

LA MOISSON DE «PLANETS»

P. 18 RETOUR SUR DEUX
PÔLES DE RECHERCHE
NATIONAUX DONT
L'ACTIVITÉ S'ACHÈVE
CETTE ANNÉE: **PLANETS**
ET **SWISSMAP**.

SWISSMAP

L'INVITÉE
RUTH BEN-GHIAT,
TRUMP ET SON
BUNKER
PAGE 38

EXTRA-MUROS
À MAWANA,
LES SINGES
ONT LA PAROLE
PAGE 42

TÊTE CHERCHEUSE
OMAYA DUDIN,
L'ENFANT AU
MICROSCOPE
PAGE 46



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

Ici on lutte pour une uni sans violence.

Cible ou témoin de **violences** à l'université ?
Trouvez le bon relais sur : [**www.unige.ch/help**](http://www.unige.ch/help)



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

04 ACTUS

RECHERCHE

10 DROIT

**CULTURE NUMÉRIQUE:
VERS UNE ÉCONOMIE
PLUS ÉQUITABLE**



À l'heure où les géants du numérique captent l'essentiel de la valeur créée par les artistes et les internautes, Yaniv Benhamou propose un nouveau modèle économique fondé sur une justice distributive.

12 PSYCHOLOGIE

**CLIMAT: LES BONS
GESTES NE SONT PAS
TOUJOURS CEUX
QUE L'ON CROIT**



Pourquoi recycler ses déchets ou éteindre la lumière est-il parfois perçu comme meilleur pour le climat que renoncer à un voyage en avion? Une équipe de la FPSE a mené une étude auprès de 3000 personnes et identifié les principaux mécanismes psychologiques à l'origine de ce type de biais.

DOSSIER: LA MOISSON DE «PLANETS»



16 PLANETS A DOPÉ L'ÉTUDE DES EXOPLANÈTES

Durant douze ans, le Pôle de recherche national PlanetS a réussi à fédérer des astronomes autour de la détection et de la compréhension de systèmes planétaires autres que le Système solaire.

24 LA VIE EST AILLEURS

Découvrir la vie sur d'autres mondes est une quête vieille comme l'humanité, mais semée d'embûches. Le Centre pour la vie dans l'Univers a décidé de relever le défi. Explications avec sa directrice, Émeline Bolmont.

28 CHEOPS, UNE STAR SUISSE AU MILIEU DES ÉTOILES

Le premier satellite suisse d'observation astronomique a reçu l'autorisation de poursuivre sa mission encore trois ans. L'occasion de revenir sur son impressionnant tableau de chasse.

32 DACE, LA COLONNE VERTÉBRALE DE «PLANETS»

Créée grâce aux fonds du Pôle de recherche national, la plateforme DACE permet de centraliser des données uniformisées sur les exoplanètes et d'en faciliter l'analyse par les scientifiques.



35 SWISSMAP OUVRE LA ROUTE VERS LA PHYSIQUE DU FUTUR

Le Pôle de recherche national SwissMAP s'est terminé au printemps après douze ans de travaux. À son actif, de nombreux résultats en mathématiques et en physique théorique. Interview de son directeur, Stanislav Smirnov.

Photo de couverture: Poster dessiné par **François Schuiten**. Vue du ciel depuis la coupole de l'Observatoire de Paris avec, en bas, le satellite **Cheops**

RENDEZ-VOUS



38 L'INVITÉE RUTH BEN-GHIAT, TRUMP ET SON BUNKER

Spécialiste de l'autoritarisme, Ruth Ben-Ghiat, professeure à l'Université de New York, sera de passage à Genève cet automne pour recevoir le titre de docteur honoris causa de l'UNIGE.



42 EXTRA-MUROS À MAWANA, LES SINGES ONT LA PAROLE

En Afrique du Sud, Clémence De Scheemaekere observe le comportement de singes vervets dans le but de mieux comprendre les ressorts de la communication entre ces petits primates.



46 TÊTE CHERCHEUSE OMAYA DUDIN, L'ENFANT AU MICROSCOPE

Lauréat de la Médaille d'or de l'EMBO, le jeune chercheur étudie les mécanismes qui ont permis aux premiers organismes unicellulaires d'évoluer pour donner naissance aux animaux multicellulaires.

50 À LIRE

SCIENCES PHARMACEUTIQUES

**VIRGINIE HAMEL ÉLUE
MEMBRE DE LA EUROPEAN
MOLECULAR BIOLOGY
ORGANIZATION**



Maître d'enseignement et de recherche au Département de biologie moléculaire et cellulaire (Faculté des sciences), Virginie Hamel a été élue membre de l'European Molecular Biology Organization (EMBO), l'une des plus hautes distinctions scientifiques dans le domaine des sciences de la vie. Cette adhésion est une distinction à vie qui récompense l'excellence scientifique et les contributions exceptionnelles à la recherche en sciences de la vie.

**MARC AUDARD RÉÉLU
AU BOARD OF DIRECTORS
DU JOURNAL «ASTRONOMY
& ASTROPHYSICS»**



Maître d'enseignement et de recherche au Département d'astronomie (Faculté des sciences), Marc Audard a vu son mandat au sein du Comité exécutif du Board of Directors du journal *Astronomy & Astrophysics* renouvelé pour la période 2026-2029. *Astronomy & Astrophysics* est une revue internationale open access regroupant les publications scientifiques d'astronomes de 28 pays, dont la Suisse, représentée par l'Académie des sciences naturelles.

Consommer du cannabis est associé à un taux de testostérone plus élevé

Les jeunes hommes qui consomment du cannabis présentent un taux de testostérone plus élevé que la moyenne. Mais cette association ne concerne pas la plupart des autres hormones sexuelles masculines et n'a pas de lien direct avéré avec la fertilité. C'est ce qui ressort d'une étude parue le 16 avril dans *Communications Medicine* et menée par l'équipe de Serge Rudaz, professeur à la Section des sciences pharmaceutiques (Faculté des sciences).

On suspecte depuis longtemps le cannabis de réduire le nombre, la concentration et la mobilité des spermatozoïdes. Ces effets seraient liés au système endocannabinoïde, un réseau de messagers chimiques et de récepteurs présents dans le cerveau et les organes reproducteurs, qui interagit avec les hormones sexuelles. Cependant, les conclusions des recherches menées jusqu'à présent sont contradictoires. Pour tenter d'y voir plus clair, Serge Rudaz et ses collègues ont réalisé une analyse de certaines d'hormones sexuelles – là où les travaux précédents ne se concentraient que sur la testostérone –, incluant notamment les androgènes, les progestagènes et les œstrogènes. L'étude a porté sur des échantillons de plasma sanguin provenant de 94 conscrits suisses âgés de 18 à 23 ans, dont la moitié est composée de consommateurs avérés de cannabis.

Il en ressort que la consommation de cannabis entraînerait une augmentation de la testostérone d'environ 23%. Mais l'analyse montre que la source de cette augmentation se situe



au niveau des testicules. Les androgènes produits par les glandes surrénales, eux, ne sont pas concernés par cette hausse. Le cannabis aurait donc une action directe sur les testicules et, plus particulièrement, sur les cellules de Leydig, productrices de testostérone.

L'étude ne permet pas d'établir un lien entre cette élévation du taux d'hormones et la qualité du sperme. Si le cannabis semble perturber certains processus biologiques liés à la reproduction, les conséquences cliniques exactes sur la fertilité des jeunes hommes devront encore faire l'objet de recherches supplémentaires.

Les scientifiques ont aussi observé chez les consommateurs de cannabis une augmentation du taux de deux autres métabolites dérivés de la progestérone, l'hydroxyprogestérone et la dihydroprogestérone. La hausse est si élevée que ces composés pourraient être utilisés pour suivre les perturbations endocriniennes liées à une exposition régulière au cannabis.

NEUROSCIENCES

Les animaux de toutes les espèces communiquent avec le même rythme

La quasi-totalité des espèces animales vocalisent depuis des centaines de millions d'années selon un rythme commun. Selon un article de *PLoS Biology* du 9 juin, insectes, grands singes, oiseaux et poissons communiquent certes avec toutes sortes de sons dont la hauteur et le timbre sont différents et jouent un rôle important. Mais l'analyse de plus de 2000 enregistrements de sons émis par 98 espèces a montré que toutes vocalisent selon une cadence étonnamment similaire

– environ deux ou trois événements acoustiques par seconde avec un maximum marqué autour de 2,8 Hz – indépendamment de leur taille, de leur environnement ou de leur complexité sociale. Cette contrainte serait liée à la capacité du cerveau à traiter les stimuli auditifs. Et le langage humain ne fait pas exception, précise l'auteure principale de l'étude, Anne-Lise Giraud, professeure titulaire au Département des neurosciences fondamentales (Faculté de médecine).

SCIENCES PHARMACEUTIQUES

La danse macabre entre protéines «gardiennes» et protéines «tueuses»

C'est à une danse macabre que se livrent protéines «tueuses» et protéines «gardiennes». Représentante de la première catégorie, tBid est chargée de déclencher la mort programmée de la cellule qui l'héberge (apoptose). Appartenant à la seconde, Bcl-xL a pour mission d'empêcher ce forfait. L'équilibre entre la vie et la mort se joue dans le combat entre ces deux protagonistes. Tant que Bcl-xL parvient à neutraliser tBid dans ses circonvolutions protéiques, l'apoptose est inhibée. Si cette tâche n'est plus remplie, tBid, une fois libérée, s'en va se lier avec la protéine Bax, installée dans la membrane des mitochondries (les centrales énergétiques des cellules), provoquant la destruction de l'organelle puis de la cellule.

Ce processus est décrit en détail dans un article des *PNAS* publié le 11 mai. L'étude, menée par les équipes d'Enrica Bordignon et de Francesco Luigi Gervasio, professeure au Département de chimie physique et professeur au Département des sciences pharmaceutiques (Faculté des sciences), montre comment Bcl-xL séquestre une petite partie spécifique de tBid, laissant le reste flexible. En combinant la technique de mesure de résonance paramagnétique électronique et des simulations par ordinateur, les scientifiques ont défini quelle région de Bcl-xL agit comme un «verrou», neutralisant tBid.

Mécanisme essentiel pour la régulation de la population cellulaire, l'apoptose permet, au cours de la vie, d'éliminer les cellules

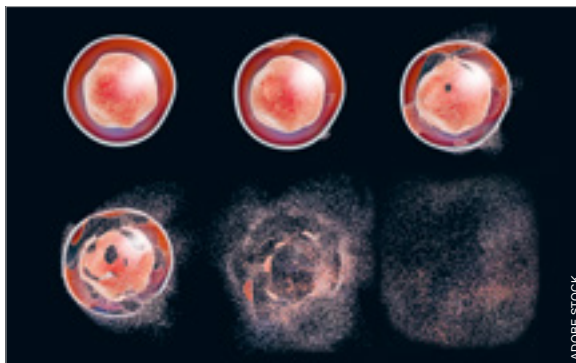


Illustration des différentes étapes de la destruction cellulaire.

endommagées et de rendre ainsi possible leur renouvellement. La perturbation de ce processus complexe peut provoquer des maladies graves. Les cellules cancéreuses, par exemple, produisent souvent ces protéines gardiennes en excès, ce qui neutralise les protéines tueuses et désactive l'un des mécanismes de défense les plus efficaces de l'organisme. À l'inverse, une mort cellulaire excessive peut, entre autres, provoquer des maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson.

Des traitements anticancéreux ciblant les mécanismes de contrôle de l'apoptose sont déjà utilisés, mais ils ne ciblent pas uniquement les tissus cancéreux et les protéines gardiennes spécifiques impliquées. Les résultats de l'étude genevoise pourraient guider la conception de traitements plus sélectifs et provoquant moins d'effets secondaires.

LAURENCE BOISSON DE CHAZOURNES DISTINGUÉE PAR L'AMERICAN SOCIETY OF INTERNATIONAL LAW



L'American Society of International Law (ASIL) a décerné la Manley O. Hudson Medal à Laurence Boisson de Chazournes, professeure honoraire de la Faculté de droit, pour ses analyses, ses commentaires critiques et ses nouvelles perspectives sur les questions énergétiques et environnementales, la gestion des ressources naturelles, les organisations internationales, le sport, l'investissement et le droit international public, notamment en matière de frontières et de droit de la mer.

FRÉDÉRIC TINGUELY, LAURÉAT DU PRIX NELLY-SACHS



Professeur au Département de langue et littérature françaises modernes, Frédéric Tinguely obtient le Prix Nelly-Sachs de la meilleure traduction poétique, pour sa traduction en français des sonnets de l'Arioste (1474-1533). Les amoureux de l'amour reconnaîtront une voix originale dans ces poèmes du corps et du désir; les amoureux du sonnet goûteront la technique d'un poète aux ouvrages ciselés parfaitement rendus dans la traduction inventive de Frédéric Tinguely. Quant aux amoureux des lettres, ils ne seront pas mécontents de rencontrer une œuvre portée par tant de délicatesse et tant de goût. Entrer dans les sonnets de l'Arioste, c'est faire l'expérience d'une densité qui invite à tirer le meilleur de soi.

PSYCHIATRIE

Les ondes cérébrales influencent les capacités langagières des enfants autistes

Le développement du langage chez les enfants autistes n'est pas uniforme. Certains progressent sans difficultés notables tandis que d'autres présentent des retards marqués ou ne parlent pratiquement pas. Une étude parue le 25 mai dans *Translational Psychiatry* montre que l'activité de certaines ondes cérébrales évolue différemment avec l'âge selon les capacités langagières des enfants. L'équipe de Marie Schaer, professeure au Département de psychiatrie (Faculté de médecine), a analysé l'activité cérébrale de 122 participantes issues de la Cohorte genevoise d'enfants autistes et

de 66 autres au développement normal (tous âgés de 18 mois à 6 ans), pendant le visionnage d'un dessin animé de leur choix. Il en ressort notamment que l'activité cérébrale dans la bande de fréquences élevées dite des ondes gamma, impliquée dans le traitement de l'information et du langage, est plus élevée et plus persistante au cours du développement chez les enfants autistes que chez les autres. Cette différence pourrait constituer un marqueur des trajectoires du langage et permettre une prise en charge précoce d'un trouble qui concerne environ 1 enfant sur 36.

CAMILLA JANDUS,
LAURÉATE DU PRIX
ROBERT WENNER 2026
DE LA LIGUE SUISSE
CONTRE LE CANCER



Professeure associée au Département de pathologie et immunologie (Faculté de médecine), Camilla Jandus est l'une des deux chercheuses lauréates du Prix Robert Wenner 2026 de la Ligue suisse contre le cancer, en compagnie de Michal Bassani-Sternberg de l'Université de Lausanne. Camilla Jandus est récompensée pour ses recherches sur la réponse immunitaire face au cancer. Ses travaux portent sur la manière dont les cellules immunitaires reconnaissent les tumeurs et parviennent à les combattre durablement.

IGOR MATIAS, LAURÉAT
DU VONTOBEL AWARD FOR
RESEARCH ON AGE(ING)



Doctorant en systèmes d'information au Research Institute for Statistics and Information Science (Faculté d'économie et de management), Igor Matias est lauréat du Vontobel Award for Research on Age(ing). Cette distinction lui a été attribuée pour ses recherches sur l'apport des technologies grand public telles que les montres connectées ou les téléphones mobiles pour le monitoring des altérations de la santé cérébrale.

ÉCONOMÉTRIE

La déforestation ralentit. Mais pas grâce à l'engagement des entreprises

En Indonésie, la déforestation a diminué dans les filières engagées en faveur de la «zéro déforestation». Mais pas davantage que dans celles sans engagement. C'est ce qui ressort d'une étude portant sur l'évolution de la destruction des forêts associée aux entreprises du secteur de l'huile de palme. Paru le 13 juillet dans les *Proceedings of the National Academy of Sciences*, ce résultat suggère que les engagements en faveur de la préservation des forêts tropicales, essentielles à la biodiversité, à la régulation du climat et au stockage du carbone, n'ont pas eu d'effet additionnel et n'expliquent donc pas le recul récent de la déforestation en Indonésie. Plus de la moitié des surfaces forestières perdues (43 millions d'hectares dans le monde entre 2004 et 2017) auraient cédé à l'expansion des terres agricoles, notamment pour l'élevage et la culture du palmier à huile. Certains pays ont mis en place des politiques pour enrayer ce phénomène tandis que des entreprises ont pris des engagements dits de «zéro déforestation et conversion» (ZDC).

Matthieu Stigler, professeur assistant à l'Institut d'économie et d'économétrie (Faculté d'économie et de management), et ses collègues ont évalué l'efficacité de ces ZDC dans le secteur de l'huile de palme en Indonésie en s'appuyant sur des images satellites et en exploitant des bases de données publiques recensant les entreprises ayant pris de tels



Plantation de palmiers sur l'île de Bornéo, Indonésie.

engagements. Les scientifiques ont pu rattacher plus de 2600 plantations à 1200 moulins, eux-mêmes reliés à 190 entreprises. Les résultats montrent que les fournisseurs respectent leurs engagements, associés à une réduction de la déforestation de 6,63%. Mais les entreprises qui n'y ont pas souscrit ont enregistré une baisse quasi comparable de 6,50%.

Le phénomène pourrait s'expliquer par des conditions économiques défavorables à l'expansion des cultures et par les moratoires du gouvernement indonésien, qui limitent déjà le déboisement. L'étude n'exclut pas, cependant, qu'en cas d'augmentation de la pression exercée sur les forêts – en raison de conditions économiques défavorables ou d'un changement de politique de conservation –, les entreprises ayant pris des engagements ZDC puissent parvenir à une réduction plus importante de la déforestation.

ÉVOLUTION

Improvisation, méditation et jeux de société aident les ados anxieux

La pratique régulière en classe de l'improvisation théâtrale, de la méditation pleine conscience et des jeux de société axés sur les émotions peut stabiliser, voire améliorer, la santé mentale des élèves les plus anxieux. C'est ce qui ressort d'une étude dirigée par Nathalie Mella et Gwladys Rey, respectivement chargée de cours et adjointe scientifique à la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation. Le travail, portant sur 300 élèves de 15 ans et plus scolarisés dans trois établissements genevois, doit paraître dans le numéro de décembre de la revue *Social and Emotional Learning: Research, Practice, and Policy*, mais est déjà disponible en ligne.

Durant neuf semaines, certaines classes ont pratiqué les trois activités tandis qu'un groupe «témoin» a suivi un cours neutre. Dans ce dernier, les jeunes ont vu leurs difficultés émotionnelles et comportementales augmenter et leur sentiment d'efficacité personnelle diminuer. Les autres ont vu ces deux dimensions rester globalement stables, avec une légère diminution des difficultés émotionnelles et relationnelles chez les élèves les plus anxieux ayant pratiqué la méditation pleine conscience. Les élèves ayant suivi les cours d'improvisation montrent aussi une progression de l'empathie cognitive ainsi que de leur disposition à collaborer.

ÉVOLUTION

Le motif géométrique de l'implantation des poils obéit à un gradient chimique

Chez les mammifères, les follicules pileux apparaissent durant le développement embryonnaire et leur implantation forme des motifs géométriques plus ou moins complexes qui varient selon l'espèce. Selon une description classique, dite d'expansion-induction, les précurseurs des follicules pileux (placodes) se forment par vagues successives lors de la croissance embryonnaire de la peau, les placodes existantes inhibant le développement des placodes voisines jusqu'à une certaine distance. Dans un article paru dans la revue *PNAS* du 2 juillet, Athanasia Tzika, maître d'enseignement et de recherche au Département de génétique et évolution (Faculté des sciences),

et ses collègues identifient plutôt la chimiotaxie – le mouvement de cellules en réponse à un gradient de molécules chimiques – comme un mécanisme alternatif. En comparant des simulations informatiques et des données expérimentales de développement chez deux espèces de rongeurs (la souris de laboratoire *Mus musculus* et la souris épineuse *Acomys dimidiatus*) présentant des motifs folliculaires très différents, l'étude montre que ce mécanisme chimique d'auto-organisation peut générer une grande diversité d'agencements de précurseurs de poils.



Souris épineuses
(«*Acomys dimidiatus*»).

MÉDECINE

Une méthode non invasive parvient à stimuler le cerveau en profondeur



Interaction entre trois champs électriques créant une stimulation profonde dans un cerveau de souris.

La stimulation cérébrale permet de corriger l'activité électrique anormale de circuits neuronaux impliqués, notamment, dans la maladie de Parkinson et la dépression. Cependant, les approches actuelles de stimulation transcrânienne, effectuées depuis le cuir chevelu, n'atteignent que les régions superficielles du cortex, ce qui limite leurs applications. Quant à la stimulation cérébrale profonde, elle permet de cibler des structures moins accessibles, mais elle requiert l'implantation d'électrodes. Valerio Zerbi, professeur assistant aux départements de psychiatrie et des neurosciences fondamentales (Faculté de médecine), et ses collègues présentent une technologie intermédiaire à laquelle ils ont apporté une amélioration dans la revue *Cell Systems* du 15 juillet.

Appelée «stimulation par interférence temporelle» (TIS), cette technique repose sur l'interférence entre deux champs électriques de haute fréquence (auxquels les neurones sont peu sensibles) appliqués depuis le cuir chevelu, avec un léger décalage de fréquence. Lorsque ces champs se rencontrent dans le cerveau, leur différence de fréquence crée un signal plus lent auquel les neurones répondent. Cette interférence permet théoriquement de cibler une région profonde sans stimuler les tissus traversés. Pour en être sûrs, les scientifiques ont stimulé une région cérébrale profonde chez la souris. Les résultats confirment que la TIS module bien l'activité neuronale dans la région visée mais révèlent aussi des activations non désirées dans d'autres circuits. Pour améliorer la précision du dispositif, les chercheurs et chercheuses ont ajouté une troisième paire d'électrodes qui a permis de neutraliser les champs électriques dans les régions non ciblées, sans diminuer l'effet dans la zone d'intérêt. Cette avancée répond à l'un des principaux obstacles de la TIS et pourrait servir dans le ciblage de petites structures profondes impliquées dans la dépression, les TOC, certaines addictions ou encore la maladie de Parkinson. Ces résultats ne font pas encore de la TIS un substitut direct à la stimulation cérébrale profonde mais ils renforcent considérablement son potentiel clinique.

NICOLAS WINSSINGER RÉCOMPENSÉ PAR LE KLAUS GROHE PRIZE



Nicolas Winssinger, professeur au Département de chimie organique (Faculté des sciences), est colauréat du Klaus Grohe Prize, une distinction prestigieuse en chimie médicinale, décernée par la Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh). Ce prix récompense ses contributions pionnières à l'interface de la chimie organique, de la biologie chimique et de la recherche thérapeutique, ouvrant la voie à une nouvelle génération de médicaments capables de détecter, interpréter et répondre à des signaux biologiques avec une précision sans précédent.

L'ÉQUIPE D'ARIEL RUIZ I ALTABA DÉCROCHE LE PRIX 3R 2026



Le Prix 3R, qui récompense des travaux contribuant à réduire, raffiner et remplacer l'expérimentation animale, distingue cette année un outil d'intelligence artificielle appelé «MangroveGS», capable de prédire le risque de métastases. Développée par (de droite à gauche) Ariel Ruiz i Altaba, Arwen Conod et Aravind Srinivasan, respectivement professeur, maître-assistante et étudiant au Département de médecine génétique et développement (Faculté de médecine), cette innovation réduit de manière significative le recours au modèle animal grâce à une analyse informatique avancée des données biomédicales.

HUMANITAIRE

Il faut réformer le système humanitaire

Inverser le rapport de force, mettre fin à l'impunité, réformer le financement et garantir la santé pour toutes et tous: telles sont les quatre recommandations formulées dans le rapport présenté le 20 mai à Genève par la Commission CHH-Lancet sur la santé, les conflits et les déplacements forcés, dont Karl Blanchet, professeur et directeur du Centre d'études humanitaires (Faculté de médecine) est le coprésident. Le document constate que face à l'intensification des conflits, à la multiplication des déplacements forcés et à l'impunité des violations du droit international, le système humanitaire mondial ne parvient plus à remplir sa mission de protection des populations à large échelle. Et pour cause. Les financements humanitaires mondiaux sont passés, durant l'année

2025, de 44 à 29 milliards de dollars. Sur les 239 millions de personnes qui auront besoin d'une assistance humanitaire en 2026, 87 millions devraient recevoir un soutien vital. Dans les zones de conflit, la majorité des décès résulte de l'effondrement des systèmes de santé essentiels.

Le rapport appelle à quatre actions urgentes: placer les communautés affectées – et non la géopolitique – au centre de l'allocation des ressources, mettre sur pied une alliance mondiale pour la protection des populations civiles, du personnel de santé et des infrastructures médicales, mettre en place un fonds mondial indépendant et faire en sorte que la guerre ne suspende pas le droit à la santé, chaque décision devant être ancrée dans ce droit fondamental.

THÈSES

Toutes les thèses sont consultables dans l'archive ouverte de l'UNIGE:
<https://archive-ouverte.unige.ch>

FACULTÉ DE MÉDECINE

Optimiser la surveillance épidémiologique

La pandémie de Covid-19 a mis en lumière les limites des systèmes de surveillance épidémiologique traditionnels, reposant sur les diagnostics cliniques et les tests virologiques. Dans ce contexte, les études de séroprévalence ont émergé comme un outil essentiel pour estimer l'étendue réelle de l'infection dans la population. Ces enquêtes offrent en effet une photographie plus fidèle de la dynamique épidémique, en incluant les infections silencieuses ou non diagnostiquées. De plus, elles constituent une base précieuse pour identifier les groupes les plus touchés, évaluer l'immunité collective potentielle à travers le temps et guider les stratégies de santé publique. L'étude SEROCov-POP, menée à Genève au printemps 2020, compte parmi les premières études de séroprévalence rigoureuses publiées pendant la pandémie de Covid-19. L'objectif de cette thèse est de démontrer la valeur de ce type d'approche en tant qu'outil de surveillance épidémiologique en contexte pandémique, à travers l'exemple de l'étude SEROCov-POP.

Après un examen critique de ses apports, de ses forces et de ses limites méthodologiques, l'auteure explore le rôle que pourraient jouer les enquêtes de séroprévalence dans la construction de systèmes de surveillance post-pandémiques intégrés et résilients face aux futures menaces sanitaires.

Les études de séroprévalence populationnelles – un outil de surveillance épidémiologique du Covid-19, thèse en médecine, par Ania Wisniak, Dir. Silvia Stringhini, Idris Guessous, 2026
archive-ouverte.unige.ch/unige:193521

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA SOCIÉTÉ

Le film de la ville

Cette thèse explore les usages sociaux et politiques de la vidéographie à 360° – qui consiste à capturer l'intégralité de la scène environnante dans toutes les directions de manière simultanée – dans trois contextes urbains (Lagos, Cotonou et Dakar). Elle décrit comment, mobilisée par les promoteurs de mégaprojets, cette technologie donne corps à des visions futuristes qui effacent des mémoires collectives et légitiment des processus de dépossession.

FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Mieux former au travail en situation de handicap

Les personnes en situation de handicap endossent de plus en plus de rôles professionnels. Comprendre la manière et les conditions selon lesquelles elles peuvent développer leurs compétences est indispensable pour favoriser leur inclusion. Cette thèse se focalise sur le métier de formateur et formatrice d'adultes endossé par des personnes concernées qui sont guidées et accompagnées par des formateurs et formatrices. Elle se décline en deux volets centrés sur une analyse du travail réel des formateurs en situation de handicap et sur la création de dispositifs de formation leur étant dédiés. Une approche théorique centrée sur les interactions et une autre centrée sur le point de vue des formateurs ont renseigné

ces études. Les résultats mettent en avant l'importance de la reconnaissance comme élément clé du travail des binômes formateurs en situation de handicap et formateur accompagnant, la capacité des formateurs en situation de handicap à créer des opportunités d'apprentissage pour les participants à la formation, et les différentes manières qu'ont les personnes en situation de handicap de développer leurs compétences.

Le développement des compétences professionnelles de formateurs et formatrices en situation de handicap sur la place de travail et dans des dispositifs de formation: un enjeu d'inclusion et de participation au cœur d'une recherche-intervention, thèse en sciences de l'éducation, par Léa Beaud, Dir. Laurent Fillietaz, Simon Flandin, 2026
archive-ouverte.unige.ch/unige:193705

d'interprétation des imaginaires sociotechniques. Il démontre ainsi que la fabrique de l'urbain se déploie sur un terrain sensible, façonné par les technologies immersives et les imaginaires qu'elles véhiculent.

Immersion et subversion: fantasmagories, vidéos à 360° et appropriations média-activistes dans trois villes d'Afrique de l'Ouest, thèse en sciences de la société, par Hervé Roquet, Dir. Armelle Choplin, Jean-François Staszak, 2026
archive-ouverte.unige.ch/unige:194623

Abonnez-vous à «Campus»!

Découvrez les recherches genevoises, les dernières avancées scientifiques et des dossiers d'actualité sous un éclairage nouveau.

L'Université de Genève comme vous ne l'avez encore jamais lue!

Université de Genève
 Service de communication
 24, rue Général-Dufour
 1211 Genève 4
campus@unige.ch
www.unige.ch/campus



REDISTRIBUTION

CULTURE NUMÉRIQUE: VERS UNE ÉCONOMIE PLUS ÉQUITABLE

À L'HEURE OÙ LES GÉANTS DU NUMÉRIQUE CAPTENT L'ESSENTIEL DE LA VALEUR CRÉÉE PAR LES ARTISTES ET LES INTERNAUTES, YANIV BENHAMOU PROPOSE UN NOUVEAU MODÈLE ÉCONOMIQUE FONDÉ SUR UNE **JUSTICE DISTRIBUTIVE**.

Sur Deezer, l'application de streaming musical française, près de 50% des nouveaux contenus – soit environ 2 millions de pistes par mois – sont aujourd'hui générés par l'intelligence artificielle (IA). Dans un tel contexte, il est de plus en plus difficile pour les artistes de se faire une place sur le marché. Une situation d'autant plus préoccupante que les entreprises spécialisées dans la génération musicale par IA sont soupçonnées d'entraîner leurs modèles à partir d'enregistrements protégés par le droit d'auteur. Dans *Creative Value Chains: Copyright and Beyond for a Better Value Distribution*, un ouvrage publié cet été aux Éditions Bristol University Press, Yaniv Benhamou, professeur associé à la Faculté de droit, décrypte les mécanismes d'une économie numérique dont les profits sont à l'heure actuelle essentiellement captés par les grandes plateformes, tout en dessinant les contours d'un nouveau cadre fondé sur une justice distributive et une réassignation de la valeur. Entretien.

Campus: Pourquoi avoir choisi d'analyser l'économie du numérique à travers les industries créatives en vous concentrant sur la musique, les jeux vidéo et les arts visuels?

Yaniv Benhamou: D'abord, parce que je connais ces milieux de l'intérieur, pratiquant la musique de façon semi-professionnelle en tant que saxophoniste depuis une vingtaine d'années. Ensuite, parce que ces trois secteurs illustrent des dynamiques très différentes face au numérique. La musique a été l'une des premières à être profondément transformée

par l'essor du streaming. À l'inverse, les arts visuels sont les plus résistants au changement induit par le numérique. Quant aux jeux vidéo, ils génèrent des revenus supérieurs à ceux du cinéma et de la musique réunis. Ces trois domaines ont par ailleurs joué un rôle précurseur dans les changements technologiques et de société, avec, par exemple, le développement des technologies immersives, du streaming ou de la blockchain. Les étudier permet de comprendre les transformations en cours et de concevoir des solutions applicables plus largement.

L'essentiel de la valeur produite par l'économie créative est aujourd'hui capté par les plateformes. Quelles sont-elles?

D'abord, les sites de streaming, comme Spotify pour la musique, qui interceptent une grande part des revenus sans les redistribuer équitablement aux ayants droit. Ensuite, les réseaux sociaux, comme TikTok qui touche 2,5 milliards d'internautes par mois et qui transforme toutes leurs activités (publications, interaction sociale, temps d'écran...) en données monétisées. Enfin, les intelligences artificielles, comme ChatGPT, qui puisent massivement dans les contenus disponibles en ligne pour entraîner leur modèle et accroître leurs performances.

L'activité des internautes sur les réseaux sociaux ou le web constitue-t-elle une valeur en soi?

L'économie créative englobe tout ce qui génère de la valeur en ligne, qu'il s'agisse de publier une photo ou de liker un contenu.

Ces données sont converties en *commodities*, en matières premières, puis revendues à des annonceurs ou utilisées pour enrichir les algorithmes ou entraîner des IA.

Dans votre livre, vous insistez sur le concept de «chaîne de valeur créative». De quoi s'agit-il?

La «chaîne de valeur créative» désigne le fait que la création est toujours le résultat d'un travail collectif. Il faut abandonner l'image romantique de l'artiste travaillant seul dans son atelier: une multitude d'acteurs/trices interviennent à différentes étapes. Dans la musique, par exemple, le/la compositeur-trice collabore avec des instrumentistes, un-e arrangeur-euse, un-e producteur-trice et un-e directeur-trice artistique. Les labels entrent ensuite en jeu pour mobiliser leur réseau, organiser des concerts et contribuer à la dimension scénique. Enfin, les internautes participent en écoutant, partageant ou recommandant l'œuvre. Chacun, chacune ajoute une valeur significative à la création et devrait donc en percevoir une part.

Il existe pourtant aujourd'hui une forte asymétrie de pouvoirs entre artistes et internautes d'un côté, et plateformes de l'autre. Comment y remédier?

Pour les personnes participant au processus créatif, je propose de recourir au principe de justice distributive qui permet de rééquilibrer les pouvoirs dans un cadre légal. En s'appuyant sur le droit d'auteur actuel, de nouveaux droits à rémunération pourraient être accordés pour le streaming et l'utilisation de



DAVID DUCREST

contenus dans l'entraînement des IA. Ces droits couvriraient non seulement la création, mais aussi toutes les couches qui lui sont associées, qui peuvent être identifiées grâce à des technologies comme le tatouage numérique (*watermarking*) permettant d'apposer une empreinte invisible sur une production.

Qu'en est-il des internautes?

Tout internaute, dès lors qu'il ou elle se connecte, génère non intentionnellement de la valeur qui est monétisée de manière unilatérale par les plateformes. Pour mieux la redistribuer, je recommande de créer des coopératives de données, sur le modèle des sociétés de gestion comme Suisa dans le domaine musical. Celles-ci seraient chargées de négocier et de collecter les rémunérations. Elles pourraient s'appuyer sur des contrats types pour fixer les conditions d'accès aux données et, ainsi, inverser la logique actuelle qui voit les plateformes imposer leurs règles.

Vous imaginez également la création de plateformes éthiques. De quoi s'agit-il?

De plateformes partagées (*co-owned platforms*), au sein desquelles chaque artiste ou

internaute participerait aux orientations et à la gouvernance. Cela permettrait d'envisager des modèles de visibilité ou de rémunération qui ne soient pas guidés par la rentabilité. Aujourd'hui, seul 1% des morceaux concentre l'essentiel de l'écoute et des redevances de droits d'auteur, tandis que 70% d'entre eux ne sont jamais joués. Les plateformes partagées offriraient une alternative aux artistes qui ne sont pas des superstars.

Quel rôle les politiques publiques devraient-elles jouer dans ce processus?

Elles sont indispensables pour compléter le dispositif et soutenir les professions culturelles. Ce soutien doit concerner l'ensemble de la chaîne créative, y compris les intermédiaires que sont les labels, les éditeurs/trices de jeux vidéo, les collectifs d'artistes plasticien·nes... L'enjeu est de renforcer tout le secteur, de favoriser sa professionnalisation et de lui accorder un plus grand pouvoir de négociation.

Ce modèle est-il réaliste face au poids des grandes plateformes?

Les solutions que je propose sont concrètes et réalisables. Elles reconnaissent que les

plateformes doivent rester rentables et qu'elles contribuent à la visibilité des artistes, tout en proposant un meilleur partage de la valeur pour éviter la disparition des métiers de la création et de la diversité culturelle. Mais il s'agit aussi de ne pas laisser ces acteurs imposer les règles du jeu. Début avril, OpenAI, l'entreprise à l'origine de ChatGPT, a publié sa «politique industrielle pour l'ère de l'intelligence», un texte qui plaide pour une nouvelle économie du web à travers des mesures présentées comme centrées sur l'humain. Si l'entreprise cherche certainement à soigner ainsi son image, on comprend aussi qu'elle tente d'obtenir plus de moyens en appelant notamment à un soutien public pour financer ses modèles d'IA. Le rôle des académiques consiste précisément à formuler des propositions plus équilibrées.

Propos recueillis par Méline Tipticoglou

«Creative Value Chains: Copyright and Beyond for a Better Value Distribution», par Yaniv Benhamou, Bristol University Press, 274 p.



Si le fait de trier ses déchets reste utile et louable en soi, il fait partie des gestes dont l'impact est généralement surestimé par la population.



COMPÉTENCE CARBONE

CLIMAT: LES BONS GESTES NE SONT PAS TOUJOURS CEUX QUE L'ON CROIT

EST-IL PRÉFÉRABLE EN TERMES DE PROTECTION DU CLIMAT DE RECYCLER SES DÉCHETS ET ÉTEINDRE LA LUMIÈRE OU DE RENONCER À UN VOYAGE EN AVION? UNE ÉTUDE A IDENTIFIÉ LES PRINCIPAUX **MÉCANISMES PSYCHOLOGIQUES** À L'ORIGINE DE CES BIAIS.

Pour lutter efficacement contre le réchauffement climatique, il faut certes s'armer de bonne volonté, être prêt à modifier certaines de ses habitudes et faire preuve d'une bonne dose de motivation. Mais ce qui importe peut-être le plus, c'est de posséder un minimum de connaissances en matière de compétence carbone, soit la capacité à évaluer correctement l'impact de telle ou telle action individuelle sur les émissions de gaz à effet de serre. Or à ce petit jeu-là, il semblerait que le commun des mortels soit plus proche du bonnet d'âne que des palmes académiques. C'est du moins ce que laissent penser les résultats d'une étude publiée le 3 août dans *Nature Sustainability* dont il ressort une forte tendance à surestimer l'impact positif de certaines actions qui ont en réalité peu d'impact sur le climat, alors qu'à l'inverse les gestes les plus significatifs sont peu valorisés. Explications avec Mario Herberz, postdoctorant au Laboratoire de décision du consommateur et de comportement durable de la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation (FPSE) et premier auteur de l'étude.

«À notre connaissance, c'est la première étude à examiner un éventail aussi large d'actions avec un tel niveau de détail, explique le chercheur. Nous avons en effet retenu 32 actions individuelles pertinentes pour un habitant du Nord global, allant des gestes à faible impact à ceux ayant un effet beaucoup plus important, qui sont organisées en trois secteurs: le ménage, l'alimentation et les transports. Nous avons ensuite analysé la manière dont les participants estimaient l'impact bénéfique de ces actions lorsqu'elles sont adoptées par une personne lambda.»

Les résultats obtenus auprès d'un échantillon représentatif de 3000 participants ont dans un second temps été comparés avec les

données objectives sur le poids réel de ces actions en termes d'émissions de CO₂. Pour ce faire, Mario Herberz et ses collègues se sont appuyés sur une vaste étude de 2020 compilant l'ensemble des travaux existants sur l'analyse des cycles de vie de différents biens de consommation (du processus de production au recyclage). La plupart de ces valeurs ayant été recueillies aux États-Unis, c'est également sur ce pays que l'équipe de l'UNIGE a jeté son dévolu pour cette étude, moyennant une série de questionnaires en ligne.

Il ressort de ce travail que l'impact de petites actions – recyclage, utilisation de matériaux recyclés, achat d'appareils électroménagers plus efficaces, amélioration de l'isolement thermique du logement, télétravail – est surestimé par les participants. A contrario, les mesures plus déterminantes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre – renoncer à l'avion, vivre sans voiture ou opter pour un véhicule électrique, recourir à de l'énergie renouvelable – sont sous-estimées.

De manière un peu contre-intuitive, les scientifiques ont par ailleurs relevé un plus grand optimisme chez les personnes qui sont davantage sensibilisées à la cause environnementale, tandis que les personnes plus à l'aise avec les chiffres avaient une image plus réaliste des diverses actions.

«Dans les faits, précise le chercheur, c'est un énorme challenge d'estimer ces actions car les émissions de CO₂ sont invisibles et nous ne disposons pas d'une véritable unité de mesure, les tonnes de CO₂, qui sont parfois utilisées dans des comparaisons, restant en effet une notion peu comprise par le grand public.»

Regrettable en soi, ce piètre tableau ne doit cependant pas grand-chose au hasard. Selon Mario Herberz, il résulte de deux biais psychologiques: l'«heuristique de disponibilité»,

un raccourci mental qui consiste à juger une action plus efficace lorsqu'elle nous vient facilement à l'esprit, et le «raisonnement motivé», qui vise à préserver une image positive de soi. *«Dans le premier cas, plus une action est présente dans les médias ou abordée à l'école, plus elle nous vient facilement et plus nous avons tendance à la juger efficace, explique le psychologue. Le raisonnement motivé pousse les individus à croire que les actions qu'ils pratiquent déjà sont plus efficaces, car cette perception renforce l'image positive qu'ils ont d'eux-mêmes.»*

Dans une seconde expérience visant à combattre ces biais, l'équipe de recherche a testé plusieurs interventions auprès des participants censées améliorer la précision de leurs estimations. À un premier groupe, elle a exposé une série d'actions ayant un fort impact sur les émissions de gaz à effet de serre et donc sur le climat. À un deuxième, elle a expliqué que plus une action demande d'efforts, de temps ou de ressources financières, plus son impact est susceptible d'être important (coût comportemental). Et au troisième, elle a enseigné le fait que plus une action est rare au sein de la population, plus son potentiel de réduction des émissions est généralement élevé (prévalence sociale).

«Les résultats montrent que l'efficacité de ces interventions varie fortement d'une personne à l'autre, notamment selon leur capacité à utiliser le coût comportemental comme indicateur de l'impact réel d'une action, révèle Mario Herberz. Le défi consiste donc à adapter les campagnes de sensibilisation aux différents profils de la population – qui restent à définir – afin de mieux corriger ces biais et d'encourager l'adoption de comportements et le soutien aux politiques les plus efficaces pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.»

Vincent Monnet

PRN

LA MOISSON DE «PLANETS»

APRÈS DOUZE ANS D'ACTIVITÉ, **LES PÔLES NATIONAUX DE RECHERCHE PLANETS ET SWISSMAP** SE SONT TERMINÉS CETTE ANNÉE. RETOUR SUR CES PROGRAMMES CENTRÉS SUR LES EXOPLANÈTES ET LA PHYSIQUE MATHÉMATIQUE.

Dossier réalisé par Anton Vos et Vincent Monnet

Toutes les images de ce dossier (y compris celle de couverture) sont tirées de l'exposition **Exoplanètes – Art, Science & Fiction** créée en 2023 dans le cadre des 250 ans de l'Observatoire de Genève. Les posters ont été dessinés par des artistes confirmés et des étudiants de l'École supérieure de bande dessinée et d'illustration de Genève.

Cette image, «**In Search for the Lost World of Kepler-444**», a été réalisée par Richard Holzer.

Kepler-444 est un système d'étoiles triple. Son étoile primaire est une naine orange qui possède au moins cinq exoplanètes confirmées. Elle est accompagnée de deux naines rouges qui tournent l'une autour de l'autre.



LES AUTRES MONDES

PLANETS A DOPÉ LA RECHERCHE SUISSE SUR LES EXOPLANÈTES

DURANT DOUZE ANS, LE PÔLE DE RECHERCHE NATIONAL PLANETS A RÉUSSI À **FÉDÉRER DES ASTRONOMES** AUTOUR DE LA DÉTECTION ET DE LA COMPRÉHENSION DE SYSTÈMES PLANÉTAIRES QUI ONT CONNU UNE INFINITÉ DE DESTINS DIFFÉRENTS DE CELUI DU SYSTÈME SOLAIRE.



Stéphane Udry

Professeur au Département d'astronomie de la Faculté des sciences

Formation: Après des études de physique, il obtient en 1992 son doctorat à l'Université de Genève. Il poursuit avec un séjour postdoctoral de deux ans à la Rutgers University, dans le New Jersey (États-Unis).

Parcours: Il rejoint, en 1994, le groupe de Michel Mayor à l'UNIGE et, en 2007, est nommé professeur au Département d'astronomie (Faculté des sciences). Entre 2010 et 2019, il est directeur de l'Observatoire de Genève, succédant à Michel Mayor. En 2014, il devient codirecteur du Pôle de recherche national PlanetS.

Après douze ans de fonctionnement, le Pôle de recherche national (PRN) PlanetS, dédié à l'étude des planètes tournant autour d'autres étoiles que le Soleil, a fermé ses portes au printemps. L'Université de Genève et ses partenaires en ressortent confortés dans leur position de leader mondial dans cette discipline, une position acquise dès 1995 avec la découverte de la première planète extrasolaire, ou exoplanète, par Michel Mayor et Didier Queloz, alors professeur et chercheur au Département d'astronomie (Faculté des sciences), récompensée par le Prix Nobel de physique en 2019. Grâce au développement d'instruments de mesure au sol comme dans l'espace toujours plus performants, le nombre de découvertes d'autres mondes a depuis continué à croître tout comme s'est affinée la compréhension théorique de la formation de ces systèmes planétaires qui se révèlent, pour la plupart, très différents du Système solaire. La détection d'une sœur jumelle de la Terre (même taille, même type d'étoile, même distance de l'astre...) n'a cependant pas encore eu lieu à ce jour. Mais cela pourrait arriver dans la prochaine décennie avec la mise en œuvre de télescopes et de satellites encore plus précis. Entretien avec Stéphane Udry, professeur au Département d'astronomie et codirecteur du PRN PlanetS.

Campus: Le Pôle de recherche national PlanetS s'est officiellement terminé le 31 mai dernier.

Quel bilan en tirez-vous?

Stéphane Udry: Au cours des douze ans qu'a duré le programme, le nombre de professeurs actifs dans le domaine de l'astronomie en Suisse a doublé. Dans le domaine des sciences planétaires, grâce à PlanetS, notre communauté a atteint une masse critique et a développé une culture de collaboration beaucoup plus profonde qu'auparavant entre les membres des quatre instituts membres, soit les universités de Genève, de Berne et de Zurich, ainsi que l'École polytechnique fédérale de Zurich. Désormais, quand nous nous lançons dans un nouveau projet scientifique, nous cherchons d'abord à rallier des partenaires en Suisse avant de nous tourner vers l'extérieur. Nous avons aussi considérablement gagné en crédibilité. Notre

voix compte davantage auprès des décideurs et des financeurs de la recherche scientifique, tant au niveau national qu'europpéen. Nous avons d'ailleurs raffermi notre position de référence mondiale, que ce soit en matière de conception d'instruments de mesure, comme les spectrographes à haute résolution et les satellites d'observation tels que Cheops (*lire aussi l'article en page 28*), de détection et de la caractérisation des exoplanètes ou encore de modélisation de l'évolution des systèmes planétaires. De manière générale, l'attractivité des groupes membres du PRN PlanetS, et en particulier ceux de l'Observatoire de Genève, a décuplé.

Est-ce que le Prix Nobel de Michel Mayor et Didier Queloz y est pour quelque chose?

Cette distinction majeure a bien sûr contribué à notre rayonnement, surtout auprès du grand public. Pour les professionnels de la branche, ce Prix Nobel est venu confirmer la qualité de notre travail. Et c'est grâce à cette réputation, qui s'est encore accrue depuis, que des groupes étrangers, qui ne sont pas nos partenaires habituels, se tournent désormais spontanément vers nous pour obtenir notre collaboration et profiter de notre expérience.

Quels autres accomplissements durables pouvez-vous mettre sur le compte de PlanetS?

On peut citer la construction à l'Observatoire de Genève du bâtiment de l'AstroTech et surtout de la salle blanche qu'il abrite, une des plus grandes de Suisse. C'est là qu'a été assemblé le dernier spectrographe en date, Espresso, monté sur le Very Large Telescope (VLT) au Chili et qui est aujourd'hui l'instrument le plus précis au monde pour la mesure des vitesses stellaires radiales. Il a été récemment suivi par le développement du spectrographe, Ristretto, qui doit être, lui aussi, installé sur le VLT en 2030 (*lire l'encadré en page 21*). Nous planifions également dans la salle blanche d'AstroTech l'intégration de l'un des modules du futur spectrographe Andes qui doit être installé au début de la prochaine décennie sur l'Extremely Large Telescope (ELT) de 40 mètres actuellement en construction au Chili. Par ailleurs, le Pôle a



«On the Origins
of Life and Meaning»,
par Pedro Suassuna.

aussi débouché sur la création en 2021 du Centre pour la vie dans l'Univers, au sein duquel des astronomes, des physiciens, des biologistes, des chimistes, des géologues et des climatologues travaillent ensemble (*lire également l'article en page 24*). Enfin, nous avons réussi à rapprocher les spécialistes des planètes extrasolaires de ceux du Système solaire. Ce dont nous ne sommes pas peu fiers.

N'était-ce pas déjà le cas?

Avant le PRN, ces deux communautés se parlaient curieusement assez peu. Il faut dire que pour le Système solaire, il existe des mesures très précises de toutes les planètes. Grâce aux observations et aux différentes missions spatiales, on connaît la composition isotopique des voisins de la Terre et on possède une idée assez précise de leur atmosphère et

de leur structure interne. Sur les exoplanètes, par contre, nous ne disposons que d'un petit signal lumineux de l'étoile qui les héberge et dont les légères variations spectrales ou d'intensité peuvent renseigner sur la présence d'un ou de plusieurs compagnons et donner accès à une mesure de leur masse et de leur rayon. Il faut préciser aussi que le Système solaire n'est qu'un exemple unique parmi la diversité spectaculaire des systèmes extrasolaires détectés à ce jour – on en connaît désormais plus de 4500. Les modèles théoriques sur lesquels planchent les spécialistes du premier ou des seconds ne sont pas les mêmes. Dans le cadre du PRN, nous avons néanmoins financé des projets conjoints afin de faire travailler ces deux communautés ensemble. Et cette stratégie a très bien fonctionné, à l'image d'une étude portant sur la simulation de l'agglomération de poussières,

LA DOULOUREUSE NAISSANCE DE PLANETS

Les universités de Genève et de Berne ont dû s'y reprendre à trois reprises avant de décrocher un Pôle de recherche national (PRN) sur les exoplanètes.

2001: On leur reproche de faire de la science-fiction.

2009: Le projet arrive dans les 13 derniers candidats, mais sans être retenu.

2013: PlanetS passe enfin la rampe auprès de la Confédération. Le PRN est codirigé par les universités de Genève et de Berne. L'Université et l'École polytechnique fédérale de Zurich sont partenaires.



«Planets With Two Suns», par Clémence Mathenet.

c'est-à-dire la première étape de la formation des planètes, qui a obtenu des résultats probants grâce à l'apport des spécialistes du Système solaire.

La science des exoplanètes a-t-elle gagné en attractivité auprès des étudiants?

Le PRN a permis de développer un environnement unique pour les jeunes chercheurs qui peuvent trouver en Suisse tous les aspects des sciences planétaires. Nous avons créé en 2019 à l'Université de Genève une maîtrise universitaire en astrophysique avec une emphase spécifique sur l'exoplanétologie, la première de ce type en Suisse. L'Université de Berne, de son côté, est sur le point de lancer sa propre maîtrise universitaire, plus orientée vers l'ingénierie spatiale, qui est son point fort. L'Université de Zurich a fondé l'UZH Space Hub en 2018, dédié à la recherche dans le domaine du spatial et de l'aéronautique, tandis que l'École polytechnique fédérale de Zurich a, de son côté, engagé l'ancien numéro 2 de la NASA, Thomas Zurbuchen, pour diriger ETH Zurich Space, une structure active dans la

recherche spatiale et l'observation terrestre. Bref, chaque partenaire du PRN PlanetS a sa propre spécialité et nous échangeons nos professeurs au gré des besoins des différentes formations. Pour les candidats au doctorat, nous avons offert la possibilité d'effectuer des thèses conjointes. Le doctorant peut ainsi partager ses quatre années de thèse entre deux institutions. Une manière de tisser de nouveaux liens qui, on l'espère, perdureront. Un autre aménagement que nous aimerions conserver, et qui permet de faciliter la transition du monde académique à celui du privé, est l'*externship*. Ce dernier permet aux doctorants de passer trois mois dans une entreprise privée pour travailler sur un projet qui intéresse les deux parties et qui est financé par des fonds externes. Une dizaine ont saisi cette opportunité et 90% d'entre eux ont été engagés par l'entreprise où ils ont réalisé leur stage.

Avez-vous un exemple?

L'un de mes étudiants, Lokesh Mishra, a travaillé chez IBM à Zurich sur un projet visant à convertir en un format informatique unique tous les documents destinés à entraîner les grands modèles de langages tels que ChatGPT et consorts. Il se trouve que ce format (*docling*) a même fini par s'imposer comme la norme dans le monde entier. Lokesh Mishra a ensuite été engagé par IBM avant d'être débauché par une start-up active dans l'intelligence artificielle (Mentiora AI) dont il est devenu un des responsables AI (Chief AI Officer).

Que restera-t-il de PlanetS après sa disparition?

Il était convenu dès le départ que nous devions monter une structure qui survive à la fin du financement par le Fonds national suisse. Ce sera le Swiss Institute for Planetary Sciences (SIPS), une association tenue par les quatre partenaires fondateurs. Il sera dirigé par Ravit Helled, professeure au Département d'astrophysique à l'Université de Zurich, très active dans la modélisation de la structure interne des planètes. L'objectif du SIPS est de permettre aux chercheurs actifs dans les sciences planétaires de continuer à collaborer en partageant infrastructures, données, connaissances et expertise technique tout en formant une force politique reconnue capable d'influer sur la direction de la recherche et de lever des fonds externes. L'Université de Genève et ses trois partenaires fourniront au SIPS des ressources comme du temps de travail de chercheurs et de techniciens, du matériel et des locaux, même si ceux-ci sont dispersés dans le pays. Un budget initial de l'ordre de 120 000 francs par an permettra de maintenir le fonctionnement des plateformes mises sur pied au sein de PlanetS. Ces plateformes sont dédiées au développement technologique et à l'innovation (TIP), à la promotion des carrières académiques (Academic), au soutien de projets d'envergure

nationale à l'image de l'exploitation scientifique du satellite suisse Cheops (Flagships) et à la visualisation, l'échange et l'analyse des données sur les exoplanètes (Dace, *lire aussi l'article en page 32*). Deux autres plateformes sont dédiées à la communication et au support stratégique et scientifique.

Un nouvel engouement émerge pour des missions vers la Lune et Mars. Cette tendance, à laquelle se rallient les grandes agences spatiales, risque-t-elle de détourner des fonds de la recherche astronomique et en particulier des exoplanètes?

Aux États-Unis, peut-être, mais pas vraiment en Europe. De manière générale, le secteur du spatial est considéré comme stratégique et c'est le cas également en Suisse. Les satellites assurent des services de géolocalisation et de télécommunication absolument essentiels au fonctionnement de la société. Il convient donc d'entretenir l'image positive du spatial auprès du grand public. Cela passe certes par l'exploration, d'où l'insistance des autorités fédérales à promouvoir la candidature du Suisse Marco Sieber, sélectionné par l'Agence spatiale européenne (ESA) en novembre 2022 pour faire partie du corps européen des astronautes. Mais cela passe aussi par les résultats scientifiques de l'astronomie, en particulier en exoplanétologie, un domaine porteur et qui est plutôt de notre ressort. Autrement dit, les décisions américaines autour du programme Artemis de la NASA pour accélérer le retour sur la Lune, auquel participent l'Europe et la Suisse, ne mettront pas en péril le financement de nos activités. Ce qui nous préoccupe beaucoup plus, c'est le rapport que le groupe d'experts présidé par Serge Gaillard a soumis au Conseil fédéral en septembre 2024 et qui préconise de couper à hauteur de 10% les financements au niveau de la formation et de la recherche, incluant l'enveloppe du Fonds national suisse de la recherche et les activités spatiales en Suisse.

En matière de chasse aux exoplanètes, avez-vous mis à profit ces douze ans pour découvrir une autre Terre?

À l'heure actuelle, aucune sœur jumelle de la Terre, c'est-à-dire une exo-Terre tournant autour d'une étoile de type solaire dans ce qu'on appelle la zone habitable (dont la distance de l'astre est telle que l'eau peut se trouver à l'état liquide à la surface de la planète), n'a été découverte. Les instruments actuels ne permettent pas d'en détecter une avec certitude. Cela est dû à la faible masse d'une telle exoplanète par rapport à celle de son étoile mais aussi à la période de révolution, longue d'un an et qui exige une observation continue d'au moins cette durée. Il n'en reste pas moins que les progrès vers cet objectif sont fulgurants. Et la vision qu'ont les scientifiques des exoplanètes a radicalement changé en très peu de temps.

AU-DESSUS DU PÔLE PLANENT MICHEL MAYOR ET DIDIER QUELOZ



Comme une cerise sur le gâteau, il est tombé au beau milieu du Pôle national de recherche PlanetS. Le Prix Nobel de physique a en effet été décerné en 2019 à Michel Mayor et Didier Queloz, alors professeurs respectivement au Département d'astronomie et à l'Université de Cambridge, pour la découverte, en 1995, de la première planète extrasolaire, 51 Peg b. La nouvelle prend alors tout le monde par surprise – en vingt-quatre ans, de l'eau a coulé sous les ponts et les principaux intéressés n'y croient plus. D'ailleurs, quand la fameuse découverte est annoncée, le 6 octobre 1995 lors d'une conférence à Florence, puis dans la revue *Nature* du 23 novembre 1995, personne n'y croit non plus. Les tentatives pour détecter une planète comme Jupiter – c'est-à-dire assez grosse pour être facilement mesurable – se sont en effet toutes soldées par des échecs. Les astronomes de l'époque pensent que ces objets se trouvent loin de leur étoile et lui tournent autour en plusieurs années, à l'instar des géantes gazeuses du Système solaire. Les points de mesure sont donc très espacés dans le temps. Michel Mayor et son doctorant Didier Queloz, eux, ne cherchent

pas seulement des planètes autour d'autres Soleils mais aussi des naines brunes, des mini-étoiles trop petites pour enclencher la fusion nucléaire en leur cœur. Sans a priori sur les périodes de révolution, ils effectuent des mesures beaucoup plus rapprochées. Ce sont cette stratégie et, surtout, leur nouvel instrument équipé d'un système informatique plus performant que celui des équipes concurrentes qui assurent leur réussite. Cet instrument est le spectrographe Élodie. Entièrement fabriqué à l'Observatoire de Genève et monté sur le télescope de l'Observatoire de Haute-Provence, cet instrument est conçu pour mesurer les variations de la vitesse radiale des étoiles, ce qui permet de déterminer la présence d'une planète. Après plusieurs mois d'observation, un compagnon est enfin détecté autour de l'étoile 51 Peg. Gigantesque surprise: l'exoplanète a une masse qui vaut la moitié de celle de Jupiter, elle est 20 fois plus proche de son astre que la Terre du Soleil et elle lui tourne autour en seulement 4,2 jours. Un scénario très loin de ce qui était attendu. Dès cet instant, la chasse aux exoplanètes s'est ouverte et ne s'est plus jamais arrêtée.

Planets en chiffres

48,4 millions

le montant en francs du financement du Fonds national pour la recherche.

12 ans

la durée du programme, du 1^{er} juin 2014 au 31 mai 2026.

490

le nombre de scientifiques engagés dans le programme.

112

le nombre de doctorantes et doctorants ayant obtenu une thèse.

18 à 42%

l'évolution de la proportion des doctorantes entre 2014 et 2024.

14 à 30%

l'évolution de la proportion de femmes responsables de projet en douze ans.

1250

le nombre de publications scientifiques issues du Pôle.

1

le nombre de start-up nées durant le PRN: Spacetek, active dans la détection de gaz en temps réel.

Comment cela?

Avant que Michel Mayor et Didier Queloz n'annoncent la découverte en 1995 de la première planète extrasolaire (*lire aussi l'encadré en page 19*), la communauté scientifique était d'avis que les chances qu'il existe une autre planète comme la Terre abritant la vie dans l'Univers étaient infimes. À cette époque dominait le point de vue des biologistes selon lequel la conjonction de toutes les conditions nécessaires pour que cela soit possible était tellement improbable que la Terre pouvait très bien être un cas unique. Aujourd'hui, ce point de vue s'est totalement inversé. Le nombre d'exoplanètes connues atteint les 6000, auxquelles on peut ajouter des milliers de candidates non encore confirmées. Désormais, on pense que presque toutes les étoiles du ciel possèdent un ou plusieurs compagnons. Les étoiles orphelines existent, mais elles représentent plutôt l'exception.

Il doit bien exister parmi elles des planètes de la taille de la Terre...

Les statistiques (alimentées par les spectrographes sur des télescopes terrestres, puis par la spectaculaire moisson récoltée par les satellites Kepler et Tess depuis 2009) révèlent une première surprise: les exoplanètes les plus fréquentes sont celles dont la taille se situe entre la Terre et Neptune (des super-Terre, en quelque sorte, ou des mini-Neptunes, c'est selon) et dont il n'existe aucun représentant dans le Système solaire. La catégorie des planètes telluriques plus petites (comme la Terre, Vénus, Mars ou Mercure) sont à peine moins nombreuses. Par conséquent, des exoplanètes de la taille de la Terre existent en effet à la pelle. On en a d'ailleurs découvert, et certaines dans la zone habitable qui plus est, mais en orbite autour d'étoiles beaucoup plus petites que le Soleil, des naines rouges, dont elles font le tour complet en seulement quelques jours. La détection de Terres autour de naines rouges fait d'ailleurs partie de la spécialité du satellite américain Tess, lancé en 2018 et dont les estimations sur leur rayon sont affinées par le satellite suisse Cheops.

Combien connaît-on d'exoplanètes de la taille de la Terre évoluant dans la zone habitable de leur étoile?

Une cinquantaine de candidates sont connues. On ignore la masse de la grande majorité d'entre elles et elles tournent toutes autour d'étoiles plus petites que le Soleil. Il n'y a que quelques cas prometteurs. Parmi les plus connues et

les plus intéressantes se trouve Proxima b, qui tourne en 11,2 jours autour de l'étoile la plus proche de nous, Proxima du Centaure, une naine rouge 8 fois moins massive que le Soleil située à 4,2 années-lumière d'ici. Elle a été découverte en 2016 grâce à des mesures réalisées avec Harps. On ignore si les conditions qui y règnent (dépendantes de l'activité de l'étoile, de la présence d'une atmosphère et d'un champ magnétique, d'un éventuel verrouillage gravitationnel, etc.) sont propices à la vie.

Peut-on déduire des connaissances actuelles la probabilité de trouver une Terre habitable autour d'une étoile analogue au Soleil?

Les estimations de leur taux d'occurrence sont extrêmement incertaines. Dans la littérature spécialisée, ce chiffre varie littéralement entre 0 et 100%.

Sera-t-il possible d'affiner quelque peu cette fourchette dans un avenir proche?

La prochaine mission européenne Plato, dans laquelle la Suisse et en particulier le Département d'astronomie jouent un rôle très important, est spécialement conçue pour détecter des planètes de la taille de la Terre autour d'étoiles ayant une température, une gravité et une composition chimique comparables à celles du Soleil. Le lancement du satellite est prévu pour fin mars 2027. Il suivra en continu durant plusieurs années les changements d'éclat d'environ 250 000 étoiles en quête de transit par de petites planètes. Pour confirmer la nature planétaire de ces compagnons et mesurer leur masse, il est d'ores et déjà prévu de consacrer 1000 nuits d'observation depuis le sol avec le spectrographe Harps et autant de nuits avec Espresso. Ce suivi au sol est organisé par le consortium Plato sous la responsabilité du Département d'astronomie. En parallèle, le télescope spatial Gaia de l'Agence spatiale européenne (ESA), qui a réalisé entre 2013 et 2024 un suivi de plus d'un milliard de sources lumineuses visibles dans le ciel, va publier un premier jeu de données astrométriques (mouvement des étoiles sur le ciel (*lire également en page 34*) couvrant les premiers 5,5 ans de la mission. La combinaison des résultats des deux missions va permettre une caractérisation plus complète de l'architecture des systèmes exoplanétaires avec potentiellement une compréhension plus précise du lien entre la configuration de ces systèmes et l'existence de planètes terrestres dans la zone habitable.

«**Spice Dune**»,
par Elsa Bersier.

Le désert des Neptunes chauds représente le fait que les astronomes ont découvert étonnamment peu de planètes de taille intermédiaire (c'est-à-dire entre les super-Terres et les Neptunes) évoluant dans la région proche (et donc chaude) des étoiles. La cause de cette anomalie statistique est encore débattue.



SPICE DUNE

EXPLORING THE HOT NEPTUNE DESERT

«RISTRETTO», BIENTÔT PRÊT À ÊTRE SERVI

Le futur spectrographe de haute précision Ristretto, dédié à l'observation de **Proxima b** – l'exoplanète la plus proche du Système solaire à seulement 4 années-lumière de la Terre –, a franchi en décembre dernier une nouvelle étape. Plusieurs composants clés de cet instrument doivent être installés sur le Very Large Telescope au Chili en 2030 ont été testés avec succès par les ateliers du Département d'astronomie (Faculté des sciences). Les simulations de l'instrument révèlent aussi que Proxima b sera détectable par Ristretto, tout comme l'éventuelle présence d'oxygène ou d'eau dans l'atmosphère de la planète, qui évolue dans la zone habitable de son étoile (là où l'eau pourrait se trouver sous forme liquide à sa surface) et dont la taille et la température rappellent celles de la Terre.

LES VITESSES RADIALES

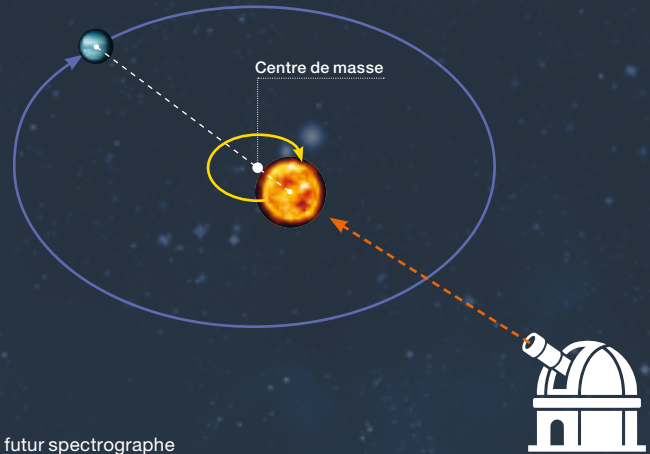
PRINCIPE

La présence d'une planète en orbite imprime à l'étoile un léger mouvement circulaire autour du «centre de masse» du système étoile-planète qui ne coïncide pas exactement avec le centre de l'astre central. Selon la configuration géométrique, l'étoile,

vue depuis la Terre, semble ainsi se rapprocher et s'éloigner sensiblement de manière périodique.

Cette variation de la vitesse radiale est captée par des spectrographes qui, à l'instar des radars sur l'autoroute,

mesurent le décalage périodique du spectre électromagnétique de l'étoile vers le rouge (éloignement) et vers le bleu (rapprochement). Cette technique permet de calculer la **masse**, la **période de révolution** et l'**orbite** de la planète.



INSTRUMENTS

La vitesse radiale est la technique historique qui a été utilisée par Michel Mayor et Didier Queloz pour découvrir en 1995 la première planète extrasolaire, 51 Peg b. Ils ont réalisé cette avancée avec le spectrographe **Élodie**, monté sur le télescope de l'Observatoire de Haute-Provence. Il mesure des vitesses radiales d'étoiles situées à des années-lumière avec une précision de 15 m/s.

Dans la continuité de ce succès, l'Observatoire de Genève développe d'autres spectrographes, conservant une position de leader mondial dans le domaine, jusqu'à aujourd'hui.

Coralie, une version améliorée d'Élodie, est installé en 1998 sur

le télescope suisse Euler à La Silla au Chili. Il fonctionne toujours.

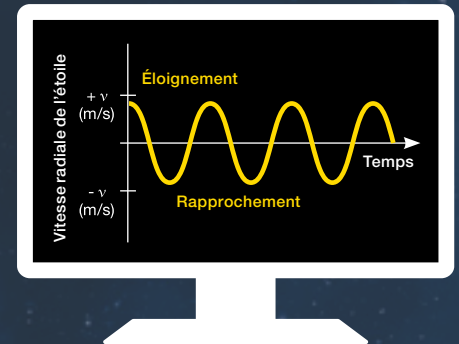
Harps représente un saut qualitatif important. Toujours construit à Genève, ce spectrographe est installé en 2003 sur le télescope de 3,6 mètres de l'ESO, à La Silla au Chili. Il atteint une précision effective de 30 cm/s. Soit 10 fois mieux que le meilleur spectrographe du moment, le **Hires**, un concurrent américain monté sur le télescope Keck à Hawaï.

En 2012, un appareil équivalent, **Harps-Nord**, est installé sur le télescope italien Galileo à La Palma dans les Canaries, pour couvrir l'hémisphère Nord.

Conçu à Genève, **Espresso** a été connecté en 2017 au Very Large Telescope (VLT), installé au sommet sur le Cerro Paranal au Chili. Cet instrument fait passer la précision à moins de 10 cm/s, ce qui correspond à la déviation induite par la Terre sur le Soleil et ouvre donc la possibilité de découvrir des Terres autour d'étoiles comme le Soleil.

Actuellement en construction, **Ristretto** sera installé sur le VLT et se consacrera à l'observation de Proxima b – l'exoplanète la plus proche du Système solaire à seulement 4 années-lumière de la Terre.

Le futur spectrographe **Andes** est, quant à lui, destiné à être installé vers 2032 sur l'Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO dont la construction au Chili devrait s'achever d'ici à 2028. Développé par un consortium international dont fait partie l'Université de Genève, cet instrument doit analyser la composition chimique des objets célestes et contribuer à la recherche de traces de vie sur des exoplanètes.



L'IMAGERIE DIRECTE

PRINCIPE

Dans les systèmes planétaires proches, il est possible d'observer directement des exoplanètes assez grosses et assez éloignées de leur étoile. Un télescope muni d'un coronographe

qui éclipse l'éclat de l'astre central et d'un appareil qui corrige les perturbations de l'atmosphère terrestre peut alors mesurer la lumière réfléchie par la planète ou, si celle-ci est

assez chaude, son rayonnement infrarouge propre.

Cette technique fournit des indications sur la masse et le rayon de la planète. Elle

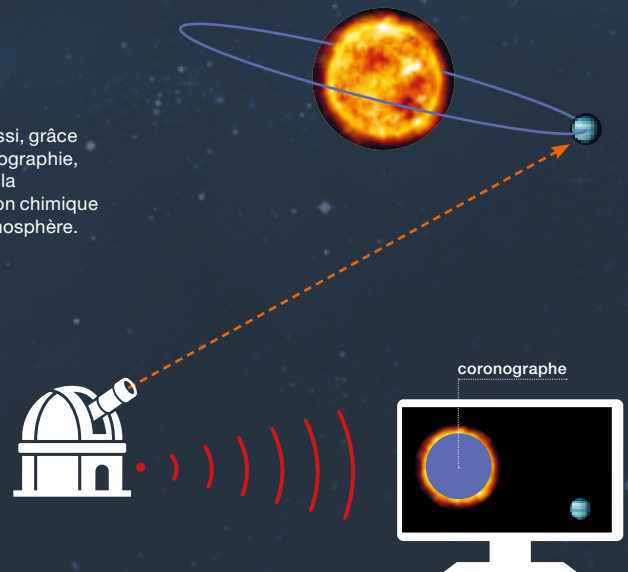
permet aussi, grâce à la spectrographie, d'analyser la composition chimique de son atmosphère.

INSTRUMENTS

La première image directe d'une exoplanète est celle d'une géante gazeuse autour de la naine brune 2M1207, prise en 2004 avec l'instrument NaCo, installé sur le VLT.

En 2016, l'instrument de seconde génération **Sphere** est installé sur le VLT. Il allie une optique adaptative extrême et un coronographe pour photographier des planètes gazeuses.

Installé sur le télescope Gemini-Sud au Chili, **GPI** est, lui aussi, optimisé pour détecter la lumière infrarouge des planètes géantes.



LES TRANSITS

PRINCIPE

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. Cette technique n'est applicable qu'aux systèmes planétaires

qui se trouvent dans la bonne configuration géométrique (entre 0,5% et 10% des cas).

La profondeur de la chute de luminosité donne le rapport entre les surfaces des disques stellaires et planétaires.

Elle permet de calculer la période de révolution et le diamètre de la planète à condition de connaître celui de l'étoile. C'est la méthode la plus prolifique à ce jour dans la moisson des exoplanètes mais elle produit aussi un

nombre très élevé de «faux positifs». Les découvertes doivent donc être systématiquement vérifiées par d'autres techniques.

INSTRUMENTS

En 1999, le VLT, au Chili, découvre la première exoplanète par la méthode des transits, HD 209458, qui est aussi la première dont on a pu étudier l'atmosphère.

Le programme WASP, avec un instrument en Espagne et un autre en Afrique du Sud, commence sa campagne en 2006 et découvre plus de 100 exoplanètes.

Lancé en 2006, le satellite CoRoT détecte la première exoplanète tellurique (CoRoT-7b) en 2009.

En fonction de 2009 à 2018, l'observatoire spatial Kepler est à ce jour le chasseur de planètes le plus prolifique, avec plus de 2700 exoplanètes confirmées à son actif, sur plus d'un demi-million d'étoiles observées. Quelque 1900 candidats supplémentaires doivent encore être confirmés.

Le satellite TESS, lancé en 2018 et spécialisé dans la détection de Terres autour de naines rouges, a identifié près de 8000 planètes candidates dont près de 900 ont été confirmées à ce jour.

Le télescope belge Trappist, construit en 2010 au Chili, a détecté en 2015 un système planétaire (Trappist-1) d'au moins sept planètes rocheuses de dimensions similaires ou inférieures à celles de la Terre. Entre trois et six d'entre elles sont situées dans la zone habitable.

Le satellite suisse Cheops, lancé en 2019, exploite la méthode du transit pour mieux caractériser la taille et l'atmosphère des exoplanètes déjà connues et orbitant autour d'étoiles lumineuses.

Depuis 2021, les instruments du télescope spatial James Webb permettent, eux aussi, grâce à la méthode du transit, d'approfondir la connaissance de la composition de l'atmosphère des exoplanètes.

Le télescope Plato doit être lancé au début de 2027. Avec ses 24 petits télescopes, cet instrument représente l'espoir des astronomes de détecter enfin des planètes de la taille de la Terre autour d'étoiles analogues au Soleil.



INFERNAL WORLD

«Infernal World», par Sarah-Leeloo Brulhart

55 Cancri est une super-Terre, l'une des plus proches de son étoile connue à ce jour (60 fois plus proche de son étoile que la Terre du Soleil).



L'ASTROMÉTRIE

PRINCIPE

Tout comme la technique de la vitesse radiale, l'astrométrie exploite elle aussi les mouvements de l'étoile engendrés par la présence d'une

planète en orbite. Au lieu de mesurer le rapprochement et l'éloignement de l'astre, elle détecte les modifications de sa position sur la voûte

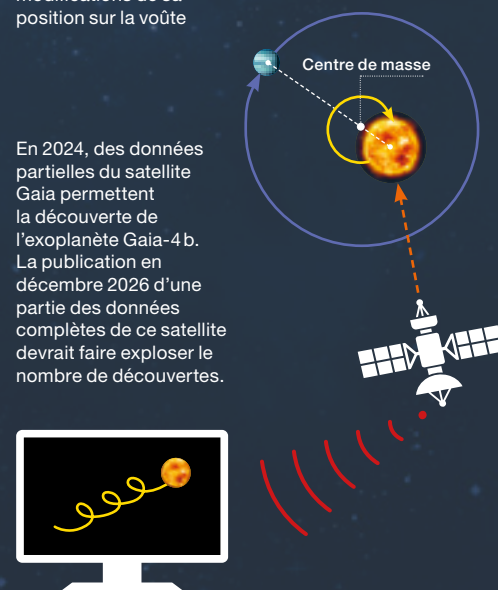
céleste. L'astrométrie permet de déterminer la masse et l'orbite des planètes.

INSTRUMENTS

En 2002, le télescope spatial Hubble utilise l'astrométrie pour caractériser Gliese 876 b, une planète déjà connue.

Dans le cadre du programme Phase, la planète HD 176051 Bb est découverte en 2010 autour d'un système binaire (deux étoiles).

En 2024, des données partielles du satellite Gaia permettent la découverte de l'exoplanète Gaia-4 b. La publication en décembre 2026 d'une partie des données complètes de ce satellite devrait faire exploser le nombre de découvertes.



RENCONTRE DU 3^E TYPE

LA VIE EST AILLEURS

DÉCOUVRIR LA VIE SUR D'AUTRES MONDES EST UNE QUÊTE VIEILLE COMME L'HUMANITÉ MAIS SEMÉE D'EMBÛCHES. LE **CENTRE POUR LA VIE DANS L'UNIVERS** A DÉCIDÉ DE RELEVER LE DÉFI.



« *Il n'est pas naturel dans un grand champ d'avoir un seul épi de blé et dans l'univers infini un seul monde vivant* », écrivait le philosophe grec Métrodore au IV^e siècle avant notre ère. Près de 2500 ans plus tard, l'humanité dispose pour la première fois de son histoire des moyens technologiques et des connaissances scientifiques pour vérifier cette ancienne prémonition de manière réaliste et non plus seulement spéculative. C'est même la principale raison d'être du Centre pour la vie dans l'Univers (CVU). Une entité née en 2021, dans le sillage du Pôle de recherche national PlanetS, qui regroupe astronomes, chimistes, physiciens, biologistes et spécialistes des sciences de la Terre sous la direction d'Émeline Bolmont, professeure associée au Département d'astronomie (Faculté des sciences), en vue de traquer le moindre indice suggérant la présence de quelque chose de vivant dans l'immensité de l'espace. Une quête minutieuse qui progresse à pas comptés tant les difficultés sont nombreuses. Point de situation.

« *Comme c'est notre seule référence, les hypothèses sur lesquelles nous travaillons au CVU sont basées sur la vie telle que nous la connaissons sur Terre*, explique Émeline Bolmont. *En première approximation, la vie sur les exoplanètes, si elle existe, devrait donc essentiellement être composée de bactéries (ou d'organismes unicellulaires approchants) parce que c'est la forme de vivant la plus simple qui a également dominé l'histoire à l'échelle de notre planète. Leur présence requiert de l'eau liquide, une source d'énergie (d'origine solaire ou géothermique) ainsi que les éléments chimiques à la base du vivant que sont le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le phosphore et le soufre. On pourrait aussi se pencher sur des formes de vie totalement exotiques basées sur une chimie radicalement différente (avec du soufre à la place de l'oxygène et du*

silicium à la place du carbone, par exemple), mais la tâche est déjà assez ardue en se tenant à ce qui nous est familier. »

Voilà pour la théorie. Dans la pratique, découvrir les signaux trahissant la présence de la vie sur une exoplanète nécessite de suivre une feuille de route à la fois longue et complexe.

Candidates à la vie En premier lieu, il s'agit naturellement d'identifier le plus grand nombre possible de planètes candidates possédant les caractéristiques nécessaires pour abriter la vie. Ces exoplanètes doivent être rocheuses et situées dans ce que les scientifiques appellent la «zone habitable», soit la région autour de leur étoile qui n'est ni trop chaude ni trop froide pour que l'eau en surface puisse y demeurer à l'état liquide.

«LA VIE SUR LES EXOPLANÈTES, SI ELLE EXISTE, DEVRAIT DONC ESSENTIELLEMENT ÊTRE COMPOSÉE DE BACTÉRIES (OU D'ORGANISMES UNICELLULAIRES APPROCHANTS).»

Les astronomes possèdent aujourd'hui les instruments capables de répondre à ces questions. La technique de détection dite des vitesses radiales (*lire en page 22*) permet de déterminer la masse, la période de révolution et l'orbite d'une exoplanète et donc de savoir si celle-ci se trouve à la bonne distance de son étoile. Quant à la méthode des transits (*lire aussi en page 23*), elle fournit, en plus, la taille de la planète.

La combinaison des deux techniques permet donc d'estimer la densité du compagnon stellaire et de distinguer les planètes rocheuses (comme la Terre) des boules de gaz (comme Neptune, par exemple), impropres à la vie.

Le problème, c'est que le fait qu'une planète se trouve dans la zone habitable ne garantit pas qu'elle y reste indéfiniment. Le fait qu'une planète possède une orbite très excentrique, qui la fasse passer alternativement par des régions viables puis d'autres trop chaudes et/ou trop froides, peut ainsi compliquer l'apparition de la vie. Par ailleurs, certaines planètes peuvent migrer hors de la



Émeline Bolmont

Professeure associée au Département d'astronomie de la Faculté des sciences

Formation: Après une licence et un Master en physique à l'École normale supérieure de Lyon, elle effectue une thèse de doctorat en astrophysique à l'Université de Bordeaux.

Parcours: En 2014, elle participe à la découverte de Kepler-186f, première exoplanète de taille comparable à la Terre identifiée dans la zone habitable de son étoile, puis effectue un séjour postdoctoral à l'Université de Namur et un autre au CEA Paris-Saclay. Elle rejoint l'UNIGE en 2018 en tant que professeure assistante et participe à la fondation du Centre pour la vie dans l'Univers qu'elle dirige depuis 2021. Elle est promue au rang de professeure associée en 2025.

LE SYSTÈME SOLAIRE N'A PAS DIT SON DERNIER MOT

Même si ce n'est pas le cœur de cible du Centre pour la vie dans l'Univers (CVU), il n'est pas exclu qu'il existe des formes de vie à l'intérieur même du système solaire et donc à des distances bien plus raisonnables. «On sait aujourd'hui qu'il y a eu autrefois de l'eau sur Mars, précise Émeline Bolmont, professeure associée au Département d'astronomie (Faculté des

sciences) et directrice du CVU. Il est donc possible que cette planète ait aussi abrité une forme de vie et qu'on puisse en retrouver des traces fossilisées. Il n'est pas inimaginable que la vie, qu'on sait extrêmement résiliente, ait pu se maintenir jusqu'à aujourd'hui quelque part en profondeur.» Trancher la question, c'est précisément l'objectif du rover Rosalind Franklin, que l'Agence

spatiale européenne était sur le point de lancer à l'aide d'une fusée russe Soyouz au moment où la guerre en Ukraine a débuté. Retardé, le projet est toujours d'actualité. D'autres missions visent, de leur côté, à sonder l'eau liquide enfouie sous l'épaisse couche de glace qui couvre certains satellites des géantes gazeuses du Système solaire.

Un drone va ainsi être prochainement lancé à la surface de Titan, une lune de Saturne, tandis que l'idée a été émise d'envoyer un robot pour se faufiler dans les conduits naturels se trouvant sur Europe ou pour explorer les geysers d'Encelade, deux compagnons de Jupiter.

«CE QUI MARCHE POUR LA TERRE NE PEUT PAS ÊTRE EXTRAPOLÉ SANS AUTRE AUX PLANÈTES EXTRASOLAIRES.»

zone habitable tandis que certaines étoiles voient leur luminosité changer avec le temps (sur des centaines de millions d'années), modifiant de ce fait les limites propices à la vie. Dans tous les cas, même si leur orbite était stable et à la bonne distance, certaines planètes pourraient rester piégées dans un état glaciaire faute de posséder assez de CO₂ dans leur atmosphère pour créer un effet de serre suffisant permettant à l'eau de rester liquide en surface.

«On le voit, il n'existe pas une zone habitable, mais une multitude, note Émeline Bolmont. Et se trouver à l'intérieur ne signifie pas automatiquement la présence de vie ou même d'eau à la surface d'une planète. Celle-ci dépend aussi de caractéristiques propres à la planète (vitesse de rotation, masse, composition et pression de son atmosphère). Mars est, par exemple, dans ce cas de figure. D'où l'intérêt de disposer d'informations supplémentaires sur ces exoplanètes qui nous intéressent, et en particulier sur leur atmosphère.»

Dans ce domaine, les progrès récents de la spectroscopie ont permis des avancées significatives et toute une série de nouveaux instruments devraient ouvrir de nouvelles perspectives à la communauté scientifique.

Placé en orbite en 2021, le télescope spatial James Webb a déjà fourni des résultats probants pour l'analyse de la composition chimique de l'atmosphère de grosses planètes gazeuses et chaudes. Il est toutefois moins efficace pour étudier les planètes plus petites et tempérées qui intéressent en priorité les équipes du CVU.

Nouveaux instruments Émeline Bolmont a toutefois bon espoir que la situation s'améliore dans un avenir relativement proche. Piloté par son collègue Christophe Lovis, professeur au Département d'astronomie, le spectromètre de haute précision Ristretto, développé à l'Observatoire de Genève, devrait en effet être installé sur le Very Large Telescope, dans le désert d'Atacama, et entrer en fonction au début de la décennie suivante. Andes, son «successeur» de très haute précision à la conception duquel les astronomes genevois ont également contribué, sera quant à lui déployé sur l'Extremely Large Telescope (ELT), actuellement en construction au Chili à partir de 2035, suivi, en 2040, si tout va bien, par le Planet Camera and Spectrograph (PCS), qui sera monté sur le même télescope. *«Ces nouveaux outils, avec lesquels il sera possible de séparer la lumière de l'étoile de celle de la planète, devraient nous permettre de contraindre la composition chimique de l'atmosphère de toute une série de petites exoplanètes, explique la*

chercheuse. Les composés – ou biosignatures – les plus cohérents avec la présence de la vie et que nous recherchons en priorité sont l'eau, l'oxygène, le méthane et la combinaison de ces deux derniers, par exemple.»

Le «glint» Émeline Bolmont et ses collègues spéculent également sur la possibilité de détecter directement la présence d'océans. L'idée consiste à exploiter sur ces mondes lointains un phénomène optique particulier, appelé le «glint» ou «réflexion spéculaire» en français, qui a été capté par les photographies de la Terre prises depuis la Station spatiale internationale – mais que l'on peut aussi apercevoir sur la surface d'un lac depuis la Terre. Sur les clichés de l'ISS, on remarque que, sous certains angles, en particulier lorsque la lumière est rasante, les océans génèrent une réflexion beaucoup plus importante qu'à l'accoutumée. La détection de cet éclat particulier sur certaines exoplanètes pourrait apporter la preuve de la présence d'eau liquide à leur surface.

«Mathilde Houelle, une étudiante faisant partie de mon équipe, travaille actuellement sur la simulation des climats potentiels qu'on pourrait observer avec cette technique, précise la chercheuse. Pour que nos futures observations soient pertinentes, il faut en effet s'assurer autant que possible qu'au moment où le glint est visible, il n'y a pas de nuages sur notre trajectoire ou de glace à l'endroit ciblé.»

Bien que décisive, la présence d'une atmosphère, de même que celle d'eau liquide, n'est toujours pas un critère suffisant pour assurer l'émergence de la vie. D'autres éléments entrent également en ligne de compte.

En vrac, il est nécessaire que la planète possède une atmosphère relativement stable à même de protéger des radiations trop énergétiques (comme les ultraviolets C,



LÀ OÙ TOUT A COMMENCÉ

Au sein de la communauté scientifique, deux grandes écoles s'opposent pour expliquer les origines de la vie sur notre planète. L'une estime que la vie est apparue au fond des océans à côté de sources hydrothermales très chaudes. L'autre suggère que cela s'est produit dans des lacs peu profonds et alcalins. En d'autres termes, la question qui se pose est de savoir s'il y a eu des océans très tôt à la surface de la Terre – ce qui tendrait à valider la première hypothèse – ou si l'eau s'est accumulée au fur et à mesure, auquel cas, au moment où la vie est apparue, ce serait plutôt au sein d'étendues moins profondes.

Le projet mené par Luca Caricchi, professeur au Département des sciences de la Terre de la Faculté des sciences et membre du Centre pour la vie dans l'Univers, pourrait apporter des éléments de réponse. L'idée des scientifiques genevois consiste à rechercher des cristaux de zircon dans les roches les plus anciennes de la surface terrestre, qui se trouvent notamment au Canada et en Australie. Ces minéraux extrêmement résistants et insensibles aux changements peuvent contenir des inclusions d'apatite, minéral dont l'analyse permet d'avoir une idée de la composition chimique de l'atmosphère au moment où le cristal s'est formé et par ricochet sur la quantité d'eau qui était disponible à la surface de la Terre primitive.

par exemple), des minéraux susceptibles de catalyser les réactions chimiques, un champ magnétique jouant le rôle de bouclier contre les rayons cosmiques ou encore un système de plaques tectoniques dont l'activité favoriserait la stabilité du climat en régulant la quantité de CO_2 présente dans l'atmosphère.

Fausse piste Même dans le cas, pour l'heure hautement hypothétique, où la communauté scientifique parviendrait à mettre la main sur une candidate répondant à l'ensemble des critères précités, il faudrait raison garder tant il est vrai que les fausses pistes sont nombreuses.

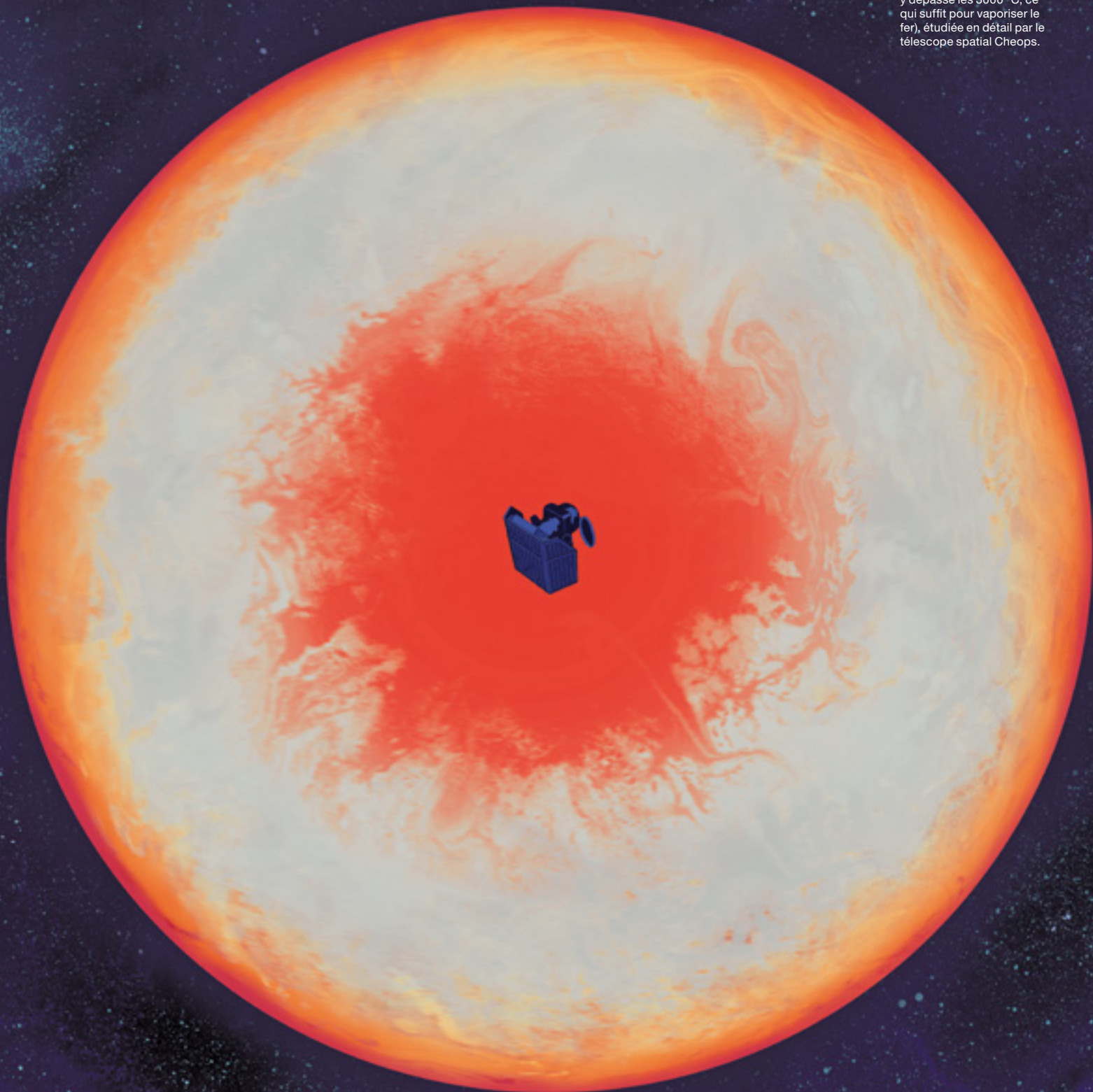
«Le problème, c'est que ce qui marche pour la Terre ne peut pas être extrapolé sans autre aux planètes extrasolaires», avertit Émeline Bolmont. On connaît par exemple des mécanismes

qui peuvent aboutir à l'accumulation d'oxygène ou de méthane dans une atmosphère mais qui n'ont rien à voir avec la vie. À chaque pas que nous ferons en avant, il faudra donc se demander si ce résultat peut être expliqué par un autre phénomène que la présence de la vie. Et si c'est la seule explication qui semble plausible, avant de crier victoire, il sera encore nécessaire de procéder à toute une série d'observations très fines en vue d'identifier des effets saisonniers ou de quantifier le nombre de biomarqueurs se trouvant dans l'atmosphère de la planète concernée.»

Quant à se rendre un jour sur place pour en avoir le cœur net, cela reste totalement illusoire sachant que l'exoplanète la plus proche de la Terre, Proxima du Centaure b, est située à la bagatelle de 4 années-lumière, soit un trajet de plusieurs milliers d'années avec les technologies dont nous disposons à l'heure actuelle.

**«Cheops' Journey
Begins on a Hot
WASP-189 b Day»,
par Frederik Peeters.**

WASP-189 b est une
exoplanète de type Jupiter
ultra-chaud (la température
y dépasse les 3000 °C, ce
qui suffit pour vaporiser le
fer), étudiée en détail par le
télescope spatial Cheops.



SATELLITE

CHEOPS, UNE STAR SUISSE AU MILIEU DES ÉTOILES

LE PREMIER SATELLITE SUISSE D'OBSERVATION ASTRONOMIQUE A REÇU L'AUTORISATION DE POURSUIVRE SA MISSION ENCORE TROIS ANS. L'OCCASION DE REVENIR SUR SON **IMPRESSIONNANT TABLEAU DE CHASSE**.



David Ehrenreich

Professeur associé au Département d'astronomie de la Faculté des sciences

Formation: Après un diplôme d'ingénieur à l'École polytechnique (France) en 2002, il obtient en 2007 son doctorat en astrophysique à l'Université Paris 6. Il poursuit notamment avec un séjour postdoctoral à l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble.

Parcours: En 2012, il rejoint le Département d'astronomie (Faculté des sciences), au sein de l'équipe travaillant sur les exoplanètes. Il est nommé professeur associé en 2017 et, en 2019, il devient coresponsable de l'équipe scientifique chargée d'exploiter les observations du télescope spatial suisse Cheops.

En juin dernier, le satellite suisse Cheops, en orbite depuis 2019, a obtenu de l'Agence spatiale européenne (ESA) une deuxième prolongation de sa mission qui devrait par conséquent se poursuivre au moins jusqu'en 2029. Construit à l'Université de Berne et doté d'un centre des opérations scientifiques à l'Université de Genève, le petit télescope spatial voit ainsi la qualité de ses services scientifiques récompensée. Ce qui réjouit bien entendu David Ehrenreich, professeur associé au Département d'astronomie (Faculté des sciences) et responsable de l'équipe internationale de plus d'une centaine de scientifiques qui analysent les données de la mission.

«Cheops a été conçu pour observer et détailler des exoplanètes qui ont déjà été détectées par ailleurs, explique-t-il. Il s'agit de déterminer à quoi elles peuvent ressembler et de quoi elles sont composées. La technique utilisée est celle des transits (lire aussi l'infographie en page 23), qui nous fournit le diamètre de l'objet. Si l'on connaît déjà sa masse grâce à la technique dite de la vitesse radiale, nous pouvons donc calculer sa masse volumique et en déduire s'il s'agit d'une planète gazeuse ou rocheuse, composée de roche, de métal ou des deux, etc.»

Évoluant dans l'espace pour s'affranchir des perturbations de l'atmosphère terrestre, Cheops possède la précision nécessaire pour avoir accès à de petites planètes en orbite autour d'étoiles brillantes. Grâce à son grand miroir, l'appareil est capable de détecter une variation de luminosité d'une étoile aussi faible que quelques parties par millions (ppm ou 0,0001%). Une acuité suffisante pour détecter un objet de la taille de la Terre passant devant une étoile comme le Soleil (une telle éclipse ferait baisser l'éclat de l'astre de 80 ppm). Une prouesse appréciable pour la première mission de classe S de l'ESA, c'est-à-dire petite et rapidement mise en œuvre.

Précision diabolique La Suisse ayant mené le projet, les scientifiques des institutions helvétiques, en particulier celles impliquées dans le Pôle de recherche national PlanetS, ont pu bénéficier d'un très grand nombre d'heures d'observation et d'un accès privilégié aux données produites. Et ils ont rapidement constaté que la précision diabolique de Cheops permettait de réaliser de belles découvertes.

«Le satellite a ainsi réussi à mesurer la lumière réfléchie par l'atmosphère de géantes gazeuses très chaudes et proches de leur

étoile et à déterminer la présence de nuages, expose David Ehrenreich. Bien sûr, ces nuages ne sont pas composés de vapeur d'eau mais plutôt d'oxyde de fer, de soufre, de goudron ou autre.»

Dans le cas de WASP-76b, planète sur laquelle l'équipe genevoise avait par ailleurs montré qu'il pouvait pleuvoir du fer liquide, Cheops a observé qu'une zone assez localisée réfléchit davantage de lumière. Une explication possible est que les gouttelettes de fer en suspension dans l'atmosphère de la planète créent une «gloire». Il s'agit d'un phénomène optique connu sur Terre comme un halo aux couleurs de l'arc-en-ciel lié à la réflexion dans une direction privilégiée de la lumière sur de fines gouttelettes d'eau.

Ballon de rugby Dans un autre cas, celui de WASP-103b, c'est la forme de la courbe montrant la légère diminution de luminosité de l'étoile lors du transit de la planète qui a attiré l'attention des scientifiques. De petites irrégularités aux extrémités indiquent que l'exoplanète pourrait être déformée et ressembler davantage à un ballon de rugby qu'à une sphère. En l'occurrence, WASP-103b est une géante gazeuse très proche de son étoile subissant des forces de marées puissantes. *«Nous sommes là à la limite des possibilités de Cheops, note David Ehrenreich. Nous avons*

CHEOPS POSSÈDE UNE ACUITÉ SUFFISANTE POUR DÉTECTER UN OBJET DE LA TAILLE DE LA TERRE PASSANT DEVANT UNE ÉTOILE COMME LE SOLEIL.

CHEOPS EN CHIFFRES

Le satellite suisse
est lancé le
18 décembre 2019

Les observations
scientifiques
ont commencé
en mars 2020

Le nombre de jours
d'observation a
dépassé les 2300

Cheops a fait
35 000 fois le tour
de la Terre

Le télescope a
effectué près de
16 000 observations
sur un millier d'étoiles
brillantes, relativement
proches de la Terre.

Il a étudié plus de
1000 exoplanètes
puisque de nombreux
systèmes planétaires
comptent plusieurs
compagnons.

d'ailleurs dû combiner les données de notre satellite avec celles du télescope spatial Hubble – qui est toujours en fonction –, puis avec celles du télescope spatial James Webb (JWST), qui est plus récent et beaucoup plus gros. C'est d'ailleurs grâce à des résultats comme celui-ci que nous avons obtenu du temps d'observation sur le JWST. C'est une chance exceptionnelle tant l'accès à cet appareil est compétitif.»

Et que dire du système LHS 1903, qui ne colle pas avec les scénarios habituels de formation des planètes? En général, la configuration des planètes suit une logique similaire à celle du Système solaire. À l'intérieur, le rayonnement stellaire est puissant et emporte les enveloppes gazeuses. C'est donc là que se trouvent les planètes telluriques. Au-delà de la «limite des glaces», les atmosphères épaisses peuvent survivre et c'est là qu'évoluent les objets moins denses, dont les géantes gazeuses. Autour de LHS 1903 gravitent quatre planètes. Les trois plus proches de l'étoile ont une taille intermédiaire entre celle de la Terre et de Neptune (des super-Terre ou des sub-Neptunes). Le quatrième compagnon, caractérisé par Cheops, est le plus éloigné, mais aussi, contre toute attente, le plus dense, c'est-à-dire qu'il est probablement de nature rocheuse.

«L'étoile centrale est une naine rouge très ancienne, suggère David Ehrenreich. Peut-être que les planètes se sont formées tardivement et qu'il n'y avait plus de gaz à disposition pour s'accréter autour d'elle.»



Détective La mission de Cheops consiste à pointer son miroir vers des planètes découvertes au préalable par d'autres télescopes. Il s'avère à l'usage qu'une bonne moitié des cibles du satellite suisse sont proposées par le télescope spatial TESS. Lancé un an et demi avant Cheops par la NASA, cet instrument mesure lui aussi des transits (avec une précision inférieure au satellite suisse) dans le but de réaliser le plus de découvertes possibles. L'équipe scientifique qui dirige Cheops vient ensuite inspecter la moisson, affine les données des candidats les plus intéressants et s'octroie le luxe de jouer les Sherlock Holmes.

«Nous avons lancé un programme que nous avons appelé "Déflecteur Cheops", précise David Ehrenreich. Le télescope TESS ne reste en effet qu'un mois sur un système donné. Il

«Singin' in the Iron Rain an Evening on WASP-76 b»,
par Frederik Peeters.

WASP-76 b est une exoplanète de la taille de Jupiter, dont la face exposée à son étoile est si chaude que les métaux sont vaporisés. Ils se condensent à nouveau en gouttelettes et pleuvent dès qu'ils pénètrent dans l'hémisphère plongé dans la nuit.



risque donc fort de manquer les planètes dont le temps de révolution est plus long ou de ne les voir passer qu'une seule fois devant leur étoile, ce qui laisse planer un doute sur leur véritable nature.»

Et dans des systèmes multiples, qui comptent plusieurs exoplanètes, il devient très compliqué de déterminer leur nombre exact et de les identifier précisément – une connaissance néanmoins capitale si l'on veut comprendre les mécanismes de formation des systèmes planétaires.

«Avec Cheops, on a le loisir d'étudier l'hypothèse d'une ou plusieurs planètes supplémentaires, de calculer quand elles devraient passer devant l'étoile, de pointer le télescope pile au bon moment et, bingo, de découvrir l'objet, poursuit David Ehrenreich. On l'a fait à plusieurs occasions.»

Le premier système multiple comprenant plusieurs planètes telluriques très resserrées autour de leur étoile est celui de la naine rouge Trappist-1, avec ses sept compagnons de la taille de la Terre, dont un se trouve dans la zone habitable. Par la suite, la plupart des autres systèmes de ce type (une douzaine en tout) ont été révélés dans leur entièreté par Cheops, d'après des indices laissés par TESS. Ces systèmes rares sont souvent en résonance, c'est-à-dire que les temps de révolution des planètes représentent des fractions simples (2/3, 3/5...) les uns par rapport aux autres. Cette mécanique céleste délicate est le fruit d'une stabilité qu'aucun événement cosmique n'est venu perturber depuis des éons. Les systèmes multiples sont précieux pour la compréhension des mécanismes de formation et la caractérisation plus poussée de la composition de l'éventuelle atmosphère de ces objets.

Compagnon de compagnon Un défi supplémentaire que Cheops pourrait relever est la détection non seulement d'une planète autour d'une autre étoile que le Soleil, mais en plus d'une lune en orbite autour de cette exoplanète. Le signal de ce compagnon de compagnon a de fortes chances d'être très faible. Mais pas impossible à voir. Un des candidats pour réaliser cette prouesse est Nu² Lupi d. Il s'agit d'une planète dont le rayon est 2,4 fois celui de la Terre et qui est en orbite avec deux autres compagnons autour d'une étoile très brillante, visible à l'œil nu dans la constellation du Loup. L'ensemble a été découvert grâce à la technique de la vitesse radiale par le spectroscopie

genevois de haute précision Harps (installé sur le télescope de l'ESO au Chili). TESS l'a eu dans son viseur à son tour et a pu capter le transit de deux des trois planètes. Manquait toutefois la troisième, dont la révolution dure plus de cent jours. L'équipe de Cheops décide alors de tenter sa chance à son tour.

«Ne connaissant pas l'éphéméride précise de la troisième planète, il nous aurait fallu un mois d'observation continue pour être sûrs de l'attraper, se rappelle David Ehrenreich. Ce qui est beaucoup trop. Nous nous sommes donc concentrés sur les deux planètes internes. Et c'est au moment de mesurer un des transits que, soudain, la lumière de l'étoile a baissé davantage durant un long moment. C'était la troisième planète qui nous a fait une véritable photobombe.»

Connaissant désormais les horaires, les scientifiques ont évidemment décidé de réobserver Nu² Lupi d à son prochain passage en se disant en plus que, si cette planète devait par hasard posséder une lune, elle pourrait bien apparaître dans le signal. Les calculs montrent que pour être détectée par Cheops, sa taille devrait être au moins celle de Mars – qui n'est que 30% plus grande que Ganymède, une des lunes de Jupiter. Pour l'instant, les scientifiques ont cru reconnaître des indices positifs mais aucun n'a, pour l'instant, survécu à des analyses plus poussées.

En attendant, Cheops poursuit donc sa mission pour trois années supplémentaires, ce qui coïncidera avec le lancement en 2027 de Plato. Ce satellite européen ultra-performant muni de 24 petits télescopes est chargé, lui aussi, de balayer le ciel et de détecter des transits autour d'un maximum d'étoiles (avec l'espoir assumé de découvrir une exo-Terre autour d'un exo-Soleil). Au lieu d'être simplement supplanté, Cheops continuera son travail, aidé en cela par sa flexibilité, et pourra même collaborer avec Plato en jouant le rôle de la 25^e caméra afin d'améliorer la précision des mesures dans les marges du champ de vision du télescope spatial européen.

Si cette tâche est couronnée de succès, peut-être que cela vaudra à Cheops une troisième prolongation de mission en 2029, en attendant que démarre le projet de l'éventuel deuxième satellite suisse, un spectrographe, conçu en collaboration avec l'Autriche, fonctionnant dans l'ultraviolet et baptisé Waltzer.

PLATEFORME

DACE, LA COLONNE VERTÉBRALE DE PLANETS

CRÉÉE GRÂCE AUX FONDS DU PÔLE DE RECHERCHE NATIONAL, LA PLATEFORME DACE PERMET DE **CENTRALISER DES DONNÉES UNIFORMISÉES SUR LES EXOPLANÈTES** ET D'EN FACILITER L'ANALYSE PAR LES SCIENTIFIQUES.



Damien Ségransan

Professeur associé au Département d'astronomie de la Faculté des sciences

Formation: Après des études à l'Université de Grenoble I, il y obtient en 2001 un doctorat en sciences, mention astrophysique. Il rejoint ensuite le Département d'astronomie de l'UNIGE comme chercheur postdoctoral.

Parcours: Il y poursuit ses recherches dans le domaine des exoplanètes et des objets de très faible masse. En 2012, il est nommé collaborateur scientifique, en 2014 maître d'enseignement et de recherche et en 2021 professeur associé au Département d'astronomie.

C'est un rêve d'astronome devenu réalité. Derrière un nom quelque peu austère, DACE (Data & Analysis Center for Exoplanets) se cache un trésor de données issues de l'observation des planètes extrasolaires. Leur richesse – inestimable – tient au fait qu'elles ont été triées, vérifiées, réduites, uniformisées, en un mot, archi-préparées pour l'analyse scientifique, tout en étant facilement manipulables grâce à des applications web et à une interface limpide, rapide et fluide, spécialement développées pour l'occasion. En seulement quelques minutes – moyennant pour les non-initiés la lecture préalable d'un mode d'emploi –, il est possible de choisir une étoile du ciel en entrant son nom, de visualiser la courbe périodique de sa vitesse radiale et d'identifier à partir de celle-ci la présence possible, en quelques clics, d'une ou de plusieurs planètes en orbite (la confirmation formelle de la nature planétaire de l'objet demande bien sûr une analyse plus poussée). Le citoyen lambda amateur d'astronomie – l'accès à une grande partie des données est ouvert – peut ainsi se familiariser avec l'étude des exoplanètes. Le scientifique professionnel, lui, peut aller plus loin grâce à des outils d'analyse avancés et à la modélisation théorique des systèmes planétaires et stellaires, également à disposition sur le site.

«Mettre en place une plateforme comme DACE, c'est très difficile, particulièrement en termes de coûts», explique Damien Ségransan, professeur associé au Département d'astronomie (Faculté des sciences) et responsable de DACE. *Nous avons pu le faire dans le cadre de PlanetS, le Pôle national de recherche codirigé par l'Université de Genève de 2014 à 2026. Il nous a assuré le financement pour engager des informaticiens, des data scientists ainsi que pour se procurer le matériel nécessaire.*

La motivation principale de DACE était de fournir des données fiables et de les centraliser afin qu'elles puissent être facilement comparées, échangées et analysées à l'aide d'outils informatiques. Cette structure a été conçue pour faciliter les collaborations entre scientifiques qui, jusque-là, avaient tendance à mener leurs analyses dans leur coin

avec des fichiers de tous les formats possibles et imaginables, souvent incompatibles entre eux. Le défi a été relevé avec succès puisqu'aujourd'hui, DACE est devenue la plateforme de données sur les planètes extrasolaires la plus utilisée en Europe. Plus de 1000 scientifiques du monde entier ont ouvert un compte dont 300 sont considérés comme actifs. Près d'un pétaoctet (1 million de gigaoctets) de données sont stockées dans une quinzaine de serveurs rangés dans une armoire.

Service public «La plateforme, véritable colonne vertébrale de PlanetS, était d'abord destinée aux membres du PRN», précise Damien Ségransan. *Nous l'avons ensuite ouverte à nos collaborateurs extérieurs et finalement à toute la communauté des astronomes. Les codes informatiques des outils d'analyse sont publics, tout comme les données sur les exoplanètes, du moins après un certain temps, en fonction des accords que nous avons avec les différents instruments internationaux qui nous fournissent les données brutes. En d'autres termes, la plateforme, financée par les contribuables, est un service public, accessible à tout un chacun. Et depuis la fin du PRN, elle est devenue une infrastructure à part entière de l'Université de Genève, qui finance deux postes pour pérenniser son fonctionnement.* Car la plateforme ne cesse de grandir. Chaque jour, de nouveaux résultats de mesures sont acheminés vers DACE où ils sont vérifiés et formatés. Les chiffres proviennent principalement de spectrographes (qui mesurent la vitesse radiale des étoiles) conçus et fabriqués à l'Observatoire de Genève: Coralie (installé sur le télescope suisse Euler à La Silla au Chili), Harps et Harps-Nord (respectivement montés sur des télescopes à La Silla au Chili et à La Palma, aux Canaries) ou encore Espresso, (connecté au Very Large Telescope, au Paranal, Chili). DACE collecte également les données de Cheops, le satellite suisse, qui étudie les exoplanètes plus en détail grâce à la technique dite du transit. Par ailleurs, de plus en plus de groupes américains et européens, sans lien avec le PRN, demandent à DACE d'uniformiser leurs données. «Ça commence à prendre», constate Damien Ségransan.

Chasseur de planètes Les outils informatiques mis à disposition sur le site permettent de se prendre, l'espace de quelques instants, pour un astronome chasseur d'exoplanètes et de mieux comprendre ce métier. En choisissant une étoile de la base de données, on accède immédiatement aux mesures temporelles réalisées avec différents spectrographes sur cet astre. Ce sont des points plus ou moins rapprochés (en fonction du nombre de mesures effectuées) formant une courbe dont on remarque en général rapidement le caractère périodique, traduisant les petits rapprochements et éloignements successifs de l'étoile sous l'effet gravitationnel d'une ou de plusieurs planètes en orbite. Grâce à un autre graphique en dessous, montrant la répartition du signal en fonction de sa fréquence (périodogramme), il est possible de choisir la fréquence qui a le plus de probabilités de correspondre à une première planète et de soustraire sa contribution au signal. On obtient alors sa masse minimale, sa période et certains paramètres orbitaux. On peut ensuite répéter l'opération avec une éventuelle deuxième planète ayant une autre période orbitale pas forcément visible au premier coup d'œil. Et ainsi de suite jusqu'à épuisement des planètes ou jusqu'au moment où il ne devient plus possible de distinguer le mouvement d'une éventuelle planète supplémentaire du bruit de fond.

«Un pic dans le périodogramme indique une périodicité dans les mesures de vitesse radiale, précise Damien Ségransan. Il peut aussi provenir de l'activité stellaire, de l'échantillonnage temporel, d'alias ou d'effets instrumentaux. Il faut donc ajuster un modèle, examiner les résidus et comparer plusieurs hypothèses. DACE facilite grandement cette analyse, mais ne transforme pas automatiquement un pic en planète confirmée.»

La plateforme comprend d'ailleurs un onglet consacré précisément aux modèles théoriques, qui constitue la spécialité de l'Université de Berne, qui a codirigé le PRN PlanetS. Elle recèle également une section dédiée au Système solaire et en particulier au Soleil. Ce dernier, grâce à sa proximité, permet d'étudier en détail tout ce qui peut perturber son éclat. Sa surface est en effet sans cesse secouée par une activité importante (taches solaires, convection, granulation, oscillations stellaires...). Les connaissances acquises sur le comportement du Soleil peuvent ensuite être transposées aux étoiles lointaines afin de développer des modèles permettant de mieux distinguer, dans le signal qui parvient aux astronomes, la composante qui

LE DÉFI A ÉTÉ RELEVÉ AVEC SUCCÈS PUISQUE «DACE» EST DEVENUE LA PLATEFORME DE DONNÉES SUR LES PLANÈTES EXTRASOLAIRES LA PLUS UTILISÉE EN EUROPE.

est produite par le bouillonnement propre de l'astre de celle, infime, qui provient de la présence d'un compagnon planétaire. Tous les moyens sont bons en effet pour chercher à optimiser ce rapport entre le signal utile et le bruit puisque les instruments d'observation traquent des planètes toujours plus petites autour d'étoiles relativement grandes comme le Soleil et sur des périodes de plus en plus longues.

Qualité suisse Enfin, la plateforme DACE héberge également son propre catalogue d'exoplanètes, alimenté et entretenu par François Bouchy, professeur au Département d'astronomie, et son équipe. La liste compte actuellement un peu moins d'un millier de planètes (958). C'est peu comparé aux près de 6500 qu'exhibent d'autres atlas plus inclusifs, tels que celui de la NASA ou exoplanet.eu. Pour Damien Ségransan, la quantité, c'est probablement intéressant pour la science statistique et la communication auprès du grand public. Mais l'objectif de DACE, c'est davantage la qualité des données et en particulier leur homogénéité et leur fiabilité.

«Notre catalogue possède un périmètre scientifique plus spécialisé que les autres, explique-t-il. Nous vérifions chaque mesure et nous effectuons des choix car certaines fois, différents articles traitant du même objet se contredisent. Les informations que nous publions sont donc sélectionnées, documentées et homogénéisées. Elles permettent notamment aux théoriciens, qui cherchent à comprendre les mécanismes de formation des systèmes planétaires, de se baser sur des données solides. Alors, c'est vrai, nous ne possédons pas toutes les données existantes sur les planètes extrasolaires. Mais celles que nous avons sont de qualité suisse.»

GAIA, CHASSEUSE D'EXOPLANÈTES

Le 2 décembre prochain, la mission spatiale astrométrique Gaia de l'Agence spatiale européenne (ESA) publiera la première moitié des données qu'elle a récoltées au cours de son périple qui a duré de 2013 à 2025. Ce ne sont pas moins de soixante-six mois de mesures de plus d'un milliard de sources lumineuses distribuées sur toute la voûte céleste qui seront ainsi mises à la disposition des scientifiques.

Ce catalogue, qui est amené à être complété fin 2030, comprend les caractéristiques (position précise, distance, intensité lumineuse, etc.) de la moindre étoile, galaxie ou encore astéroïde jusqu'à une magnitude de 20 ou 21 (ce qui est très faible).

Les mesures de Gaia sont si précises qu'elles permettront de découvrir des planètes autour de certaines étoiles. En effet, la présence d'un

compagnon, même invisible, provoque un mouvement régulier de l'étoile qui se traduit par une oscillation régulière de sa position sur la voûte céleste que le satellite peut détecter.

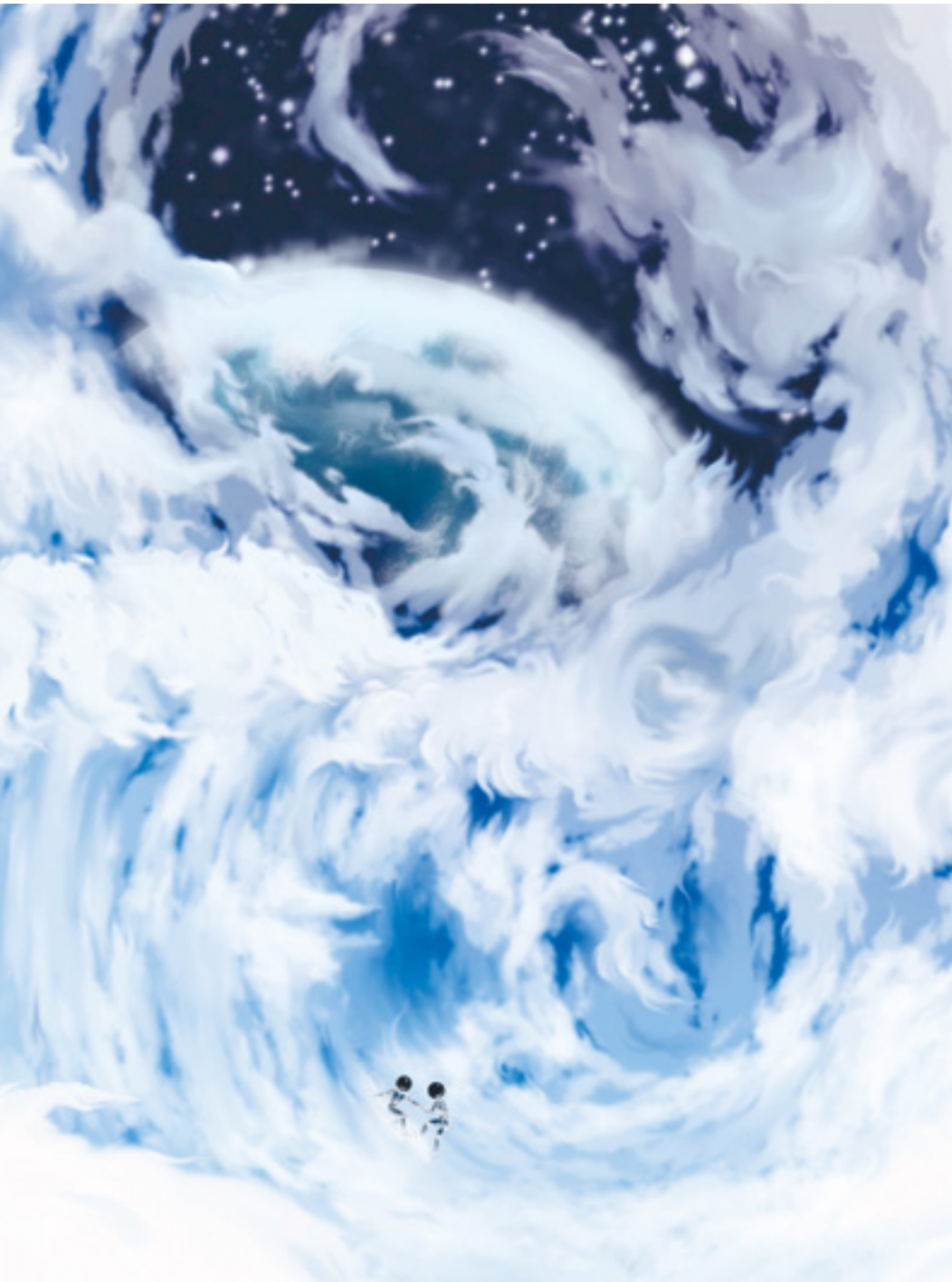
Damien Ségransan, professeur associé au Département d'astronomie (Faculté des sciences), et son équipe contribuent à la mise à disposition des astronomes des données concernant les étoiles potentiellement accompagnées d'exoplanètes ou de naines brunes (des astres plus massifs qu'une planète mais pas assez pour déclencher la fusion nucléaire de l'hydrogène comme le fait une étoile).

«Sur les 5,8 millions de sources situées dans une sphère de 200 parsecs autour de la Terre, nous avons identifié plus de 150 000 systèmes qui devront désormais être analysés par des équipes du monde entier», explique-t-il.

Les planètes, ou autres compagnons, que Gaia permettra de découvrir seront plutôt massives, au moins autant que Jupiter. Dénicher des objets plus légers avec cette technique ne sera possible qu'avec les étoiles plus proches de la Terre. Mais cette population d'exoplanètes géantes et gazeuses a aussi son intérêt dans la compréhension de la formation des systèmes planétaires en général. Et les statistiques sur les exoplanètes devraient exploser de manière spectaculaire.

«Exploring the Boundless HR8799 b»,
par Talie Humeau.

HR8799 b est une exoplanète géante gazeuse, dont la masse est entre 5 et 7 fois celle de Jupiter. Elle met 465,8 ans pour effectuer une orbite complète. C'est la première exoplanète à avoir été découverte par la technique dite de la détection directe.



MATHÉMATIQUES

SWISSMAP OUVRE LA ROUTE VERS LA PHYSIQUE DU FUTUR

LE PÔLE DE RECHERCHE NATIONAL SWISSMAP S'EST TERMINÉ AU PRINTEMPS APRÈS DOUZE ANS DE TRAVAUX. À SON ACTIF, DE NOMBREUX RÉSULTATS EN MATHÉMATIQUES ET EN PHYSIQUE THÉORIQUE. INTERVIEW DE SON DIRECTEUR, STANISLAV SMIRNOV.



Stanislav Smirnov

Professeur à la Section de mathématiques de la Faculté des sciences

Formation: Après une licence en mathématiques à l'Université d'État de Saint-Petersbourg en 1992, il obtient un doctorat au California Institute of Technology (Caltech) en 1996.

Parcours: De 1996 à 1998, il travaille à l'Université Yale, à l'Institut for Advanced Study de Princeton et à l'Institut Max Planck de mathématiques de Bonn. Après un passage à l'Institut royal de technologie de Stockholm, il est nommé professeur à l'Université de Genève en 2003. Il reçoit la médaille Fields en 2010.

Les mathématiques ne sont pas qu'une pure abstraction. Elles forment une science qui se nourrit de nombre d'autres champs de recherche qu'elles alimentent en retour, en particulier la physique théorique. C'est à cet enrichissement mutuel que le Pôle de recherche national (PRN) SwissMAP (*The Mathematics of Physics*) s'est consacré durant douze ans, jusqu'à la fin du programme au printemps. Plus spécifiquement, l'objectif a consisté à doper les recherches portant sur la physique mathématique, dont l'objectif est la description des phénomènes naturels avec la rigueur propre aux mathématiques. Cette discipline regroupe l'ensemble des problèmes mathématiques soulevés par les théories physiques mais aussi des sujets purement mathématiques qui trouvent une utilité en physique. Dirigé par Stanislav Smirnov, professeur à la Section de mathématiques (Faculté des sciences) et lauréat de la Médaille Fields en 2010, SwissMAP est une vaste collaboration copilotée par l'Université de Genève et l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ) et rassemblant des chercheurs et des chercheuses des universités de Bâle, Berne, Fribourg et Zurich, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne ainsi que du CERN. Interview.

Campus: Quels sont les grands accomplissements scientifiques de SwissMap?

Stanislav Smirnov: Durant les huit premières années, le PRN était structuré autour de cinq axes majeurs de la recherche en physique mathématique dans lesquels il existait – et il existe d'ailleurs toujours – des problèmes importants à résoudre (*lire l'encadré en page 37*). Ces projets de recherche, du point de vue mathématique, ont de très nombreuses aires de recouvrement. C'est pourquoi la dernière phase du PRN a consisté à fusionner ces domaines. Finalement, en douze ans, nous avons réalisé des avancées mathématiques et physiques remarquables. Nous avons pu démontrer un grand nombre de théorèmes extraordinaires. Il est vrai que ce sont des progrès fondamentaux et sans doute abstraits pour le grand public mais ils n'en valent pas moins la voie vers de futurs développements de la physique théorique et donc vers une meilleure connaissance de la nature.

Avez-vous des exemples concrets?

Cela fait longtemps que les mathématiciens essaient de trouver une description mathématique fiable de la théorie du magnétisme, par exemple. Il s'agit d'une théorie très importante, y compris pour des applications pratiques, qui décrit l'ensemble des phénomènes physiques par lesquels les objets exercent des forces d'attraction ou de répulsion causées par les pôles magnétiques, les champs magnétiques et les mouvements des électrons. Il se trouve qu'Hugo Duminil-Copin, professeur à la Section de mathématiques (Faculté des sciences), et ses collaborateurs ont accompli un progrès décisif dans cette quête. Autre exemple: la théorie de la gravitation, c'est-à-dire la relativité générale découverte il y a un siècle par Albert Einstein, est encore et toujours incompatible avec la formulation actuelle de la théorie quantique. Il existe néanmoins une conjecture (un énoncé que l'on croit fortement être vrai mais qui n'a pas encore été rigoureusement démontré), dite AdS/CFT, qui représente pour l'instant le meilleur espoir pour le développement d'une théorie unifiée et dépourvue de contradictions internes. Matthias Gaberdiel, professeur à l'EPFZ, et ses collaborateurs ont réussi à avancer de manière notable dans ce dossier en démontrant la véracité de cette conjecture pour les espaces à deux dimensions. La dernière étape, pour la troisième dimension, reste cependant à franchir. Quant à Marcos Mariño Beiras, professeur à la Section de mathématiques et au Département de physique théorique, il a montré, avec ses collègues, que certaines séries infinies divergentes, un problème abstrait qui préoccupe les mathématiciens depuis des siècles, contiennent des informations importantes sur le comportement des particules dans la théorie quantique.

Est-ce qu'après douze ans, le rayonnement des mathématiques genevoises et suisses s'en trouve renforcé?

Un indicateur intéressant est le fait qu'il y a 12 ans, SwissMAP ne comptait parmi ses membres qu'un seul lauréat de la distinction suprême en mathématiques, c'est-à-dire la Médaille Fields [*il s'agit de Stanislav Smirnov lui-même, récompensé en 2010 pour ses travaux sur la théorie dite de la «percolation», ndlr*]. Au moment de se terminer,

le PRN en compte six. Sur la cinquantaine de récipiendaires de ce prix encore vivants dans le monde, ce n'est pas si mal. L'un d'eux est Hugo Duminil-Copin qui a reçu la Médaille Fields en 2022 en même temps que Maryna Viazovska, professeure à l'École polytechnique fédérale de Lausanne et membre, elle aussi, de SwissMAP. Les trois autres lauréats sont Martin Hairer (2014), professeur à l'EPFL et ancien étudiant de l'UNIGE, Artur Ávila (2014), de l'Université de Zurich, et Alessio Figalli (2018), de l'École polytechnique fédérale de Zurich. Cela dit, si je dresse la liste des mathématiciens de ma génération que j'admire le plus, la plupart d'entre eux n'ont, par la force des choses, jamais reçu cette récompense *[elle n'est décernée que tous les 4 ans à quatre scientifiques de moins de 40 ans, ndr]*. Ce prix comprend donc un aspect aléatoire, mais il joue un rôle indéniable dans le prestige et la réputation internationale de la science à Genève et en Suisse.

Le PRN, c'était un de ses objectifs, a permis d'intensifier les collaborations entre les institutions, entre les groupes et entre les scientifiques. On est loin de la figure du mathématicien solitaire...

Il ne faut pas croire les stéréotypes. Les mathématiciens ont toujours beaucoup voyagé pour échanger avec d'autres scientifiques. Le Bâlois Leonhard Euler (1707-1783), l'un des plus grands et des plus prolifiques mathématiciens de tous les temps (à qui l'on doit des lois, des théorèmes, des formules, des identités, des intégrales, des fonctions, des nombres et j'en passe), a séjourné à Saint-Petersbourg et à Berlin, passant d'une académie à l'autre. À la même époque, le Genevois Gabriel Cramer (1704-1752) a traversé toute l'Europe pour se confronter à ses collègues d'autres pays. Même le semi-légendaire Pythagore, le philosophe de la Grèce antique, s'est rendu en Égypte pour interagir avec les meilleurs mathématiciens de son époque. Et ce ne sont là que quelques exemples. Quant à nous, mathématiciens du PRN SwissMAP répartis dans différentes institutions de Suisse, nous avons, nous aussi, multiplié et approfondi nos interactions. Et je parle d'interactions physiques et non par visioconférences.

Vous voulez dire qu'il est important pour les mathématiciens de se rencontrer de visu?

Contrairement aux autres disciplines scientifiques, nous n'avons pas besoin de machines sophistiquées pour nos recherches. Du papier et un crayon suffisent souvent. Ce qui améliore notre efficacité, ce sont les interactions personnelles. Il ne faut jamais oublier que nous sommes des animaux sociaux. Je me croyais solitaire dans ma pratique des mathématiques car j'aime bien réfléchir seul, de mon côté. Mais sans interactions avec les autres, cela ne fonctionne pas si bien que cela. En réalité, ce n'est pas en lisant des livres ou en écoutant des colloques que j'ai appris la plupart des choses que je sais aujourd'hui en mathématiques ou en sciences en général. C'est en discutant avec d'autres

êtres humains. Les meilleures idées ont même souvent surgi autour d'une machine à café, au cours d'une conversation banale. Par ailleurs, les mathématiques sont devenues une discipline profondément collective. Il est vrai qu'il y a 80 ans, la plupart des articles en mathématiques étaient signés par un seul auteur. Mais dès les années 1960, la majorité en comptait deux. Aujourd'hui, c'est plutôt trois et plus. Car le champ des mathématiques est devenu très vaste et le moindre problème demande de couvrir plusieurs sujets à la fois et donc de faire appel à plusieurs spécialistes. Une des réussites de SwissMAP est d'avoir permis de construire une structure favorisant très efficacement cette collaboration et cette émulation.

Avez-vous cherché à rendre les mathématiques plus attractives aux yeux des jeunes?

Nous avons beaucoup investi dans des efforts de vulgarisation. Créé en 2015, le MathsScope, qui fait partie de la structure plus large du Scienscope de l'UNIGE, est un exemple. C'est un laboratoire animé par de jeunes mathématiciennes et mathématiciens, destiné aux élèves du canton, mais aussi au grand public, afin d'éveiller leur curiosité et leur esprit critique. En 2024, nous avons lancé Genève Évasions Mathématiques (G·EM), une initiative dédiée à la médiation scientifique en mathématiques. Dirigée par Hugo Duminil-Copin et Élise Raphael, elle a pour mission d'organiser des conférences publiques données par des scientifiques renommés pour présenter la recherche de pointe menée dans la Section de mathématiques, de monter des expositions et des événements visant à rendre compte de l'omniprésence des mathématiques dans notre vie quotidienne, de mettre sur pied des activités pour le public scolaire, etc. Nous avons aussi participé au programme Athéna, au sein duquel des écoliers des dernières deux années du Collège peuvent suivre des cours de mathématiques et de physique à l'Université de Genève. Nous en accueillons une cinquantaine chaque année dont beaucoup (y compris mon fils et ma fille, d'ailleurs) poursuivent ensuite leurs études dans cette voie et se retrouvent dans nos salles de classe.

L'envie pour les mathématiques ne doit-elle pas aussi éclore à l'école?

Je pense en effet que beaucoup de personnes ne savent pas que les mathématiques sont beaucoup plus intéressantes que ce qu'on apprend à l'école. J'ai le projet, avec quelques amis mathématiciens, de réécrire les manuels de maths afin d'en faire quelque chose de plus intéressant et de développer du matériel à destination des enseignants. Même si à Genève la situation est satisfaisante de ce point de vue, je trouve, de manière générale, que nous manquons de bons enseignants en mathématiques. Il faut dire qu'à l'échelle européenne, il doit bien en exister un million. Et trouver un million de personnes douées en mathématiques et en didactique, qui soient capables d'enseigner cette matière à

LES CINQ AXES DE SWISSMAP

Le Pôle de recherche national (PRN) SwissMAP (The Mathematics of Physics) était articulé autour de cinq axes.

La théorie quantique des champs, qui est le cadre décrivant les champs de force qui régissent les interactions entre particules élémentaires.

La géométrie et la topologie, des disciplines qui fondent notamment l'électromagnétisme et la relativité générale.

La mécanique quantique, l'une des théories fondamentales de la physique, née au début du XX^e siècle.

La mécanique statistique, qui décrit le comportement typique des systèmes macroscopiques à partir de la connaissance des interactions entre leurs constituants microscopiques.

La théorie des cordes, qui est un réseau complexe d'idées physiques et mathématiques englobant une théorie quantique de la gravité, une description unifiée conjecturale des interactions entre particules et une multitude de liens avec la géométrie et la topologie.

l'école avec enthousiasme tout en jouant le rôle de mentor, ce n'est pas simple. Cela dit, tout ne se joue pas à l'école. Certains mathématiciens de très haut niveau étaient très mauvais dans cette branche à l'école. Un exemple parmi une douzaine que je connais, June Huh, professeur à l'Université Stanford et récipiendaire de la Médaille Fields (2022), dit lui-même qu'au début, il ne comprenait rien aux maths et voulait être poète. Mais un jour, il a fait la rencontre de Heisuke Hironaka, un mathématicien japonais très célèbre, qui a changé sa vie et l'a lancé dans sa voie.

Comment allez-vous pérenniser les accomplissements de SwissMAP?

Nous avons inauguré en 2021 une nouvelle structure aux Diablerets, la Station de recherche SwissMAP, qui va poursuivre les activités du PRN. Il s'agit d'une initiative conjointe de l'Université de Genève et de l'EPFZ. Dirigée par Anton Alekseev, professeur à la Section de mathématiques, et Renato Renner, professeur à l'EPFZ, elle organise, 12 fois par an, des conférences internationales thématiques et des ateliers spécialisés en mathématiques et en physique théorique. Ces événements regroupent souvent une cinquantaine de personnes, issues de groupes en physique théorique et mathématiques basés en Suisse mais aussi à l'étranger.

ChatGPT aurait réussi, en mai 2026, à réfuter une conjecture centrale en géométrie, dite d'Erdős, vieille de 80 ans. Est-ce que l'intelligence artificielle (IA) est en train de dépasser les humains dans le domaine des mathématiques?

Il y a même eu des développements encore plus passionnants depuis, comme le contre-exemple à la «conjecture jacobienne» et la construction de «groupes non sofiqes» avec l'aide respectivement de Claude et de ChatGPT. Il devient clair que l'IA va clarifier des domaines, trouver des contre-exemples et démontrer des théorèmes, surtout si elle est guidée par l'humain. La grande force de l'IA est de savoir gérer de grandes bases de données. Donc, si, par exemple, il existe déjà quelque part dans la littérature une idée qui peut servir à la résolution d'une conjecture, l'IA la trouvera. Ce n'est pas rien. La communauté publie en effet plus de 100 000 articles de mathématiques par année. Nous ne pouvons pas consacrer le temps nécessaire à les lire tous, même superficiellement. L'IA, oui. Elle peut donc suggérer des solutions, des idées, des sujets intéressants auxquels nous n'avons pas facilement accès. Ce qui est moins clair,

par contre, c'est de savoir si elle sera capable d'introduire de nouvelles notions ou de créer de nouvelles théories d'une manière que les humains sauront apprécier.

L'utilisez-vous dans vos recherches?

Oui. Il se trouve que je me lance dans un nouveau domaine, l'application des mathématiques à la biologie et en particulier aux neurosciences – un sujet passionnant et largement inexploré. Dans cette démarche, l'IA m'aide à compiler la littérature scientifique, à résumer les articles. Cela dit, je ne le fais sérieusement que depuis novembre 2025, moment où la qualité de l'IA a effectué un saut qualitatif majeur. J'ai demandé récemment le résumé de cinq articles sur des thèmes que je maîtrise bien et j'ai été impressionné par le résultat. C'est donc un outil qui peut faire exploser notre efficacité.

Mais pas au point de pouvoir démontrer des théorèmes à la place des humains...

On ne peut pas prévoir le futur. Quelques-uns de mes collègues et anciens étudiants travaillent sur cette question. L'IA est encore largement une boîte noire et on ne comprend pas grand-chose à ses performances. On connaît bien sûr son fonctionnement de base, puisque des ingénieurs ont construit le système et l'ont programmé. Mais on ne sait pas prédire ce qui va fonctionner ou non. On essaye des choses et on regarde ce que cela donne. Et quand ça marche, on ne sait pas vraiment pourquoi. Aujourd'hui, la compréhension des performances de l'IA ne fait plus partie des sciences informatiques mais des sciences naturelles. Peut-être que l'on arrivera à déduire une loi physique sur le fonctionnement de l'IA, mais cette loi devra, selon moi, davantage faire appel aux sciences cognitives, linguistiques et informatiques. Cela fait penser aux tentatives de trouver une explication de la conscience humaine à partir du fonctionnement des neurones. Pour faire une bonne analogie, je pense aux machines à vapeur dont les premières ont été construites sans que l'on connaisse les lois de la thermodynamique. On bricolait pour améliorer telle ou telle partie de l'engin. Quand il explosait, on comprenait qu'il fallait chercher dans une autre direction. Et puis au XIX^e siècle, on a découvert les lois de la thermodynamique qui ont permis de construire des moteurs au diesel et à essence et de véritablement lancer la Révolution industrielle. J'ai l'impression qu'avec l'IA, c'est la même chose. En d'autres termes, nous n'avons pas encore découvert les «lois de la thermodynamique de l'IA».



«TRUMP EST ENTRÉ DANS L'ÉTAPE DU BUNKER»

SPÉCIALISTE DE L'AUTORITARISME, **RUTH BEN-GHIAT, PROFESSEURE À L'UNIVERSITÉ DE NEW YORK**, SERA DE PASSAGE À GENÈVE CET AUTOMNE POUR RECEVOIR LE TITRE DE DOCTEUR HONORIS CAUSA DE L'UNIGE.

Professeure d'histoire à l'Université de New York, Ruth Ben-Ghiat est spécialiste du fascisme et des dirigeants autoritaires. Son dernier ouvrage, *Strongmen: Mussolini to the present*, examine la manière dont les régimes autoritaires utilisent la propagande, la virilité, la corruption et la violence pour se maintenir au pouvoir et la façon de les combattre. Elle est une des récipiendaires du titre de docteur honoris causa 2026, qui lui sera remis en octobre lors de la cérémonie traditionnelle du Dies academicus.

Campus: Quelles sont les différences entre fascisme et autoritarisme?

Ruth Ben-Ghiat: J'apprécie la définition du fascisme donnée par Benito Mussolini lui-même, avant son arrivée au pouvoir: «*Le fascisme est une révolution réactionnaire*.» On recourt à la violence pour bouleverser le système établi (révolution) et une fois le pouvoir acquis, on prive les femmes et les travailleurs de leurs droits et on impose sa vision de la société par la répression (réactionnaire). Le fascisme, au même titre que les débuts du communisme, constitue une première forme d'un système autoritaire plus large. L'autoritarisme est plus récent car il requiert des médias et une société de masse que l'on ne retrouve que dans nos sociétés actuelles. Il commence quand le pouvoir exécutif prend le contrôle et supprime l'indépendance du pouvoir judiciaire et du Parlement. Il s'agit d'une forme d'accaparement de la société par le dirigeant, qu'il soit de gauche ou de droite.

Est-ce que les régimes autoritaires sont en progression?

Sans aucun doute. Selon une estimation récente de Freedom House, une organisation non gouvernementale qui étudie l'étendue de la démocratie dans le monde, près de 70% de la population mondiale sont aujourd'hui

gouvernés par un régime autoritaire. Ce terme englobe aussi bien l'État à parti unique qu'est la Chine que des versions plus récentes comme le régime de Viktor Orbán en Hongrie (jusqu'à sa défaite récente) ou encore celui de Recep Tayyip Erdoğan en Turquie. Et il y en a bien d'autres. Souvent, les élections sont maintenues. Mais elles sont instrumentalisées à des fins partisans. Les droits fondamentaux sont bafoués et les critiques sont réprimées. Une dynamique intéressante se dessine pourtant.

Laquelle?

Nombre de ces dirigeants autoritaires ne sont plus tout jeunes, à l'image de Vladimir Poutine, de Donald Trump ou encore de Xi Jinping. Et aucun d'entre eux n'aime parler de succession. Cela affaiblit le culte de la personnalité. L'autoritarisme, sous cette forme, n'est donc pas viable. Ces systèmes sont peut-être à leur apogée et nous pourrions bientôt assister à une crise de l'autoritarisme, quand ces dirigeants seront trop âgés pour gouverner.

Quels sont les signes d'une démocratie qui commence à glisser vers un régime autoritaire?

L'objectif d'un dirigeant autoritaire est d'accumuler assez de pouvoir pour se mettre en sécurité et pour s'enrichir personnellement. Comme la plupart de ces dirigeants sont corrompus et entraînent de sérieux problèmes judiciaires, la mainmise sur le Département de la justice est souvent la première étape. Un autre signe qui ne trompe pas est la délégitimation des élections quand elles ne leur sont pas favorables. En les qualifiant de truquées, en insinuant des interférences étrangères ou que des personnes décédées auraient voté, ils font tout leur possible pour semer le doute. Ce qui exige le contrôle au moins partiel des médias. En Hongrie, durant des années, le musellement des médias était si efficace que les messages des candidats de l'opposition

n'atteignaient simplement pas la majorité de la population. Et quand, malgré tout, les autoritaires perdent, ils refusent de quitter le pouvoir. Cela peut passer par la violence et une tentative de coup d'État, comme l'ont fait l'ancien président du Brésil Jair Bolsonaro et Donald Trump. Si le régime est solidement ancré au pouvoir, comme l'était celui de Nicolás Maduro au Venezuela, cela peut fonctionner. L'ancien président du Venezuela a certes été enlevé par les États-Unis mais le régime est toujours en place, dirigé par une de ses anciennes ministres, Delcy Rodríguez, avec la bénédiction de Washington.

Quelle est la différence entre l'attaque du Capitole du 6 janvier 2020 et la tentative de coup d'État de Jair Bolsonaro?

Le Brésil a l'«avantage» d'avoir souffert de 1964 à 1985 d'une dictature militaire sanglante instaurée par un coup d'État en 1964. Alors quand Jair Bolsonaro, après avoir perdu les élections en 2023, a essayé de commettre son propre coup de force pour conserver le pouvoir, la population et les institutions savaient exactement ce qui était en jeu et ne voulaient manifestement pas que l'histoire se répète. Arrêté et jugé, Jair Bolsonaro est désormais en prison. Aux États-Unis, cela ne s'est pas du tout passé ainsi. Pourtant, Donald Trump a menacé des responsables des élections dans l'État de Géorgie pour qu'ils changent les résultats des urnes, il a incité l'assaut du Capitole, il a sorti toute la panoplie de l'apprenti dictateur pour rester au pouvoir. Et malgré tout cela, il a pu se représenter aux élections suivantes et les gagner, grâce au soutien du Parti républicain. Il se retrouve à la Maison-Blanche au lieu d'être en prison. Parce que les électeurs américains ont, dans leur majorité, estimé que ses agissements n'étaient pas si graves. Cet épisode entrera dans les livres d'histoire comme une *petite mort* de la démocratie américaine.

Les États-Unis sont-ils devenus un pays fasciste?

Non. Il peut être agréable de traiter les États-Unis de fascistes mais il y a une grande différence entre ce pays, où les citoyens conservent leurs droits fondamentaux, et de véritables États totalitaires, comme la Chine ou la Russie. Il est vrai, que Donald Trump et beaucoup de personnalités de son entourage s'inspirent du fascisme. Certains souhaitent même réhabiliter le nazisme. Les deux anciens conseillers du président Steve Bannon et Elon Musk ont récemment fait un salut nazi. L'oligarchie soutient Donald Trump et le camp présidentiel tente de capturer des grandes chaînes câblées ou des groupes de médias. Le géant du divertissement Paramount Skydance, dirigé par un proche allié de Donald Trump, a dernièrement racheté Warner Bros Discovery, maison mère de CNN. Tout cela est vrai mais ne signifie pas encore qu'en tant qu'Américaine, je vis dans un État fasciste. Le multipartisme existe toujours, la presse et les citoyens peuvent toujours s'exprimer librement et, en même temps, de nouvelles formes de médias indépendants se développent, à l'image de Substack (plateforme en ligne qui héberge des contenus accessibles sur abonnement). Il est impossible de faire taire toutes les voix discordantes, à moins de disposer des moyens d'un régime dictatorial comme celui de la Corée du Nord ou de la Russie. Recep Tayyip Erdoğan s'y essaye, mais cela l'oblige à poursuivre ses adversaires en grand nombre. Il a porté plainte contre plus de 100 000 personnes, dont des citoyens ordinaires, des vendeurs de fruits et même une ancienne Miss Univers.

Les institutions américaines pourront-elles résister à Donald Trump?

Le gouvernement et la gouvernance américains ont subi des dommages immenses. Les institutions gouvernementales ont été vidées de leur substance, voire détruites à une vitesse fulgurante, notamment avec l'aide d'Elon Musk, qui a été une sorte de vice-président lorsqu'il était à la tête du DOGE (Département de l'efficacité gouvernementale). Cette structure a viré plus de 350 000 employés durant ses dix-huit mois d'existence. Aucun autre pays où sévit un dirigeant

autoritaire dans le monde en a fait autant. Heureusement, le pouvoir judiciaire résiste toujours, bien que Donald Trump ait essayé d'en faire un outil au service de ses intérêts personnels. De nombreux juges à travers le pays, même ceux nommés par le président, se retournent contre lui et refusent ses ordres. La résistance s'organise aussi dans la rue. La dernière manifestation en date a rassemblé 8 millions de personnes à travers le pays mais de manière très décentralisée, ce qui est assez logique compte tenu de la grande autonomie dont jouissent les États. Je suis convaincue que la résistance émergera de communautés plus locales, à l'image de ce qui s'est passé à Minneapolis en 2025. Les habitants y ont spontanément porté assistance aux personnes aux prises avec les agents d'ICE (la tristement célèbre agence fédérale chargée de l'application des lois sur l'immigration, des douanes et de la sécurité intérieure), les ont cachées, leur ont offert à boire, à manger et leur ont même donné de l'argent. Cet épisode permet d'entrevoir à quoi pourrait ressembler la résistance non violente dans le futur.

En attendant, les Américains ont réélu Donald Trump en connaissance de cause. Serait-ce l'expression d'une volonté inavouée de vivre sous un régime autoritaire?

Cela fait maintenant dix ans que Donald Trump s'échine à endoctriner les Américains. Il essaye de les reconconditionner émotionnellement. J'ai compilé une longue liste de déclarations de sa part visant à torpiller l'empathie et la gentillesse. Durant la campagne de 2016, il a déclaré que *«le problème, c'est que les gens ne veulent plus se faire du mal les uns les autres»*. Il essaye ainsi de faire croire qu'une gouvernance de type autoritaire serait meilleure pour le pays. Il n'arrête pas de complimenter des autocrates étrangers comme le Russe Poutine, le Chinois Xi Jinping et le Nord-Coréen Kim Jong-un. Il promeut bien sûr la théorie du grand remplacement tout en faisant croire à sa population que la démocratie est un échec économique, social et politique. Il le fait dans le but d'instaurer un État dominé par des mâles chrétiens et blancs. Donald Trump est, selon moi, un des propagandistes les plus efficaces de l'histoire.

Vraiment?

Certes, il est vieux et dit des choses insensées. Mais en réalité, il revient toujours à ses arguments. Et c'est tout de même dans le contexte d'un État libre avec une presse libre qu'il a réussi, notamment grâce aux réseaux sociaux qui permettent une propagande massive touchant tous les secteurs de la société, à convaincre des dizaines de millions de personnes de croire à ses mensonges, dont celui qui affirme qu'il a remporté les élections de 2020 (qu'il a perdues) et que Joe Biden était illégitime. Les gens l'ont sincèrement cru. C'est du jamais-vu. Les sondages montrent que les Américains sont aujourd'hui beaucoup plus nombreux qu'il y a dix ans à penser qu'un «homme fort» serait plus adéquat pour diriger le pays et que la violence devrait être utilisée pour résoudre des problèmes sociaux.

Les hommes forts ne sont-ils pas en réalité des hommes faibles, tant il est vrai que leur fin est rarement heureuse...

Le secret de l'homme fort, c'est qu'il est faible et peu sûr de lui et qu'il vit dans la peur d'être assassiné. Et à la fin, quand cette paranoïa s'aggrave et que son comportement s'extrémise, il entre dans ce que j'appelle l'«étape du bunker», une sorte de renfermement dans un cocon où il se sent en sécurité. *Le Washington Post* a récemment réalisé une enquête sur les discours que Donald Trump a tenus durant le mois de juin dernier. Il en ressort que ce dont il parle le plus souvent, alors qu'on est en pleine guerre contre l'Iran, c'est de la salle de bal qu'il fait construire à la place de l'aile est de la Maison-Blanche. Cette salle de bal représente son ego, son *safe space*. C'est l'endroit où tout le monde l'aime et l'acclame, là où les riches donateurs ouvrent leur portefeuille et trinquent à sa santé. Mais il parle aussi de ce qui se trouve en dessous du *ballroom*, c'est-à-dire le bunker de la Maison-Blanche, qu'il est également en train de rénover et qu'il aimerait percer d'ouvertures pour des snipers chargés de le défendre. Peut-on encore douter qu'il soit – littéralement – entré dans l'étape du bunker? D'autant plus que ces derniers mois, sa paranoïa s'accroît. Quelques jours après l'assassinat du Guide suprême d'Iran, l'Ayatollah Ali Khamenei, par l'armée américaine, Donald Trump a déclaré sur la chaîne ABC:

«Je l'ai eu avant qu'il ne m'ait. Ils ont essayé deux fois... mais je l'ai eu en premier.» En juillet, il a menacé de «détruire complètement» l'Iran en cas de tentative d'assassinat contre lui, affirmant que «1000 missiles» étaient prêts à frapper la République islamique. C'est passionnant d'habiter aux États-Unis et de voir se réaliser ce sur quoi j'écris depuis des années.

Êtes-vous inquiète pour les élections législatives de mi-mandat cet automne ou les présidentielles dans deux ans?

Donald Trump vit ce que j'appelle un «retour de flamme autocratique». Je constate qu'il s'est enfoncé dans son syndrome autocratique consistant à s'entourer de flagorneurs dont aucun ne lui dit la vérité et encore moins le critique. Par conséquent, il fait des choses stupides. Ses taxes à l'importation qui mettent l'économie nationale en difficulté n'en sont qu'un exemple. Il est facilement manipulable par des dirigeants étrangers comme Vladimir Poutine et Benjamin Netanyahu, qui a réussi à le convaincre de partir en guerre contre l'Iran. Il est au plus bas dans les sondages et sa cote va probablement continuer à baisser car il ne se remettra jamais en cause. Il double plutôt la mise. Il est donc à craindre qu'il tente de mauvais coups aux élections de mi-mandat (l'intimidation des électeurs avec l'aide des agents d'ICE, de la Garde nationale ou encore de milices, contestation des résultats, etc.). Mais je crois que la population a gagné en sagesse. Même ceux qui ont soutenu Donald Trump se réveillent. Ils se rendent compte qu'il ne leur a pas dit la vérité. Tout au long de l'année, les Démocrates ont remporté des victoires dans des États dominés par le Parti républicain. S'ils reprennent la chambre des représentants, cela affaiblira davantage encore le président. Celui-ci pourrait réagir par d'autres actions stupides, à ses propres dépens.

Envisagez-vous l'émergence d'une «femme forte»?

J'ai écrit dans mon livre que dans le futur, il y aurait une femme autoritaire, et j'ai pris comme exemple Giorgia Meloni, la première présidente du Conseil des ministres italien, qui n'était pas encore élue mais portait déjà l'héritage du fascisme. Elle a appris de Silvano Berlusconi, dont elle a été la

ministre de la Jeunesse. En matière de politique internationale, elle paraît modérée car elle défend l'Ukraine et collabore avec l'Union européenne. Par conséquent, on lui laisse les coudées franches dans ses affaires domestiques, où elle est libre de mener des politiques anti-immigration, homophobes et familiales qui se situent très à droite. Avant d'être en poste, elle a affirmé qu'il y avait une conspiration visant à saper l'identité blanche. Elle a

«MÊME CEUX QUI ONT SOUTENU DONALD TRUMP SE RÉVEILLEN. ILS SE RENDENT COMPTE QU'IL NE LEUR A PAS DIT LA VÉRITÉ.»

tenté (sans succès) de passer une loi sur la justice qui aurait accru son pouvoir. Elle pratique aussi ce que l'on appelle le *gender washing*: elle se présente comme un exemple du progrès des femmes dans la société. Mais en réalité, elle utilise le pouvoir de sa fonction pour fragiliser les droits des femmes (l'avortement, le congé parental paritaire, la grossesse pour autrui pour les couples lesbiens, le mariage homosexuel...) qui n'adhèrent pas à une maternité hétérosexuelle, blanche et chrétienne.

Y a-t-il des démocraties qui ont réussi à résister au glissement autoritaire?

En Hongrie, Viktor Orbán est resté au pouvoir durant seize ans. Il a rendu l'État intrusif dans la vie des gens, il a placé le Ministère de l'éducation dans celui de l'intérieur, permettant à la police de superviser les enseignants, tout en coupant les budgets de l'éducation. Il s'est proclamé sauveur de la Chrétienté tout en fermant des centaines d'églises qui ne lui étaient pas loyales en les privant de leur exemption de taxes. Et par-dessus tout, lui, sa famille et ses amis sont devenus immensément riches grâce à la corruption tandis que

le pays s'est appauvri. Toutes les conditions étaient réunies pour qu'émerge une résistance suffisamment forte, incarnée en l'occurrence par la personne de Péter Magyar. Mais pour réussir sa campagne, il lui a fallu contourner les médias inféodés au gouvernement. C'est pourquoi il s'est lancé dans ce qu'il a appelé la «Marche d'un million de pas». Durant deux ans, il s'est rendu en personne dans pratiquement toutes les paroisses du pays, dans les petites et les moyennes villes, et s'est présenté personnellement aux gens. Le résultat? La carte des endroits qu'il a visités et la carte des personnes qui votaient autrefois pour Orbán mais qui ont changé d'avis et voté pour Magyar sont identiques. C'est la recette du succès. L'ancien maire d'Istanbul, Ekrem İmamoğlu, a d'ailleurs suivi la même stratégie en 2019. Il a sillonné sa ville et a embrassé les passants. Cela a marché et il a gagné les élections. Il est toutefois devenu si populaire qu'au moment d'être désigné comme candidat à

la présidentielle de 2028 face au président sortant Recep Tayyip Erdoğan, il a été accusé de corruption et arrêté.

Ce n'est pas encourageant...

Non, mais je vois émerger un regain d'intérêt pour le contact humain et pour une politique plus incarnée. Les réseaux sociaux et, plus récemment, l'intelligence artificielle ont rendu la vérité incertaine. Les gens ne savent plus à qui ni à quoi se fier. Ils sont saturés par un flot incessant d'informations et une multitude de voix. C'est pourquoi je crois que nous assistons, face au numérique, à un retour à l'analogique. Les gens veulent pouvoir faire confiance à quelqu'un en personne.

Propos recueillis par Anton Vos



La réserve de Mawana abrite sept groupes de singes vervets habitués à la présence humaine.

PAROLES DE SINGE

DANS UNE RÉSERVE DU KWAZULU-NATAL, EN AFRIQUE DU SUD, CLÉMENCE DE SCHEEMAEKERE A PASSÉ SIX MOIS À OBSERVER LE COMPORTEMENT DE SINGES VERVETS DANS LE CADRE DE SA THÈSE. OBJECTIF: MIEUX COMPRENDRE LES RESSORTS DE LA COMMUNICATION ENTRE CES PETITS PRIMATES.

Morte dans son sommeil le 19 juin 2018 à l'âge de 46 ans, la femelle gorille Koko maîtrisait plus de 1000 signes et comprenait près de 2000 mots anglais. Au-delà de ce cas extrême, la richesse et la complexité des capacités de communication des grands singes, aujourd'hui largement attestées, continuent à intriguer la communauté scientifique. Mais qu'en est-il chez les autres espèces de primates et comment ce savoir se développe-t-il? Ces questions sont au centre des travaux que mène Clémence De Scheemaekere, doctorante à la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, au sein d'une réserve animalière privée du KwaZulu-Natal (Afrique du Sud) qui héberge l'Inkawu Vervet Project (IVP). Un site sur lequel la jeune chercheuse vient de passer six mois, à raison de huit heures d'observation quotidiennes, six jours sur sept, et vers lequel elle s'apprête à décoller à nouveau dans les semaines à venir pour un nouveau semestre d'étude. Bilan à mi-parcours. Lancé en 2010 par une équipe de scientifiques suisses et britanniques et dirigé par Erica van de Waal, primatologue à l'Université de Lausanne, l'Inkawu Vervet Project s'est donné pour objectif de mieux comprendre le comportement de ces petits primates au pelage grisâtre, vivant au sein de communautés pouvant accueillir entre 10 et 50 individus. La

méthode consiste à les observer à l'état sauvage et en évitant toute interaction avec eux. Le programme est mis en œuvre dans la réserve naturelle privée de Mawana, laquelle recouvre un territoire de 12 000 hectares situé dans la province du KwaZulu-Natal, sur la côte est de l'Afrique du Sud. Outre les singes vervets, on y trouve des girafes, des zèbres, des koudous, des cobras, des mambas, des pythons, des porcs-épics, près de 400 espèces d'oiseaux et parfois des éléphants. Un centre de recherche accueille la petite communauté de chercheurs et de chercheuses du projet Inkawu, où se mêlent locaux et internationaux.

Rêve d'enfant Fascinée depuis toujours par les primates, Clémence De Scheemaekere y a posé ses valises pour la première fois en tant que bénévole en août 2024, après un Master en bio-ingénierie à l'Université de Louvain-la-Neuve. *«Aussi loin que je me souviens, j'ai toujours été passionnée par les singes, confesse la chercheuse. À l'issue de mes études, je voulais voir s'il était possible d'en vivre. J'ai enchaîné plusieurs volontariats, notamment au Centre de réhabilitation pour primates du Bénin, où j'ai fait trois séjours de six mois, avant de découvrir le Centre de recherche d'Inkawu, où je me suis engagée en tant que bénévole.»* Ce premier séjour lui offre l'opportunité de se former aux techniques de terrain. Comme tous les collaborateurs et



CLÉMENCE DE SCHEEMAERE

collaboratrices du projet Inkawu, Clémence De Scheemaekere doit suivre un programme d'initiation qui lui permet de se familiariser avec l'équipement nécessaire à l'observation des vervets – émetteur radio et tablette informatique –, d'intégrer les directives sur la récolte de données, mais aussi d'apprendre à se repérer sur le territoire de la réserve.

« Afin de vérifier que nous sommes capables de retrouver notre chemin depuis à peu près n'importe quel point du domaine, chacun et chacune est soumis-e à un test grandeur nature », précise Clémence De Scheemaekere.

Le jour dit, les novices sont lâchés à un endroit quelconque de la réserve avec devant eux la journée pour trouver des points de repère visuels avant de rentrer par leurs propres moyens à la réserve.

Qui est qui ? Outre cette épreuve d'orientation, toutes les personnes impliquées dans le projet ont également droit à un cours sur la végétation locale afin d'être à même de recueillir des informations précises sur le régime alimentaire des vervets. Il leur est également demandé de pouvoir reconnaître un certain nombre de singes, condition indispensable à la récolte de données fiables sur leur comportement individuel. Chaque vervet vivant dans un des sept groupes habitués à l'être humain qu'abrite la réserve dispose en effet d'une fiche signalétique où figurent son nom ainsi que ses caractéristiques morphologiques (forme des oreilles, longueur de la queue, couleur du faciès, présence éventuelle de cicatrices, etc.). Pour réussir l'« ID test » qui valide la formation, il faut être en mesure d'identifier les primates à distance, lorsqu'ils se trouvent dans

les arbres, où ils passent une partie de leurs journées, ainsi que lorsqu'ils sont partiellement dissimulés par la végétation. *« Le premier jour, concède la chercheuse, je pensais ne jamais pouvoir y arriver. J'avais l'impression qu'ils se ressemblaient tous. Mais avec l'expérience, je suis désormais capable d'identifier avec certitude une soixantaine d'individus. »*

C'est à l'occasion de ce premier passage à Mawana que la jeune chercheuse fait la connaissance de Didier Grandjean, professeur à la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'UNIGE et directeur du Centre interfacultaire en sciences affectives. Il se trouve sur place pour développer des collaborations avec les équipes d'Erica van de Waal dans le cadre du Pôle de recherche national «Evolving language» dont il est également membre.

« Clémence était la personne parfaite pour mener un travail sur le terrain, explique le spécialiste des neurosciences affectives. Elle connaît pratiquement chaque individu composant les différents groupes de singes vervets qui peuplent la réserve, ainsi que leur filiation. Et ses compétences à mener des observations en milieu sauvage, sans interaction humaine, constituent une opportunité intéressante pour les travaux que nous menons autour de l'émergence du langage. Je lui ai donc proposé un poste de doctorante et je la forme depuis à tous les aspects liés aux neurosciences affectives et à la démarche expérimentale en collaboration avec Thibaud Gruber (lui aussi professeur à la FPSE et membre du PRN, ndr) avec qui je partage la supervision de sa thèse. »

C'est donc dans la peau d'une chercheuse et avec un programme centré sur l'apprentissage de la vocalisation chez les jeunes vervets que



Mawana

La réserve naturelle de Mawana en Afrique du Sud héberge l'Inkawu Vervet Project. Lancé en 2010, celui-ci vise à étudier le comportement de ces petits primates à l'état sauvage.

Superficie :
12 000 hectares

Population :
Une vingtaine de scientifiques, des singes, des girafes, des zèbres, des serpents, des gazelles, des oiseaux...



CLÉMENCE DE SCHEEMAERE

DU SINGE À L'HUMAIN

Le travail mené par Clémence De Scheemaekere dans le cadre de l'Inkawu Vervet Project s'insère dans un vaste programme de recherche du PRN «Evolving language» visant à mieux comprendre comment le langage est apparu et s'est développé au sein du genre humain. Parmi les nombreux chercheurs et chercheuses du PRN qui se penchent sur cette problématique figurent

ses deux directeurs de thèse, les professeurs Didier Grandjean et Thibaud Gruber. Spécialiste des neurosciences affectives, le premier travaille depuis une trentaine d'années sur les processus émotionnels liés à la perception et à la production de la prosodie (ensemble des caractéristiques musicales et rythmiques de la parole) émotionnelle, ainsi que sur la

caractérisation des typologies acoustiques. Cofondateur de la Station de conservation des primates de la forêt de Bugoma, en Ouganda (lire *Campus* 160), le second mêle anthropologie, sciences du développement et écologie comportementale pour aborder la question de l'évolution de la culture et du langage chez les grands singes. Outre ses travaux sur

l'utilisation des outils chez les grands singes sauvages et captifs, il étudie les aspects cognitifs de l'évolution du langage à partir des vocalisations des primates avec pour objectif de comprendre comment nos ancêtres ont propulsé leur culture, d'un état proche de celui des chimpanzés, vers ce qu'elle est aujourd'hui. VM

Clémence De Scheemaekere fait son retour en Afrique du Sud en septembre 2025. Si les conditions de vie sur le campement – une bâtisse comptant une dizaine de chambres, quatre salles de bains, une cuisine, un salon et un séjour, le tout non climatisé mais équipé de ventilateurs – n'ont pas changé, son nouveau statut lui confère un privilège non négligeable: celui de ne pas avoir à partager sa chambre et donc de disposer d'un minimum d'intimité.

«C'est un détail très appréciable lorsqu'on passe six mois en vase clos avec les mêmes personnes, avec pour seule échappatoire un week-end de congé tous les deux mois et un accès Wi-Fi, qui à défaut d'être d'excellente qualité, permet de prendre des nouvelles de la famille», confirme l'intéressée.

Éléphants mal lunés Avant de se lancer sur les traces des singes vervets, il y a toutefois quelques précautions à respecter. Car même en l'absence de grands fauves, le territoire de la réserve n'est pas dénué de danger. La principale menace vient des hordes d'éléphants qui se hasardent parfois dans le coin. *«Comme ces animaux ont souvent été victimes des braconniers dans la région, ils ne sont pas forcément bien disposés à l'égard des êtres humains qu'ils peuvent croiser sur leur route»,* précise Clémence De Scheemaekere. Afin d'éviter toute rencontre impromptue, une des femelles du troupeau habitué à fréquenter les lieux a donc été équipée d'un collier émetteur. Sitôt qu'un signal est capté dans l'enceinte de la réserve ou que des traces sont repérées par les patrouilleurs, toutes les opérations de terrain sont immédiatement suspendues, le temps que les pachydermes passent leur chemin. Même si les morsures restent rares, les serpents, dont certains sont potentiellement mortels, constituent un autre risque contre lequel les responsables de la réserve se sont efforcés de se prémunir au mieux. Un protocole a ainsi été établi en vue de faire face à toute éventuelle attaque et, si besoin, un hélicoptère est à disposition pour transférer la victime vers le centre médical le plus proche dans les plus brefs délais.

Le terrain étant assez accidenté, il faut par ailleurs veiller à faire attention où on met les pieds afin d'éviter de se briser une cheville dans un trou. Le port de chaussures épaisses est en outre indispensable compte tenu des

redoutables épineux qui couvrent le sol de la région et dont les aiguilles perceraient facilement une vulgaire semelle de basket.

Une fois équipée, Clémence De Scheemaekere peut se mettre à la recherche de l'un des trois groupes qui se trouvent dans son périmètre d'étude. Une tâche facilitée par le fait que dans chacun des sept groupes vivant dans la réserve, une femelle – les mâles migrant vers d'autres groupes une fois la maturité sexuelle atteinte – a été équipée du collier GPS.

Montrer patte blanche Selon la distance à parcourir, le trajet se fait soit à pied, soit en 4x4. Une fois le contact visuel établi, la première chose à faire est d'activer le *logbook* qui permettra de suivre le trajet des singes pendant la journée une fois le GPS activé. Avant de s'approcher davantage, il faut aussi revêtir une casquette bleue – signe qui permet aux singes de distinguer les scientifiques des braconniers ou des chasseurs et donc de ne pas s'affoler outre mesure à leur approche – et annoncer sa venue par une succession de brefs claquements de langue.

Chaque membre du projet IVP étant impliqué dans le *monitoring* général des populations de vervets, les phases d'observation se déroulent selon un processus uniformisé qui vise à cerner au plus près le comportement des singes. *«Nous alternons entre des phases dites «focales», qui consistent à se concentrer pendant vingt minutes sur un même individu, et des phases dites de «scan», lors desquelles c'est l'ensemble du groupe qui est scruté durant quarante-cinq minutes»,* précise Clémence De Scheemaekere.

Dans un cas comme dans l'autre, il s'agit de consigner le nombre d'individus présents, de les identifier, de définir avec qui ils interagissent et de décrire leurs moindres faits et gestes: jeux, séances d'épouillage, conflits, alimentation, entre autres. À ce cahier des charges déjà copieux s'ajoute, pour Clémence De Scheemaekere, une attention toute particulière aux plus jeunes membres de la colonie qu'elle filme et enregistre à l'affût du moindre son. La principale partie de son travail de thèse consiste en effet à mieux comprendre comment se passe le processus d'apprentissage des vocalisations entre la mère et ses petits au sein de cette espèce.

Mais pour cela encore faut-il qu'il y ait suffisamment de naissances. Ce qui n'est pas

toujours le cas. Lors de son premier séjour à Mawana, un seul bébé vervet a survécu à l'issue de la période de reproduction. Tous les autres sont morts sans que les scientifiques ne parviennent à comprendre la cause de cette hécatombe.

«Soit les femelles disparaissaient avant la naissance, soit elles faisaient des fausses couches, soit les jeunes mouraient au bout de quelques jours, appuie la chercheuse. C'était un moment très dur, d'autant que nos règles nous interdisaient d'interférer pour tenter de sauver le moindre de ces nourrissons. Quelques dépouilles ont été récupérées pour procéder à des analyses et nous avons également testé l'eau de la rivière. Mais la cause de ce désastre n'a jamais pu être clairement identifiée.»

Nouvelle couvée Fort heureusement pour Clémence De Scheemaekere, l'année 2025 a été marquée par un retour à la normale avec l'arrivée d'une cinquantaine de bébés dans l'ensemble de la population de la réserve, dont 21 sont suivis tout au long de leur première année dans le cadre du projet de la chercheuse. Durant les périodes où elle n'est pas présente physiquement, Clémence De Scheemaekere a en effet formé deux assistants locaux qui ont pour mission de prendre le relais. Son prochain séjour sur place devrait par ailleurs lui permettre d'élargir son champ d'investigation à une seconde génération de jeunes vervets.

«L'objectif final, c'est de voir comment les vocalisations émergent chez les petits, résume la chercheuse. Mais aussi de déterminer quelle est la part d'inné et d'acquis dans ce processus et s'il existe des différences entre les groupes, entre les individus dominants ou dominés ou entre deux bébés nés d'une même mère.»

Autant d'informations qui permettront de faire des liens entre l'évolution du langage au sein de différentes espèces de primates, voire avec ce qui se passe chez les humains.

Faire parler cette gigantesque quantité de données nécessite encore un important travail d'analyse qui se fera au retour de Clémence De Scheemaekere à Genève. À l'aide d'un logiciel dédié, de spectrogrammes systématiques et de l'intelligence artificielle, il s'agira d'isoler les phases de vocalisation du bruit ambiant (vent, insectes et autres voix humaines), de les caractériser et de rechercher des tendances. Mais ceci est une autre histoire...

Vincent Monnet

OMAYA DUDIN, L'ENFANT AU MICROSCOPE

LAURÉAT DE LA MÉDAILLE D'OR DE L'EMBO EN JUIN DERNIER, LE JEUNE CHERCHEUR NÉ EN PALESTINE CHERCHE À COMPRENDRE LES MÉCANISMES QUI ONT PERMIS AUX PREMIERS ORGANISMES UNICELLULAIRES D'ÉVOLUER POUR DONNER NAISSANCE AUX ANIMAUX MULTICELLULAIRES.

O n dit que c'est en recevant une pomme sur la tête qu'Isaac Newton aurait découvert les lois de la gravitation. Eh bien, c'est lorsque celle d'Omayya Dudin a heurté un mur que le futur biologiste a trouvé sa vocation. Nous sommes en Palestine au milieu des années 1990 et le jeune garçon est sur le chemin qui le conduit à l'hôpital, où son cuir chevelu est appelé à se faire recoudre, lorsque sa mère lui demande ce qu'il aimerait comme cadeau une fois remis d'aplomb. *«Sans trop savoir pourquoi, peut-être parce que j'avais envie d'avoir accès à ce qui était caché à la plupart des gens, j'ai répondu un microscope»*, replace l'intéressé. Depuis, l'instrument est devenu son plus fidèle compagnon et c'est grâce à cet outil qu'il a engrangé une belle série de découvertes sur les micro-organismes marins. Des travaux qui lui ont valu de décrocher d'importants subsides, ainsi que la Médaille d'or de l'Organisation européenne de biologie moléculaire (EMBO). Un titre considéré comme la plus haute distinction de sa discipline pour un chercheur de moins de 40 ans, qu'il a reçu en juin dernier en compagnie de celui qui est devenu son alter ego, Gautam Dey, chercheur au Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL).

La fameuse pomme, dans le cas présent, n'est pas tombée loin de l'arbre. Car chez les Dudin, la science est une affaire de famille. Né au moment de la première Intifada, le 3 septembre 1987 à Jérusalem, Omayya grandit à Beit Sahour, une petite ville de Palestine située à quelques encablures de Bethléem

et construite sur le lieu supposé du champ des bergers qui ont assisté à la naissance du Christ. Ses deux parents, qui se sont rencontrés en France sur les bancs de l'Académie, sont médecins. Palestinien né à l'époque où la Cisjordanie était sous mandat jordanien – pays dont il a également la nationalité –, le père est pédiatre et neurologue. Outre ses activi-

**«SANS DOUTE
PAR UN RÉFLEXE
D'AUTODÉFENSE,
J'AI TOUT OCCULTÉ –
LES TIRS, LA PEUR,
LES HEURES PASSÉES
À LA MAISON LORS
DES COUVRE-FEUX.»**

tés dans de nombreux hôpitaux des territoires occupés, il a contribué au lancement de plusieurs facultés de médecine dans la région.

Originaire de Quinçay, un petit village proche de Poitiers, la mère est également pédiatre mais avec une formation de dermatologue en plus. Quant à l'aîné de la fratrie, il a suivi un cursus de mathématiques et il est actuellement directeur des formations et de la pédagogie à l'École pour l'informatique et les techniques avancées de Paris.

Entre une maison pleine de livres – *«chez nous, le savoir a toujours été quelque chose d'important»*, indique-t-il – et une école orthodoxe – *«parce que c'était la meilleure de la région»* – où il apprend l'allemand et l'anglais qui viennent s'ajouter à l'arabe et au français parlés à domicile, Omayya Dudin se forge un solide bagage intellectuel qui le conduit jusqu'à un baccalauréat enlevé avec une moyenne de 91 sur 100.

Ce joli tableau contient pourtant de larges zones d'ombre. Dehors, la violence de l'occupant peut surgir à n'importe quel coin de rue, la pression est constante et les seuls Israéliens que le jeune garçon a l'occasion de croiser portent une arme qu'ils pointent sur lui.

«Jusqu'à l'âge de 13 ans, je n'ai presque aucun souvenir, témoigne Omayya Dudin. Sans doute par un réflexe d'autodéfense, j'ai tout occulté – les tirs, la peur, les longues heures passées à la maison lors des couvre-feux – et c'est sans doute

mieux comme ça, car il y a certains tiroirs qu'il vaut mieux ne pas rouvrir.»

Certaines images ne s'effacent toutefois pas si facilement. Comme celle de l'assassinat de Mohammed al-Durah, un enfant de 12 ans tué par balles dans les bras de son père au deuxième jour de la seconde Intifada, auquel il assiste en direct à la télévision.

Un énorme traumatisme qu'Omayya Dudin l'évoque avec pudeur et sur lequel il ne souhaite pas s'appesantir.

Bio express

1987: Naissance à Jérusalem.

2008: Bachelor en biologie cellulaire à l'Université de Grenoble.

2010: Master en microbiologie à l'Université de Grenoble.

2016: Doctorat à l'Université de Lausanne.

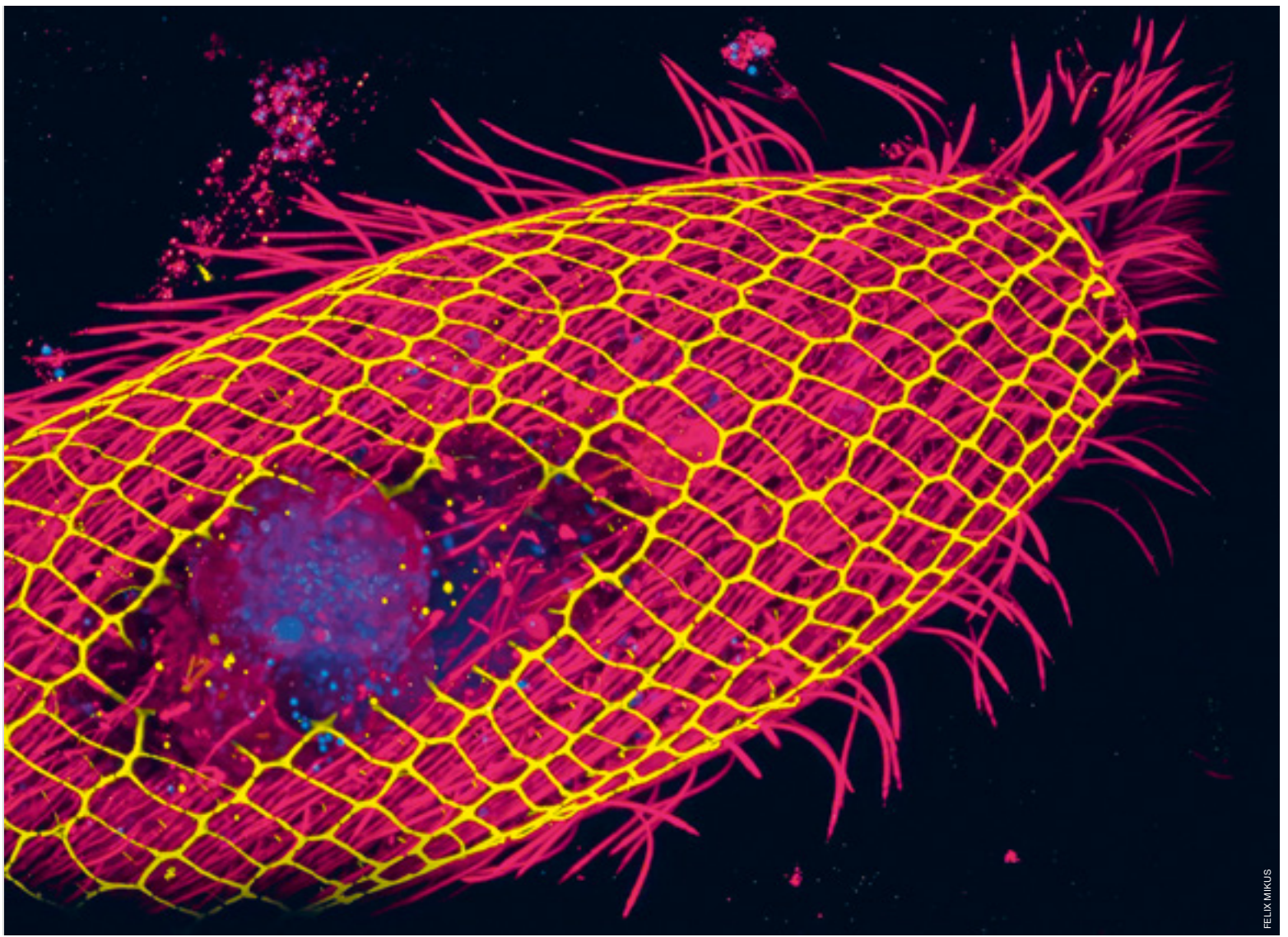
2020: Bourse Ambizione du FNS et création de son laboratoire à l'EPFL.

2023: Bourse Starting Grant du FNS.

2024: Professeur assistant au Département de biochimie de l'UNIGE, Excellence Award de la Federation of European Biochemicals Societies.

2026: Prix Friedrich Miescher et Médaille d'or de l'EMBO.





«Je refuse ce statut de victime, affirme-t-il résolument. Ce que je veux garder de cette époque, ce sont les parties de foot entre amis, la fanfare des scouts dans laquelle je jouais de la cornemuse, les repas de midi partagés à l'improviste, les rires, la générosité et surtout l'énorme soif de vivre du peuple palestinien.»

Même si, petit, il rêvait de devenir astronaute, depuis qu'il a acquis le fameux microscope derrière lequel il a passé des heures et des heures à observer tout ce qu'il pouvait sous la lame fendue de l'appareil (feuilles, gouttes d'eau, fourmis écrasées...), la trajectoire que le futur chercheur veut suivre ne fait guère de doute. *«Grâce à cet instrument, j'ai pu concentrer mon attention sur quelque chose de beau dans un monde qui, bien souvent, ne l'était pas, précise Omayya Dudin. Et aujourd'hui encore, la salle obscure où se trouve le microscope avec lequel je travaille quotidiennement reste l'endroit où je me sens le plus en sécurité.»*

Reste néanmoins à savoir où son avenir se bâtira. Deux options se présentent à lui. Soit poursuivre son parcours sur la terre qui l'a vu naître, où le niveau d'instruction général est

au demeurant excellent. Soit profiter du passeport français hérité de sa mère pour tenter sa chance à l'étranger, loin des tourments de la guerre mais aussi loin de tout ce qu'il a connu jusque-là.

«Contrairement à la plupart de mes amis, j'avais la chance de pouvoir partir, explique Omayya Dudin. En accord avec ma famille, c'est un privilège dont j'ai décidé de profiter. Je suis donc parti pour la Faculté de biologie de Grenoble où j'ai rejoint mon frère qui était déjà en France depuis quelque temps pour ses études.»

Même si la maîtrise de la langue et la présence de son aîné atténuent considérablement le choc culturel, la transition est assez rude pour un jeune homme de 17 ans qui n'avait jusque-là jamais vécu hors des frontières de son pays natal.

«Je venais d'un monde dans lequel la priorité, c'était la survie, témoigne l'intéressé. Je voulais tout, tout de suite. Je ne savais pas qu'on pouvait vivre autrement. J'ai aussi dû composer avec des relations sociales plus froides que ce que j'avais connu auparavant. Les trois premières années d'études ont donc été assez difficiles, notamment

en maths où j'étais complètement largué. Les seules branches dans lesquelles je m'en tirais plutôt bien étaient l'anglais et la biologie. Et c'est sans doute ce qui m'a permis de m'en sortir. J'ai bossé dur, j'ai essayé de me faire des amis et, peu à peu, les choses ont commencé à se mettre en place.»

Après un Bachelor en biologie cellulaire, puis un Master en microbiologie, Omayya Dudin projette une visite dans son pays natal qui s'avère vite impossible. Afin d'occuper un été soudainement devenu vide de tout projet, il postule pour un stage auprès d'un de ses enseignants qui lui répond qu'il est le bienvenu dans son laboratoire pendant les semaines à venir. Il y restera quatre ans. *«Stéphan Lacour m'avait accordé un accès permanent à son labo, témoigne le chercheur. J'ai commencé à travailler sur les différents types de développement que peut suivre la bactérie Escherichia coli. C'était vraiment sympa. Je me suis senti à la maison et cela m'a apporté la certitude que je voulais me consacrer à la recherche.»*

La bourse qui lui aurait permis de mener à bien sa thèse chez Stéphan Lacour lui ayant été refusée, il atterrit finalement à l'Université

«Lacrymaria olor», un micro-organisme de l'embranchement des ciliés, vu par microscopie par expansion. Les microtubules sont colorés en magenta et la centrine en jaune.

de Lausanne, au sein du Laboratoire dirigé par Sophie Martin, laquelle occupe désormais le bâtiment voisin du sien à l'UNIGE.

Durant les cinq années qui suivent, ce sont les levures qui se trouvent sous la lentille de son microscope.

«Les levures peuvent fusionner lors de la phase de reproduction», détaille le chercheur. Mon objectif était de comprendre le fonctionnement de ce mécanisme. Au cours de cette quête, je suis notamment parvenu à mettre en évidence une structure de cytosquelette impliquée dans ce processus qui a des similitudes avec ce qui se passe entre un ovule et un spermatozoïde.»

Ces travaux, salués par le Prix de la Société académique vaudoise, lui permettent d'enchaîner avec un séjour postdoctoral à l'Institut de biologie évolutive de Barcelone, où il commence à travailler sur différents organismes des fonds marins encore peu étudiés, grâce à l'appui d'une bourse Marie Curie et d'un premier subside du Fonds national suisse de la recherche (FNS).

Omayra Dudin tient son sujet. Mais pour aller plus loin, il lui faut s'assurer une certaine stabilité. «Assez naïvement, j'ai proposé ma candidature pour plusieurs postes de professeur», s'amuse le chercheur. Mes demandes ont toutes reçu une fin de non-recevoir, mais l'exercice n'a pas été complètement inutile. Cela m'a permis de rencontrer des gens, de nouer des contacts.»

Ce jeune homme qui n'a pas froid aux yeux attire notamment l'attention de Pierre Gönczy, professeur de biologie cellulaire au sein de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), qui lui conseille de postuler pour un subside Ambizione du FNS en l'assurant de son soutien dans cette démarche. Bingo: dans les mois qui suivent, Omayra Dudin obtient 1 million de francs sur une durée de quatre ans en vue de développer son propre programme de recherche. Ralenti par le confinement qui le cloue quelques mois à la maison, le projet prend progressivement forme avec le recrutement de Marine Olivetta – qui

est toujours à ses côtés en tant que responsable de labo – et la mise en place d'une collaboration très étroite avec le laboratoire de Gautam Dey à l'EMBL.

«À l'échelle de la Terre», détaille Omayra Dudin, il y a trois moments clés dans l'histoire de l'évolution: l'apparition des premières molécules qui ont permis l'épanouissement d'une forme de vie, le développement de la première cellule eucaryote (dotée d'un noyau, ndlr) et le passage d'organismes composés d'une à plusieurs cellules, une

«QUAND JE METS LES YEUX DERRIÈRE MON MICROSCOPE, C'EST TOUJOURS BEAU.»

transition qui s'est opérée de manière indépendante chez les plantes et chez les animaux. Pour l'instant, personne ne comprend comment cette dernière étape a été franchie. Un des seuls moyens d'y parvenir, c'est d'étudier ce qui se rapproche le plus de ces organismes de transition, à savoir les unicellulaires des fonds marins. Et c'est précisément l'objectif de notre laboratoire.»

En concentrant leurs efforts sur la famille des *Ichthyosporea*, Omayra Dudin et ses collègues ne tardent pas à obtenir des résultats probants. En 2024, ils publient notamment un important article qui démontre qu'un de ces organismes unicellulaires, en l'occurrence *Chromosphaera perkinsii*, présente des étapes de développement rappelant celles des embryons animaux.

La même année, Omayra Dudin rejoint l'UNIGE en tant que professeur assistant et avec une équipe élargie qui compte aujourd'hui 12 personnes. Une task force qui

permet au chercheur de franchir de nouvelles étapes. «Sans entrer dans les détails, en étudiant divers organismes de la famille des *Ichthyosporea*, nous avons découvert deux différentes formes de développement qui rappellent celle de l'embryon. L'une se rapproche de ce qui se passe chez la drosophile, tandis que l'autre ressemble plutôt au processus qui guide la croissance de l'embryon de la souris. Face à ces résultats, il y a deux hypothèses possibles. La première, c'est qu'il existe un mécanisme ancestral qui aurait présidé au développement embryonnaire et donc à l'apparition des animaux. La deuxième, c'est qu'il y a un milliard d'années, il y avait tout ce qu'il fallait pour permettre l'évolution vers des organismes plus complexes et qu'à un moment donné, ces éléments ont convergé. Dans les deux cas de figure, c'est passionnant et il faudrait encore sans doute de nombreuses années de travail pour obtenir une réponse.»

Dans l'intervalle, Omayra Dudin et ses collègues n'auront pas le temps de s'ennuyer. Avec le soutien de la Gordon and Betty Moore Foundation, ils planchent en effet actuellement sur un autre projet d'envergure. Celui-ci vise à s'appuyer sur la microscopie par expansion – une technologie qui permet d'obtenir une résolution 4 à 16 fois supérieure aux méthodes traditionnelles – pour élaborer un atlas des eucaryotes microbiens couvrant l'ensemble de l'arbre du vivant. «Même s'il existe d'importants écueils techniques, nous avons déjà catalogué plus de 500 organismes», s'enthousiasme Omayra Dudin. Et c'est à chaque fois un émerveillement total. Quand je mets les yeux derrière mon microscope, c'est toujours beau.»

Vincent Monnet

À LIRE

SIMONE WEIL ET LE SILENCE DE DIEU

Après Auschwitz, la question de savoir si l'existence du mal est compatible avec la bonté et l'omnipotence de Dieu – et donc susceptible d'avoir une explication, voire une justification – semblait avoir perdu toute pertinence. Cette interrogation, qui a occupé philosophes et théologiens durant des siècles sous l'appellation de «théodicée», continue pourtant à se poser naturellement

à quiconque fait l'expérience de la souffrance et du malheur: pourquoi, quel sens donner à cet état? Elle est à bien des égards le fondement de la religion, qui postule un dénouement salvateur au dépouillement total de l'humain face au mal. Chercheur à la Faculté de théologie, Pierre Gillouard revisite ces chemins de pensée en compagnie de la philosophe Simone Weil (1909-1943), dont l'œuvre singulière – et en particulier son texte *L'Amour de Dieu et le malheur* – conçoit de façon originale la relation entre Dieu et le mal. Pour la philosophe française, qui ancre sa pensée dans son expérience de vie et qui est l'une des rares intellectuelles à avoir cherché à comprendre la souffrance du monde du début du XX^e siècle en travaillant à l'usine et dans l'agriculture, le mal est un choc, culminant

dans une expérience mystique d'un Dieu hors du monde et pourtant possiblement présent à l'âme. Pour Pierre Gillouard, Simone Weil aborde ainsi, sans

jamais vraiment la nommer, la vieille question de la théodicée d'une façon inédite dans l'histoire de la philosophie et de la théologie. Elle récuse d'abord les formes d'instrumentalisation du mal dont se sont nourries aussi bien la philosophie universaliste de Leibniz que la pensée marxiste ou la philosophie chrétienne en général. Puis, sans renoncer à la réflexion sociale et politique sur l'élimination de l'oppression, elle fait de la contradiction entre le mal et Dieu le déclencheur d'une épreuve menant à une transformation de soi et à une libération en forme de consentement: «*Chez Simone Weil, si le pourquoi du malheureux n'a pas de réponse, s'il ne faut pas lui en inventer une, c'est parce qu'il faut que le malheur n'ait pas de finalité pour que l'être puisse aimer purement*», conclut Pierre Gillouard. Aimer ou, ce qui est la même chose pour la philosophe, consentir au silence de Dieu, c'est s'ouvrir alors à un silence non plus vide mais plein.

«**Simone Weil. La pensée à l'épreuve du mal**», par Pierre Gillouard, Presses universitaires de France, 496 p.

LES RIG, CARREFOUR D'IDÉES DEPUIS 80 ANS

Le 2 septembre 1945, la capitulation du Japon, qui met un terme officiel à la Deuxième Guerre mondiale, laisse derrière elle une planète en cendres: entre 60 et 85 millions de victimes, en majorité civiles, deux bombes atomiques et la destruction systématique d'un peuple au nom de la folie nazie. Après un tel désastre, comment reconstruire l'avenir? Dès l'automne 1945, à Genève, un petit groupe d'intellectuels s'empare de la question. À la baguette, le publicitaire Émile Bercher, qui réunit autour de lui un club de pensée autour duquel gravitent les rédacteurs en chef des principaux journaux de la cité ainsi que des personnalités telles que l'écrivain Robert de Traz, le diplomate et économiste William Rappard, l'historien Antony Babel (alors recteur de l'Université), Henri de Ziegler (président de la Société des écrivains suisses) ou Ernest Ansermet (fondateur de l'Orchestre romand, futur OSR). Ces libéraux partagent une ambition commune: offrir, sous l'égide de l'Université, un espace de rencontre destiné à ressusciter une «humanité européenne» mise à mal par des années de barbarie. C'est à ce programme que s'attache, du 2 au 14 septembre 1946, la première session des Rencontres internationales de Genève, dont le présent ouvrage restitue les principales contributions, enrichies d'un avant-propos signé Michel Porret.

«**L'esprit européen. Rencontres internationales de Genève**», par Benda, Bernanos, Flora et al. (préface de Michel Porret), Éd. Florides helvètes, 304 p.





ÉLOGE DU PLURILINGUISME

Cet ouvrage collectif montre que les langues participent à la construction même des savoirs, en offrant des ressources interprétatives, contextuelles et créatives et que le plurilinguisme est davantage une richesse qu'un obstacle.

«D'un monolingue aveugle à un plurilingue éclairé. Enjeux des langues pour le monde de la science», sous la dir. de Laurent Gajo et Anne-Claude Berthoud, Éditions Épistémé, 272 p.



PÉDAGOGIE DU RÉEL

Ancrer les réflexions éducatives théoriques non pas dans un travail idéalisé mais dans le quotidien des «gens de métier», c'est l'objet de cet ouvrage qui invite à penser la capacité des enseignant-es à s'autoréguler et à construire collectivement leur professionnalisation.

«Comprendre, interroger et développer les pratiques éducatives», par Olivier Maulini (dir.), Éd. Interroger l'éducation, 180 p.



BUSINESS, PAIX ET DÉMOCRATIE

Respect des droits humains, pratiques inclusives, gouvernance transparente, développement durable sont autant d'enjeux sur lesquels les entreprises peuvent peser pour favoriser l'émergence d'un monde plus pacifique et plus démocratique.

«Peace, Business, and Democracy. Corporate Responsibility in Peace and Governance», par Julia Croce (éd.), Éditions Routledge, 258 p.



PANTHÉON GENEVOIS

Sous l'égide de la Maison de l'histoire, cet ouvrage invite à redécouvrir le «cimetière des Rois» à travers des recherches inédites explorant la genèse du site, l'évolution des sensibilités face à la mort, la gestion des corps ou la place des femmes dans ce «panthéon genevois».

«Ensevelir et se souvenir. Histoires du cimetière de Plainpalais», sous la dir. de Taline Garibian, Clarissa Y. Yang et Sébastien Farré, Éditions La Baconnière, 280 p.

publicité

TON GUIDE PRATIQUE SUR LA SANTÉ MENTALE

Tu te sens stressé-e ou fatigué-e ? Ce guide est conçu pour t'aider à mieux te comprendre toi-même. Au fil des chapitres « Ressentir », « Reconnaître », « Se reposer » et « Guérir », tu découvriras des techniques de relaxation, des méthodes d'apprentissage et des conseils pour les situations d'urgence. Tu trouveras également des entretiens avec des spécialistes et des témoignages d'étudiant-es. Parce qu'il est important que tu trouves l'aide dont tu as besoin maintenant.

En collaboration avec :  Beisheim Stiftung



Tu peux consulter ce magazine gratuitement ici : www.guide-sante-mentale.ch

Télécharger
gratuitement



entrez en matière !

8.09-18.12.2026

Salle d'exposition
de l'UNIGE

66 Bd Carl-Vogt
1205 Genève

unige.ch/-/sable



du grain de sable à la ville durable