fois de porter de l'information génétique et de la reproduire. Par la suite, elles auraient évolué en deux types de

molécules distincts, l'ADN, chargé du stockage de l'information génétique, et l'ARN, chargé de son expression et de sa régulation.

A un certain moment, ces molécules se retrouvent enfermées dans des vacuoles formées par des lipides. Les premières cellules sont nées.

Les plus anciennes traces de vie sont des fossiles de communautés de bactéries vivant dans l'eau. Ces stromatolites ont été découverts dans la formation géologique de Tumbiana, en Australie, qui remonte à 2,7 milliards d'années. Dans la région de Warrawoona (toujours en Australie), on a découvert d'autres roches plus anciennes (3,5 milliards d'années) qui pourraient également être des stromatolites.

Source : Les dossiers de la Recherche, février 2013

◀ VUE D'ARTISTE DE LA SURFACE DE LA PLANÈTE
GLIESE 667 Cc, UNE SUPER-TERRÉE TOURNANT AUTOUR D'UNE NAINE ROUGE, ELLE-MÊME FAISANT PARTIE D'UN SYSTÈME TRIPLE.

CETTE PLANÈTE A ÉTÉ DÉTECTÉE À L'AIDE DU SPECTROGRAPHE HARPS ET SE TROUVE DANS LA «ZONE HABITABLE».

QUELQUES CRITÈRES D'HABITABILITÉ:

L'ÉTOILE NE DOIT PAS ÊTRE TROP CHAUE NI TROP FROIDE ET BRILLER ASSEZ LONGTEMPS ET DE MANIÈRE STABLE POUR QUE LA VIE AIT LE TEMPS DE SE DÉVELOPPER.

LA PLANÈTE DOIT ÊTRE TELLURIQUE, POSSÉDER DE L'EAU ET ÉVOLUER À UNE DISTANCE DE L'ASTRE QUI PERMETTE À CELLE-CI D'ÊTRE PRÉSENTE SOUS FORME LIQUIDE. C'EST CE QUE LES SPÉCIALISTES APPELLENT L'ORBITE D'OR.

LA NOTION DE ZONE HABITABLE SE COMPLIQUE (SANS ÊTRE EXCLUE) DANS LE CAS DES SYSTÈMES DOUBLES (LA MOITIÉ DES ÉTOILES SONT DANS CE CAS) OU TRIPLES (VOIR CI-CONTRE). SELON L'ÉLOIGNEMENT DES AUTRES ÉTOILES, L'ORBITE DE LA PLANÈTE POURRAIT PERDRE SA STABILITÉ.

LA PLANÈTE DOIT TOURNER SUR ELLE-MÊME AFIN D'ÉVITER D'EXPOSER TOUJOURS LA MÊME FACE AUX RAYONS DE L'ÉTOILE.

courbe d'intensité, qui correspondent à des éléments ou des composés chimiques qui absorbent la lumière à ces longueurs d'onde. La profondeur des raies et leur largeur permettent d'estimer la température et la vitesse de rotation de l'astre étudié.

Il faut cependant être capable de séparer le signal propre à la planète de celui, très envahissant, provenant de l'astre lumineux. Et c'est là que les choses se corseut. Plusieurs techniques sont possibles, mais elles reviennent en général à soustraire le signal de l'étoile à celui qui cumule les contributions de la planète et de l'étoile. En d'autres termes, il s'agit de soustraire deux grands nombres, une opération aboutissant à un tout petit résultat qui, s'il veut signifier quelque chose, doit dépasser le niveau du bruit statistique.

«Nous sommes à la limite de ce que les instruments actuels peuvent accomplir, estime Francesco Pepe. Nos télescopes ne sont pas assez grands, il n'y a pas assez de lumière en provenance des planètes et la résolution spectrale n'est pas toujours suffisante pour faire beaucoup mieux. Du coup, les astronomes se retrouvent souvent confrontés à des données ambiguës ou dégénérées qui ne permettent pas de choisir entre les différents modèles théoriques à notre disposition.»

Structures exotiques L'un des volets du projet atmosphère de PlanetS consiste justement à élaborer ce genre de modèles. Une équipe de quelques chercheurs se consacre déjà à imaginer les structures possibles de planètes. Géantes gazeuses, planètes telluriques, atmosphère composée d'hydrogène, hélium, d'eau, de CO₂, ou autre : les paramètres sont nombreux. La limite entre l'atmosphère gazeuse et une surface liquide ou solide pourrait également ne pas s'avérer aussi brutale que sur Terre. Selon la composition, la température et la pression, il pourrait exister des mélanges de structures d'atmosphères bien plus exotiques que sur Terre.

La composition d'une planète dépend aussi de son histoire au sein du système qui l'a vu naître, des régions où elle a accumulé de la matière (loin ou proche de l'étoile) et de l'endroit où elle se trouve actuellement. Ce domaine est la spécialité de l'équipe bernoise dirigée par Willy Benz (lire en page 30).

Bref, pour chaque modèle, les chercheurs calculent le spectre électromagnétique qu'il devrait produire. Et c'est cette courbe qu'ils comparent ensuite aux observations.

L'une des premières exoplanètes à s'être prêtées à l'étude de son atmosphère est HD 209458 b qui transite devant son étoile (lire en page 28). Les astronomes y ont trouvé du sodium, du monoxyde de carbone (CO), de la vapeur d'eau et du méthane.

Disque de poussière Dans le cas de Bêta pictoris b, une des premières exoplanètes découvertes par imagerie directe en 2008, des astronomes néerlandais ont choisi une autre technique. En soustrayant le signal de l'étoile, autour de laquelle se trouve d'ailleurs encore un disque de poussières, ils ont fait apparaître le faible spectre de la planète dont ils ont pu analyser l'émission lumineuse dans l'infrarouge. Ils ont ainsi déterminé sa masse (huit fois celle de Jupiter), sa distance (cinq fois la distance Terre-Soleil) et la présence de

monoxyde de carbone. La largeur des raies a même permis de déterminer une vitesse de rotation de la planète à l'équateur 50 fois plus grande que celle de la Terre.

L'équipe genevoise pense, quant à elle, avoir détecté des empreintes indubitable de différents éléments chimiques et de molécules dans l'atmosphère de planètes géantes. Ce résultat a été obtenu à l'aide du spectrographe HARPS (lire en page 38) installé sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO (Observatoire européen austral) à La Silla au Chili.

«On ne pensait pas qu'il était possible d'y arriver avec des télescopes aussi petits depuis le sol et dans le domaine de la lumière visible, précise Francesco

Pepe. Si nos résultats se confirment, c'est un premier pas. Et un titre honorifique supplémentaire pour le fleuron de nos instruments qu'est HARPS. Ce dernier est tellement précis et stable que l'on peut tirer des informations fiables jusqu'à la forme et la largeur des raies spectrales qu'il mesure. Jusqu'à récemment, on a systématiquement réduit les données qu'il produit afin de pouvoir calculer le seul paramètre qu'est la vitesse radiale de l'étoile. Maintenant, on ouvre les spectres, dont ceux que l'on a déjà mesurés jusqu'ici, et on analyse leur contenu plus en détail.»

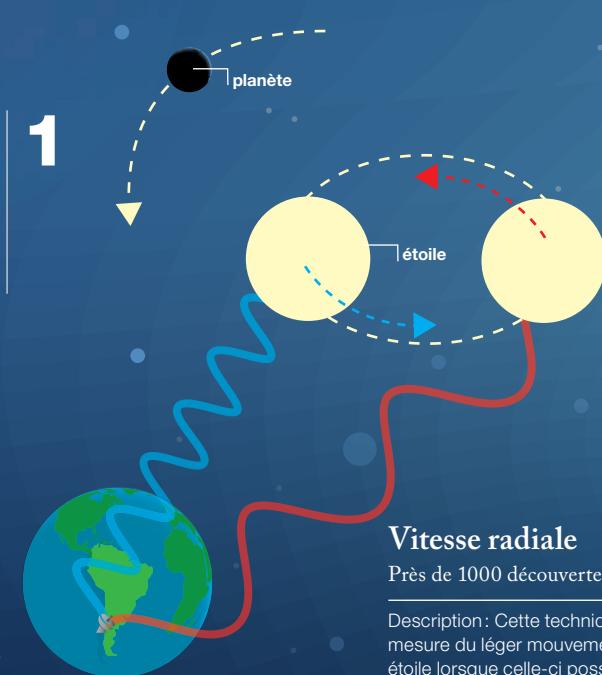
Francesco Pepe participe aussi au développement des spectrographes du futur qui serviront à améliorer l'étude des atmosphères d'exoplanètes. Il est ainsi impliqué dans la conception d'ESPRESSO, de SPIROU et d'un appareil qui devrait être installé au début des années 2020 sur le E-ELT (European Extremely Large Telescope) au Chili (lire également en page 38).

«NOS TÉLESCOPIES NE SONT PAS ASSEZ GRANDS, IL N'Y A PAS ASSEZ DE LUMIÈRE EN PROVENANCE DES PLANÈTES ET LA RÉSOLUTION SPECTRALE N'EST PAS SUFFISANTE POUR FAIRE BEAUCOUP MIEUX»

MÉTHODES DE MESURE

CINQ FAÇONS DE DÉTECTOR UNE EXOPLANÈTE

LES PLANÈTES EXTRASOLAIRES, À QUELQUES EXCEPTIONS PRÈS, ONT UNE LUMINOSITÉ TROP FAIBLE POUR ÊTRE DIRECTEMENT DÉTECTABLES À L'AIDE DE TÉLESCOPIES. IL FAUT DONC LES DÉNICHER DE MANIÈRE INDIRECTE. EXPLICATIONS



Vitesse radiale

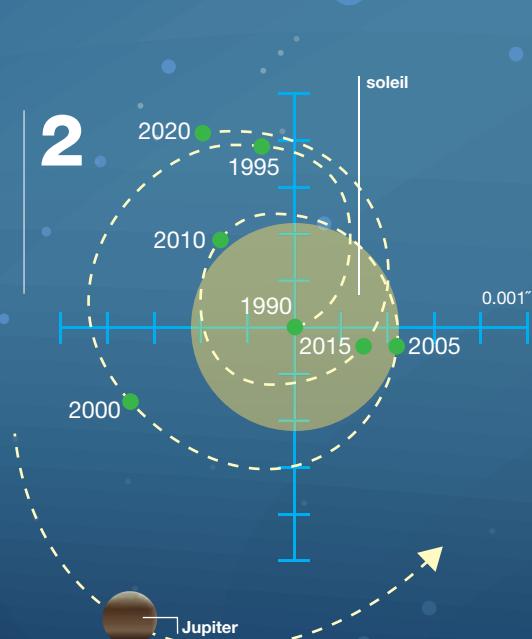
Près de 1000 découvertes

Description: Cette technique est basée sur la mesure du léger mouvement de va-et-vient d'une étoile lorsque celle-ci possède une planète. Cette oscillation est due au fait que la planète mais aussi l'étoile, malgré sa masse imposante, tournent autour d'un «centre de masse» commun qui ne coïncide pas exactement avec le centre de l'étoile.

Technique: Le spectrographe permet de décomposer la lumière produite par une étoile et d'identifier des «raies» qui correspondent à des éléments comme l'hydrogène absorbant certaines longueurs d'onde précises. A cause du mouvement de l'étoile, ces raies apparaissent avec un décalage qui oscille de manière régulière vers des valeurs plus grandes lorsqu'elle s'éloigne de la Terre (décalage vers le rouge) puis plus courtes lorsqu'elle s'en approche (décalage vers le bleu). C'est l'effet Doppler qui se manifeste aussi dans le son d'une sirène d'ambulance qui s'approche (son aigu) et puis s'éloigne (grave).

Résultats: Cette technique permet de calculer la masse, la période et l'orbite de la planète.

Missions: Les spectrographes HARPS (installé au Chili) et HARPS-NORD (Canaries) sont les plus précis actuellement. Le HIRES est, quant à lui, installé sur le télescope Keck à Hawaï. Le projet ESPRESSO, qui sera monté sur le VLT (Very Large Telescope) au Chili, doit voir le jour en 2017. Un appareil encore plus grand est à l'étude pour le futur E-ELT (European Extremely Large Telescope) également au Chili.



Astrométrie

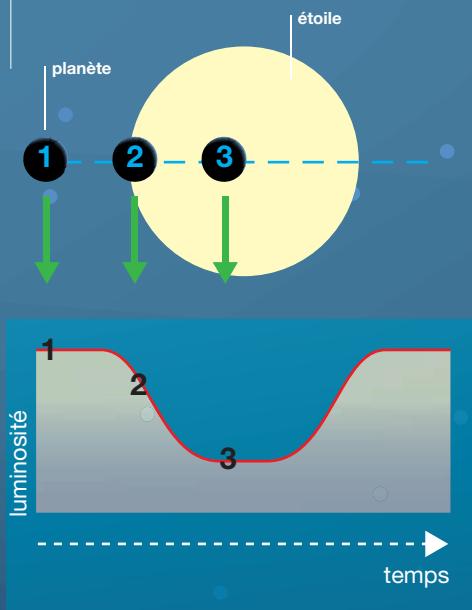
Une ou deux découvertes

Description: L'astrométrie exploite elle aussi les mouvements de l'étoile engendrés par la présence d'une planète. Seulement, au lieu de mesurer des vitesses radiales, il s'agit de détecter le parcours de l'étoile sur le plan du ciel.

Technique: Les instruments astronomiques permettent de mesurer la position précise d'une étoile par rapport aux autres, mettant ainsi en évidence son mouvement propre. Ci-dessus sont représentées les «errances» du Soleil provoquées par la présence de Jupiter et telles qu'elles seraient observées à quelques années-lumière de distance.

Résultats: Cette technique permet de connaître la masse et l'orbite des planètes. Une planète ainsi découverte (HD 176051 b) tourne autour d'une étoile double.

Missions: Le satellite GAIA, lancé en 2013, doit recenser un milliard d'astres à l'aide de l'astrométrie. Les scientifiques s'attendent à ce qu'il découvre de nouvelles planètes grâce à cette technique.

3

Transit

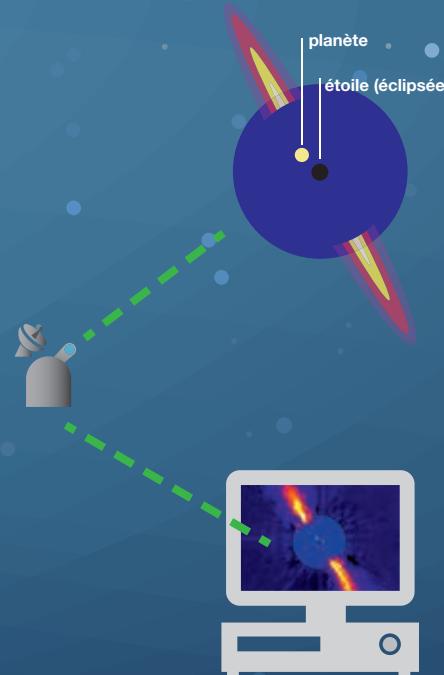
Plus de 4000 découvertes potentielles (plusieurs centaines ont été confirmées)

Description: Certaines exoplanètes, vues depuis la Terre, passent devant leur étoile. Il s'ensuit une (très) légère baisse de la luminosité de l'astre qui est mesurable. Etant donné la configuration nécessaire pour effectuer une telle mesure, cette technique n'est applicable qu'à une minorité des systèmes extrasolaires (10% des planètes proches de leur étoile, par exemple).

Technique: La luminosité d'une étoile se mesure à l'aide d'un photomètre ou d'une caméra CCD. Une des difficultés réside dans le fait qu'il ne faut pas rater le transit: celui-ci ne dure que quelques minutes ou quelques heures et ne réapparaît parfois plus durant des mois ou des années.

Résultats: La profondeur de la courbe donne le rapport des surfaces des disques stellaires et planétaires. Elle permet donc de calculer le diamètre de la planète à condition de connaître la taille de l'étoile. Le problème de cette technique, c'est que la probabilité d'un «faux positif» est élevée. C'est pourquoi il faut systématiquement confirmer les découvertes.

Missions: Des télescopes spatiaux comme CoRoT (des dizaines de découvertes) ou KEPLER (plus de 4000 candidats) sont capables de suivre un grand nombre d'étoiles en même temps. Le satellite suisse CHEOPS (lancement prévu en 2017) et la mission PLATO, prévue pour 2024, viseront les étoiles brillantes.

4

Imagerie directe

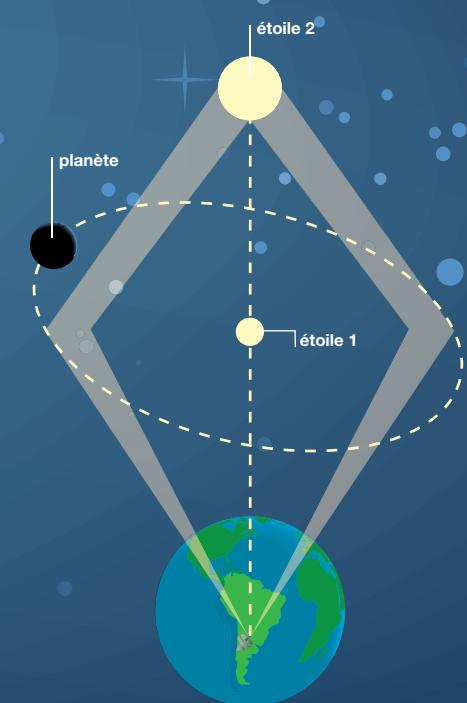
Quelques dizaines de découvertes, dont plusieurs naines brunes

Description: Dans les systèmes planétaires proches du Soleil, il est parfois possible de réaliser des observations directes. Il faut pour cela que l'exoplanète soit grosse (au moins autant que Jupiter, par exemple) et assez éloignée de son étoile pour pouvoir la distinguer. Un télescope suffisamment puissant muni d'un appareil spécial peut alors mesurer la lumière de l'astre réfléchie par la planète. Cette dernière, si elle est assez chaude, peut aussi émettre directement un rayonnement infrarouge détectable depuis la Terre.

Technique: Pour photographier une exoplanète un milliard de fois moins lumineuse que son étoile, il est indispensable d'éclipser l'astre lumineux. Cela se réalise à l'aide d'un coronographe installé sur le télescope. Les instruments terrestres doivent également corriger les effets perturbateurs de l'atmosphère à l'aide de la technique dite d'optique adaptative.

Résultats: Selon les cas, cette technique fournit des indications sur la masse ou le rayon de la planète. Elle permet aussi, grâce à la spectrographie, d'analyser la composition chimique de son atmosphère.

Missions: La plupart des observations ont été réalisées avec les plus gros télescopes terrestres existants comme le VLT (Very Large Telescope), muni d'un système appelé SPHERE, le Keck, le Subaru ou encore le Gemini (Hawaï).

5

Lentilles gravitationnelles

Une trentaine de découvertes

Description: L'effet de lentille gravitationnelle se fait sentir lorsque le champ gravitationnel d'une étoile dévie la lumière venant d'un autre astre situé plus loin mais exactement sur la même ligne de visée. Si la première étoile (celle du centre) possède une planète, celle-ci peut apporter une perturbation régulière à l'effet de lentille détectable depuis la Terre.

Technique: Des télescopes robotisés, munis de caméras CCD très sensibles, suivent plusieurs étoiles en même temps dans une seule région du ciel, car de tels alignements sont peu fréquents.

Résultats: Cette technique permet de détecter des planètes orbitant à une distance assez grande de leur étoile. En étudiant avec précision suffisamment d'étoiles lointaines, cette méthode devrait permettre de fournir une idée de l'abondance de planètes ayant les mêmes caractéristiques que la Terre (masse et orbite) dans la Galaxie.

Missions: La plupart des découvertes ont été réalisées dans le cadre des projets polonais OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) et nippo-néo-zélandais MOA.

FLEURON TECHNOLOGIQUE

LES MONDES SELON HARPS

LE SPECTROGRAPHE GENEVOIS, INSTALLÉ SUR UN TÉLESCOPE AU CHILI, EST L'INSTRUMENT LE PLUS PRÉCIS DU MONDE DANS SA CATÉGORIE. IL A PERMIS DE DÉCOUVRIR DES CENTAINES D'EXOPLANÈTES. EN CONSTRUCTION, SON SUCCESSEUR, ESPRESSO, EST APPELÉ À FAIRE ENCORE MIEUX

Nous avons pris beaucoup de risques en nous lançant dans l'aventure de HARPS», explique Francesco Pepe, professeur au Département d'astronomie (Faculté des sciences), qui a suivi depuis le début, il y a quinze ans, la fabrication du spectrographe, la star actuelle dans la détection des exoplanètes par la technique de la vitesse radiale (lire en page 38). Installé sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO (Observatoire européen austral) à La Silla au Chili, l'appareil a été conçu et monté à l'Université de Genève. «Mais le risque a été payant, poursuit l'astronome. HARPS est aujourd'hui encore l'instrument le plus précis du monde dans sa catégorie.» Récit.

En 1998, l'ESO lance un appel à propositions pour la construction d'un spectrographe de haute précision. La chasse aux exoplanètes bat alors son plein et l'organisation européenne veut prendre le train en marche. Le meilleur appareil du moment est le HIRES installé sur le télescope Keck à Hawaï. Il est capable de mesurer une vitesse de déplacement d'une étoile par rapport à la Terre aussi fine que 3 mètres par seconde. Michel Mayor et Didier Queloz ont, quant à eux, réalisé en 1995 la découverte de la première exoplanète (51 Peg) grâce au spectrographe ELODIE, connecté au télescope de 193 cm de Haute-Provence, et dont la précision atteint 15 m/s.

«Avec HARPS (High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher), nous proposons de construire un appareil trois fois plus performant que les modèles existants, poursuit Francesco

Pepe. L'objectif était de mesurer des vitesses radiales avec une précision de 1 m/s. Nous avions une idée sur la manière d'y arriver, mais nous n'étions pas sûrs que cela soit possible. Mais comme nous étions les seuls à avoir osé répondre à la demande de l'ESO, nous avons remporté la mise.»

Pas une minute de plus Avec Michel Mayor comme responsable principal et Francesco Pepe comme *project manager* et *system engineer*, le projet démarre immédiatement. C'est qu'il ne faut pas perdre de temps. Les conditions imposées

par l'ESO sont drastiques. Les Genevois ont trois ans pour fabriquer HARPS. Pas une minute de plus. S'ils tiennent les délais, ils ont droit à 100 nuits d'observation par année durant cinq ans. Chaque jour de retard correspond cependant à une nuit d'observation en moins.

HARPS est installé sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO à La Silla le 11 février 2003, trois jours avant le terme contractuel, et mis à la disposition de la communauté scientifique le 1^{er} octobre. «Nous pouvons être fiers, souligne Francesco Pepe. Nous avons respecté les délais et le budget. Nous avons même dépassé les promesses de performance puisque le «spectrographe atteint une précision de 0,5 m/s. Depuis onze ans, personne n'a fait mieux.»

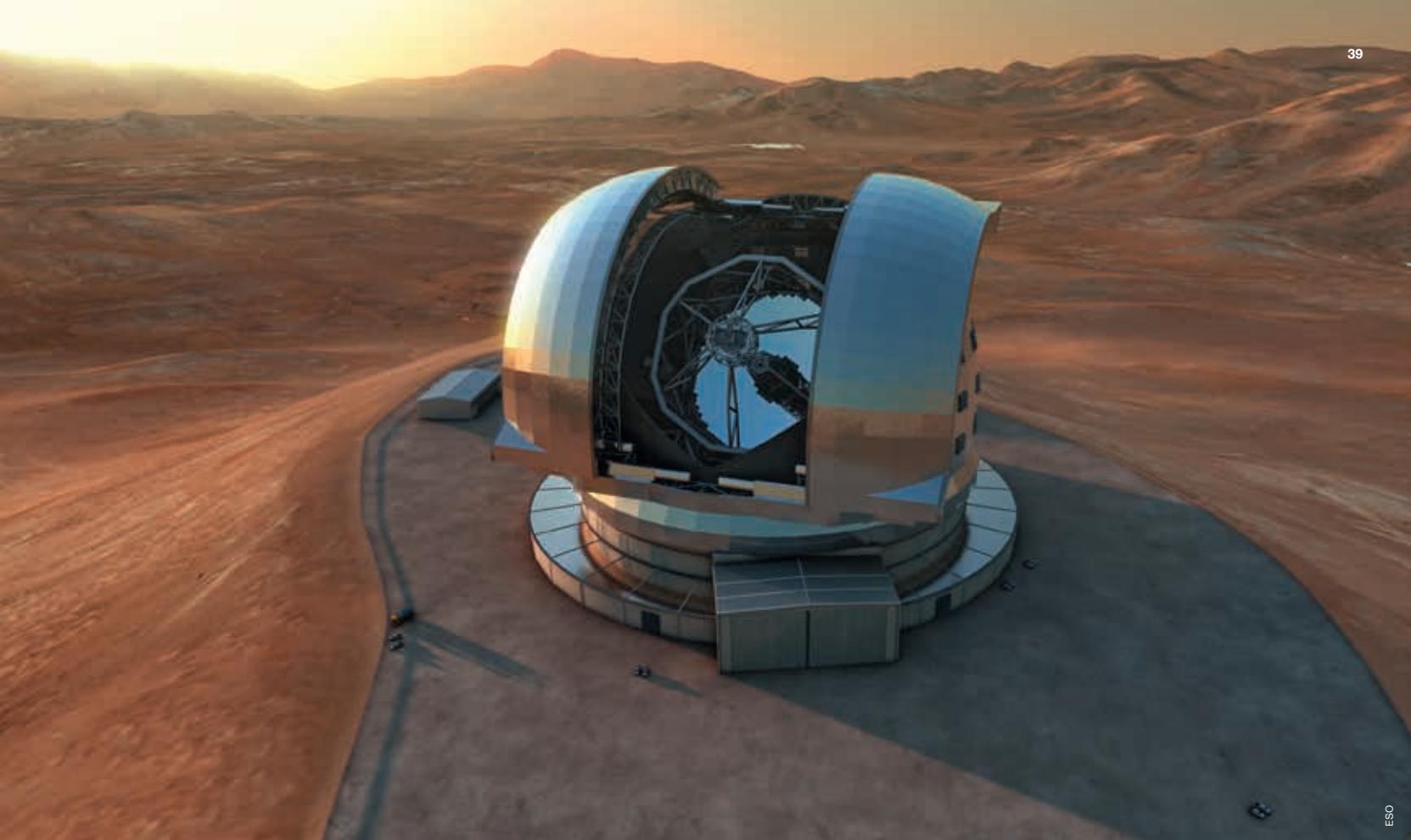
Le rôle de HARPS consiste à décomposer la lumière d'une étoile et à classer les photons qui lui parviennent selon leur

longueur d'onde. Il en résulte un spectre qui est une courbe émaillée d'un certain nombre de «raies». Celles-ci sont des creux correspondant à des longueurs d'onde absorbées par des éléments ou des composés chimiques présents dans l'étoile étudiée ou situés sur la trajectoire de la lumière.

HARPS a été conçu pour être intrinsèquement stable dans ses mesures. Il est monté sous vide et maintenu à une tempé-

ture constante, à un millième de degré près, évitant ainsi que les variations météorologiques n'aient un impact sur les résultats. La lumière entre dans l'appareil par une fibre optique de la taille d'un cheveu et longue de 40 mètres, assurant une illumination très stable du spectrographe. La calibration est, quant à elle, fournie par une source spectrale (une lampe au thorium) intégrée dans le dispositif. L'appareil est tellement fiable qu'il est possible de tirer des informations non seulement de la position des raies (qui renseigne sur la vitesse d'éloignement ou de rapprochement de l'astre) mais

**«COMME NOUS ÉTONS
LES SEULS À AVOIR
OSÉ RÉPONDRE
À LA DEMANDE DE
L'ESO, NOUS AVONS
REMPORTÉ LA MISE»**



ESO

LE E-ELT (EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE) EST UN TÉLESCOPE GÉANT, PRÉVU POUR LE DÉBUT DES ANNÉES 2020, QUI SERA CONSTRUIT DANS LE DÉSERT D'ATACAMA AU CHILI À 3060 M D'ALTITUDE.

LE MIROIR DU TÉLESCOPE SERA COMPOSÉ DE PRÈS DE 800 SEGMENTS HEXAGONAUX FORMANT ENSEMBLE UN COLLECTEUR DE LUMIÈRE DE 39 M DE DIAMÈTRE.

SUR CET INSTRUMENT SERA INSTALLÉ UN SPECTROGRAPHE ULTRA-PRÉCIS QUI N'EN EST ACTUELLEMENT QU'AUX TOUT PREMIERS STADES DE LA CONCEPTION. IL PERMETTRA DE DÉTECTOR DES PLANÈTES COMME LA TERRE TOURNANT AUTOUR D'ÉTOILES COMME LE SOLEIL ET D'ÉTUDIER LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LEUR ATMOSPHERE.

aussi de leur forme et de leur profondeur (qui fournissent des indications sur la vitesse de rotation et la température de l'étoile). La résolution spectrale, elle aussi très importante, permet de décomposer la lumière en un très grand nombre de longueurs d'onde.

Le palmarès de HARPS compte des centaines de découvertes d'exoplanètes. Il est à l'origine de la découverte des deux tiers des planètes moins massives que Neptune. Il a également déniché des dizaines de super-Terre, dont certaines proches de la zone habitable autour d'étoiles de type solaire. Pour l'ESO, HARPS est l'instrument qui est à l'origine du plus grand nombre de communiqués de presse et d'une liste impressionnante d'articles scientifiques.

En 2012, un appareil similaire, HARPS-N, également conçu par les astronomes genevois mais au sein d'un autre consortium international, a été installé sur le Télescope italien Galileo de 3,58 mètres à La Palma dans les îles Canaries. Il permet de couvrir l'hémisphère Nord et, surtout, de confirmer certaines découvertes parmi les milliers réalisées par la mission KEPLER (spécialisée dans la méthode dite du transit, lire en page 38) dans une petite région de la Constellation du Cygne.

Le successeur de HARPS s'appelle ESPRESSO. Le projet, porté par les astronomes genevois, a déjà été accepté par l'ESO et se trouve désormais en phase de réalisation. La salle d'intégration est sur le point d'être construite à l'Observatoire de Genève. L'instrument est destiné à être installé en 2017 sur le VLT (*Very Large Telescope*) dans le désert d'Atacama au Chili. Il pourra se brancher sur n'importe lequel des quatre télescopes de 8 mètres de ce complexe,

voire même sur les quatre à la fois et cumuler ainsi leur lumière. Ce sera donc le premier spectrographe connecté à l'équivalent d'un télescope de 16 mètres de diamètre.

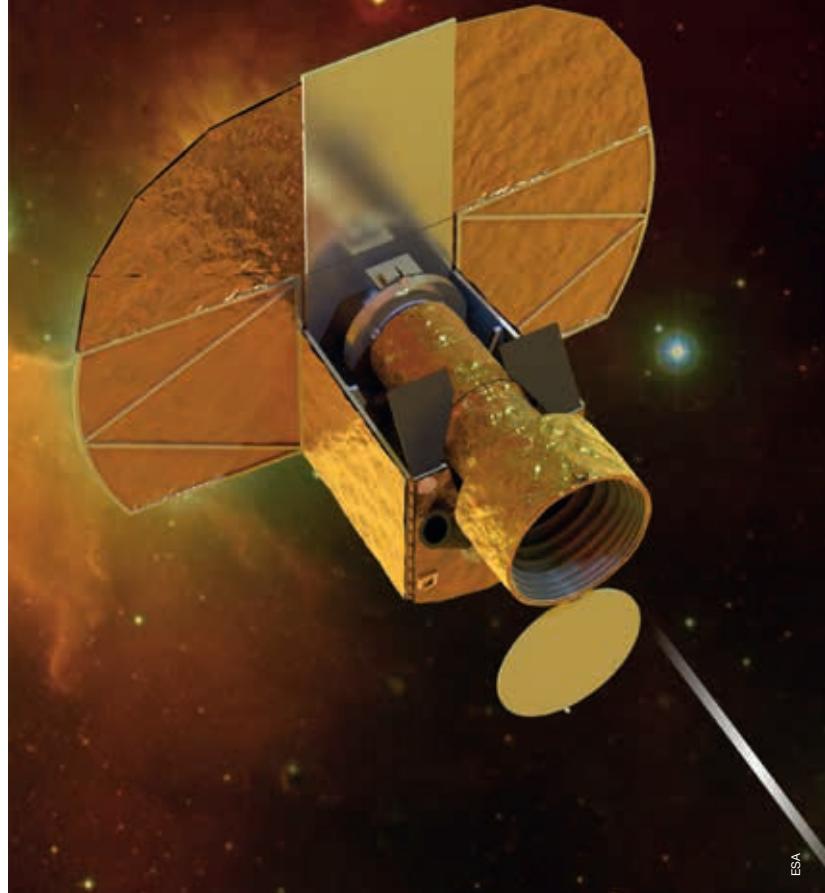
Un grand ESPRESSO «*Nous avons présenté ESPRESSO comme un HARPS adapté au VLT capable de mesurer des vitesses aussi petites que 10 cm/s*, explique Francesco Pepe. *La mission première d'ESPRESSO sera la traque aux planètes encore plus petites qu'aujourd'hui. Mais étant donné l'essor que prennent les mesures d'atmosphères d'exoplanètes, il n'est pas exclu que l'on consacre aussi l'appareil à cette activité.*»

Les astronomes genevois participent également au développement d'un spectrographe (SPIROU) fonctionnant non pas dans la lumière visible mais dans le proche infrarouge et qui devrait être installé sur le Télescope Canada-France-Hawaï (CFHT) à Hawaï en 2017. En collaboration avec le Brésil, ils travaillent aussi sur un projet équivalent mais destiné à un télescope de l'hémisphère Sud (le NTT à La Silla au Chili). Histoire d'ancrer l'astronomie genevoise dans le futur de la recherche et de la caractérisation d'exoplanètes, Francesco Pepe et son équipe participent par ailleurs à l'étude d'un spectrographe qui pourrait prendre place sur l'E-ELT (*European Extremely Large Telescope*) de l'ESO dont le début de la construction est prévu pour 2014, sur le Cerro Armazones dans le désert d'Atacama au Chili. Le spectrographe branché sur un tel monstre pourra réaliser le même travail qu'ESPRESSO avec 5 fois plus de précision ou en 25 fois moins de temps.

SWISS MADE

CHEOPS MET LA SUISSE EN ORBITE

LE SATELLITE HELVÉTIQUE ÉTUDIERA DES EXOPLANÈTES DÉJÀ CONNUES TOURNANT AUTOUR D'ÉTOILES PROCHES. IL MESURERA LEUR TRANSIT AFIN DE CONNAÎTRE LEUR DIAMÈTRE, D'EN DÉDUIRE LEUR DENSITÉ VOIRE D'EN TIRER DES INFORMATIONS SUR LEUR ATMOSPHÈRE



CHEOPS est un satellite scientifique qui aura été imaginé et conçu de bout en bout par des chercheurs suisses. C'est la première fois que l'astronomie helvétique, qui codirige cette mission avec l'Agence spatiale européenne, (ESA), dispose d'une telle visibilité en matière spatiale. Jusqu'à présent, son rôle a consisté à être responsable d'un seul volet d'une mission (fabrication d'un instrument de mesure, gestion et traitement des données provenant d'un télescope spatial, etc.), la direction globale revenant toujours à une grande nation ou à une organisation internationale.

«CHEOPS est une petite mission, nuance Willy Benz, professeur à l'Institut de physique de l'Université de Berne, directeur du Pôle de recherche national PlanetS et responsable de CHEOPS. C'est pourquoi nous pouvons nous en occuper entièrement. Son objectif consiste à mesurer le transit de planètes devant leur étoile, c'est-à-dire à détecter la légère chute de luminosité de l'astre provoquée par cette occultation partielle. Les cibles du satellite sont des exoplanètes déjà découvertes par d'autres méthodes en orbite autour d'étoiles brillantes qui sont généralement aussi les plus proches de nous.»

Jours meilleurs L'idée du projet naît en 2008 lors de l'appel à projets pour de nouveaux Pôles de recherche nationaux (PRN) lancé par le Fonds national pour la recherche scientifique. A cette occasion, les astronomes bernois, genevois et

des membres du *Swiss Space Center* à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne réalisent une étude de faisabilité pour la construction d'un petit satellite financé par le Secrétariat d'Etat à la recherche et par des fonds venus de l'industrie. Le PRN en astronomie est finalement recalé mais l'idée du satellite demeure, attendant des jours meilleurs.

Ceux-ci ne tardent pas à venir. En 2012, c'est au tour de l'ESA de lancer un appel pour des missions de petite envergure, dites de classe S. C'est une nouveauté pour l'agence européenne jusque-là spécialisée dans des projets de classe M (dont le budget s'élève à environ 500 millions d'euros) et L (1 milliard d'euros). Pour la première fois, elle cherche à financer une mission à hauteur de 50 millions d'euros, ne risquant pas de mettre en péril le reste de son programme.

«LE PROJET CHEOPS ÉTAIT DÉJÀ TRÈS AVANCÉ ET NOUS AVONS DONC PU RENDRE UNE COPIE TRÈS COMPLÈTE MALGRÉ LE TEMPS TRÈS COURT QUI NOUS ÉTAIT IMPARTI»

«Nous avons eu de la chance, estime Willy Benz. Le projet CHEOPS était déjà très avancé et nous avons donc pu rendre une copie très complète malgré le temps très court qui nous était imparti. L'appel tombait en effet au printemps 2012, la proposition devait être rédigée en juin et nous avons été sélectionnés en octobre (sur 26 participants, tout de même). Le lancement, quant à lui, est prévu pour fin 2017. Une procédure aussi rapide, c'est du jamais vu à l'ESA.»

Entre-temps, le projet CHEOPS s'est internationalisé avec la participation de l'Autriche et de la Suède puis de huit autres pays (sans parler de l'ESA, bien sûr). Le budget gonfle, lui aussi, et dépasse désormais les 100 millions d'euros. La part de l'ESA étant plafonnée à 50 millions d'euros,

VUE D'ARTISTE DU SATELLITE SUISSE CHEOPS DONC LE LANCEMENT EST PRÉVU EN 2017.

ce sont les pays partenaires qui ont dû délier leur bourse. La plus grande part de l'excédent, 33 millions, est versée par la Suisse. Le PRN PlanetS consacrera de son côté une partie de son budget à l'exploitation scientifique du satellite lorsqu'il sera en orbite.

Grâce à CHEOPS, la Suisse fait l'expérience d'une responsabilité inédite. Elle participe à la supervision de l'ensemble du projet, qu'il s'agisse de la conception de la plateforme destinée à recevoir les instruments de mesure, du satellite lui-même, de la procédure de lancement, etc. Les différents éléments de la charge utile (le télescope) seront d'ailleurs assemblés, intégrés et testés à l'Université de Berne. Le nombre de compétences nouvelles à acquérir s'envole, qu'elles soient académiques, logistiques ou encore administratives, notamment avec la signature de quantités de contrats internationaux. L'industrie helvétique est elle aussi mise à contribution, notamment pour la mise en place du laboratoire d'assemblage et d'intégration, la fabrication de certains éléments de la structure du télescope et du satellite ainsi que pour l'élaboration de programmes informatiques embarqués.

Données brutes Une fois CHEOPS en orbite, les données brutes seront acheminées, via des antennes à Madrid, vers le Centre d'opérations scientifiques installé au Département d'astronomie de l'Université de Genève. Là, elles seront récoltées et traitées avant d'être mises à la disposition de la communauté scientifique. C'est également de cet endroit que seront émises les coordonnées des étoiles que devra cibler le satellite.

CHEOPS n'est pas le premier appareil à mesurer des transits. Les observatoires terrestres WASP, aux Canaries et en Afrique du Sud, ont déjà découvert plus d'une centaine de planètes par cette technique. Le satellite COROT, mis en orbite en 2006 et désactivé en juin 2014, en a accroché quelques douzaines à son tableau de chasse dont la fameuse CoRoT-7b, la première exoplanète rocheuse. A l'heure actuelle, l'appareil le plus prolifique est KEPLER. Lancé en 2008 par la Nasa (l'Agence spatiale des Etats-Unis), il a découvert en cinq ans plusieurs milliers de transits rien qu'en couvrant un tout petit coin de ciel, dont plusieurs objets au diamètre aussi petit que celui de la Terre. «KEPLER a identifié une grande quantité de candidats au statut d'exoplanète dont on ne connaît pour l'instant que le rayon et

L'EXPÉRIENCE BENOISE

L'Université de Berne n'est pas novice dans l'exploration spatiale. C'est en effet dans cette institution qu'a été mise au point une expérience menée sur la Lune durant les missions Apollo 11, 12, 14, 15 et 16 lancées par la Nasa (l'Agence spatiale des Etats-Unis) entre 1969 et 1972. Les astronautes américains ont à chaque fois déployé à la surface du satellite naturel de la Terre une feuille d'aluminium de conception bernoise pour récolter des particules issues du vent solaire.

Par la suite, l'Institut de physique a poursuivi l'effort et s'est spécialisé dans la mise au point de spectromètres de masse, des appareils essentiels servant à l'analyse chimique des gaz. Plusieurs exemplaires ont été embarqués dans différentes missions américaines et européenne. Le dernier en date est parti sur la sonde Rosetta actuellement en orbite autour de la comète Churyumov Gerasimenko. A titre personnel, Willy Benz a participé, lors de son séjour aux Etats-Unis, aux travaux qui ont permis de démontrer que la Lune avait été créée par la collision de la Terre avec un objet de la taille de Mars.

la période, précise Willy Benz. Il faudrait confirmer chacune de ces découvertes par une autre technique. Le problème, c'est que la plupart des transits dénichés par KEPLER concernent des étoiles trop peu brillantes pour être exploitées par la technique des vitesses radiales, en tout cas à l'aide des instruments actuels.»

Mille étoiles Contrairement à ces concurrents, CHEOPS ne cherche pas à découvrir de nouvelles planètes mais à étudier celles qui sont déjà connues et de préférence celles tournant autour d'étoiles brillantes. Si en plus elles sont petites et évoluent dans la zone habitable, c'est d'autant plus intéressant. L'avantage de cette approche, c'est que les chercheurs sauront à l'avance à quel moment il faut viser quelle étoile afin d'obtenir immédiatement une mesure précise du transit. Cela permet d'allouer le temps d'observation de la mission de manière très efficace. Au total, le satellite devrait suivre entre 500 et un millier d'étoiles proches au cours des trois ans et demi d'exploitation prévus.

La mesure du transit permet avant tout de calculer le rayon de l'exoplanète. En combinant cette donnée avec la masse (connue grâce à la méthode des vitesses radiales), on peut déduire sa densité moyenne, ce qui est un premier indice pour connaître la composition de la planète (rocheuse ou gazeuse, par exemple) et donc comprendre les mécanismes mis en œuvre lors de sa formation. La courbe précise de la variation de la luminosité de l'étoile lors du passage de son compagnon peut aussi fournir la valeur de l'albédo (ou pouvoir réfléchissant) de ce dernier, d'où l'on peut ensuite tirer des renseignements sur la structure de l'atmosphère.

Toutes ces données contribueront à améliorer les modèles théoriques de formation de systèmes planétaires qui représentent l'activité principale du groupe de Willy Benz au sein du PRN PlanetS.



JACQUES ERARD

«DANS LE PASSÉ, LA MER EST MONTÉE DE 16 MÈTRES EN TROIS SIÈCLES!»

D'INESTIMABLES

TRÉSORS
SCIENTIFIQUES
RENSEIGNANT SUR
LE CLIMAT DU PASSÉ,
LA BIODIVERSITÉ
DES BACTÉRIES DE
L'EXTRÊME, L'ACTIVITÉ
VOLCANIQUE ET
LES RISQUES DE
TREMLEMENTS DE
TERRE SE CACHENT
DANS LA CROÛTE
OCÉANIQUE.
EXPLICATIONS AVEC
GILBERT CAMOIN, UN
CHERCHEUR QUI AIME
FORER DES TROUS
DANS LES ROCHES

Forer dans les fonds océaniques n'est pas une sinécure. Il faut parfois traverser des milliers de mètres d'eau avant de pouvoir creuser des centaines ou des milliers de mètres supplémentaires dans la roche. Sans compter qu'il s'agit ensuite de récupérer intactes les carottes retirées du sous-sol afin d'en tirer toutes les informations scientifiquement utiles. Le défi technologique est donc de taille, d'autant plus que l'environnement est parfois extrême, comme celui des Pôles ou de la haute mer. Mais le jeu en vaut largement la chandelle, estime Gilbert Camoin. Ce géologue français, directeur de recherche au CNRS est aussi le directeur de l'*European Consortium for Ocean Research Drilling* (ECORD).

Il était présent à Genève à l'occasion du Congrès international de sédimentologie qui s'est tenu à l'Université fin août. Rencontre.

Campus : Quel est le rôle d'ECORD?

Gilbert Camoin : ECORD est un consortium européen qui regroupe les efforts dans le forage océanique scientifique. Seize pays européens (dont la Suisse) ainsi que le Canada et Israël en sont membres. Il représente une des trois composantes d'un programme plus vaste, l'IODP (International Ocean Discovery Program), qui compte également les Etats-Unis (associés au Brésil, l'Inde, la Corée, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et la Chine) et le Japon. Chacun de ces trois opérateurs fournit de l'argent, des bateaux et des équipes techniques capables de forer sous les océans dans différents environnements, d'en retirer des carottes et d'envoyer différents instruments dans les

trous pour y mesurer des paramètres physiques, chimiques ou biologiques.

Ces trois opérateurs sont-ils concurrents?

Ils sont plutôt complémentaires. Le navire américain *JOIDES Resolution* est capable de forer entre 100 et 5000 mètres de profondeur d'eau et, à partir de là, de creuser des trous de 1000 à 4000 mètres de plus. C'est une technologie proche de celle de l'industrie pétrolière. Les Japonais, eux, possèdent le *Chikyu* qui est un monstre de technologie de 210 mètres de long et qui peut forer des puits de 1000 mètres par plus de 8000 mètres d'eau. Il a réalisé une telle prouesse il y a deux ans, dans la zone de l'épi-

LES JAPONAIS POSSÈDENT LE NAVIRE «CHIKYU», UN MONSTRE DE TECHNOLOGIE QUI PEUT FORER DES PUITS DE 1000 MÈTRES PAR PLUS DE 8000 MÈTRES D'EAU

centre du tremblement de terre de mars 2011 qui a provoqué un énorme tsunami et l'accident nucléaire de Fukushima.

Qu'en est-il des Européens?

ECORD est spécialisé dans des environnements où les deux autres partenaires ne sont

LE CORAIL, ICI À TAHITI,
ACCOMPAGNE LES
FLUCTUATIONS DU NIVEAU
DE LA MER À TRAVERS
LES MILLÉNAIRES. LES
FORAGES DANS LES
RÉCIFS PERMETTENT
DE REMONTER DANS LE
TEMPS ET D'ANALYSER
LES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES DU PASSÉ.

pas capables de forer, c'est-à-dire sous de faibles profondeurs d'eau (entre 0 et 100 mètres), typiques des récifs coralliens ou des marges continentales, ou dans les régions polaires. Nous ne possédons pas un seul bateau, mais nous louons des navires ou des plateformes en fonction des besoins de chaque mission. Nous disposons également de nos propres outils de forage qui peuvent être installés sur n'importe quel navire océanographique d'Europe. Depuis 2003, ECORD a ainsi réalisé des missions dans la banquise de l'océan Arctique, dans les eaux peu profondes autour de Tahiti, au large de la côte du New Jersey et dans la Grande Barrière de Corail australienne. L'expédition la plus récente en mer Baltique s'est terminée en novembre 2013.

Pourquoi investir de l'argent public dans les forages océaniques ?

Je pense que le contribuable y trouve globalement son intérêt. Ces missions scientifiques permettent d'abord l'étude – fondamentale – de la croûte terrestre proprement dite dont 75 % se situent sous les océans et les mers et auxquels les géologues n'ont pas d'autres accès. L'objectif est de mieux comprendre la formation de cette croûte (c'est d'ailleurs grâce à cette technique que l'on a pu démontrer la théorie de la tectonique des plaques) mais aussi les phénomènes volcaniques qui lui sont associés. Il s'agit ensuite d'améliorer les connaissances liées aux risques de tremblements de terre et de tsunami qui concernent potentiellement de larges populations. On peut ajouter l'étude de la biodiversité, celle du passé, fossilisée dans les couches géologiques, mais également celle d'aujourd'hui, notamment des bactéries vivant parfois très profondément dans la croûte terrestre. Et enfin, les forages océaniques ouvrent autant de fenêtres sur le climat du passé et donc sur les changements qu'il est susceptible de subir dans le futur. Un thème d'une grande actualité.

Le Congrès international de sédimentologie qui s'est tenu à Genève cet été et auquel vous avez participé a attiré de nombreux participants. Les Chinois, notamment, sont venus en force : ils représentaient près du tiers des contributions dont la quasi-totalité se concentrerait sur la recherche de nouveaux gisements d'hydrocarbures (pétrole ou gaz).

ECORD est-il lui aussi impliqué dans cet effort ?

Non. La sédimentologie s'intéresse à tous les processus concernant la mise en place des sédiments et leur transformation en roche ce qui en fait, c'est vrai, la science de base pour étudier des ressources comme l'eau, les minerais ou le pétrole. De plus, en forant au fond des océans, nous nous trouvons fatatalement à l'avant-garde des connaissances scientifiques dont ont besoin les pétroliers ou les miniers pour la découverte de nouveaux gisements. Mais nos missions, financées par de l'argent public, suivent exclusivement notre propre programme scientifique et n'obéissent à aucune commande

venue du monde industriel. Cela dit, nous publions tous nos résultats. Ils sont donc accessibles gratuitement pour n'importe quel citoyen, y compris les PDG des compagnies pétrolières.

Vous avez parlé de biodiversité présente non pas sur mais dans la croûte terrestre. De quoi s'agit-il ?

Au milieu des années 1990, les forages océaniques ont mis en évidence l'existence de communautés microbiennes vivant dans les profondeurs de la Terre. Cela a bouleversé nos connaissances sur le fonctionnement biologique de notre planète. On pensait que la plus grande partie de la biomasse se trouvait à l'extérieur de la planète. En réalité, elle est enfermée à l'intérieur.

De quel genre de microbes parle-t-on ?

Ce sont des archaebactéries, c'est-à-dire des bactéries très peu évoluées qui ressembleraient à celles qui ont, les premières, colonisé la surface de la Terre. Elles pourraient également avoir des similitudes avec d'éventuelles formes de vie extraterrestres que l'on tente de découvrir sur Mars ou ailleurs. Quoi qu'il en soit, ces archaebactéries vivent dans de l'eau emprisonnée dans la roche, entre 0 et 3000 mètres de profondeur. Elles sont capables de survivre et de se reproduire jusqu'à des températures de 130°C. Elles se nourrissent non pas d'éléments qui leur viennent depuis le haut mais de nutriments qui remontent d'en bas. De plus en

plus d'expéditions sont organisées autour de ce thème, cherchant à mieux comprendre ces bactéries et notamment leur répartition qui n'est, curieusement, pas homogène à travers le globe.

Vous avez dirigé la mission d'ECORD qui s'est rendue à Tahiti en 2005. Qu'y avez-vous trouvé ?

Nous avons montré qu'entre 14 600 et 14 300 avant nos jours, la remontée des eaux s'est brusquement accélérée pour atteindre une hauteur de 16 mètres en seulement trois siècles. Nous savions, grâce à d'autres forages notamment dans l'île de la Barbade, que le niveau des

IL Y A 50 MILLIONS D'ANNÉES, LE CLIMAT EN ANTARCTIQUE ÉTAIT À PEU PRÈS MÉDITERRANÉEN. ON Y A TROUVÉ DES POLLENS DE PALMIER

océans est monté de 120 mètres depuis la dernière ère glaciaire qui prit fin il y a 20 000 ou 25 000 ans. Nous ignorions cependant à quelle vitesse cela s'est déroulé, s'il y avait eu des accélérations, des pauses, etc. Les carottes prélevées dans le corail de Tahiti, dont les données ont pu être datées avec une précision de 15 ans, ont dévoilé cette accélération formidable que l'on a pu relier directement avec un épisode de fonte massif enregistré dans les glaces de l'Antarctique. On sait maintenant que les glaces du pôle Sud ont contribué à 50 % à la hausse des océans depuis la dernière glaciation.

Cette brusque augmentation du niveau des mers est-elle comparable à ce qui se passe aujourd'hui ?

L'enregistrement de Tahiti montre qu'il a existé dans le passé une augmentation de 40 millimètres par an sur trois cents ans. Aujourd'hui,



ISTOCK

nous n'en sommes pas encore là. Les satellites mesurent une hausse de 3 mm par an depuis les années 1990 et les deux tiers de cette valeur sont dus à la dilatation thermique de l'eau sous l'effet du réchauffement global de la planète. Seul un tiers provient de la fonte des glaces. Il se trouve cependant que cette fonte s'accélère, et les prévisions font état d'une courbe non pas linéaire mais exponentielle. En d'autres termes, ces 3 mm par an ne vont pas durer. D'ici à la fin du siècle, on s'attend à une hausse totale du niveau de l'eau de 50 cm à 1 m, selon les modèles.

Comment la vie sur Terre a-t-elle encaissé le choc de cette montée des eaux il y a 15 000 ans ?

Il nous manque des éléments pour le savoir. Nous avons pu récolter des données de température et de salinité des eaux grâce à nos forages à Tahiti. Mais il nous faut des mesures semblables tout autour de la planète afin de construire une image globale de l'impact de ces changements. Un seul point ne suffit pas.

La Terre a donc connu des remontées des océans importantes par le passé...

Depuis 800 000 ans, la Terre vit à un rythme de glaciation déglaciation tous les 100 000 ans, grosso modo. Les océans montent et redes-

cendent sans cesse. Il y a 125 000 ans, par exemple, leur niveau était entre 4 et 7 mètres au-dessus de celui d'aujourd'hui. Il était même 60 mètres plus haut qu'aujourd'hui il y a 50 millions d'années. Il n'y avait alors pratiquement plus de glace aux pôles. En Antarctique, le climat était à peu près méditerranéen. On y a trouvé des pollens de palmier.

Quelle est la particularité de l'épisode actuel ?

C'est la vitesse à laquelle augmente la température. Grâce aux forages dans les coraux, nous savons qu'au cours des 15 000 dernières années, la température de l'eau a augmenté de 2 °C. L'être humain l'a fait monter de 1,5° en seulement cent ans. C'est tout de même 100 fois plus rapide. Nous sommes pourtant actuellement en période interglaciaire, la dernière déglaciation s'étant terminée il y a 6000 ans. En principe, si l'on garde le même rythme que dans le passé, on devrait gentiment retourner vers le froid dans un ou deux milliers d'années. Un siècle de mesures fiables, c'est encore un peu court sur l'échelle géologique pour tirer des conclusions hâtives mais peut-être bien que les activités humaines seront à même de modifier ce scénario.

Propos recueillis par Anton Vos



VUE DE MASDAR CITY.
EN IMAGES DE SYNTHÈSE.

ENQUÊTE SUR LES VILLES DURABLES DE DEMAIN

COMMENT LES VILLES PEUVENT-ELLES RÉUSSIR LE VIRAGE VERS UNE PLUS GRANDE DURABILITÉ ? EN OBSERVANT LES CHOIX OPÉRÉS DANS LA CITÉ AVANT-GARDISTE DE MASDAR ET DANS LA MÉGALOPOLE DE LOS ANGELES, L'ATELIER « URBAN FUTURES » CHERCHE DES ÉLÉMENTS DE RÉPONSE

Quel est le point commun entre Abu Dhabi, capitale de l'émirat du même nom, et Los Angeles, deuxième plus grande cité des Etats-Unis ? Confrontées à une pression écologique majeure et très fortement polluées, ces deux villes se sont engagées depuis quelques années déjà avec force sur la voie de la transition énergétique. Et c'est à ce titre qu'elles ont leur place au cœur de l'atelier sur l'urbanisme durable proposé depuis trois ans par l'Institut des sciences de l'environnement (ISE).

Axé sur l'observation in situ, *Urban Futures* a en effet pour principal objectif d'identifier, à partir de la réalité du terrain, tant les bonnes pratiques et les approches innovantes que les erreurs à éviter en matière d'interactions entre développement urbain et environnement naturel. Pour les initiateurs du projet, il s'agit également de ramener le débat à l'échelle d'un projet ou d'un quartier. Une démarche qui devrait trouver une première concrétisation à Genève dans le cadre du projet Uni Carl-Vogt. Explications.

«La particularité de ce projet, c'est d'étudier les transitions urbaines non pas uniquement du point de vue théorique, mais également en prenant en compte ce

qui se pratique aujourd'hui dans le monde, explique Alexandre Hedjazi, chargé de cours à l'Institut des sciences de l'environnement et responsable de l'atelier *Urban Futures*. *Face à ces processus complexes, qui nécessitent une approche globale prenant en compte non seulement l'énergie, mais aussi la mobilité, l'urbanisme, l'architecture et les rapports*

«MALGRÉ DES CONTRAINTES SOUVENT TRÈS FORTES, IL EXISTE DE RÉELLES POSSIBILITÉS D'ACTION, À CONDITION D'INTÉGRER LA POPULATION DANS LES GRANDS CHOIX URBAINS»

sociaux, le premier enseignement apporté par nos observations est que, malgré des contraintes souvent très fortes, il existe de réelles possibilités d'action, à condition d'intégrer la population dans les grands choix urbains. Le second réside sans doute dans le fait qu'il n'y a ni recette miracle ni voie royale vers



un modèle de développement territorial plus durable mais une foule d'options, parfois complémentaires, qui ne peuvent fonctionner que si elles sont adaptées aux spécificités locales. Le grand défi, c'est en effet que la révolution durable ne renforce pas certaines dynamiques existantes touchant aux questions d'équité et à l'accroissement des inégalités.»

Cité prototype Le cas de Masdar est, à cet égard, très instructif. En chantier depuis 2008, ce quartier situé entre l'aéroport et la ville d'Abu Dhabi, ambitionne de devenir d'ici à 2020 la première cité du monde neutre en émission de carbone. Surgi du désert, ce prototype éco-technologique tient lieu de vitrine verte à un Etat qui abrite par ailleurs le siège de l'Organisation internationale pour les énergies renouvelables et qui cherche à conforter son leadership dans ce domaine.

Gigantesque laboratoire à ciel ouvert alimenté par des investissements considérables, Masdar abrite d'ores et déjà quelques réalisations spectaculaires. «Ville sans voiture», elle dispose par exemple d'un «système de transports rapides personnels» (PRT en anglais) entièrement automatisé. Pouvant transporter des passagers (quatre au maximum), aussi bien que des marchandises ou des déchets, ces véhicules circulent sur un réseau de rails magnétiques qui quadrillent le territoire et peuvent être appelés à chaque station sur pression d'un simple bouton.

Mariant techniques traditionnelles – notamment pour la ventilation des bâtiments – et abondant recours aux nouveaux matériaux, Masdar donne par ailleurs à voir de nouvelles formes d'habitations urbaines plus efficientes sur le plan énergétique.

A relever également que pour lutter contre la chaleur (jusqu'à 48°C à l'ombre en été), un

procédé permet de tempérer l'espace public de quelques degrés grâce à un système de circulation d'eau dans des tours à vent.

«Cette année, le dispositif était malheureusement en panne lors de notre séjour, témoigne Alexandre Hedjazi. Mais au cours de nos visites précédentes, nous avons effectivement pu constater une différence appréciable de température dans ce périmètre.»

Reste que, malgré l'avancée du projet et la place accordée aux nouvelles technologies, Masdar est encore loin de la cité idéale présentée sur les maquettes du projet. De l'avis des chercheurs, deux domaines laissent plus particulièrement à désirer. Le premier concerne l'empreinte écologique de la ville prototype, qui, pour l'instant du moins, est loin d'être neutre. Outre l'énergie grise liée au développement des bâtiments et des infrastructures, Masdar est toujours dépendante de sources d'énergies fossiles et des usines de dessalement pour son alimentation en eau douce, ces dernières ayant un impact très négatif sur la biodiversité.

Le second défi auquel doit faire face Masdar est lié à la tradition locale et à une pratique historique de gouvernance laissant peu de place à la consultation publique. *«Dans le cas présent, il s'agit à la fois de veiller à l'adhésion de la population aux nouveaux concepts expérimentés et d'anticiper la résistance au changement qu'un nouveau paradigme urbanistique durable peut déclencher»,* souligne Alexandre Hedjazi.

Un pari d'autant plus ambitieux qu'au-delà des limites du quartier modèle de Masdar, les pratiques de consommation énergétiques font que la population d'Abu Dhabi détient l'une des plus fortes empreintes hydriques et écologiques par habitant au monde. *«En discutant avec leurs homologues émiratis, nos étudiants ont appris avec étonnement que certains d'entre eux laissaient*



Situation

Los Angeles est bordée par les monts San Gabriel (au nord) et par l'océan Pacifique (à l'ouest et au sud). Elle est scindée en deux par les monts Santa Monica.

Los Angeles: 18,5 mios d'habitants pour l'agglomération, superficie 1290,6 km².



Situation

Masdar pourra accueillir 50000 habitants et 1500 entreprises. Située près de l'aéroport d'Abu Dhabi, sa superficie est de 6 km².

Emirat d'Abu Dhabi: 200000 habitants, 67340 km².



SEGMENT RENATURÉ
DE LA LOS ANGELES RIVER.

tourner le moteur de leur véhicule pendant les heures de cours pour qu'il reste frais, complète Alexandre Hedjazi. Au-delà de l'anecdote, cela témoigne du manque de sensibilisation à la problématique environnementale ou, en tout cas, des limites écologiques de certaines pratiques en ville.»

Urgence chez les anges A 16 000 kilomètres de là, Los Angeles présente un profil radicalement différent, puisque l'enjeu est ici non pas de bâtir une nouvelle cité verte, mais de rénover ou de réhabiliter une mégapole fondée à la fin du XVIII^e siècle. Principale agglomération d'un Etat qui constitue la dixième puissance mondiale sur le plan économique, la «cité des anges» est la ville qui a formalisé le modèle d'urbanisme basé sur l'étalement et la prédominance absolue de l'automobile. Caractérisée par un mode de consommation extrêmement énergivore, elle comptait parmi les régions où la qualité de l'air était la plus mauvaise il y a encore quelques années.

Depuis, elle a fait du chemin, comme l'ensemble de la Californie. Premier Etat américain ayant interdit l'usage des sacs en plastique tout en imposant l'essence sans plomb et le pot catalytique, la Californie se trouve aujourd'hui en tête du peloton national pour ce qui est de

la consommation énergétique par individu et la part des énergies renouvelables y est en constante augmentation.

«*Cette ville coincée entre l'océan et les montagnes de Santa Monica a longtemps fait abstraction des avantages que peut procurer l'environnement naturel, explique Alexandre Hedjazi. Les périodes de sécheresse dans le Sud-Ouest américain, qui sont devenues récurrentes avec le changement climatique, ont cependant provoqué une évolution des mentalités. Il y a eu une vraie prise de conscience de l'urgence de la situation. Et cela s'est traduit par une foule d'initiatives émanant aussi bien des pouvoirs publics que de la population.»*

De son côté, l'Etat a édicté toute une série de règles et de normes contraignantes avec l'objectif ambitieux de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 87% d'ici à 2050. Il a également lancé un vaste plan visant à réhabiliter les grandes infrastructures à l'instar du port de Long Beach-San Pedro, par lequel transiting notamment plus de 90% des textiles importés aux Etats-Unis. Le règlement actuel du port exige ainsi par exemple que les cargos qui y stationnent utilisent exclusivement l'électricité (verte) fournie par la ville et non celle produite par la machinerie du bateau pour se fournir en énergie. Les milliers de containers débarqués quotidiennement sont par

ailleurs acheminés dans le reste du pays grâce au ferroviaire et non par camion. «*Selon les chiffres officiels, cette politique a permis de réduire l'empreinte environnementale du port de façon significative, précise Alexandre Hedjazi. Elle aurait également permis de renverser la perte de la biodiversité dans la région métropolitaine avec le retour d'une population de phoques et d'autres espèces marins dans le port même.»*

Conscient de la nécessité de faire évoluer les comportements en profondeur, le gouvernement a, par ailleurs, inscrit dans la législation l'obligation de sensibiliser les écoliers aux problèmes environnementaux. Une option visiblement payante étant donné le foisonnement d'initiatives en faveur du développement durable qui émanent aujourd'hui soit d'individus, soit d'associations. Deux d'entre elles sont au programme de l'atelier organisé par l'ISE.

La première œuvre en faveur de la préservation de la Los Angeles River. Entièrement bétonnée dans les années 1940, le cours d'eau a retrouvé un semblant d'écosystème sur certains tronçons grâce à l'engagement de citoyens qui ont soutenu les stratégies de réhabilitation de ses rives. Pensées comme des espaces de rencontre ouverts à tous, ces zones ont également une vocation didactique et proposent des animations claires

LA LOS ANGELES RIVER A RETROUVÉ UN SEMBLANT D'ÉCOSYSTÈME GRÂCE À L'ENGAGEMENT DE CITOYENS QUI ONT SOUTENU LES STRATÉGIES DE RÉHABILITATION DE SES RIVES

et accessibles autour de la consommation d'eau. La seconde est l'association Tree People (« le peuple des arbres », ndlr). Fondée en 1973 par un jeune homme alors âgé de 18 ans, elle regroupe aujourd'hui 7500 volontaires. Ceux-ci se sont donné pour mission de sensibiliser les écoliers à la problématique de l'environnement en ville, de planter et de soigner des arbres tout en faisant redécouvrir à leurs concitoyens les richesses associées à leur environnement naturel et en particulier celles des montagnes de Santa Monica, qui pénètrent au cœur même de la ville. Dans ces deux cas, les acteurs associatifs peuvent compter sur le soutien des pouvoirs publics qui

encouragent ce type d'initiatives. Non seulement parce qu'elles contribuent à la protection de l'environnement, mais également parce qu'elles peuvent constituer un moteur de cohésion sociale et de lutte contre la ségrégation, à l'image de ce qui a été fait avec le sport dans l'ensemble du pays.

«Le monde académique n'est pas tenu à l'écart du mouvement, complète Alexandre Hedjazi. Tree People offre, par exemple, des postes de stage ou des possibilités de recherche à des universitaires. Et ce lien est essentiel au moins pour deux raisons : la première est que l'université constitue le lien idéal entre les différents acteurs que sont les pouvoirs publics, les associations, les citoyens et les experts. La seconde est que, grâce à ce rôle d'intermédiaire, l'Université, lieu où est produit le savoir tant en sciences dures qu'en sciences humaines, peut aussi devenir le centre de gravité des pratiques vertueuses indispensables à la réussite de cet énorme défi que représente la marche des villes vers une plus grande durabilité.»

Vincent Monnet

UNI CARL-VOGT, BÂTIMENT CITOYEN

A Genève, le site Uni Carl-Vogt sera l'un des premiers à mettre en pratique certains des enseignements tirés de l'atelier *Urban Futures* proposé depuis trois ans par Alexandre Hedjazi (lire ci-contre).

Futur siège des sciences de l'environnement et des territoires, le bâtiment, situé sur le boulevard Carl-Vogt, à hauteur du nouveau Musée d'ethnographie, a logiquement été conçu pour répondre aux normes «Minergie». Mais ce n'est pas sa seule ambition. Sa réalisation représente en effet une étape majeure dans le développement du concept de «campus urbain intégré» mis sur pied par le rectorat en concertation avec la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) de Genève.

Outre les bureaux, les salles de cours et les salles de réunion, aménagés de manière à favoriser les synergies scientifiques, le bâtiment comprendra une salle polyvalente dédiée à la vulgarisation scientifique et aux échanges avec le public.

«Ce que nous avons observé dans le cadre de l'atelier 'Urban Futures' montre qu'il n'existe pas de modèle universel en matière de durabilité urbaine, explique Alexandre Hedjazi, chargé de cours à l'Institut des sciences de l'environnement et responsable de l'atelier. Parmi l'infinie de solutions possibles, ce qui compte, c'est de retenir



celles qui sont cohérentes avec les particularités locales. Et pour cela, il est indispensable de consulter la population et d'obtenir son adhésion.» Pour en prendre le chemin, plusieurs pistes ont été explorées. La première a consisté à confier à plusieurs groupes d'étudiants la cartographie des pratiques locales en relation avec l'objectif de durabilité du quartier. Ce travail d'analyse sera présenté aux habitants lors de l'inauguration officielle du bâtiment. Depuis un an et demi, un groupe de réflexion planche par ailleurs sur la création d'une plateforme réunissant citoyens, entreprises, étudiants et chercheurs en vue de développer une vision générale à l'échelle du quartier, à l'image de ce qui a été fait à Montréal

dans le cadre du «Quartier de l'innovation»*. Enfin, un colloque international réunissant différents partenaires ayant déjà conduit ce type de démarche sera organisé afin de tirer des leçons des bonnes pratiques en la matière. Dans la continuité de ces consultations, plusieurs séances participatives sont agendées par le groupe de réflexion «quartier durable» durant le prochain semestre afin de permettre aux habitants du quartier d'exprimer leurs attentes en termes de développement urbain pour les vingt prochaines années. «Imaginons que des habitants souhaitent créer un toit végétalisé, explique Louis-Philippe Tessier, étudiant de 3^e année de la Maîtrise universitaire en sciences de l'environnement (MUSE) et membre de l'association AGEDD. Avec la configuration proposée à Uni Carl-Vogt, des étudiants pourraient concevoir le projet avec les habitants sous la supervision de leur enseignant et sa réalisation pourrait être confiée à des entreprises locales. C'est une solution où tout le monde est gagnant, puisqu'elle permet de sensibiliser la population aux enjeux environnementaux, de développer l'interface science-politique et de dynamiser l'économie locale. Le moment de vérité demeure le passage de la théorie à la pratique.»

VM

* <http://quartierinnovationmontreal.com/>

PORTRAIT DE
GUILLAUME-HENRI
DUFOUR, HUILE SUR
PANNEAU, XIX^e SIÈCLE,
AUTEUR INCONNU.

LE GÉNÉRAL QUI AIMAIT LES SCIENCES

SAUVEUR DE LA
NATION LORS DE
LA GUERRE DU
SONDERBUND,
INVENTEUR DU
DRAPEAU À CROIX
BLANCHE ET
FONDATEUR DE
LA CROIX-ROUGE,
GUILLAUME-HENRI
DUFOUR FUT AUSSI
UN BRILLANT
HOMME DE SCIENCE
ET UN ÉPHÉMÈRE
PROFESSEUR
D'ACADEMIE

« **S**a vie trace, comme le ferait une carte géographique, le portrait du pays», écrivait l'historien Hans-Ulrich Jost à l'occasion du son bicentenaire. Guillaume-Henri Dufour incarne en effet sans doute mieux que tout autre Suisse la plupart des grands bouleversements techniques et des révolutions qui ont façonné de manière décisive l'évolution politique, sociale et culturelle de la Suisse au XIX^e siècle.

Cette position exceptionnelle dans l'histoire nationale tient naturellement en premier lieu au rôle de pacificateur rempli par le général au moment de la guerre civile du Sonderbund (lire *Campus* 117). Symboliquement, elle est confortée par le fait que c'est également à Dufour que la Suisse moderne doit son fameux drapeau à croix blanche, dont il propose une esquisse dès 1817 et qui sera finalement consacré par la Constitution de 1848.

Selon certains auteurs, ses prises de position en faveur des réfugiés politiques étrangers ainsi que sa défense farouche de l'indépendance helvétique face aux menaces d'invasion prussiennes lors de «l'affaire de Neuchâtel» en 1856, font également de Dufour l'un des pères de la neutralité helvétique. Et, de par son engagement au sein de la Croix-Rouge (dont il est un des membres fondateurs), il est aussi pour

beaucoup dans la vocation humanitaire qui a si fortement influencé l'image et la politique extérieure de la Confédération jusqu'à nos jours. L'officier formé au sein de la Grande armée de Napoléon compte par ailleurs parmi les personnages clés qui ont accompagné la transformation politique de la Genève française en Genève suisse. Il est ainsi pendant près d'un demi-siècle (1819-1870) député au Parlement cantonal (en termes de longévité, seul James Fazy a fait mieux). Et, à ce titre, il participe d'ailleurs aux deux assemblées qui ont élaboré les Constitutions de 1842 et 1847.

L'ère des ponts suspendus C'est déjà beaucoup pour un seul homme, mais c'est pourtant loin d'être tout. Car, doté d'une force de travail tout à fait prodigieuse, Guillaume-Henri Dufour trouve encore le temps de devenir un savant de réputation internationale. Formé à l'Ecole polytechnique de Paris, puis à l'Ecole d'application du génie de Metz, le futur général en chef de l'armée fédérale fait d'abord valoir ses talents d'ingénieur à Genève. On le charge tout d'abord de perfectionner le mécanisme de la machine hydraulique permettant d'alimenter les fontaines de la ville conçue par Joseph Abeille au siècle précédent, puis de terminer le chantier du pont de Carouge, ouvert durant la période française. En 1823, redonnant



*J. Du Bois del.*

vie à une idée déjà ancienne, Dufour frappe un grand coup en réalisant avec Marc Seguin et Marc-Auguste Pictet le premier pont permanent en fil de fer construit en Europe, inventant au passage un système d'ancrage encore employé aujourd'hui pour fixer les bouts de câbles précontraints.

Destiné à faciliter la communication avec les campagnes environnantes et à désengorger une ville encore enserrée derrière ses fortifications, l'ouvrage, qui peut supporter une charge de plus de 10 tonnes, est alors à l'avant-garde de la modernité et lancera une véritable mode du pont suspendu aux quatre coins de l'Europe.

L'urbaniste et le topographe Dans les années qui suivent, en tant qu'ingénieur cantonal, fonction qu'il occupe dans les faits depuis 1817 mais qui ne devient officielle qu'en 1828, Dufour participe encore à plusieurs autres grands chantiers dont l'empreinte sur la physionomie de la cité est toujours visible. C'est notamment le cas de l'aménagement du quai des Bergues et de la conception du pont du même nom, des plans de

l'avenue de la Corraterie, réalisés avec l'architecte Vaucher, ou encore de la construction de la ligne de chemin de fer Genève-Lyon.

Ces succès, Dufour les doit non seulement à ses talents propres mais également à sa conception du métier d'ingénieur qui est moins pour lui un art empirique basé sur la transmission d'expériences personnelles qu'une véritable science devant reposer sur un système de connaissances technologiques éprouvées.

Et ce qui est vrai pour l'urbanisme l'est également en matière de géographie. Fondateur du Bureau topographique suisse, qui vit le jour à Genève en 1838, Dufour se voit confier la mission de cartographier l'ensemble du territoire de la Confédération par les autorités fédérales en 1833.

Il lui faudra près de trente ans pour venir à bout du chantier, mais le résultat est à la hauteur de l'énergie déployée. Considérée comme une réussite tant technique qu'artistique qui restera longtemps sans égale dans les pays voisins, la «Carte Dufour» constitue selon Claude Raffestin, ancien professeur de géographie à la

«VUE DES BERGUES»
ENTRE 1835 ET 1849,
PAR J. DUBOIS.

Faculté des sciences économiques et sociales, «la première grande réalisation de la cartographie suisse».

Outre l'ampleur du travail accompli, la carte reposant sur une nouvelle triangulation de l'ensemble du territoire national au 1:25 000^e en plaine et au 1:50 000^e en montagne, ce premier atlas topographique complet de la Suisse innove à plusieurs égards. Synthétisant l'ensemble des nouvelles connaissances scientifiques contemporaines afin de tendre vers une précision inédite, il opte par ailleurs pour le mètre plutôt que pour la toise, comme c'était l'usage jusque-là et choisit, contre le modèle français, un éclairage oblique afin de permettre une meilleure lecture des reliefs, dont le plus haut, niché dans le massif du Mont Rose est, du coup, rebaptisé «Pointe Dufour».

Comme le souligne l'historien Armand Brulhart, «cet effort de synthèse supposait une ouverture du côté de l'Université ou plus généralement des milieux scientifiques». Rien de moins naturel pour un individu comme Dufour qui semble avoir été très tôt et très durablement attiré par tout ce qui touche aux sciences exactes.

Foucault à Saint-Pierre Doté d'un excellent coup de crayon – il hésite d'ailleurs un temps à se lancer dans une carrière artistique – Dufour s'intéresse en particulier à la géométrie descriptive ainsi qu'aux mathématiques et à la physique, discipline à laquelle il s'initie en suivant les cours donnés à l'Académie par Marc-Auguste Pictet. Il mettra à profit ce savoir quelques années plus tard pour reproduire avec un groupe d'amis genevois l'expérience du Pendule de Foucault dans les vénérables murs de la cathédrale Saint-Pierre.

Comme beaucoup de monde à l'époque, Dufour ne dédaigne par ailleurs pas la botanique et part quelquefois herboriser dans les campagnes environnantes en compagnie du pharmacien Henri-Albert Gosse (lire *Campus* 118).

Pédagogue dans l'âme, il met un point d'honneur à partager ses connaissances. Ses archives contiennent ainsi de nombreux articles et autres mémoires sur des sujets aussi variés

que la théorie militaire, la géométrie descriptive, la gnomonique (soit l'art de construire des cadans solaires), la physique des matériaux, la mécanique, la géodésie, l'astronomie ou l'hydraulique.

On y trouve également un échange de lettres avec l'un des fondateurs de l'optique ondulatoire, le physicien français Augustin Fresnel et quelques manuscrits relatifs à ses activités pédagogiques.

SES ARCHIVES CONTIENNENT DES MÉMOIRES SUR LA GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE, LA PHYSIQUE, LA MÉCANIQUE CÉLESTE, LA GÉODÉSIE OU L'HYDRAULIQUE

Sur les bancs de l'Académie Outre l'art militaire, qu'il a enseigné au sein de l'Ecole d'officier de Thoune, Dufour a en effet donné quelques leçons gratuites de géométrie descriptive et de perspective dans les années 1817-1819. Après avoir dû renoncer à la création d'une Ecole de mathématiques pures et appliquées, il revêt même brièvement les habits de l'académicien au cours de l'année 1821, offrant bénévolement ses services pour assurer la suppléance du professeur Simon L'Hullier. Il y reviendra en 1839 pour donner un cours d'hydraulique.

Preuve que le sujet lui tient à cœur, il trouvera le temps de remanier le manuscrit de son cours durant l'année 1847, soit l'année du Sonderbund. «Il y a, chez lui, une conscience aiguë de la nécessité, dans une démocratie, de l'instruction populaire, constate l'historien et journaliste Gabriel Mützenberg dans l'ouvrage *Dufour en son temps* (Genève, Société d'archéologie, 1991). Mais il a aussi le goût de l'enseignement en même temps que les dons du pédagogue.»

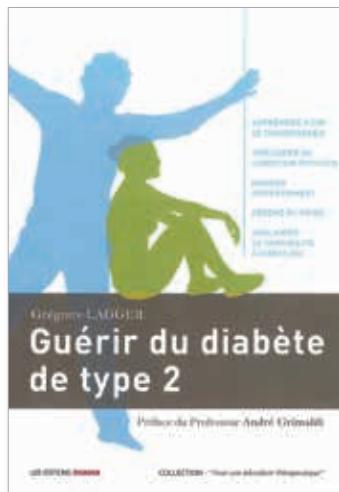
DATES CLÉS

- 15 SEPTEMBRE 1787:** NAISSANCE À CONSTANCE (ALLEMAGNE)
- 1797:** COLLÈGE DE GENÈVE
- 1807-1809:** ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE PARIS
- 1809-1810:** ÉCOLE D'APPLICATION DU GÉNIE DE METZ
- 1810-1814:** OFFICIER DU GÉNIE DANS L'ARMÉE NAPOÉONIENNE. SÉJOUR À CORFOU
- 1814:** CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR
- 1817:** CAPITAINE AU SEIN DE L'ARMÉE FÉDÉRALE
- 1819:** COFONDATEUR DE L'ÉCOLE CENTRALE DE THOUANE
- 1828:** INGÉNIEUR CANTONAL À GENÈVE
- 1831:** CHEF DE L'ÉTAT-MAJOR GÉNÉRAL DE L'ARMÉE SUISSE
- 1847:** GÉNÉRAL EN CHEF DE L'ARMÉE SUISSE. GUERRE DU SONDERBUND
- 1863:** PRÉSIDENT DE L'ASSEMBLÉE DU COMITÉ DE LA CROIX-ROUGE
- 14 JUILLET 1875:** DÉCÈS À GENÈVE

À LIRE

IL N'EST PAS IMPOSSIBLE DE GUÉRIR DU DIABÈTE DE TYPE 2

On peut guérir du diabète de type 2. Plusieurs patients y sont parvenus. La recette est simple bien que sa mise en œuvre puisse s'avérer plus compliquée : améliorer sa condition physique, manger différemment, perdre du poids, etc. Tel est le message fort que veut faire passer Grégoire Lagger, collaborateur scientifique au Département de santé communautaire (Faculté de médecine) dans son dernier livre *Guérir du diabète de type 2*. Cette dernière maladie (qui concerne 90% des diabétiques) est le résultat de l'apparition progressive d'une résistance à l'insuline.



Il arrive en effet que, sous l'action de l'obésité, d'une nourriture trop grasse ou encore d'un manque d'exercice physique, les cellules du corps perdent leur sensibilité à cette hormone permettant de capter le sucre circulant dans le sang. Au début, le pancréas parvient à pallier cette défaillance en augmentant sa production d'insuline. Mais au bout d'un moment l'organe ne parvient plus à suivre. La résistance des cellules et l'incapacité du pancréas à la compenser engendrent le diabète. La maladie peut ensuite s'aggraver et provoquer la destruction progressive des cellules productrices de l'insuline. Et lorsqu'il est trop profondément atteint, le pancréas ne synthétise plus d'hormones du tout. C'est avant ce stade ultime que Grégoire Lagger propose d'agir. Et c'est possible, affirme-t-il. L'amélioration de la condition physique, la perte de poids et une alimentation contenant peu de graisse ainsi que des mesures comme la diminution du stress, des excès d'alcool et de la consommation (voire l'arrêt) de tabac permettent d'augmenter de nouveau la sensibilisation des cellules et franchir dans l'autre sens la limite arbitraire entre diabète et non-diabète.

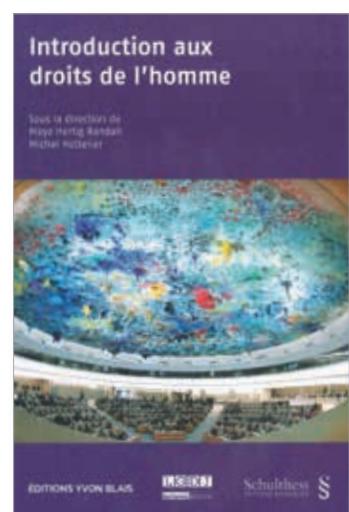
Et plus les éléments pour se sensibiliser à l'insuline sont mis en place tôt, plus les chances de guérison sont élevées. L'auteur évoque la possibilité d'une rémission, ou «sortie du diabète», que l'on pensait impossible il y a quelques années seulement mais qui est aujourd'hui officiellement décrite et acceptée notamment par l'Association américaine du diabète. Tous les patients, dont ceux chez qui la maladie est trop avancée, ne pourront cependant pas guérir. Mais ils pourront tout de même éviter la plupart des complications de la maladie et devenir un «diabétique en bonne santé».

«GUÉRIR DU DIABÈTE DE TYPE 2»,
PAR GRÉGOIRE LAGGER, ÉDITIONS OVADIA, 2014,
330 P.

DROITS DE L'HOMME, LE GRAND PARADOXE

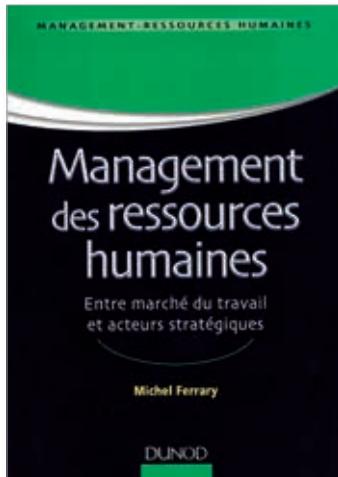
Destinés à protéger l'humanité des persécutions, de la discrimination et de la précarisation, les droits de l'homme constituent à l'évidence un puissant instrument de paix. Paradoxalement, ils sont pourtant de plus en plus souvent perçus comme des vecteurs de division. Réunissant une cinquantaine d'auteurs renommés, la somme éditée par Maya Hertig Randall et Michel Hottelier, tous deux professeurs à la Faculté de droit, ambitionne de réduire ces incompréhensions en offrant un regard transdisciplinaire et varié sur ce corpus juridique qui imprègne désormais profondément aussi bien le droit des Etats que celui des relations internationales. Alternant visions théoriques et expertises issues du terrain, l'ouvrage est partagé en quatre parties principales. La première présente les fondements des droits de l'homme et leur genèse. La seconde présente de manière systématique l'ensemble des instruments à portée universelle visant à protéger les droits de l'homme, tandis que la troisième est consacrée aux instruments régionaux. Le parcours est conclu par des interventions portant sur les relations entre les droits de l'homme et la religion, la biomédecine, l'environnement ou encore le terrorisme. VM

«INTRODUCTION AUX DROITS DE L'HOMME», SOUS LA DIRECTION DE MAYA HERTIG RANDALL ET MICHEL HOTTELIER,
ÉD. SCHULTHESS, 850 P.



LES RESSOURCES HUMAINES COMME FACTEUR DE COMPÉTITIVITÉ

Dans nos économies fondées sur la connaissance, les capacités d'innovation des entreprises dépendent moins du capital financier et technique investi que de leur capacité à attirer, former, motiver et conserver dans leurs rangs les individus les plus talentueux. Partant de ce constat, Michel Ferrary, professeur à la Faculté d'économie et de management, se propose dans cet ouvrage destiné tant aux étudiants qu'aux managers d'appréhender le rôle des ressources humaines en abordant leurs différentes pratiques de management en regard des orientations stratégiques définies par les entreprises ainsi que des mécanismes concurrentiels du marché du travail et de l'influence des différents acteurs impliqués (dirigeants, syndicats, élus, médias, consommateurs). Illustré par de nombreux exemples concrets, le livre présente notamment des innovations liées à l'avènement des nouvelles technologies. Parmi celles-ci, le site Glassdoor permet de comparer son salaire en fonction de sa formation, de son métier et de sa région, ce qui rend les négociations salariales beaucoup plus transparentes. De son côté, Google a développé depuis 2010 une politique «d'essaimage stratégique» afin d'inciter ses salariés à développer en interne des start-up porteuses d'innovation plutôt que de créer une entreprise indépendante. Quant au Credit Suisse, à la suite de la crise financière de la fin des années 2010, il a mis sur pied une politique de rémunération originale (le *Partner Asset Facility*) lui permettant de liquider ses créances douteuses tout en offrant un système de bonus attrayant à ses meilleurs talents. En guise de conclusion, l'auteur s'arrête sur le concept d'«alter-capitalisme», notion qui renvoie à l'émergence d'une nouvelle idéologie combinant la capacité de création de richesse du système capitaliste et les valeurs de partage et de justice sociale qui ont prévalu à l'origine de l'idéal communiste. VM



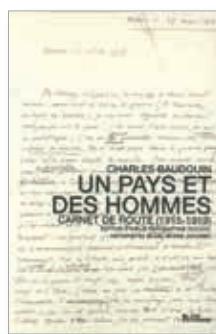
«MANAGEMENT DES RESSOURCES HUMAINES. ENTRE MARCHÉ DU TRAVAIL ET ACTEURS STRATÉGIQUES», PAR MICHEL FERRARY, ÉD. DUNOD, 265 P.



TOUT SUR GENÈVE

Des premiers habitats néolithiques au développement de la Genève internationale, cette sixième édition de l'inusable manuel d'Alfred Dufour, aujourd'hui professeur honoraire de la Faculté de droit, retrace les grandes étapes qui ont conduit l'ancienne cité épiscopale à devenir la «métropole du bout du Léman».

«HISTOIRE DE GENÈVE», PAR ALFRED DUFOUR, PUF, COLL. QUE SAIS-JE?, 127 P.



SUR LA ROUTE

Quarante ans avant Kerouac, Charles Baudouin, enseignant à l'Institut J.-J. Rousseau, chausse ses semelles de vent pour arpenter les routes suisses sur lesquelles il croise notamment Romain Rolland et Stefan Zweig.

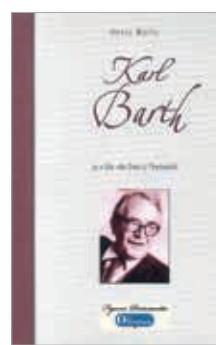
«CHARLES BAUDOUIN, UN PAYS ET DES HOMMES, CARNET DE ROUTE (1915-1919)», PAR MARTINE RUCHAT, ANTOINETTE BLUM, DORIS JAKUBEC, ÉD. L'ÂGE D'HOMME, 334 P.



BERGSON EN IMAGES

C'est à une lecture du philosophe français «au ras des textes» qu'invite cet ouvrage. Objectif: prendre au sérieux l'ambition bergsonienne de refonder sa discipline en délaissant les concepts pour tenter de saisir la réalité dans son immédiateté et dans ce qu'elle a de particulier.

«PENSER EN DURÉE. BERGSON AU FIL DE SES IMAGES», PAR IOULIA PODOROGA, ÉD. L'ÂGE D'HOMME, 223 P.



KARL BARTH, DIEU ET LES HOMMES

C'est un portrait très vivant et enrichi par de nombreuses anecdotes de cette grande figure de la résistance au nazisme que fut Karl Barth que propose dans cet ouvrage Henri Mottu, professeur honoraire de la Faculté de théologie et ancien élève du «pasteur rouge de Safenwil».

«KARL BARTH, LE 'OUI' DE DIEU À L'HUMANITÉ», PAR HENRI MOTTU, ÉD. OLIVÉTAN, 150 P.

THÈSES DE DOCTORAT

DROIT

DAN, ADRIAN

Le délit de commission par omission : éléments de droit suisse et comparé

Dir. Cassani, Ursula

Th. UNIGE 2014, D. 882 | Web*: 40244

PALACO CABALLERO, FLOR DE MARIA

La Cour internationale de justice et la protection de l'individu

Dir. Sassoli, Marco; Mestre, Christian

Th. UNIGE 2014, D. 878 | Web*: 39699

WITZIG, AURÉLIEN

Le renouveau des rémunérations variables en droit du travail

Dir. Aubert, Gabriel

Th. UNIGE 2014, D. 881 | Web*: 39830

LETTRES

BARANZINI, LAURA

Espressioni temporali a valore argomentativo

Dir. Manzotti, Emilio

Th. UNIGE 2010, L. 710 | Web*: 40572

COSTA, DAMIANO

Being in Time: a theory of persistence and temporal location

Dir. Mulligan, Kevin

Th. UNIGE 2014, L. 810 | Web*: 39024

ETTLIN-LAUPER, ANNICK

Mallarmé et l'existence littéraire

Dir. Lombardo, Patrizia

Th. UNIGE 2014, L. 815 | Web*: 41761

FIORONI, GEORGIA

Commento a Vittorio Sereni, «Frontiera» e «Diario d'Algeria»

Dir. Bardazzi, Giovanni

Th. UNIGE 2010, L. 709 | Web*: 40032

HAGER, CLARISSE

Structure de la phrase en abidji, langue kwa de Côte d'Ivoire

Dir. Rizzi, Luigi

Th. UNIGE 2014, L. 813 | Web*: 40579

MCGEE, JOHN

Anti-Petrarchism in early Shakespeare

Dir. Erne, Lukas Christian

Th. UNIGE 2014, L. 806 | Web*: 39804

PSYCHOLOGIE ET SCIENCES DE L'ÉDUCATION

BORAITA AMADOR, FANNY

Les étudiants futurs enseignants face à la pratique du redoublement: quelles sont leurs croyances; comment se structrent-elles; comment évoluent-elles en formation initiale?

Dir. Crahay, Marcel

Th. UNIGE 2014, FPSE 563 | Web*: 37971

DROIT

BARDOT, ALEXANDRE

LES TRANSFERTS DE RÉSIDENCE FISCALE DES PERSONNES PHYSIQUES ENTRE LA FRANCE ET LA SUISSE

Depuis le début du XXI^e siècle, les transferts de résidence fiscale des personnes physiques fortunées se sont accélérés entre les pays à fiscalité élevée et les juridictions offrant un système fiscal attractif. Les délocalisations physiques croissantes entre la France et la Suisse en sont une démonstration édifiante et leur étude représente l'objectif de ce travail de recherche. Le dispositif fiscal français est souvent perçu par ses contribuables comme étant complexe, inique et motivé parfois des décisions d'expatriation. L'établissement de la résidence fiscale en Suisse permet de bénéficier de conditions très différentes par nature. De plus, l'imposition sur la dépense est un mode d'imposition particulièrement attractif pour les grandes fortunes. Malgré tout, le transfert de résidence en Suisse ne résout pas l'ensemble des problématiques fiscales ou patrimoniales des contribuables concernés. Il présente également des contraintes et des limites. Pour cette raison, un certain nombre d'expatriés décident finalement de retourner en France après cinq ans d'absence, ce qui est loin d'être intéressant au regard des mesures fiscales dont peuvent bénéficier les «impatriés». Cela dit, l'expatrié peut également décider de transférer sa résidence fiscale dans une juridiction alternative, plus attractive encore que la Suisse. L'auteur examine d'ailleurs ces juridictions concurrentes et développe un point de vue critique sur les dispositifs fiscaux français et suisses, formulant même des propositions de réforme ou d'adaptation en vue de restaurer ou de préserver la compétitivité de ceux-ci sur un plan international.

DIR. OBERSON, XAVIER; GUTMANN, DANIEL

Th. UNIGE 2014, D. 884 | Web*: 41751

DE CARLO VANINI, KATJA

Se dire e(s)t devenir : une recherche biographique auprès d'enseignants débutants autour de la construction du soi professionnel

Dir. Baudouin, Jean-Michel

Th. UNIGE 2014, FPSE 572 | Web*: 41631

DUCREY MONNIER, MYLENE

Etude comparatiste de leçons de français et de mathématiques au début des degrés primaires: une approche compréhensive de l'activité de l'enseignant généraliste

Dir. Leutenegger, Francia

Th. UNIGE 2014, FPSE 581 | Web*: 41409

HORCIK, ZOYA

Former par la simulation: de l'analyse de l'expérience des participants à la conception de formations par simulation

Dir. Durand, Marc André Fernand; Poizat, Germain

Th. UNIGE 2014, FPSE 583 | Web*: 40830

ISLER, DIETER

Vorschulischer Erwerb von Literalität in Familien: Erkundungen im Mikrokosmos sprachlicher Praktiken und Fähigkeiten von 5- und 6-jährigen Kindern

Dir. Schneuwly, Bernard; Thevenaz-Christen, Thérèse

Th. UNIGE 2014, FPSE 564 | Web*: 40025

LEOPOLDOFF MARTIN, IRÈNE

La science du développement de l'enfant: la conception singulière de Vygotskij

Dir. Schneuwly, Bernard

Th. UNIGE 2014, FPSE 561 | Web*: 41064

MOSES PASSINI, CHRISTINA TOSAN FREGENE

Mothers of toddlers' discipline techniques and discipline modes in daily life: a mixed-methods study

Dir. Favez, Nicolas

Th. UNIGE 2013, FPSE 536 | Web*: 40873

NADOT, NICOLE

Une approche en active du travail collectif: modélisation de la coopération et de la coordination entre infirmières et autres professionnels du milieu hospitalier pour la conception d'un dispositif de formation

Dir. Durand, Marc André Fernand

Th. UNIGE 2014, FPSE 577 | Web*: 41472

STRACCIA, CLAUDIO

Déficience intellectuelle et psychopathologie: instruments d'évaluation et application dans l'étude du phénotype comportemental des adultes avec syndrome de Down

Dir. Barisnikov, Koviljka

Th. UNIGE 2014, FPSE 568 | Web*: 36522

VALLAT, PIERRE-OLIVIER

Analyse et production de traces informatiques adaptées aux pratiques de formateurs de HEP romandes: étude des besoins des formateurs, construction de traces valides, implémentation et test d'outils de traçage pertinents

Dir. Peraya, Daniel

Th. UNIGE 2014, FPSE 580 | Web*: 40872

MÉDECINE

BEROUD, JONATHAN

Analyse des principes de codage des odeurs dans le bulbe olfactif de souris éveillées

Dir. Carleton, Alan

Th. UNIGE 2014, Méd. 10729 | Web*: 39085

BOHANES, PIERRE

Facteurs prédictifs de longue survie chez les patients caucasiens atteints de cancer de l'estomac métastatique traité par une 2^e ligne de chimiothérapie

Dir. Roth, Arnaud; Dietrich, Pierre-Yves

Th. UNIGE 2014, Méd. 10740 | Web*: 40386

PSYCHOLOGIE ET SCIENCES DE L'ÉDUCATION ROUGEMONT, HÉLOÏSE

LE CIMENT DE MES ANCÊTRES : CONSTRUCTION SOCIALE ET TRANSMISSION D'UN CONFLIT : ÉVÉNEMENTS ET DESTIN COMMUN EN KANAKY-NOUVELLE-CALÉDONIE

Quels types de connaissance (re)produisent et défont les conflits dits ethniques ? La thèse présente tente d'apporter des éléments de réponse à cette question en explorant les champs de recherche que sont les processus identitaires, les conflits et l'éducation, en particulier la construction sociale et la transmission informelle de récits d'histoire. L'auteure s'intéresse en particulier aux « Événements » qui se sont déroulés en Kanaky-Nouvelle-Calédonie de 1984 à 1988. Cette période de quasi-guerre civile a opposé partis indépendantiste (auquel on affilie très majoritairement les Mélanésiens) et loyaliste (auquel on affilie majoritairement les descendants des colons). L'analyse se base sur plusieurs mois de terrain (principalement à Nouméa, dans le nord-est et à Lifou) et sur une vingtaine d'entretiens semi-directifs, réalisés avec des personnes vivant pour la plupart en tribu, nées entre 1939 et 2005 et ayant expérimenté cette période de diverses façons. Le travail s'attache à mettre en lien le vécu des événements, leur transmission et les représentations construites autour de la notion de destin commun.

DIR. SCHURMANS, MARIE-NOËLLE; RIGO, BERNARD

Th. UNIGE 2014, FPSE 579 | Web*: 40870

CAVIEZEL, ALESSANDRO RETO

Le traitement minimalement invasif des petites tumeurs du rein par cryothérapie percutanée sous résonance magnétique nucléaire

Dir. Iselin, Christophe

Th. UNIGE 2014, Méd. 10741 | Web*: 40045

EPERON, ISABELLE

Etude comparative randomisée d'auto-prélèvements vaginaux pour la recherche de Papillomavirus (HPV): prélèvement standard vs prélèvement transporté en milieu sec

Dir. Petignat, Patrick

Th. UNIGE 2014, Méd. 10730 | Web*: 39313

LÉVIGNE, DOMINIK

More than a nutrient: the role of oxygen in the pathophysiology and therapy of chronic wounds in ischemic and hyperglycemic conditions

Dir. Pittet Cuenod, Brigitte Maud

Th. UNIGE 2014, Méd. 17 | Web*: 41500

NGUYEN, THI LAN CHI

Validation de la version française de l'échelle d'auto-évaluation de la dépression de Montgomery-Asberg MADRS-S

Dir. Bonföldi, Guido

Th. UNIGE 2014, Méd. 10735 | Web*: 41062

SUPPAN, LAURENT

Quel est le meilleur dispositif à employer pour intuber un patient présentant une lésion potentielle ou avérée de la colonne cervicale: une revue systématique avec méta-analyses des essais randomisés

Dir. Tramer, Martin

Th. UNIGE 2014, Méd. 10742 | Web*: 39831

NEUROSCIENCES

BOITARD, MICHAEL

Neuronal migration in the developing cerebral cortex: the role of WNT canonical signaling pathway

Dir. Kiss, Jozsef Zoltan

Th. UNIGE 2014, Neur. 138 | Web*: 41546

HASLER, ROLAND

Etude de génétique et de neuro-imagerie du TDA-H de l'adulte

Dir. Giannakopoulos, Panteleimon; Perroud, Nader Ali

Th. UNIGE 2014, Neur. 124 | Web*: 41503

SREEKANTA MURTHY, SAHANA

Molecular controls over cortical interneuron subtype migration

Dir. Dayer, Alexandre

Th. UNIGE 2014, Neur. 132 | Web*: 41537

SCIENCES

ALONSO, DAVID

New fluorescent membrane probes: from naphthalenediimides to oligothiophenes

Dir. Matile, Stefan

Th. UNIGE 2014, Sc. 4704 | Web*: 40245

BOYCHEVA, SVETLANA

Regulation of vitamin B6 biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*

Dir. Fitzpatrick, Thérésa Bridget

Th. UNIGE 2014, Sc. 4696 | Web*: 39496

COTTET, PIERRE

Copper-catalyzed asymmetric conjugate addition of alkenyl- and alkylalanes to α,β -unsaturated lactams: enantioselective total synthesis of Riccardiphenol B

Dir. Alexakis, Alexandre

Th. UNIGE 2014, Sc. 4699 | Web*: 40387

DO VALLE DURAES, FERNANDA

The role of professional and non-professional antigen presenting cells in peripheral T cell tolerance and autoimmunity

Dir. Martinou, Jean-Claude; Hugues, Stéphanie

Th. UNIGE 2014, Sc. 4708 | Web*: 40746

EXTERMANN, CYRILLE

Variétés de Poisson impaires, bigèbres de Lie impaires et leurs quantifications

Dir. Severa, Pavol; Alexeev, Anton

Th. UNIGE 2014, Sc. 4710 | Web*: 40712

FENU, ELISA

Imprints of the primordial Universe in the Cosmic Microwave and gravitational wave backgrounds

Dir. Durrer, Ruth

Th. UNIGE 2011, Sc. 4329 | Web*: 40615

FETE, ALEXANDRE

Magnetotransport experiments at the $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ interface

Dir. Triscone, Jean-Marc; Gariglio, Stefano

Th. UNIGE 2014, Sc. 4662 | Web*: 38284

FORTUGNO, CÉCILIA

Multimethodological study of molecular recognition phenomena

Dir. Carrupt, Pierre-Alain; Veuthey, Jean-Luc; Bertucci, Carlo

Th. UNIGE 2014, Sc. 4659 | Web*: 38107

FUMEAU, CORALIE

Investigation of Caulobacter crescentus cell cycle regulation

Dir. Viollier, Patrick; Schibler, Ulrich

Th. UNIGE 2014, Sc. 4674 | Web*: 40429

GASPERIN, ANTHONY

Through group theory and topology, a contribution to computation and complexity theory

Dir. Rolim, Jose

Th. UNIGE 2014, Sc. 4702 | Web*: 39876

GAUDARD, LUDOVIC

Impact of climate change and electricity market liberalization on hydropower plants with reservoir

Dir. Romerio-Giudici, Franco; Beniston, Martin

Th. UNIGE 2014, Sc. 4689 | Web*: 39499

GERMAIN, NICOLAS

Copper-Catalyzed asymmetric conjugate additions of Grignard reagents and electrophilic trappings of Mg-enolates

Dir. Alexakis, Alexandre

Th. UNIGE 2014, Sc. 4684 | Web*: 39806

GIGON, FABIENNE

Advance directives & advance care planning among elective surgery patients - ICU issues

Dir. Baertschi, Bernard; Ricou, Bara

Th. UNIGE 2014, Sc. BioMéd. 1 | Web*: 39789

GOuin, JÉRÔME

Synthesis and properties of dimethoxychromenoacridinium ions

Dir. Lacour, Jérôme

Th. UNIGE 2014, Sc. 4707 | Web*: 40399

GRAFF, JULIEN

Applications of the asymmetric bromine-lithium exchange to the synthesis of natural product and diphosphines

Dir. Alexakis, Alexandre

Th. UNIGE 2014, Sc. 4680 | Web*: 39023

GRAND-GUILLAUME-PERRENOUD, ALEXANDRE

Chromatographie en phase supercritique: nouvelles perspectives dans le domaine de l'analyse pharmaceutique

Dir. Veuthey, Jean-Luc; Guillarme, Davy

Th. UNIGE 2014, Sc. 4717 | Web*: 41558

SCIENCES DE LA SOCIÉTÉ **VALLET, GUILLAUME ANTOINE**

LE SENS SEXUÉ D'UNE PRATIQUE SPORTIVE EXTRÊME: LE CAS DES PRATIQUANTS DE BODYBUILDING

GRASSI, DAVID

Transition metal-free Asymmetric Allylic Alkylation using Grignard reagents: design of ligand, mechanistic investigations, substrates scope and applications

Dir. Alexakis, Alexandre

Th. UNIGE 2014, Sc. 4700 | Web*: 39735

GRAVEN, PATRICIA

Genetic and chemical validation of Trypanosoma brucei adenosine kinase, the intracellular target of 4-[5-(4-phenoxyphenyl)-2H-pyrazol-3-yl]-morpholine
Dir. Perozzo, Remo; Scapozza, Leonardo
Th. UNIGE 2013, Sc. 4595 | Web*: 40046

GUEDEL, KARIN

Technikaffinität von Mädchen und Jungen der Sekundarstufe I
Dir. Mueller, Andréas; Heitzmann, Anni

Th. UNIGE 2014, Sc. 4688 | Web*: 41471

GUIMARAES COUTO, NUNO JOSE

Quantum transport through graphene and topological insulators
Dir. Morpurgo, Alberto

Th. UNIGE 2014, Sc. 4709 | Web*: 41759

HEISENBERG, LAVINA

Theoretical and observational consistency of massive gravity

Dir. Durrer, Ruth; De Rham, Claudia
Th. UNIGE 2014, Sc. 4654 | Web*: 39859

HOSSEINI, SEYEDABOLFAZL

Holostratigraphy of the Berriasian-Aptian carbonate platform deposits from the Zagros fold-thrust belt, SW Iran
Dir. Kindler, Pascal

Th. UNIGE 2014, Sc. 4713 | Web*: 40847

KAESTLI, LAURE-ZOÉ

Amélioration de la continuité des soins pharmaceutiques aux patients pédiatriques sortant de l'hôpital

Dir. Bonnabry, Pascal
Th. UNIGE 2014, Sc. 4678 | Web*: 40587

KREMER, KATRINA

Reconstructing 4000 years of event history in deep Lake Geneva (Switzerland – France): insights from the sedimentary record

Dir. Girardclos, Stéphanie
Th. UNIGE 2014, Sc. 4675 | Web*: 41085

MARGIOTTA, DANIELA

Granzyme B cell death pathway: a complex side of the story

Dir. Martinou, Jean-Claude; Martinvalet, Denis
Th. UNIGE 2014, Sc. 4687 | Web*: 40110

MATHON, CAROLINE

Caractérisation, identification et quantification de biomarqueurs et principes actifs dans des compléments alimentaires ou des phytopréparations
Dir. Christen, Philippe; Bieri, Stefan

Th. UNIGE 2014, Sc. 4715 | Web*: 41501

Cette thèse cherche à comprendre le sens sexué de la pratique du bodybuilding chez les hommes hétérosexuels. A partir de la mise en œuvre de différentes méthodes qualitatives, l'auteur parvient à mettre en évidence qu'il existe un lien fort et significatif entre la motivation pour entrer dans ce sport et le sentiment de fragilité de l'identité sexuelle. Toutefois, ce lien est évolutif, notamment lorsque les individus renforcent leur engagement dans la carrière de bodybuilder. Cela ne signifie pas que la perspective de genre liée à la question de l'identité sexuelle disparaît. Le sens du travail du corps donné dans le bodybuilding possède en effet des liens avec la question du sens accordé au travail professionnel, ce qui permet de positionner les bodybuilders dans les interactions de genre. Ce point est déterminant puisqu'il amène l'auteur à conclure que les principaux enjeux relatifs à la problématique de l'identité sexuelle se situent dans une compétition intra-masculine et non pas directement entre hommes et femmes.

DIR. BURTON-JEANGROS, CLAUDINE; CASTELAIN-MEUNIER, CHRISTINE

Th. UNIGE 2014, SES 854 | Web*: 39676

MINAR, JIRI

Coherent control, quantum memories and quantum repeaters

Dir. Gisin, Nicolas

Th. UNIGE 2010, Sc. 4278 | Web*: 39728

MOHAMED, HISHAM

Scalable approximate k-NN in multidimensional big data

Dir. Marchand-Maillet, Stéphane

Th. UNIGE 2014, Sc. 4712 | Web*: 40731

MONACO, ALESSANDRA

Synthesis of small molecules via click chemistry for positron emission tomography (PET) imaging of tumor integrin $\alpha\beta3$ and/or $\alpha\beta1$ expression

Dir. Scapozza, Leonardo; Seimbille, Yann
Th. UNIGE 2014, Sc. 4583 | Web*: 41629

MUNOZ TELLO, PAOLA ANDRÉA

Structural and functional studies of poly(U) polymerases

Dir. Thore, Stéphane

Th. UNIGE 2014, Sc. 4716 | Web*: 40839

OUERTANI, SAMIA SAMAR

Nway Partial Least Squares: nouvelles propriétés et apports à la discrimination des données métabolomiques

Dir. Rudaz, Serge; Hanafi, Mohamed

Th. UNIGE 2014, Sc. 4682 | Web*: 39559

PLUESS, CATHERINE

Suivi de la consommation des antibiotiques pour la promotion de leur bon usage et la maîtrise de la résistance bactérienne dans les hôpitaux de soins aigus: mise en place et exemples d'utilisation

Dir. Pannatier, André; Zanetti, Giorgio
Th. UNIGE 2012, Sc. 4449 | Web*: 39790

QIAO, XIAOMU

Role of Zonula Occludens (ZO) proteins in regulating kidney collecting duct principal cell proliferation and adhesion

Dir. Stutz, Françoise; Feraille, Eric; Hasler, Udo
Th. UNIGE 2014, Sc. 4720 | Web*: 41619

SALLERON, LISA

Integrated approach for the characterization of the predicted human deoxyribose phosphate aldolase

Dir. Bairoch, Amos Marc; Soldati, Thierry

Th. UNIGE 2014, Sc. 4690 | Web*: 40398

SAOUTER, PIERRE

Nuclei identification with the AMS-02 silicon tracker and measurement of cosmic ray nuclei fluxes

Dir. Pohl, Martin

Th. UNIGE 2014, Sc. 4706 | Web*: 40681

STEVAN, SÉBASTIEN

Knot invariants, Chern-Simons theory and the topological recursion

Dir. Marino Beiras, Marcos

Th. UNIGE 2014, Sc. 4693 | Web*: 41515

TESTONI, MONICA

Recurrent 11q24.3 gain contributes to the pathogenesis of diffuse large B cell lymphoma by deregulating ETS1 and FLI1

Dir. Scapozza, Leonardo; Bertoni, Francesco

Th. UNIGE 2014, Sc. 4669 | Web*: 39207

WANG, TAI

Structure-based drug discovery of species-selective inhibitors of Hsp90

Dir. Picard, Didier

Th. UNIGE 2014, Sc. 4714 | Web*: 40732

WANG, YUBAO

Mechanisms of cellular and intercellular coordination of sodium transport in renal collecting duct principal cells

Dir. Citi, Sandra; Feraille, Eric

Th. UNIGE 2014, Sc. 4671 | Web*: 36931

WATSON, IAN

Differential top pair production cross-section measurements at $v_s = 7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC

Dir. Clark, Allan Geoffrey

Th. UNIGE 2014, Sc. 4697 | Web*: 40209

TRADUCTION ET INTERPRÉTATION

SINAGRA DECORVET, NATHALIE

LA TRADUCTION DE LA BANDE DESSINÉE: ENJEUX THÉORIQUES ET PROPOSITION MÉTHODOLOGIQUE

Ce travail constitue une analyse approfondie des procédés de retranscription utilisés par les auteurs de bandes dessinées francophones et italophones pour reproduire les caractéristiques linguistiques du langage pseudo-oral. Tout en tenant compte des particularités propres à ce médium, l'auteure a procédé à une analyse critique d'un corpus constitué de BD francophones et de leurs traductions italiennes. Cela lui a permis de conclure à un « aplatissement » récurrent de la pseudo-oralité. Sur la base de son analyse et de son expérience professionnelle, elle a donc proposé une méthodologie de la traduction qui tienne compte des deux facettes propres à la bande dessinée (texte et image) et qui puisse venir en aide aux traducteurs.

DIR. DELESSE, CATHERINE; HEWSON, LANCE

Th. UNIGE 2014, FTI 20 | Web*: 39832

ZHOU, XIUWEN

Multi-scale simulations of the UV-vis absorption spectra of organic chromophores in condensed phases

Dir. Wesolowski, Tomasz Adam

Th. UNIGE 2014, Sc. 4705 | Web*: 40428

RABARIJAONA, BRIGITTE

La figure de Néhémie et la formation de son «Mémoire»: une lecture socio-historique

Dir. Römer, Thomas

Th. UNIGE 2014, Théol. 605 | Web*: 40829

BOISSEZON, AURÉLIE

Distribution et dynamique des communautés de Characées: impact des facteurs environnementaux régionaux et locaux

Dir. Lachavanne, Jean-Bernard; Auderset Joye, Dominique

Th. UNIGE 2014, Sc. 4668 | Web*: 38416

ÉCONOMIE ET MANAGEMENT

BALU, FLORENTINA-OLIVIA

Commodity market and Switzerland's contribution: recent advances, structural modelling and policy guidelines

Dir. Morard, Bernard

Th. UNIGE 2014, SES 856 | Web*: 38952

FOLETTI, LILIANA

The determinants and trade effects of sanitary measures: a closer look at Maximum Residue Levels of pesticides

Dir. Olarreaga, Marcelo

Th. UNIGE 2014, SES 864 | Web*: 40831

KAEHR SERRA, CAROLINE

Three essays on the professionalization of new ventures

Dir. Probst, Gilbert

Th. UNIGE 2014, SES 846 | Web*: 41757

KRISHNAKUMAR, VELAMUR

Media bias and media firm strategy

Dir. Morard, Bernard; Bonardi, Jean-Philippe

Th. UNIGE 2014, SES 833 | Web*: 40737

MC LAREN, ALAIN

On the transmission of prices and of market access shocks

Dir. Olarreaga, Marcelo

Th. UNIGE 2014, SES 863 | Web*: 40208

ROULET, RAPHAËL

Three essays on the antecedents and consequences of social bonding in relationship marketing

Dir. Paulsen, Marcel

Th. UNIGE 2014, SES 855 | Web*: 39661

STAMOU, AIKATERINI

Systematic Service Level Agreement (SLA) data management

Dir. Morin, Jean-Henry

TELLEZ, JUAN MANUEL

Parametric and nonparametric analysis of simultaneous equation models with latent variables: theory and applications

Dir. Krishnakumar, Jaya

Th. UNIGE 2014, SES 858 | Web*: 40452

WENDELSPIESS CHAVEZ J., FLORIAN

Three essays on inequality of opportunity and social mobility

Dir. Krishnakumar, Jaya; Mueller, Tobias

Th. UNIGE 2014, SES 862 | Web*: 40023

SCIENCES DE LA SOCIÉTÉ

CAVALLI, SAMUELE LUCA

Gérer le risque et l'incertitude: une typologie des stratégies professionnelles dans la pratique du dépistage prénatal

Dir. Burton-Jangros, Claudine

Th. UNIGE 2014, SES 860 | Web*: 40456

FAKHFAKH, ABDULLATIF

Ne touche pas à ma parabole! Consommation télévisée et logiques d'appartenance des migrants arabophones à Genève

Dir. Cattacin, Sandro

Th. UNIGE 2014, SES 842 | Web*: 38732

FORBAT, JULIEN

Les politiques publiques de santé environnementale en Europe: un parent pauvre du développement durable?

Dir. Lawrence, Roderick John; Varone, Frédéric

Th. UNIGE 2014, SES 848 | Web*: 40216

GABADINHO, ALEXIS

Methods for the analysis of life trajectories and their applications

Dir. Ritschard, Gilbert

Th. UNIGE 2014, SES 839 | Web*: 39677

LERCH, LOUCA

Mondialisation et digitalisation des territoires indigènes: rôles de l'aide internationale et des technologies de l'information géographique dans les politiques du territoire et du développement en Bolivie

Dir. Giraut, Frédéric

Th. UNIGE 2014, SES 861 | Web*: 40573

MATTILA, HEIKKI SEPO

You want a multicultural immigration country, but we don't want it: ideologies, interests and discursive strategies in German parliamentary debate on the 2004 Immigration Law

Dir. Cattacin, Sandro

Th. UNIGE 2014, SES 844 | Web*: 39925

NAYAK, LUCIE

Sexualité et handicap mental: enquête sur le traitement social de la sexualité des personnes désignées comme «handicapées mentales» en France et en Suisse

Dir. Burton-Jangros, Claudine; Combessie, Philippe

Th. UNIGE 2014, SES 845 | Web*: 40616

REGOLO, JUDE

Essays on export diversification, transaction costs and regional integration among developing countries

Dir. De Melo, Jaime; Carrere, Céline

Th. UNIGE 2014, SES 841 | Web*: 37047

Th. UNIGE 2014, SES 868 | Web*: 40738

STOHR, CHRISTIAN

Spatial dynamics of economic growth in Switzerland from 1860 to 2000

Dir. Huberman, Michaël; Robert-Nicoud, Frédéric

Th. UNIGE 2014, SES 867 | Web*: 41760

TRADUCTION ET INTERPRÉTATION

OLIVERA TOVAR-ESPADA, MAGDALENA

Musical performance and simultaneous interpretation: multitasking processes in musical accompaniment and simultaneous interpretation

Dir. Moser-Mercer, Barbara

Th. UNIGE 2014, FTI | Web*: 40818

RIGGS, ASHLEY

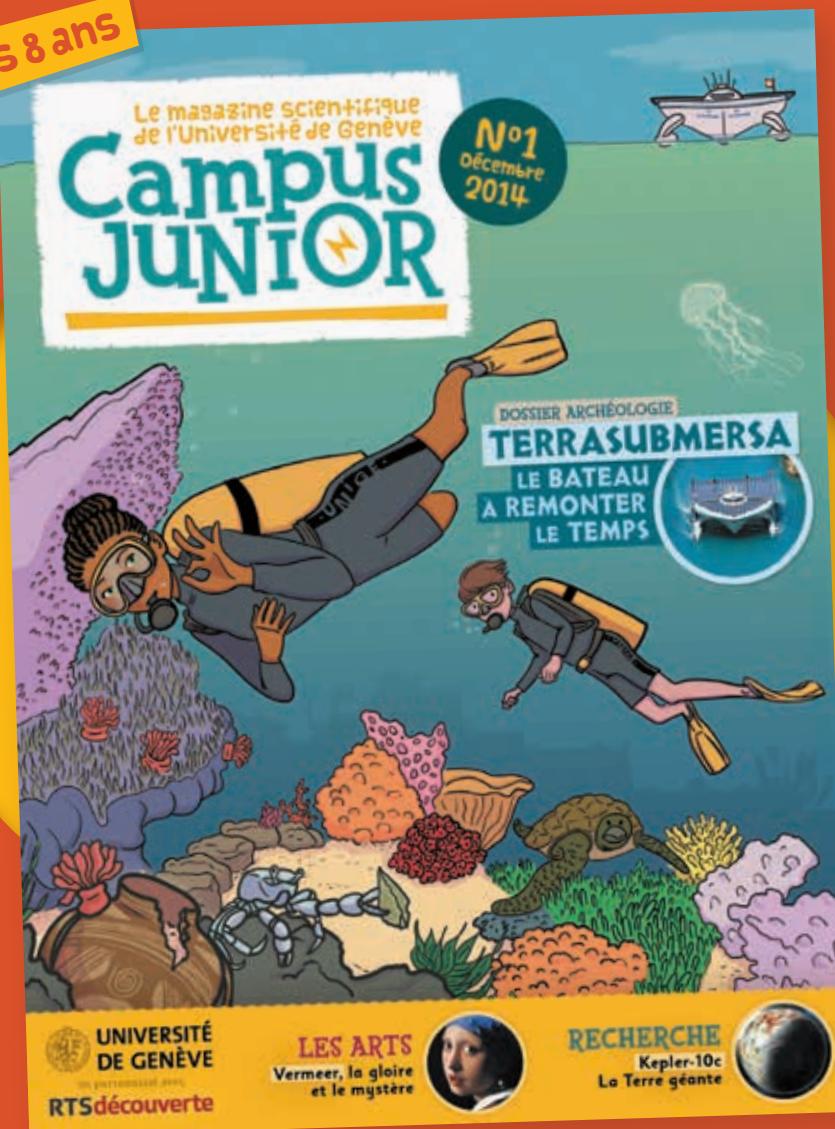
Thrice upon a time: feminist fairy-tale rewritings by Angela Carter and Emma Donoghue, and their French translations

Dir. Hewson, Lance; Hennard Dutheil de la Rochère, Martine

Th. UNIGE 2014, FTI | Web*: 41561

Découvrez le magazine pour enfants de l'Université de Genève

Dès 8 ans



Chaque trimestre "Campus Junior" présente l'actualité des sciences, mais aussi des jeux, des bricolages, des BD...

GRATUIT, SUR ABONNEMENT

Je souhaite m'abonner à Campus Junior

Abonnez-vous sur notre site :

www.unige.ch/campusjunior

ou en remplissant et en envoyant ce coupon à l'adresse suivante :

Université de Genève
Service de communication
24, rue Général Dufour - 1211 Genève 4
Tél. 022/379 77 17 - Fax 022/379 77 29

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

N° postal _____ Localité _____

Tél. _____

E-mail _____

Nombre d'exemplaires _____