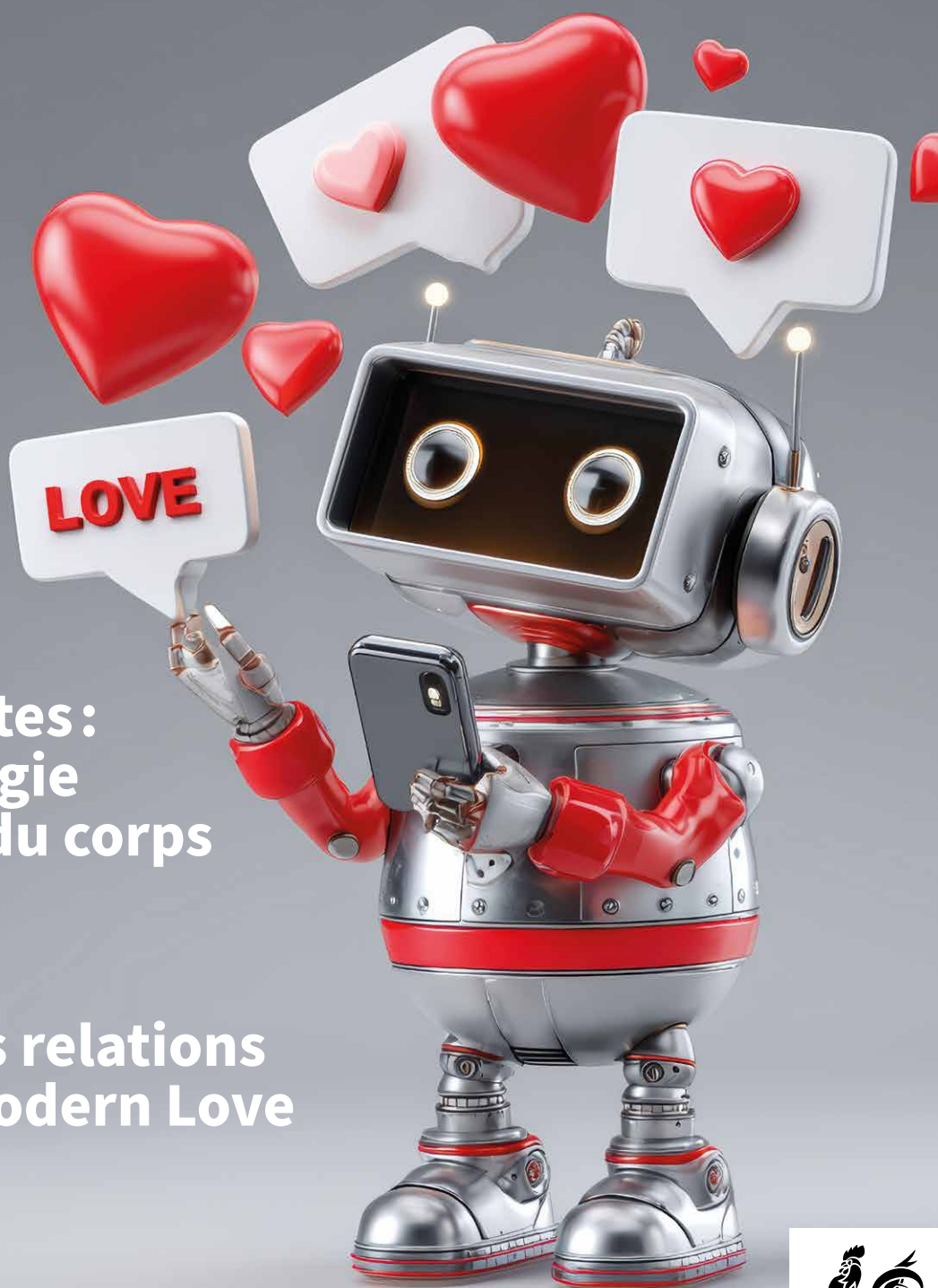




Technologie p.12

**Exosquelettes :
la technologie
au service du corps**

IA p.41

**Les IA et les relations
sociales: Modern Love**



ÉDITO



Toutes les machines ont un cœur ?

TEXTE: GÉRALDINE TRAN - RÉDACTEUR - PHOTOS: © PURE IMAGINATION - STOCK.ADOBE.COM (GÉNÉRÉ À L'AIDE DE L'IA) - TITRE, ID PHOTO/VIGNETTE

Toutes les machines ont un cœur, t'entends ? Toutes les machines ont un cœur dedans. Qui bat, qui bat, qui bat. Comme on se bat, maman. Comme on se bat pourtant. On n'avait pas prévu ça, d'avoir des doigts Messenger, des pouces ordinateur. Sur les machines, on passe des heures. Sur les machines, on dessine un cœur. Qui bat, qui bat, qui bat. On tape nos vies dedans. Autant de likes et de leurre, de flammes, de selfies, de peurs, de smileys en couleur...

On n'avait pas prévu ça... vraiment ? Des chansons, des films (de science-fiction ou non), des livres qui traitent des relations virtuelles, il y en a par centaines. Et depuis déjà des dizaines d'années. D'ailleurs, depuis toujours, les humains ont eu besoin, ont cherché et ont trouvé des interactions lorsque celles-ci manquaient ou n'étaient peut-être pas celles attendues ou rêvées. Les enfants avec leur doudou ou leurs jouets, les grands enfants avec leurs jeux vidéo de plus en plus réalistes... sans oublier la place des animaux dans la vie de certaines personnes. Jusqu'au jour où l'IA et ses chabots ont fait leur apparition. Elles occupent de nombreuses fonctions, plus ou moins utiles, dont celle depuis quelques années de véritable «compagnon de vie». Nous avons déjà évoqué la solitude et l'importance que prennent les outils numériques dans nos vies. Chez les jeunes mais pas que. Il y avait donc un terreau fertile qui n'attendait que de faire éclore un nouveau mode de vie. Vous connaissez peut-être l'histoire de Chris Smith, cet Américain de 37 ans. Pourtant marié et père de famille, il a noué au fil du temps une relation sincère et profonde avec une IA, qu'il a prénommée Sol. Tombé amoureux, il a fini par la demander en mariage, jusqu'à se rendre compte qu'elle ne pouvait mémoriser que 100 000 mots avant de se réinitialiser et donc... de tout oublier ! Cela l'a profondément attristé... sans oublier l'atterrement que cette relation a provoqué chez sa compagne Sasha, bien humaine, elle. Des histoires comme celle-ci, il en existe plein. Et

il ne faut surtout pas croire que ceux qui les vivent sont mentalement déséquilibrés, reclus ou totalement en marge de la société. Ils ont un travail, une famille, des amis. Pourquoi ces personnes tombent-elles alors dans le panneau ? Les IA sont-elles si perfectionnées qu'elles donnent la parfaite illusion d'être des alter ego humains ? Sans doute, et elles ne cessent de se développer, dans leur fonctionnement, leur mémoire comme leur «apparence» (leur voix notamment), mais cela pose question... Beaucoup de questions. Sociales car cela en dit long sur notre société, le progrès et sa gestion. Psychologiques: comment l'humain en arrive-t-il à oublier la frontière entre réel et virtuel au point de livrer ses émotions à un chatbot, de tomber amoureux, de mettre sa vie réelle en danger parfois ? Des questions anthropologiques aussi et surtout éthiques. Il ne faut pas oublier que tout ce que l'on dit ou écrit est «enregistré» et utilisé pour nous faire croire que l'on a raison. Vous savez, ce que l'on appelle les algorithmes ? Ceux qui font que, comme par hasard, en scrollant, on tombe sur ce qu'on cherchait, sur ce qu'on croyait, sur ce qu'on voulait, voire sur ce dont on rêvait ! Le matin, à la machine à café, vous parlez à votre collègue d'une situation que vous vivez. Plus tard, en mangeant votre sandwich à midi, vous regardez le *reel* d'une astrologue sur Facebook. Il y a beaucoup de chance pour que quand vous ouvrirez Instagram, apparaîtra une vidéo «Lion, que vous réserve le mois de février 2026 ?» et qui correspondra presque en tous points à ce que vous vivez ! Évidemment, point de magie là-dedans... En attendant, vous appréhendez peut-être la vie par ce prisme plutôt que par un autre... C'est une nouvelle ère, où les sphères se mélangent, les frontières s'amenuisent, les défis se multiplient, la peur augmente... Une ère de méfiance, envers tout et tout le monde. N'oublions pas de prendre du recul, de se faire confiance et de privilégier la sincérité. Pour vous y aider, plongez dans l'article «IA» de Thibault Grandjean, qui vous donnera sans doute un éclairage nouveau ! 



SOMMAIRE

Le mag scientifique

375

Janvier-Février 2026



- 4 **Actualités** • Le monde de la recherche, des nouvelles technologies et des entreprises à la loupe
- 10 **Wall'Innove Tour** • e-peas
- 12 **Technologie** • Exosquelettes : la technologie au service du corps
- 16 **L'ADN de...** • Anne MAGOTTEAUX, Médecin hypnothérapeute
- 18 **Société** • Apprendre: une prise de risque et beaucoup d'émotions
- 22 **Mathématiques** • Apprendre à raisonner par l'absurde
- 24 **Dossier** • Le fantôme de la liberté
- 30 **Colombe** • Aussi barje que *Barje*, elle nous partage son regard acéré sur l'actu scientifique
- 31 **Curiokids** • Voyage au cœur des cercles polaires
- 35 **Santé** • Burn-out sexuel, un épuisement du don de soi
- 39 **Qui est-ce ?** • Clara IMMERWAHR
- 41 **IA** • LES IA ET LES RELATIONS SOCIALES: Modern Love (2^e partie)
- 45 **Internet** • Notion : fonctionnalités avancées (2^e partie)
- 49 **Chimie** • Des enzymes pour faire jaillir le courant
- 51 **Biologie** • Plongez au cœur des cellules et de la vie
- 55 **Physique** • Du soleil en beignet
- 57 **Tania nous parle de l'Espace** • Le Centre Spatial Guyanais
- 59 **Les anecdotes spatiales de Tania**
- 60 **Espace** • La Belgique au service de l'ESA
- 63 **Agenda** • À voir, à tester, à cliquer, à lire...

ACTUS

TEXTE : THIBAUT GRANDJEAN · GRANDJEAN.THIBAUT@GMAIL.COM

PHOTOS : © DTICKI - STOCK.ADOBE.COM (P.4), © DANIEL ESKRIDGE - STOCK.ADOBE.COM (P.5), © WRIGHTSTUDIO - STOCK.ADOBE.COM (P.5),
© URAK ET AL. / CC BY 4.0 (P.6), © MA BALISE 2026 (P.7), © ARTE G.E.I.E (P.7), © NANCY PAUWELS - STOCK.ADOBE.COM (P.8),
TTINER-E.ORG (P.8)

Des PFAS dans les aliments de base

Jusqu'à présent, la chasse au PFAS concernait avant tout l'eau potable. Ces molécules, que l'on appelle per- et polyfluoroalkylés, sont des éléments très prisés par les industries pour leurs propriétés antiadhésives et imperméabilisantes, ainsi que pour leur résistance aux fortes chaleurs.

Cette stabilité, conférée par une liaison carbone-fluor, la plus solide en chimie, est aussi la source de leur surnom : les polluants éternels. En effet, ces molécules se retrouvent dans l'environnement, les nappes phréatiques et la chaîne alimentaire, en raison de leur extrême résistance à la dégradation. Ils peuvent ainsi persister des années, voire des siècles dans l'environnement, s'accumulant alors dans certains organismes. Cette pollution est un problème d'autant plus grand que les PFAS sont considérés comme des cancérigènes et perturbateurs endocriniens, avec des effets sur la fertilité humaine et le développement du fœtus.

Mais alors qu'il existe probablement 7 millions de PFAS, il en est un qui fait de plus en plus parler de lui : l'acide trifluoroacétique, ou TFA. Il s'agit en quelque sorte du premier d'entre eux, une petite molécule avec une seule liaison carbone-fluor, et que l'on retrouve non seulement dans les cours d'eau et les lieux pollués aux PFAS, mais également dans l'alimentation.

En effet, d'après une étude publiée par le Réseau d'Action contre les Pesticides PAN Europe, ce dernier se retrouve en quantité problématique dans 54 de 66 produits de consommation courante achetés dans 16 pays européens. Céréales du petit déjeuner en provenance d'Irlande, pâtes italiennes, pain d'épices, baguette française, mais aussi pain complet et crâmes belges... Tous ces produits à base de céréale de blé présentent des quantités problématiques de TFA, avec en moyenne

78,9 µg/kg de TFA, et des pics atteignant 360 µg/kg. Or, la limite par défaut pour cette molécule, en l'absence de réglementation européenne, se situerait à 10 µg/kg.

Pour rappel, ces chiffres sont plus de 170 fois supérieurs à la concentration du TFA mesurée dans l'eau potable ! L'ampleur de cette pollution fait dès lors dire à PAN Europe que l'alimentation est la première voie d'exposition au PFAS, loin devant l'eau du robinet.

Plusieurs inconnues restent cependant en suspens. En effet, le blé est la céréale testée la plus contaminée, devant le sarrasin ou le riz notamment. Les auteurs de l'étude avancent 2 hypothèses : les pesticides sont peut-être plus fréquemment utilisés pour cette céréale, ou cette dernière a une capacité d'absorption supérieure aux autres, stockant la molécule toxique au sein des cellules de la plante.

Avec cette étude, L'organisation espère ainsi tirer la sonnette d'alarme sur l'utilisation des pesticides. En effet, le TFA est non seulement un PFAS utilisé par l'industrie, mais aussi un produit de dégradation de certains pesticides, comme le *Flufenacet*. PAN Europe demande dès lors l'interdiction des pesticides à base de PFAS, qui représentent 12% des substances actives des pesticides de synthèse autorisées dans l'UE.

Car si l'on parle aujourd'hui des céréales, nul doute que d'autres cultures sont également touchées. En avril dernier, l'organisation avait déjà publié un rapport mettant en garde sur la pollution au PFAS présente dans les vins européens. Tous les vins récents testés montraient une contamination aux PFAS, là encore avec des niveaux très problématiques. Et cette étude montre également que les PFAS sont un problème récent : le TFA n'a pas été détecté dans les vins datant d'avant 1988. Un fardeau de plus pour les générations futures. ^A

 <https://www.pan-europe.info/>

L'ACTU DES LABOS

Quand les mots font la pensée

L'évolution des mots fait plus que nous dire d'où l'on vient. Elle raconte aussi la manière dont on pense. En japonais moderne, le verbe *kikoeru* dénote une perception auditive involontaire. Mais au 10^e siècle, ce verbe se prononçait «kikoyu» et signifiait entendre, avant de prendre le sens de «comprendre» au 13^e siècle, puis «être convaincu» au 17^e siècle. Un peu comme notre «je vois» pour signifier «je comprends» en français. En étudiant ce glissement sémantique, une étude de l'ULiège met en lumière la façon dont notre cerveau transforme nos expériences sensorielles en représentations mentales plus complexes. D'abord limité à une «compréhension approximative» liée à ce qui est entendu, le sens du mot se généralise à toute forme de compréhension, puis se concrétise en une certitude ou conviction, ce qui reflète parfaitement le cheminement mental à l'œuvre dans notre tête lorsque nous entendons un son. Cette étude montre ainsi que la linguistique est capable de révéler les principes cognitifs universels qui façonnent notre langage. **A**

► Yoshitake D., *Synergy*, 2025

Un ancien réchauffement climatique

Il y a 56 millions d'années a eu lieu un réchauffement climatique intense de 5 à 8 °C. Étalaé sur une période de 10 à 20 000 ans et appelé Maximum Thermique du Paléocène-Éocène (MTPE), il serait à l'origine d'une grande reconfiguration des mammifères, et de l'apparition des mammifères placentaires dont nous faisons partie. Bien que beaucoup plus progressif que notre réchauffement actuel, il joue un rôle important dans notre compréhension du cycle du carbone de la Terre. Mais une étude menée par une équipe de l'UNamur, via des fouilles effectuées dans le sud de la France, tend à montrer qu'un réchauffement de 2 °C, préalable au MTPE, serait en réalité à l'origine des profonds changements qui ont touché les mammifères, et que ceux-ci auraient migré ensuite depuis le continent américain vers l'Europe grâce à des corridors verts en Arctique. Les chercheurs montrent ainsi que même un bref réchauffement climatique, d'une amplitude similaire à notre situation actuelle, est à même d'avoir d'immenses répercussions au sein des mammifères européens. **A**

► R. Tabuce et al. *PNAS*, 2025



L'Artocyon, ce mammifère ayant vécu au Paléocène, faisait à peu près la taille d'un gros chien.



L'expertise de l'UMons en technologies propres

L'UMons s'est associée avec l'Université de Vasaa en Finlande pour porter le projet *Cleantech4Wallonia & Vaasa* (C4W), un financement majeur du prestigieux programme européen MSCA-COFUND. Ce projet C4W permettra aux 2 universités de structurer un programme commun associant recherche scientifique, mobilité internationale et partenariats industriels dans des domaines liés à la décarbonation, la transition énergétique et la durabilité. Vingt-cinq bourses postdoctorales dans les technologies propres seront ainsi financées grâce à ce programme, dont 15 à l'UMons. ENGIE, Holcim, Comet, Vanheede Environment ou encore le centre de recherche européen Tecnalia font partie des partenaires qui accueilleront les futurs étudiants lors de leurs périodes de mobilité. Les chercheurs postdoctorants bénéficieront notamment d'une formation dédiée et d'un environnement interdisciplinaire favorisant la mise en œuvre de projets *cleantech* avec une démarche entrepreneuriale, visant à créer de nouvelles entreprises ou à transférer les résultats de recherche aux partenaires industriels. **A**



VIDÉO:
OSEREZ-VOUS
REGARDER ?

Arachno maxima

On décrit volontiers les araignées comme solitaires, tapies dans les anfractuosités sombres d'un mur ou d'une grotte. Quelle n'a pas été la surprise d'une équipe de scientifiques, dont plusieurs de l'ULB, lors de la visite d'une grotte sulfidique à la frontière entre l'Albanie et la Grèce. Ils y ont découvert une toile d'araignée de près de 100 m² où vivent... plus de 110 000 araignées ! Et les surprises ne font que s'accumuler. Cette toile abrite près de 69 000 tégénaires domestiques (*Tegenaria domestica*), une espèce commune dans toute l'Europe et que l'on trouve aussi chez nous, mais plutôt solitaire et prédatrice. Et les 42 000 restantes ? Des araignées dénommées *Prinerigone vagans*, et habituellement proies des premières ! Or, ici, tout ce petit monde cohabite, notamment grâce à une source inhabituelle d'énergie: un ruisseau sulfidique à la surface duquel se multiplient des bactéries qui oxydent l'hydrogène sulfuré, et qui nourrissent des larves de chironomes. Une fois adultes, ces dernières deviennent des petits moustiques à leur tour consommés par les araignées. Cette étude remet en question les connaissances actuelles sur le comportement social des araignées et souligne la nécessité d'une protection de *Sulfur Cave*, seul endroit connu au monde à héberger une telle toile coloniale multispécifique. ^A



En Bref

Une étude menée par une équipe de l'ULB, et destinée à ajuster les estimations des sources et des puits de CO₂ naturels et anthropiques a été publiée dans la revue *Nature*. Elle établit notamment que l'océan pompe 15% de CO₂ en plus par rapport au puits continental, qui a été surestimé, notamment en raison de la surexploitation des sols et de la déforestation.

► P. Friedlingstein et al. *Nature*, 2025

L'UNamur a créé le SPiN (*Science & Philosophy in Namur*), un nouveau centre de recherche interdisciplinaire engagé, et qui interroge la place des sciences dans la société. Il cherche ainsi à développer une réflexion critique et accessible sur les sciences. Au menu: le rapport entre sciences et pseudo-sciences, le réductionnisme dans les sciences, ou encore le perspectivisme.

 unamur.be

Des chercheurs de l'ULiège ont réalisé un essai clinique virtuel explorant un traitement à base de substances psychédéliques comme le LSD chez des patients qui présentent des troubles de la conscience après un coma. Leurs simulations montrent que ces substances pourraient, chez ces patients, rendre la dynamique cérébrale plus complexe et plus proche d'un état conscient.

► L. Alnagger et al. *Advanced Science*, 2025

Selon un rapport de l'Institut Wallon de l'Évaluation, la Prospective, et de la Statistique (IWEPS), la Wallonie souffre de disparités importantes en matière de santé mentale, avec des communes cumulant des besoins élevés et une offre limitée. En plus de pistes d'actions, le rapport propose un tableau de bord interactif permettant de visualiser les données pour chaque commune.

 <https://apps.iweps.be/sante-mentale-wallonie/>

 <https://bit.ly/4r7x9Kw>

► I. Urák et al. *Subterranean Biology*, 2025

L'origine du chat en Europe

On sait depuis longtemps que le chat domestique descend du chat sauvage africain *Felis lybica lybica*, mais son origine exacte et les voies de dispersions sont longtemps restées un mystère pour les chercheurs. Le récit communément admis retraçait l'arrivée du chat en Europe durant le néolithique, il y a plus de 7 000 ans, et racontait l'histoire d'un animal venu vers l'homme en raison des souris qui pullulaient autour des premiers greniers à grain. Mais une étude internationale, à laquelle le muséum de Sciences Naturelles a participé, et grâce à des ossements découverts à Bruxelles, révèle que cette domestication daterait en réalité d'il y a à peine 2 000 ans ! Plus précisément, le chat domestique européen ne descend pas des chats qui auraient accompagné les agriculteurs du Moyen-Orient, mais de populations plus tardives d'Afrique du Nord. Cette venue en Europe se serait faite en plusieurs vagues, depuis différents lieux, et coïncide notamment avec des périodes d'intensification du commerce en Méditerranée. Les chats embarquaient probablement sur les navires comme chasseurs de souris efficaces à bord des bateaux transportant du grain et d'autres cargaisons, mais aussi sans doute comme animaux appréciés pour leur valeur religieuse et symbolique. ^A

► M. De Martino et al. *Science*, 2025.



L'ACTU DES ENTREPRISES

Remonter à la (bio)source

Les matériaux de construction biosourcés ont le vent en poupe en Wallonie, et les entreprises qui développent ces matériaux se développent à toute vitesse. À Fernelmont, dans la région de Namur, l'entreprise *Isohemp* vient d'inaugurer une usine de recyclage de béton de chanvre. Baptisée *Recyhemp*, l'usine va pouvoir reproduire des briques de béton de chanvre à partir des déchets de chantiers. Ce béton, fabriqué à partir de chènevotte (partie ligneuse de la tige de chanvre) et de chaux naturelle, permet d'isoler les bâtiments de façon écologique, avec des performances à la fois thermiques et acoustiques supérieures à des isolants classiques comme la laine de verre. Ils sont en outre ignifuges, et permettent de stocker durablement du carbone dans l'isolation des bâtiments. Et, en plus du chanvre, la Région wallonne reconstruit également la filière de la laine de mouton, qui peut aussi servir d'isolant biosourcé dans nos habitations. 45 tonnes de laine ont été récoltées en Wallonie cette année, qui sont ensuite transformées en plaques d'isolants locales, via l'entreprise *Woolconcept*. 

 <https://www.iso hemp.com/fr>

Une balise NFC biodégradable

D'ici 2027, l'Union européenne va introduire le *Digital Product Passport*, un outil qui permettra aux consommateurs de tracer le produit qu'ils achètent: l'origine de ses ingrédients et composants, leur empreinte environnementale, et ses conditions de recyclage. Cet outil doit concerner en priorité les cosmétiques, avant de s'étendre progressivement à tous les objets vendus dans l'UE. Mais pour que ce dispositif soit effectif, il est nécessaire que chaque produit dispose d'une étiquette munie d'une puce RFID, lisible via un smartphone, qui contient toutes ces informations. Autant de déchets électroniques, chargés en plastiques et métaux lourds, qu'il sera difficile à éliminer. L'entreprise *Ma Balise* a développé pour cela une solution biodégradable: une étiquette NFC et RFID sans plastique ni métaux, et où de l'encre conductrice vient jouer le rôle d'antenne. Selon l'entreprise, 99% de l'étiquette est ainsi biodégradable, et même compostable. Le tout, avec la même portée de lecture et la même fiabilité de transmission qu'un étiquetage classique. L'innovation de *Ma Balise* a remporté plusieurs prix de durabilité à l'international. 

 <https://mabalise.be/>



Une maison low-tech en Belgique

Peut-être avez-vous suivi *L'appart du futur* sur Arte. Cette petite série retrace les aventures d'un couple franco-belge qui a décidé de tester la possibilité de vivre dans un appartement en région parisienne avec le moins de technologie possible. Le but de l'expérience était de tester l'efficacité de solutions dites *low-tech*, afin de diminuer tant que possible l'impact de nos modes de vie sur la planète. Si cela vous attire, rendez-vous à l'institut de zoologie à Liège. La coopérative *Hellow*, qui fabrique des *tiny houses* clés en main en Belgique, vient d'y installer un habitat modulable en collaboration avec l'ULiège, *Valbiom*, *Gramitherm* et la *Menuiserie Riche*, afin de tester les différentes solutions proposées par la maison du futur. Au programme: isolation biosourcée, réseau électrique 12V, douche brumisante, chauffe-eau solaire, rumeur machine à laver, et culture de pleurotes ! Grâce à des visites guidées et des ateliers, cette expérimentation grandeur nature est disponible à tous ceux qui souhaitent vivre davantage en accord avec la planète. Et si vous êtes curieux et bricoleur, toutes les informations techniques de l'expérience française sont disponibles à l'adresse ci-dessous. 

 <https://biosphere-experience.org/biosphere-urbaine/>

 <https://hellow.coop/>

 https://www.rejouissciences.uliege.be/cms/c_20472047/fr/low-tech-studio-une-immersion-dans-un-futur-durable



ÉMISSION
«L'APPART DU
FUTUR» - ARTE



Un wilder park en wallonie

Les parcs nationaux sont de véritables trésors de biodiversité, qui rendent à la planète et à la société humaine d'immenses services écosystémiques. Il est donc important de les protéger contre l'influence humaine. C'est pourquoi le *Parc National de l'Entre-Sambre-et-Meuse* a été sélectionné, avec 9 autres parcs naturels européens, par l'ONG *Rewilding Europe* pour servir de démonstration de renaturation. Au sein de ces parcs, l'ONG souhaite accélérer le rétablissement des écosystèmes en appliquant les différents principes du réensauvagement: laisser la forêt se régénérer naturellement, développer des prairies naturelles afin d'accueillir des herbivores sauvages, laisser sur place le bois mort et les carcasses d'animaux, supprimer les clôtures ou encore laisser plus de place aux régimes de feux naturels. Si ces 10 parcs doivent servir de vitrine au réensauvagement de l'Europe, 20 autres parcs doivent rejoindre l'initiative en 2027 pour un total de 790 000 hectares concernés. Au total, les parcs naturels européens englobent 62 millions d'hectares, répartis sur 29 000 sites.

<https://rewildingeurope.com/>

En Bref

Depuis octobre dernier, l'application *Mygov*, disponible sur smartphone et par laquelle il est déjà possible de télécharger plusieurs certificats comme les attestations d'état civil ou les données du permis de conduire, permet également d'accéder à une carte d'identité numérique. Attention, celle-ci n'a pas encore de valeur légale, pour voyager par exemple.

Selon un constat mené par Bruxelles environnement et *Natagora*, le nombre d'espèces d'oiseaux nicheurs est resté pratiquement stable depuis l'Atlas de 2000-2004. Mais ce chiffre rassurant cache en réalité de grandes disparités, avec une grande diminution de la linotte mélodieuse ou de la fauvette grisette, et une progression des oiseaux aquatiques, grâce à une amélioration de la qualité de l'eau.

<https://press.environment.brussels/bruxelles-un-nid-en-mouvement>

Une plateforme pour les essais cliniques

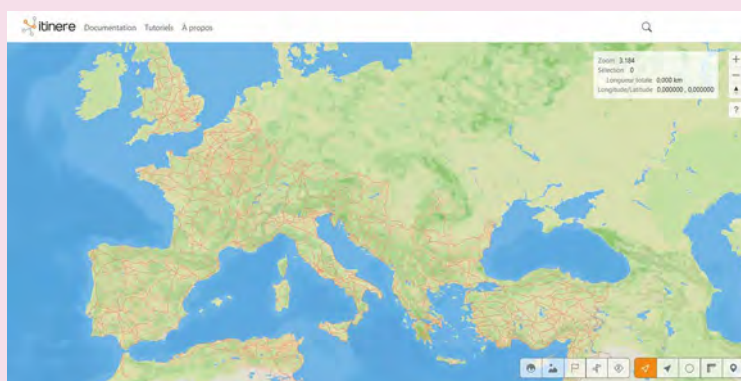
Pour tester de nouvelles molécules ou des traitements prometteurs, l'essai clinique est un passage obligé. Il permet, une fois passés les tests de toxicité, d'évaluer l'efficacité des traitements futurs sur de grandes cohortes de patients, et ainsi mieux repérer les potentiels effets secondaires, par exemple. Les patients qui y participent peuvent alors bénéficier d'un traitement médical de pointe. Seulement voilà: il existe des centaines d'essais cliniques chaque année pour quantités de maladies, et les médecins ne peuvent matériellement pas se tenir au courant de leur existence, pour en faire profiter leurs patients. *The Patient Voice Database*, une plateforme dédiée mise en place par la start-up *CureWiki* et l'*Expert Patient Center*, vient de voir le jour. Elle permet à tous les patients de s'y inscrire, et ainsi de se voir proposer des essais cliniques auxquels ils sont potentiellement éligibles. Les patients peuvent alors choisir eux-mêmes les essais auxquels ils souhaitent participer, en accord avec leur médecin. *The Patient Voice Database* est un projet pilote, avant un déploiement à l'international. Près de 16 000 patients se sont déjà inscrits.

<https://www.thepatientvoicedatabase.org/fr>

L'IMAGE DU MOIS

Cette carte représente l'ensemble des routes romaines cartographiées à ce jour, à l'apogée de l'Empire romain en 150 apr. J.C. 300 000 km de voies sont répertoriées, et chacun peut planifier son voyage sur le site... À condition de connaître son latin !

<https://itiner-e.org/>



La ville de Namur va devenir une vitrine des possibilités qu'offre la 5G en ville. Grâce au plan de relance de la Wallonie, le projet *Namur Smart City* vise à disposer dans la ville des caméras, des capteurs météorologiques et des capteurs de nuisance sonore, afin de tester 3 cas d'usages: visualisation en temps réel des places de parking disponibles, détection des flux de mobilité douce (piétons, cyclistes) et des incivilités, et mesure du bruit, de la qualité de l'air et des conditions météo locales.

Le projet HECO₂ du centre de recherche *Materia Nova* de Mons propose une solution innovante pour produire de l'hydrogène sans émission de CO₂: provoquer la plasmalyse du méthane, afin d'obtenir du carbone solide d'une part, et de l'hydrogène d'autre part. Et plutôt que des gisements off-shore, le projet prévoit d'utiliser le méthane provenant de la biométhanisation, ou encore du grisou contenu dans les mines wallonnes.

INTERVIEW

La biologie synthétique dans les biberons

Le prestigieux concours international de biologie synthétique IGEM a décerné une médaille d'or à l'équipe de l'UCLouvain, pour leur projet *SyntcoLab*, qui ambitionne d'améliorer la composition du lait maternisé. Rencontre avec le fondateur du projet, Pierre Fievet.

Pouvez-vous nous présenter le concours IGEM ?

L'IGEM est un concours de biologie synthétique, c'est-à-dire d'ingénierie biologique, et ce au service d'une grande cause sociétale. Le but du concours est de proposer une avancée à mi-chemin entre le développement de nouvelles connaissances et les sciences appliquées avec un produit bien défini.

Quel est le projet que vous avez promu ?

Le problème que nous cherchions à résoudre est le suivant: le lait maternel contient des petits sucres, dénommés HMO, de l'anglais Human Milk Oligosaccharides, qui ont une importance cruciale à la fois dans le développement de la flore intestinale, des systèmes immunitaires et nerveux. Malheureusement, et alors que ces sucres sont très variés, avec plus de 200 types répertoriés dans le lait maternel humain, le

lait maternisé n'en contient que 6, en raison des procédés industriels complexes actuellement en place. Nous avons donc proposé un système innovant, capable de produire beaucoup plus facilement différents HMO.

Comment cela fonctionne-t-il ?

Nous avons utilisé une bactérie considérée comme sans danger pour la santé humaine, *S. thermophilus*, qui sert par exemple à la fermentation du lait en yaourt. Nous avons ensuite modifié son code génétique de sorte à créer plusieurs souches. Ces dernières deviennent alors interdépendantes, et produisent ensemble les HMO désirés, sans risque d'épuisement des bactéries. Et alors que généralement la biologie synthétique travaille avec des bactéries comportant des molécules délétères, comme *E. coli*, notre projet démontre qu'il est possible de produire quantité de molécules complexes via un système sûr pour la santé humaine. 



Plus d'infos:

 <https://2025.igem.wiki/uclouvain/index.html>

DATA

197

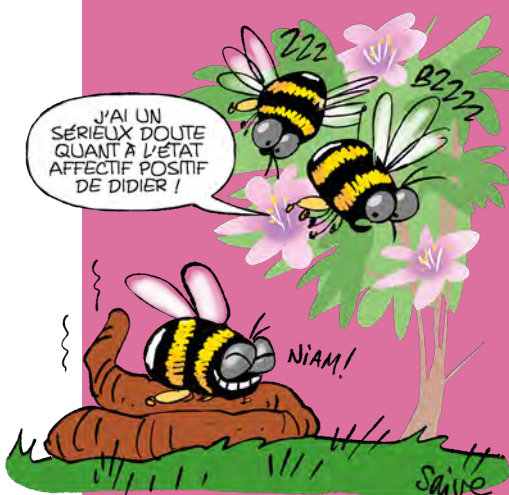
C'est un scandale sanitaire qui illustre les difficultés que rencontrent les couples ayant recours à des donneurs de gamètes, en raison notamment du faible nombre de donneurs. Selon une enquête menée par un consortium de journalistes d'investigation, une entreprise danoise, l'*European Sperm Bank* (ESB) a livré depuis 2008 les gamètes mâles d'un donneur danois porteur, à son insu, d'une mutation génétique entraînant un risque élevé de cancer précoce. Au moins 197 enfants seraient nés de ce don de sperme, dont 52 en Belgique. La loi belge, qui prévoit que le sperme d'un même donneur ne peut être utilisé qu'à 6 reprises, n'a pas été respectée. Or, chaque enfant conçu avec ces gamètes a 50% de chances d'être porteur de cette mutation. Les recherches, qui se poursuivent pour identifier les enfants nés de ce don sont complexifiées par le fait que la Belgique a longtemps servi de «terre d'accueil» pour les couples interdits de FIV dans leur propre pays.

COUP D'CRAYON

OLIVIER SAIVE

On sait aujourd'hui que la contagion affective est un phénomène largement répandu chez quantité d'êtres vivants, depuis les grands mammifères jusqu'aux poissons zèbres. En revanche, on ignorait si un tel phénomène existait chez les invertébrés... jusqu'à aujourd'hui ! Une équipe de chercheurs a mené une expérimentation originale, à base de fleurs de couleurs différentes et de récompenses. Elle a ainsi montré que les bourdons qui avaient eu des contacts, même brefs, avec des congénères dans un état affectif positif, abordaient ensuite les fleurs de couleur ambiguë avec davantage d'optimisme. De plus, un simple contact visuel suffirait à effectuer ce transfert de «biais de jugement positif». Les chercheurs voient là «un moyen pour tous les animaux de s'adapter à leur environnement». Puisque les bourdons peuvent être de bonne humeur, reste à savoir si ces derniers peuvent également avoir le bourdon, ou si cette expression a du plomb dans l'aile.

► J. E. Romero-González, *Science*, 2025





WALL'INNOVE TOUR: arrêt sur e-peas

TEXTE : JACQUELINE REMITS • JACQUELINE.REMITS@SKYNET.BE
PHOTOS : JANNOON028/FREEPIK + PHOTOMONTAGE (P12), © E-PEAS (P12-13)



e-peas
semiconductors

CARTE D'IDENTITÉ

CRÉATION: 2014

SIÈGE SOCIAL:

Boulevard Baudouin 1^{er}, 19
1348 Louvain-la-Neuve

SECTEUR

D'ACTIVITÉS:

Puces électroniques

MEMBRES

DE L'ÉQUIPE:

45

CONTACT:

010 77 12 30

info@e-peas.com

 e-peas.com

Il était une fois...

Deux ingénieurs qui avaient l'ambition de révolutionner le monde des piles, et qui y sont arrivés. Fin 2014, après 10 ans de recherche dans le laboratoire électronique de l'UCLouvain et grâce à un investissement d'amorçage de *The Faktory*, le fonds d'investissement privé de démarrage de Pierre Lhoest, fondateur d'EVS, Geoffroy Gosset et Julien De Vos créent la société *e-peas*. Avec quel objectif ? « Notre développement et commercialisation des puces électroniques de gestion d'alimentation qui extraient l'énergie captée par un récupérateur d'énergie ambiante, commence Geoffroy Gosset, CEO d'*e-peas*. Ces puces s'adaptent aux caractéristiques d'une batterie pour la recharger. Elles assurent avec efficacité une extraction énergétique maximale depuis le récupérateur d'énergie, tout en protégeant la batterie. Nos solutions de pointe libèrent les appareils des limitations liées à l'utilisation des piles. » En 2016, l'entreprise lance la première puce de récupération d'énergie solaire. En 2018, une étape importante pour la croissance

de l'entreprise est franchie avec la sortie de puces de nouvelle génération pour la récupération d'énergie photovoltaïque (lumière artificielle intérieure ou solaire), thermique (gradients de température), vibratoire et RF (radio fréquence). Cette année-là, *e-peas* est d'ailleurs nommée « Start-upper de l'année » par *Digital Wallonia*.

Dès 2019, avec la demande croissante en solutions de récupération d'énergie et l'intérêt croissant pour les AEM (*Ambient Energy Manager*), les produits les plus performants d'*e-peas*, l'entreprise s'étend en Suisse. En juillet 2020, *e-peas* franchit encore un cap en obtenant un financement supplémentaire de 8 millions d'euros en capital-risque. « Cet apport de capitaux nous a permis d'assurer une croissance à long terme et de consolider la réputation d'*e-peas* de fournisseur leader de solutions avancées de récupération d'énergie », souligne Geoffroy Gosset.

En 2021, une nouvelle gamme de chargeurs de batterie compacts conçus pour les objets connectés et l'IoT (l'Internet des objets) est mise sur le marché. « Innovants, ils répondent à la demande croissante de solutions de gestion optimisée de l'énergie ambiante, aux besoins des objets connectés médicaux et des capteurs intelligents. » Pour la 3^e année consécutive, *e-peas* est reconnue comme l'une des « Silicon 100 », des start-up à surveiller, par *EE Times*. Cette reconnaissance souligne l'innovation continue et le statut d'acteur clé de l'entreprise dans l'écosystème des start-ups technologiques. En 2022, la société lance 3 nouveaux circuits intégrés de gestion

de l'alimentation à tension constante pour les dispositifs de récupération d'énergie. Elle alimente également des centaines de LunaSats grâce à ses PMICs (Power Management Integrated Circuits, ou circuits intégrés de gestion de l'alimentation) dans le cadre d'un projet conjoint de l'Université du Colorado et de la Nasa.

L'année 2023 marque le lancement d'un PMIC de récupération de l'énergie capable de gérer 2 sources indépendantes en parallèle et, en 2024, d'une autre gamme de PMICs pour les télécommandes et les claviers sans fil. L'entreprise obtient un financement de 17,5 millions d'euros pour accélérer le déploiement de ses solutions de récupération d'énergie grâce à de nouveaux actionnaires privés et de l'EIC (European Innovation Council). La société dispose ainsi des moyens pour avancer dans le développement et la commercialisation. Ce financement met en lumière la technologie révolutionnaire développée par e-peas, permettant d'importantes économies en comparaison à l'utilisation de piles. L'offre s'étend par la mise sur le marché de 2 nouvelles gammes de produits. *«Un premier microcontrôleur à très basse consommation et un capteur d'images avec la plus basse consommation d'énergie au monde dans sa catégorie.»* Forte de 45 employés, la société s'est aujourd'hui forgé une solide réputation comme leader sur son marché, forcément international.

...l'envie d'innover

Qu'ils soient photovoltaïques, thermiques, alimentés par des vibrations ou des ondes radio-fréquences, les récupérateurs offrent une quantité d'énergie qui varie en fonction de l'environnement. *«Il faut s'adapter en temps réel pour en extraire le maximum de puissance. C'est ce que fait la puce que nous avons développée, tout en protégeant la batterie de surcharges ou de courants trop élevés, par exemple.»*

Les applications de la technologie d'e-peas sont diverses, allant des télécommandes de télévision aux capteurs industriels, en passant par les appareils domestiques intelligents et les étiquettes de prix électroniques. *«Cette approche révolutionnaire de la gestion de l'énergie offre des avantages significatifs en termes d'efficacité énergétique et de durabilité.»* Parmi les applications de la société néo-louvaniste, celle-ci peut s'appuyer sur certains blockbusters comme une télécommande solaire pour Samsung et un clavier sans fil pour Logitech. *«Ces dispositifs parlent à tout le monde, mais en réalité, les applications sont presque infinies. Si on prend un périphérique d'ordinateur comme un clavier ou une souris en partant du principe qu'on travaille dans un environnement éclairé, même*

artificiellement, on sait qu'on va bénéficier d'une source de lumière minimum d'au moins 500 lux. Ce qui est assez pour faire fonctionner le dispositif, au final peu utilisé.»

Les PMICs de récupération d'énergie d'e-peas jouent un rôle essentiel dans la conception d'appareils intelligents plus économes en énergie et plus respectueux de l'environnement. *«En captant et en gérant de faibles quantités d'énergie dans l'environnement, ces PMICs permettent de concevoir des appareils électroniques rechargeables et sans maintenance, contribuant ainsi à la transition vers un écosystème connecté plus durable.»* Cette technologie peut convenir à de vastes applications dans les systèmes domestiques intelligents, les capteurs industriels, l'électronique grand public et les appareils de divertissement connectés. *«Cela aide les développeurs de produits à s'aligner sur les objectifs croissants de durabilité sans compromettre les performances ou la fiabilité. Nous continuons sans cesse à développer de nouveaux modèles de récupération d'énergie et de nouvelles gammes de produits afin de fournir les solutions les plus performantes pour des appareils IoT intelligents et efficaces.»*

Plus de 10 ans après la création de la start-up et plusieurs innovations sur le marché, e-peas ne compte pas s'arrêter là et poursuit son travail de R&D tout en parcourant le monde, du Sommet Google TV Apac à Bangkok au CES de Las Vegas, à la recherche de nouvelles opportunités. 



QUI EST GEOFFROY GOSSET, CEO ?

Ingénieur industriel diplômé de l'ECAM (École Centrale des Arts et Métiers) à Bruxelles en 2005, après avoir poursuivi ses recherches avec un mémoire de maîtrise à la Politechnika Warszawska de Varsovie en Pologne, Geoffroy

Gosset poursuit son cursus par un master en génie électromécanique à l'UCLouvain décroché en 2007, ainsi que par une thèse de doctorat en électronique à la même alma mater décroché en 2013 et un MBA à la Louvain School of Management. Après l'obtention de son doctorat, il décroche une bourse spin-off de 2+1+1 ans pour étudier les besoins du marché et développer un premier produit, suivie d'un financement pré-seed du fonds The Factory pour finaliser le développement du premier produit et en lancer la commercialisation. En décembre 2014, il crée e-peas avec Julien De Vos, détenteur d'un master en génie électromécanique et d'un doctorat à l'UCLouvain et actuel CTO. Papa d'un enfant et bientôt de 2, à 42 ans, Geoffroy Gosset consacre tout son temps à son entreprise et à sa famille.



Exosquelettes : la technologie au service du corps

Les exosquelettes, ces dispositifs externes dont on peut s'équiper, sont conçus pour assister le mouvement humain. Qu'il s'agisse de redonner de la mobilité à ceux qui l'ont perdue ou de soulager les corps mis à l'épreuve, ils tracent un même horizon : celui d'une autonomie augmentée et d'une assistance ergonomique, où la technologie soutient sans remplacer. Des centres de rééducation aux ateliers de manutention, les exosquelettes esquissent un futur où la liberté de mouvement devient plus accessible – qu'il s'agisse de la retrouver ou de la préserver

TEXTE : VIRGINIE CHANTRY • VIRGINIE@PIXIELIGHTDIGITAL.COM

PHOTOS : © GORODENKOFF - STOCK.ADOBE.COM (P14), © ODU MAZZA - STOCK.ADOBE.COM (P14),

WIKI/FABDU30 CC BY-SA 4.0 (P15), © WANDERCRAFT (P16), © ERGOSANTE (P16), © 2026 LIFEWARD, INC. (P17)

Dans le monde du vivant, un exosquelette est une enveloppe dure qui entoure le corps – comme la cuticule des insectes ou la carapace des crustacés – et qui sert à la fois de bouclier protecteur et de support aux muscles. La robotique a repris ce concept pour créer des armatures externes portées par l'être humain : les exosquelettes. Ces dispositifs mécatroniques articulés, à la croisée de la mécanique, de l'électronique et de l'informatique, s'attachent aux membres ou au tronc pour prêter main-forte aux muscles lorsqu'ils faiblissent ou sont trop sollicités. Entre biologie et ingénierie, l'exosquelette est devenu un exemple classique de technologie bio-inspirée (🐞 voir *Athena* n°368, pp. 12-15).



Dans un contexte d'accélération du vieillissement démographique et d'augmentation des situations de mobilité réduite, la question de l'autonomie physique occupe une place croissante dans les politiques de santé et dans l'innovation technologique. En 2023, l'OMS estimait qu'une personne sur six vivait avec un handicap significatif, un chiffre en hausse sous l'effet du vieillissement et des maladies chroniques. Ces situations s'accompagnent de limitations fonctionnelles et d'inégalités d'accès aux soins, rendant d'autant plus crucial le développement d'outils abordables capables de soutenir la mobilité au quotidien et de favoriser l'autonomie. En parallèle, de nombreux

secteurs professionnels parviennent difficilement à réduire la pénibilité du travail, avec des troubles musculo-squelettiques (TMS) toujours en hausse malgré les efforts de prévention. C'est dans ce contexte que la recherche d'outils pour alléger les efforts ou compenser une perte de mobilité a émergé.

De la fiction à la science

Les exosquelettes ont longtemps été associés à la science-fiction et aux usages militaires. Aujourd'hui, ils couvrent un paysage technologique bien plus varié, allant de dispositifs motorisés capables d'assister la marche ou d'aider à la levée de charge, à des structures passives destinées à soulager le dos ou les épaules dans les tâches répétitives. Dans leur version active, des moteurs électriques (parfois associés à des systèmes hydrauliques ou pneumatiques selon les modèles), des batteries, des capteurs biomécaniques et, de plus en plus souvent, de l'IA travaillent de concert pour synchroniser l'assistance avec le mouvement: analyse de la posture, mesure de la vitesse, estimation de l'intention, stabilisation dynamique. Leur actionnement permet d'augmenter la force disponible. Toutefois, ces systèmes restent souvent plus lourds et dépendants de l'autonomie énergétique, ce qui en limite parfois l'usage prolongé. Les modèles passifs, eux, s'appuient sur des principes purement mécaniques: ressorts, élastiques, vérins et mécanismes de transfert de charge. Ils stockent une partie de l'énergie fournie par l'utilisateur et la restituent afin de réduire l'effort musculaire lors de gestes répétés ou de postures contraignantes. Plus légers, ils sont aussi plus faciles à entretenir. À côté de ces 2 approches classiques, une troisième voie se développe: les exosquelettes souples, ou *soft exosuits*. Dépourvus d'armature rigide, ils utilisent des textiles légers et résistants, des câbles de traction et des actionnements discrets pour accompagner le mouvement de manière plus naturelle. Ces dispositifs cherchent à fournir une assistance moins intrusive, avec un poids réduit et une meilleure liberté de mouvement. Cette diversité technologique constitue la base des deux principales familles d'usage: l'assistance à la mobilité et l'assistance ergonomique au travail.

Pour combiner légèreté et robustesse, la plupart des exosquelettes s'appuient sur des alliages d'aluminium ou sur des composites en fibre de carbone, appréciés pour leur excellent rapport rigidité-poids. Certains éléments très sollicités, comme les axes articulaires, sont en acier, tandis que les zones de contact utilisent des polymères ou des textiles synthétiques pour améliorer le confort et l'ajustement. Ces choix de matériaux,

que l'on retrouve aussi bien dans les modèles actifs que passifs, conditionnent directement le poids, la durabilité et le confort d'utilisation de l'exosquelette.

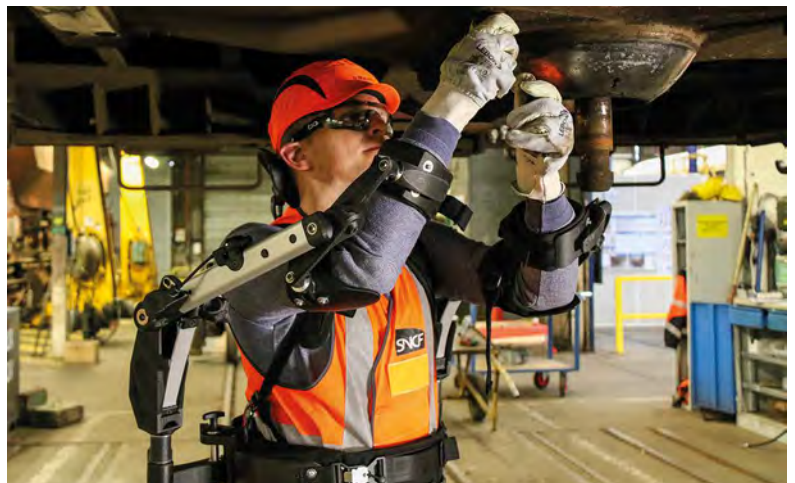
À la croisée des besoins individuels et des enjeux collectifs, les exosquelettes ont pour vocation de soutenir les capacités du corps humain et non de les remplacer.

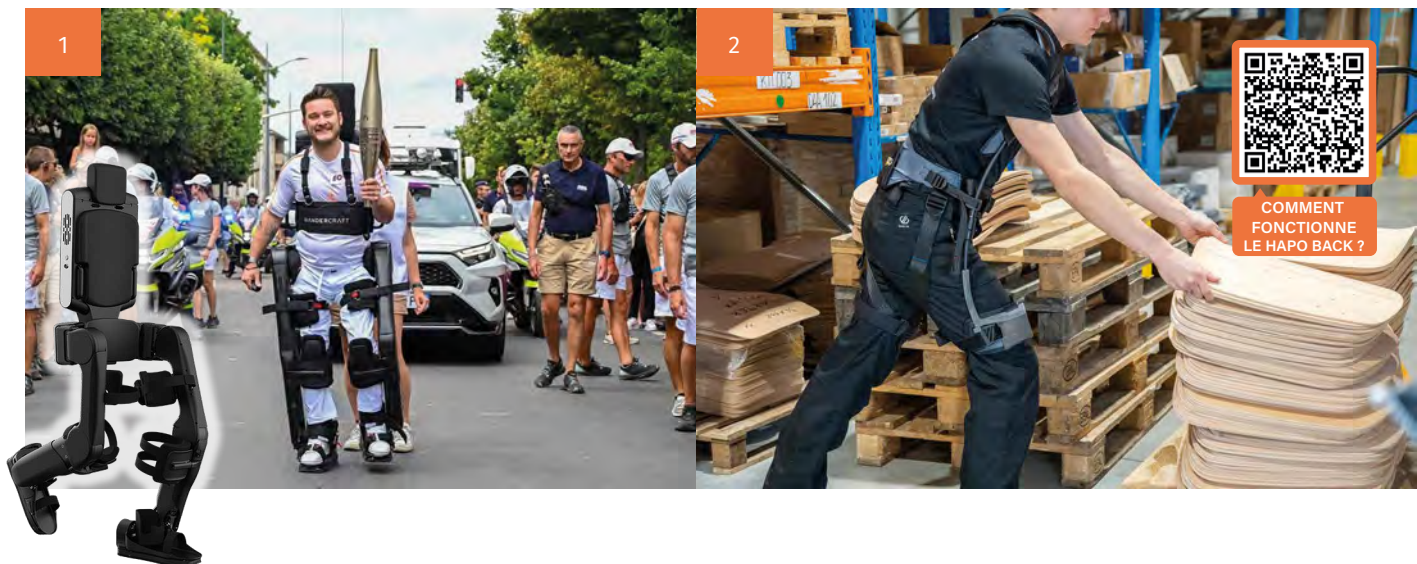
Sur le terrain, ces technologies se déploient principalement dans deux domaines, la santé et les métiers physiques, avec un même objectif, soutenir le corps lorsque ses capacités diminuent ou qu'il est mis à rude épreuve. En rééducation, les exosquelettes offrent une assistance structurée pour guider la marche, stabiliser la posture et répéter les mouvements indispensables après un AVC, une atteinte neuromusculaire ou une faiblesse liée à l'âge. Dans le milieu professionnel, ils visent à réduire la charge musculaire et la fatigue associées aux gestes répétitifs, aux postures exigeantes ou au port de charge. Cette double vocation – soigner et protéger – se décline aujourd'hui à travers différentes approches de l'assistance corporelle.

Expertise bruxelloise

En Belgique, le centre *BruBotics* – un consortium multidisciplinaire réunissant 8 groupes de recherche de la *Vrije Universiteit Brussel* – étudie depuis plus d'une décennie les interactions entre êtres humains et dispositifs d'assistance robotique. Leur démarche est centrée sur l'utilisateur: comprendre comment un exosquelette influence la posture, l'activité musculaire, la perception de l'effort ou l'acceptation sociale est aussi important pour eux que les aspects purement techniques.

L'exosquelette passif *ShivaExo*, développé par *ErgoSanté* en partenariat avec la *SNCF*, allège les efforts des épaules, du dos et des coudes en redirigeant les contraintes vers les hanches.





1. Kevin Piette, paraplégique depuis un accident de moto en 2013, a participé au Relais de la Flamme Olympique de Paris 2024 en marchant grâce à un prototype d'exosquelette personnel auto-équilibré développé par Wandercraft – un moment symbolique mettant en lumière le potentiel des technologies d'assistance pour les personnes à mobilité réduite.

2. Conçu pour les tâches de manutention et les postures penchées en avant, le HAPO BACK d'ErgoSanté est un exosquelette passif qui transfère une partie des contraintes lombaires vers les cuisses, réduisant la fatigue du dos lors des flexions répétées.

Dans le domaine des exosquelettes professionnels, les équipes de *BruBotics* explorent notamment comment ces dispositifs modifient la biomécanique du travail: quelles tâches bénéficient réellement d'une assistance, dans quelles conditions la charge musculaire diminue, et comment éviter les effets indésirables comme la compensation ou la surcharge d'un autre segment du corps. Pour cela, plusieurs outils de mesure issus de la biomécanique sont utilisés: des capteurs inertiels (IMU, *Inertial Measurement Unit*) qui enregistrent orientation, accélérations et rotations des membres pour reconstruire le mouvement; des capteurs de force intégrés aux articulations des exosquelettes, qui mesurent les charges réellement transférées; et de l'électromyographie (EMG) de surface, une technique qui détecte, via des électrodes posées sur la peau, l'activité électrique des muscles pour quantifier leur implication. En laboratoire, ces données peuvent être complétées par de la motion capture optique, un système de suivi tridimensionnel du corps humain utilisant des caméras et des marqueurs pour analyser finement la cinématique articulaire. L'ensemble alimente des modèles musculo-squelettiques permettant d'estimer objectivement l'effet d'un exosquelette – réduction de charge sur le bas du dos, diminution de l'effort de rotation des épaules, ou redistribution involontaire de l'effort vers d'autres parties du corps.

En parallèle, *BruBotics* développe des prototypes de nouvelle génération qui ajustent automatiquement le niveau d'assistance. Cette démarche s'inspire des approches «*assist-as-needed*», où l'exosquelette n'aide que lorsque c'est nécessaire et réduit son soutien dès qu'un mouvement volontaire est détecté. L'objectif est de fournir une aide graduée, qui encourage l'activité musculaire plutôt que de se substituer à elle. *BruBotics* mène également des études sur l'ergonomie, l'ajustement morphologique, le confort d'usage et le ressenti utilisateur, des paramètres qui déterminent souvent, plus que

la performance mécanique, l'adoption réelle d'un exosquelette une fois sorti du laboratoire.

Innovations bleu, blanc, rouge

En France, l'entreprise parisienne *Wandercraft* a développé *Atalante X*, présenté comme le premier exosquelette de marche auto-équilibré. Ce dispositif actif repose sur une architecture multi-joints et un contrôle de stabilité dynamique inspiré de la robotique humanoïde: l'exosquelette ajuste en continu la répartition du poids et la trajectoire du centre de gravité du système formé par l'utilisateur et l'exosquelette, permettant ainsi le maintien de l'équilibre. Des capteurs biomécaniques analysent la posture et la vitesse, tandis que les algorithmes de contrôle adaptent les mouvements en temps réel. Conçu pour la rééducation neurologique, *Atalante X* permet des séances plus longues et plus intensives, essentielles par exemple après un AVC, où la répétition des cycles de marche contribue à favoriser la capacité du cerveau à réorganiser ses circuits moteurs (plasticité cérébrale). *Wandercraft* développe aussi *Eve*, le premier prototype d'exosquelette personnel auto-équilibré, destiné aux utilisateurs en fauteuil roulant pour leur permettre de marcher à domicile et dans leur environnement quotidien. Une promesse technologique à suivre de près.

Du côté des dispositifs passifs, l'entreprise *ErgoSanté*, basée dans le Gard, illustre la puissance de la mécanique pure. Sa gamme *Hapo* regroupe plusieurs exosquelettes conçus pour la manutention et la prévention des TMS, en particulier au niveau du dos, des épaules et des membres supérieurs. Elle comprend notamment le *Hapo BACK*, qui soulage les efforts lombaires, le *Hapo FRONT*, pensé pour réduire les tensions sur les épaules, le *Hapo UP*, dédié aux travaux bras en l'air, mais aussi le *Hapo NECK*,

conçu pour soutenir les cervicales dans les positions «tête vers le haut», et le *Hapo CS*, un modèle spécifiquement adapté à la morphologie féminine. Tous reposent sur le même principe: des systèmes mécaniques qui absorbent une partie de l'effort musculaire sans moteur ni batterie. Cette simplicité mécanique impose pourtant des choix techniques déterminants: un ressort trop rigide gêne le mouvement, un harnais mal équilibré déplace le centre de gravité et fatigue l'utilisateur. L'efficacité repose donc sur un ajustement ergonomique minutieux, un point sur lequel *ErgoSanté* met en avant une méthodologie structurée d'analyse de poste et d'évaluation de l'assistance fournie. Et ce ne sont là que quelques exemples d'un domaine en pleine évolution.

Assister sans entraver

Ces approches, bien que différentes, montrent comment la technologie d'assistance corporelle s'étend de la mécatronique très avancée à des solutions purement mécaniques mais finement optimisées. Elles font face aux mêmes défis: préserver une liberté de mouvement naturelle, limiter la gêne, ajuster le dispositif aux morphologies et garantir une interaction homme-machine qui ne perturbe ni la posture ni le geste.

Derrière ces avancées demeure pourtant une réalité contrastée: alors que certains exosquelettes gagnent en légèreté, en simplicité et en accessibilité, d'autres restent très spécialisés, coûteux et réservés à un usage clinique. L'utilisation quotidienne progresse encore timidement, freinée par le prix, la nécessité d'un ajustement précis ou l'obligation d'un accompagnement professionnel. Malgré cela, les dispositifs quittent progressivement le laboratoire pour rejoindre les environnements réels – centres de soins, ateliers, entrepôts – et, plus récemment, certains foyers, avec l'apparition de modèles quasi «grand public» conçus pour être enfilés rapidement et utilisés sans expertise technique.

Ce qui est sûr, c'est que les prochaines années nous diront jusqu'où les exosquelettes nous emmèneront. Au-delà de leur sophistication technique, ils semblent vouloir s'affirmer comme des compagnons conçus pour soutenir les gestes du quotidien – domestiques ou professionnels – et permettre à chacun de continuer à bouger, à travailler et à vivre avec un soutien adapté à sa condition et à ses envies. Il reste toutefois de nombreux défis à relever: normes de sécurité, durabilité, acceptation sociale... Leur place dans notre société ne dépendra pas seulement de leurs performances, mais de la manière dont ils sauront s'adapter à nos corps, à nos gestes et à nos vies. 

TECHNO-ZOOM

Contrairement aux exosquelettes rigides, le *Soft Exosuit* développé notamment par le *Harvard Biodesign Lab* mise sur la souplesse plutôt que sur la structure. Ce dispositif de robotique «molle» est aujourd'hui commercialisé sous le nom *ReStore™* par l'entreprise *Lifeward*, spécialisée dans les technologies de rééducation robotisée. Visuellement, aucune armature: l'*Exosuit* se présente comme un harnais textile léger ceinturant la taille, relié à un module dorsal d'où partent des câbles discrets longeant les jambes, avec un ancrage fonctionnel au niveau du mollet de la jambe assistée, et qui se mettent en tension au rythme de la marche. Lorsque l'utilisateur amorce un pas, des capteurs détectent les différentes phases du cycle de marche et le système applique une assistance synchronisée pour soutenir la propulsion ou la stabilité. Le résultat est un soutien léger, presque imperceptible, qui respecte la biomécanique naturelle du mouvement.

Conçu pour la rééducation post-AVC, *ReStore™* réduit l'effort musculaire associé à la flexion de hanche et améliore la symétrie de la marche, tout en maintenant l'utilisateur pleinement actif – un élément clé pour favoriser la récupération neuromotrice. Son faible poids, son design textile et la liberté de mouvement qu'il offre expliquent son déploiement en centres de rééducation, où il permet des séances plus intensives et fonctionnelles. Il illustre surtout une tendance de fond: celle d'une assistance robotique plus discrète, pensée pour accompagner le mouvement sans le contraindre, et ouvrir la voie à des usages de plus en plus ancrés dans la vie quotidienne.



<https://golifeward.com/products/restore-exo-suit/>



COMMENT
FONCTIONNE
LE RESTORE
EXOSUIT ?



L'ADN de...

Anne MAGOTTEAUX

Médecin hypnothérapeute

Recto

Hypnothérapeute, c'est une vocation que vous avez depuis toute petite ?

Petite, je voulais être médecin... mais aussi scientifique, astronaute ou professeure d'histoire. J'ai découvert l'hypnose thérapeutique après plusieurs années de pratique et de missions à l'étranger. Cette approche m'a immédiatement intéressée parce qu'elle repose sur des bases scientifiques. Aujourd'hui, je la vois comme un outil complémentaire pour accompagner les douleurs aiguës et chroniques, le stress, l'anxiété, les troubles du sommeil, le burnout...

Comment devient-on hypnothérapeute ?

Après des études de médecine générale, je me suis spécialisée en recherche clinique, en médecine tropicale, en médecine scolaire et en qualité de vie. C'est ensuite que j'ai découvert l'hypnose clinique et la méditation de pleine conscience, disciplines dans lesquelles je me suis formée. Ces parcours s'appuient sur des cursus certifiants, avec des modules adaptés à la pratique médicale et encadrés par des instructeurs expérimentés. Il est également possible d'exercer en tant que psychologue, à condition de disposer de solides connaissances cliniques. L'hypnose ne se substitue pas à une prise en charge médicale «classique»: elle la complète.

Vous exercez actuellement en tant qu'instructrice en méditation de pleine conscience et hypnothérapeute, quelle est votre journée-type ?

Mes journées s'organisent essentiellement autour des consultations. Je reçois chaque patient pendant 1h30, en prenant toujours le temps d'un entretien préalable pour comprendre la situation, l'histoire et les besoins de la personne. La majorité de mon activité concerne l'hypnose clinique: les séances se déroulent dans un cadre calme, avec une lumière douce. J'anime aussi, plus ponctuellement, des séances de méditation de pleine conscience, en individuel ou en groupe. Ces séances s'appuient sur les protocoles MBCT et MBSR (1), validés pour la gestion de l'anxiété et du stress.

Quels sont vos rapports avec la science ?

Mes rapports avec la science ont toujours été très étroits: j'ai commencé ma carrière dans la recherche clinique, ce qui m'a appris la rigueur et l'analyse scientifique. Ce sont des repères qui ne m'ont jamais quittée. Apprendre, questionner le vivant et confronter les hypothèses aux faits font partie de mon ADN. L'hypnose clinique s'inscrit dans cette même logique: accompagner autrement, oui, mais toujours avec un regard critique et un ancrage scientifique solide.

Quelle est la plus grande difficulté rencontrée dans l'exercice de votre métier ?

La principale difficulté est sans doute la méconnaissance de l'hypnose clinique. Elle reste souvent associée à l'hypnose de scène, spectaculaire et très directive, ce qui entretient des peurs infondées d'emprise ou de perte de contrôle, alors qu'en réalité, le patient reste toujours maître de ses valeurs et de ses limites. Le manque de connaissance du public quant aux possibilités de l'hypnose clinique, ajouté à une médiatisation très faible, fait que l'hypnose clinique est encore malheureusement peu sollicitée.

Quelle est votre plus grande réussite professionnelle jusqu'à ce jour ?

Ma plus grande réussite professionnelle remonte à mes années d'expatriation. Au Sénégal d'abord où j'ai participé à la réorganisation d'un centre médical: prise en charge des activités cliniques, campagnes de vaccination infantile, dépistage et traitement de la tuberculose. Puis au Burundi, au cœur d'un projet destiné à protéger les enfants victimes de guerre: les identifier, les nourrir, les soigner et les confier à des familles locales. Ces expériences ont façonné mon engagement, alliant rigueur, esprit d'analyse, démarche scientifique et humanité – des repères qui orientent encore ma pratique aujourd'hui, notamment en hypnose clinique.

Quels conseils donneriez-vous à un jeune qui aurait envie de suivre vos traces ?

Je conseillerais de choisir des études qui allient le diagnostic clinique et la relation au patient: l'hypnose clinique demande une base solide en médecine ou en psychologie et de vraies qualités d'écoute et d'empathie. Chaque patient requiert une grande disponibilité car une séance dure 1h30. Pour la méditation, une formation d'instructeur en MBCT réservée aux médecins et psychologues et une pratique régulière sont indispensables. 

⁽¹⁾ MBCT: Mindfulness-Based Cognitive Therapy
MBSR: Mindfulness-Based Stress Reduction



Anne Magotteaux

ÂGE: 61 ans

SITUATION FAMILIALE:
A une jumelle homozygote

LIEU DE RÉSIDENCE:
Braine-le-Château

PROFESSION: Médecin
hypnothérapeute et
instructrice en méditation de
pleine conscience

FORMATION: Docteur
en médecine, spécialisée
en soins palliatifs, qualité
de vie, recherche clinique,
pharmacovigilance,
médecine tropicale et
médecine scolaire. Formée
à l'hypnose clinique et
certifiée en interventions
psychologiques basées sur la
pleine conscience.

MAIL:
francoise.magotteaux@
gmail.com

SITE INTERNET:
 www.anne-magotteaux-hypnose.com

Je vous offre une seconde vie pour un second métier...

Je m'orienterais vers la psychologie, non par désaveu de la médecine, mais pour approfondir la dimension humaine du soin (émotions, croyances, histoire personnelle, biais cognitifs...). La médecine m'a apporté une compréhension rigoureuse du corps et une exigence diagnostique, mais à mon époque, nous n'avions pas de cours de psychologie. Or, je pense que la guérison dépasse souvent le seul domaine du corps physique.

Je vous offre un super pouvoir...

J'aimerais apaiser les grandes souffrances humaines: mettre fin aux blessures causées par les guerres, les déplacements forcés... et offrir un lieu sûr à ceux qui ont tout perdu. S'il me restait un peu de magie, je rendrais aux aînés la vivacité d'esprit des jeunes années – la lucidité, la curiosité, la capacité d'apprendre, de créer et de se souvenir.

Je vous offre un auditoire...

J'aimerais parler des états modifiés de conscience comme outils thérapeutiques et expliquer simplement ce que les neurosciences nous apprennent: la méditation renforce la pleine présence et l'accueil des événements émotionnels et physiques, l'hypnose en modifie la perception.

Je vous offre un laboratoire...

Je le dédierais à la recherche de moyens diagnostiques non invasifs et précoces, ainsi qu'à des traitements efficaces, peu coûteux et accessibles à tous, contre les maladies neuro-dégénératives comme la maladie d'Alzheimer.

Je vous transforme en un objet du 21^e siècle...

J'imaginerais une voiture autonome accessible à tous, respectueuse de l'environnement et capable d'offrir du temps de qualité pour lire, discuter ou se détendre. Et je rêverais de robots ménagers capables de nettoyer tous les étages d'une maison !

Je vous offre un voyage...

J'irais au Costa Rica, une démocratie stable où les élections et la presse sont libres, et où la justice est indépendante du pouvoir politique. Pacifiste, ce pays rejoint mes valeurs car il n'a pas d'armée. Depuis plus de 70 ans, les finances publiques sont investies dans l'éducation, la santé et la protection de la nature. Avec, en plus, un climat agréable toute l'année, ce pays semble être un petit paradis.

Je vous offre un face à face avec une grande personnalité du monde...

Matthieu Ricard et Steven Laureys, figures qui relient la science et la dimension humaine du soin. Avec le premier, moine bouddhiste et ex-docteur en génétique cellulaire et moléculaire à l'Institut Pasteur à Paris, j'échangerais sur la méditation, la bienveillance, la compassion et l'altruisme. Avec le second, Prof en neurologie et Directeur de Recherche FNRS, j'aimerais comprendre comment la méditation et l'hypnose peuvent renforcer la flexibilité cognitive et modifier certaines zones cérébrales. Dans un univers médical très technique, ils rappellent combien la bienveillance réhumanise la relation soignant-patient.

La question «a priori»: hypnothérapeute, c'est un peu utiliser un pendule pour endormir les gens, non ?

Oh là là, non ! L'image du pendule vient du 19^e siècle et de la voyance, mais il n'y a pas besoin de cet artifice pour induire un état hypnotique. En réalité, une séance d'hypnose n'a rien de spectaculaire: un cadre accueillant et un fauteuil confortable suffisent. Pas de claquements de doigts ni de boule de cristal. Et surtout, l'hypnose n'a rien de magique: 90 à 95% de la population y est sensible car c'est un état naturel que chacun de nous traverse au quotidien sans même s'en rendre compte. 

En savoir



 centre-hypnose-liege.be/

 www.ulb.be/fr/programme/fc-541

Verso



Apprendre: une prise de risque et beaucoup d'émotions

Les recherches récentes en psychologie et en neurosciences montrent qu'apprendre n'est pas uniquement une question d'intelligence et de bonne volonté: il faut aussi être en mesure de réguler ses émotions, agréables comme désagréables, pour les mettre au service de ses objectifs. Au lieu de les voir comme des parasites contrevenant aux décisions «rationnelles», les émotions se révèlent ainsi un levier d'action déterminant dans la réussite scolaire et professionnelle

TEXTE: JULIE LUONG • JULUONG@YAHOO.FR

PHOTOS: © KONSTANTIN YUGANOV - STOCK.ADOBE.COM (P.18), © DUSAN - STOCK.ADOBE.COM (P.19),
© PIXEL-SHOT - STOCK.ADOBE.COM (P.20), © LISA F. YOUNG - STOCK.ADOBE.COM (P.21)

À bien y regarder, tout au long de notre vie, nous ne faisons qu'apprendre, qu'il s'agisse d'apprendre à marcher, à parler, à décoder les expressions et les comportements des personnes qui nous entourent, à écrire, à dessiner, à calculer, à se familiariser avec les bases d'une langue étrangère, mais aussi à conduire, à faire la cuisine, à gérer un budget, etc. Même les personnes âgées continuent sans cesse d'apprendre, notamment quand leurs facultés physiques et/ou cognitives diminuent et qu'il leur faut mettre en place de nouvelles stratégies pour affronter le quotidien...

Tout au long de notre vie, nous acquérons aussi des croyances au sujet de nos capacités. Vous êtes peut-être persuadé d'être «nul en maths», de «détester le sport» ou encore d'être «incapable d'aligner 2 phrases sur une carte postale»? Des croyances en grande partie déterminées par les émotions que nos expériences d'apprentissage ont laissé imprimées en nous: un échec scolaire qui nous a valu d'être privé de vacances, un prof qui nous avait dans le viseur... ou au contraire un enseignant qui a renforcé notre confiance en nous, parfois jusqu'à faire naître une vocation. *«Les émotions ne sont pas des parasites mais font partie intégrante du processus d'apprentissage»*, rappelle à ce propos Line Fischer, psychologue, chargée de cours à l'UNamur et autrice de *«Les émotions, carburant secret de nos apprentissages?»*.

L'héritage de Descartes

Cette prise de conscience est pourtant très récente. Longtemps, les émotions ont en effet été perçues comme un obstacle à l'apprentissage, un héritage du philosophe du 17^e siècle René Descartes qui estimait que ces dernières étaient «des éléments perturbateurs à l'état normal, des processus irrationnels, qui siègent dans le cœur et empêchent les individus de prendre des décisions logiques et réfléchies», rappelle Line Fischer. Durant des siècles, les chercheurs qui se sont intéressés aux questions d'apprentissage se sont ainsi concentrés principalement sur le processus de cognition, c'est-à-dire sur la manière dont un apprenant traite l'information reçue, sur les stratégies qu'il utilise pour résoudre un exercice, sur sa manière de mobiliser ses connaissances... Mis à part dans certains courants de pédagogie alternative, les émotions – considérées comme relevant strictement du champ «privé» – ont donc été mises à l'écart du monde de l'enseignement, les élèves étant largement encouragés à les minimiser et à les mettre à distance.

On sait pourtant aujourd'hui que les émotions ne siègent pas dans le cœur, mais dans le cerveau: elles sont donc littéralement inséparables des processus cognitifs. C'est notamment ce qu'ont montré les travaux du neuropsychologue portugais Alain Damasio, auteur de «L'erreur de Descartes: la raison des émotions». Un essai qui provoquera «une petite révolution» dans la manière de considérer l'émotion dans les processus cognitifs, et particulièrement dans la prise de décision. «Cet essai a modifié la vision des émotions et des cognitions, en proposant une hypothèse alternative à celle de Descartes, commente Line Fischer: les émotions et les cognitions sont indissociables et complémentaires. Autrement dit, nous ne pouvons bien mémoriser, traiter des informations et prendre des décisions que si nous considérons ce que nos émotions ont à nous dire.» Preuve en est: les patients ayant subi des lésions cérébrales dans les zones liées aux émotions suite à un accident ou une maladie deviennent souvent incapables de prendre des décisions, grandes ou petites... «Si pour le menu de ce soir, vous hésitez entre des pâtes bolognaise ou à la carbonara, il y a fort à parier que vous déciderez en anticipant l'émotion de plaisir que va vous procurer l'un ou l'autre plat, illustre Line Fischer. C'est donc en vous imaginant déguster l'un ou l'autre que vous pourrez trancher. Notons toutefois que si vous êtes au régime, il se pourrait que vous vous raisonniez en choisissant le plat le moins calorique ou le plus digeste avant votre séance de sport du soir. Dans ce cas, votre prise de décision serait davantage fondée sur un critère «objectif» (le nombre de calories, l'aspect digeste de la recette)

LA GESTION DU TEMPS

Une bonne gestion du temps est à la base d'une bonne régulation émotionnelle. Voici différents éléments à prendre en compte pour ne plus se faire rattraper par le calendrier :

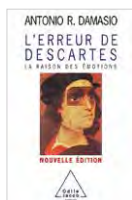
- Être **très précis dans les tâches** à effectuer (quoi apprendre en combien de temps ?).
- Être **très précis dans la planification des pauses**, en choisissant consciemment des activités qui permettent une déconnexion des tâches d'apprentissage, sans accentuer la fatigue cognitive. Les études montrent en effet que les pauses sur le téléphone ou l'ordi nous rendent moins performants sur le plan cognitif et ont tendance à fatiguer. Prendre l'air, faire du sport, écouter de la musique constituent des pauses bien plus ressourçantes.
- **Prendre en compte la «coloration émotionnelle»** des tâches, c'est-à-dire à quel point elles sont appréciées ou pas, de manière à équilibrer son planning entre activités plus ou moins agréables.
- **Prendre en compte l'énergie cognitive** nécessaire pour mener ces tâches à bien, afin d'équilibrer son planning entre tâches simples et tâches plus complexes/fatigantes.
- **Prendre en compte son niveau d'énergie** et d'efficacité dans la répartition des tâches et des pauses sur la plage horaire à planifier: certaines personnes sont plus efficaces le matin que le soir (ou inversement), en début ou en fin de semaine. Certaines sont capables de rester concentrées longtemps d'une traite et d'autres ont besoin de morceler davantage les sessions d'étude. Connaissance de soi et réalisme sont la clef !



Line Fischer,
*Les émotions,
carburant secret de
nos apprentissages ?*,
Presses universitaires
de Namur, collection
Passerelles, 2025.



Alain Damasio,
*L'erreur de Descartes:
la raison des émotions*,
Odile Jacobs, 1994.



que sur les émotions anticipées. Toutefois, dans la majorité des situations quotidiennes, c'est bien notre préférence, notre "attrait" émotionnel qui nous indiquera l'option à suivre.»

Régulation émotionnelle

Non seulement les émotions ne sont pas un obstacle à l'apprentissage, mais elles peuvent donc aussi l'enrichir en soutenant des processus comme la prise de décision, mais aussi comme la concentration ou la mémorisation. Et contrairement à ce que l'on pourrait croire, ce ne sont pas uniquement les émotions agréables qui nous aident à apprendre... «*Il y a des émotions a priori désagréables, comme le stress, qui, chez certains apprenants, vont avoir un effet positif*, appuie Line Fischer. *Certaines personnes sont d'ailleurs vraiment incapables de se mettre au travail sans ressentir les aspects physiologiques du stress et ce rush d'adrénaline qui va les aider à traiter l'information de manière très performante en un temps très court.*» À l'inverse, des émotions a priori agréables peuvent nuire dans certains cas: ce sera le cas si votre passion pour une matière vous amène à délaisser entièrement les autres matières, mettant en péril votre cursus. «*La question centrale*, résume Line Fischer, *c'est "qu'est-ce que ces émotions me poussent à faire ou à ne pas faire, et de quelles stratégies je dispose pour en faire quelque chose quand elles arrivent ?" Par exemple, si la culpabilité est une émotion qui me paralyse, il faut que je réfléchisse aux stratégies dont je dispose pour la diminuer. À l'inverse, si elle me stimule, comment pourrais-je la susciter ? En ce sens, il est important de contrer les réponses marketing qui tendent à nous faire croire que "gérer ses émotions", c'est facile. Les émotions sont un domaine complexe et ce qui vaut pour un individu ne vaut pas pour le voisin. L'enjeu est d'apprendre à bien se connaître et à poser des choix en fonction: si le stress me paralyse, ce n'est peut-être pas une bonne idée que je devienne urgentiste...»*

Souvent, quand les émotions deviennent une menace pour l'apprentissage, c'est moins en fonction de leur nature que de leur intensité. Une personne très amoureuse a souvent du mal à se concentrer, tout comme une personne qui ressent une profonde anxiété. Le premier critère de réussite est donc d'éviter de se mettre trop souvent dans des situations où l'intensité émotionnelle est trop forte. Bien gérer son temps est ici un facteur central. «*Si je gère très mal mon temps, je vais probablement me retrouver avec 500 pages à étudier en 3 jours, dans un état d'intensité émotionnelle avancé, avec un risque de perte de contrôle*», commente Line Fischer. Le deuxième critère de réussite concerne la variété des stratégies dont dispose l'apprenant pour réguler ses émotions, c'est-à-dire pour les modifier, consciemment ou non, en les augmentant ou en les diminuant, grâce à des comportements ou des pensées. «*Si on n'a qu'une stratégie de régulation émotionnelle et que c'est l'alcool, on voit bien qu'à long terme, ce sera délétère sur le plan intellectuel et physique. Si c'est tout simplement de fuir le cours parce que cela nous confronte à une émotion négative, cela ne mène pas non plus à grand-chose... Alors, oui, bien sûr, le réflexe humain, c'est de fuir ce qui est désagréable. Mais plus on est dans l'évitement, moins on s'offre d'occasions de réussir: à court terme, l'évitement permet de se sentir mieux, mais à long terme, il dessert les objectifs d'apprentissage, mais aussi la dimension sociale, la santé mentale...*» En revanche, le sport, les exercices de respiration, la focalisation sur d'autres pensées ou émotions, la faculté de changer de point de vue sur la situation, l'échange avec des camarades sont souvent des stratégies de régulation émotionnelle intéressantes. «*La régulation est une compétence qui devrait être apprise et exercée le plus tôt possible en contexte scolaire et dans la vie, d'autant qu'avec l'arrivée de l'IA, on peut être tenté de vouloir minimiser les frottements ressentis dans l'apprentissage en recourant à ces solutions...*», commente Line Fischer.



Derrière chaque apprentissage, il y a parfois cette crainte silencieuse de ne pas être à la hauteur, la peur ou la honte de l'échec.



Une vision du monde remodelée

«Apprendre ne se fait pas sans effort !», insiste la chercheuse. Même si nous n'en gardons plus beaucoup de souvenirs, pour apprendre à marcher, nous sommes tombés mille fois et nous avons trouvé le courage de nous remettre debout après avoir été confronté à l'anxiété de chuter à nouveau ou à la peur de ne pas y arriver... Se sentir découragé ou frustré est inhérent au processus: c'est pourquoi il ne faut pas être surpris quand cela arrive, sinon on peut faire une "mésattribution" et penser que cet inconfort vient du fait que l'on est nul !»

Plus fondamentalement, apprendre représente toujours une prise de risques. Qu'il s'agisse de se confronter aux grands textes de la littérature, d'apprendre à danser la salsa ou de confectionner sa première charlotte aux fraises, «apprendre déstabilise et insécurise car cela nous amène à revoir la manière dont nous lisons le monde: mes nouvelles connaissances m'amènent à remodeler cette vision comme une boule d'argile», illustre Line Fischer. La chercheuse compare ainsi le processus d'apprentissage à une plongée vers l'inconnu qui implique à la fois de tolérer la

LES ÉMOTIONS ACADÉMIQUES

En 2014, l'équipe munichoise de Pekrun et Perry ⁽¹⁾ a établi un classement typologique des émotions ressenties par les apprenants, appelées «émotions académiques» :

- **Les émotions topiques ou thématiques :** ces émotions sont directement liées à la matière ou au contenu étudié. Elles reflètent la manière dont l'apprenant perçoit une discipline ou une thématique. Par exemple, un élève peut ressentir de la peur face à un cours de mathématique ou, au contraire, ressentir de l'enthousiasme à l'idée d'aller en cours de français.
- **Les émotions épistémiques :** ce sont les émotions de la connaissance. Elles sont vécues par celui qui apprend lorsqu'il se confronte à des informations nouvelles, complexes et potentiellement contradictoires. « L'apprenant peut alors expérimenter une sorte de "conflit" entre ses connaissances antérieures et les nouvelles connaissances auxquelles il se confronte », explique Line Fischer. Par exemple, un élève peut ressentir de la confusion en découvrant une explication plus détaillée d'un épisode de l'histoire, qui contredit les versions simplifiées qu'il avait apprises auparavant.
- **Les émotions d'accomplissement :** ce sont les émotions associées à la réalisation d'objectifs ou à l'évaluation des performances. Ces émotions sont souvent en lien avec des activités d'apprentissage menant à la réussite ou l'échec, par exemple, lors de la préparation d'un examen. L'apprenant peut alors ressentir «de l'espoir mais aussi une forme d'anxiété à l'idée d'échouer à l'épreuve.»
- **Les émotions sociales :** ces émotions sont ressenties par l'apprenant dans le contexte social de l'apprentissage. «Elles reflètent les interactions de l'élève avec ses enseignants et ses camarades.» Par exemple, un élève peut se sentir honteux lorsqu'il doit faire un exposé ou au contraire ressentir de la fierté à exceller dans une matière.

frustration de ne pas tout comprendre immédiatement, tout en étant assez fort pour prendre le risque de se dire «je ne comprends pas pour le moment, mais c'est transitoire: ça va aller !» «Pour apprendre, conclut Line Fischer, il faut oser se confronter à ses limites, aux difficultés et à l'échec.» 

⁽¹⁾ Pekrun, R., & Perry, R. (2014). *Control-value theory of achievement emotions*. Dans R. Pekrun & L. Linnenbrink-Garcia (édit.), *International handbook of emotions in education* (p. 120-141). Routledge.



Apprendre à raisonner par l'absurde

Une petite leçon de mathématiques...
et d'esprit critique !

TEXTE : NATHAN UYTENDALE, ALIAS CHAT SCEPTIQUE - CHATSCEPTIQUE@GMAIL.COM

 [YOUTUBE.COM/CHATSCEPTIQUE](https://www.youtube.com/chatsceptique)

PHOTO : © CONCEPT PHOTO STUDIO - STOCK.ADOBE.COM (GÉNÉRÉ À L'AIDE DE L'IA)

Chères lectrices, chers lecteurs, nous avons du pain sur la planche aujourd'hui ! Il s'agit de déterminer rien de moins que l'innocence... d'Alexavier.

- A** Alexavier est-il innocent ?
- B** Partons du principe qu'il est coupable d'avoir volé des montres lors d'un braquage spectaculaire Avenue Louise à Bruxelles.
- C** Donc il était à Bruxelles à l'heure des faits !
- D** Mais comme il a été filmé à Marseille 10 minutes plus tôt, c'est qu'il a réussi à parcourir un millier de kilomètres en 10 minutes, voyageant à la vitesse vertigineuse de 6 000 km/h.
- E** Aucune voiture ni même un avion commercial ne va si vite (le Concorde avait une vitesse maximale de 2 180 km/h) /!\

Fichtre, nous voilà bloqués. Quelque chose dans le déroulé de notre pensée de **B** à **E** ne va pas. Et vous savez quoi ? Il n'y a qu'un nombre limité de choses que l'on peut remettre en cause dans nos réflexions: soit **D**, car la vidéo d'Alexavier à Marseille pourrait avoir été générée par l'IA, soit **B**, car partir

du principe qu'il est coupable est en fait une erreur ! Si l'authenticité de la vidéo est avérée, alors il ne reste plus que **B** à remettre en cause et la preuve est complète: Alexavier est innocent !

Ce que nous venons de faire n'est pas anodin. Il s'agit d'un raisonnement dit «par l'absurde», l'une de mes formes de raisonnement favorites, très utile au quotidien mais aussi plébiscitée par les mathématiciens du monde entier. Comment ça marche ? Vous cherchez à prouver un truc, notons-le **A**. Par l'absurde, vous supposez que ce truc est faux, supposition notée **B**. En vous appuyant ensuite sur **B**, vous explorez ce qui se passe. Et si un problème évident apparaît, la preuve est complète ! C'est que quelque chose dans le déroulé de vos pensées à partir de **B** ne va pas. Si vous avez bien travaillé, il n'y aura qu'une chose à remettre en cause: **B** lui-même, ...prouvant **A** !

Vous voulez un second exemple ? Résolvons ensemble :



(* basé sur des faits réels)

- A** Mon chat Bambou a chié dans le garage.
- B** Supposons par l'absurde que Bambou est innocente et n'a donc pas chié à côté de son bac dans le garage.
- C** Le constat: il y a pourtant bien une crotte dans mon garage.
- D** Il n'y a qu'un seul autre chat qui a accès au lieu du crime, c'est Cajou.
- E** Donc Cajou a chié dans le garage.
- F** Mais, en 7 ans, Cajou n'a jamais été prise à faire ses besoins ailleurs que dans le bac. Pas une fois. Ce n'est donc pas elle !\

Nous finissons sur une contradiction, donc quelque chose dans le déroulé **B** → **F** ne va pas. Que remettre en cause ? On pourrait commencer par **F** : bien que Cajou ait été parfaitement propre pendant 7 ans, elle pourrait avoir eu un accident. **D** pourrait aussi être remis en cause: suis-je sûr qu'aucun autre chat n'a pu accéder au garage à part Cajou ? Selon moi toutefois, le vrai point faible du raisonnement est **B** : partir du principe que Bambou est innocente est une erreur, d'autant plus quand on sait qu'elle a déjà eu des problèmes de propreté par le passé. Conclusion: **A** est correct, Bambou est coupable !

Chère lectrice, cher lecteur, vous allez peut-être me dire que la rubrique maths d'Athena contient peu de maths aujourd'hui. Vous avez raison ! Montrons par l'absurde que 4 est un nombre pair.

- A** 4 est un nombre pair.
- B** Supposons par l'absurde que 4 n'est pas pair, c'est-à-dire est impair.
- C** Si 4 est impair, alors par définition d'un nombre impair, on peut l'écrire sous la forme $4=2k+1$ où k sera un nombre entier.
- D** En partant de $4=2k+1$, retirons 1 des deux côtés de l'égalité pour finir avec $3=2k$.
- E** Divisons ensuite par 2 des deux côtés de l'égalité pour obtenir $3/2=2k/2$, autrement dit $3/2=k$.
- F** $3/2$, cela fait 1,5 et ce n'est pas un nombre entier !\

Une contradiction est apparue, c'est donc gagné ! Dans notre déroulé, il est dit très justement en **C** que k est un nombre entier. Mais nous venons de montrer en **F** que k n'est pas un nombre entier. Quelque chose ne va pas. La seule chose que l'on peut remettre en question dans le déroulé de **B** à **F**, c'est **B**, disant que 4 est impair. Comme 4 n'est pas impair, la conclusion est claire: 4 est pair !

Pourquoi tant de mathématiciens mais aussi non-mathématiciens aiment-ils les raisonnements par l'absurde ? Car ils offrent un cadre très accessible et plaisant pour discuter et réfléchir. Mais tout n'est pas rose pour autant.

Un raisonnement par l'absurde peut être fallacieux !

Il est très facile de démontrer tout et n'importe quoi par l'absurde: il suffit de faire des erreurs de raisonnement plus ou moins subtiles pour arriver à une contradiction, puis ignorer ces erreurs de raisonnement pour remonter à **B** et remettre fallacieusement **B** en cause. Voici un exemple qui nous vient du politicien Jacques-Alain Bénisti, qui a milité contre le mariage pour tous en France avant que la loi soit adoptée en 2013.

- A** Il faut interdire le mariage pour tous !
- B** Supposons par l'absurde qu'on autorise le mariage pour tous.
- C** On a déjà dépénalisé la prostitution.
- D** La suite du mariage pour tous et de la dépénalisation de la prostitution, ce sera de dépénaliser le viol !\

Le déroulé en partant de **B** aboutit à un résultat socialement inacceptable ! Pour l'éviter, nous devons identifier quoi remettre en cause. Pour le politicien concerné, c'est bien sûr **B** : autoriser le mariage pour tous est une erreur, nous menant à la conclusion que **A** est la bonne réponse, il faut l'interdire.

Mais le déroulé sent mauvais. **C** est factuellement vrai. **D** en revanche est hautement critiquable. L'implication

mariage pour tous + dépénalisation de la prostitution
→ dépénalisation du viol

n'est franchement pas évidente pour ne pas dire complètement fantaisiste. Mais pour certains et certaines à l'époque, cette pseudodémonstration par l'absurde était convaincante et aurait pu injustement stopper cette loi.

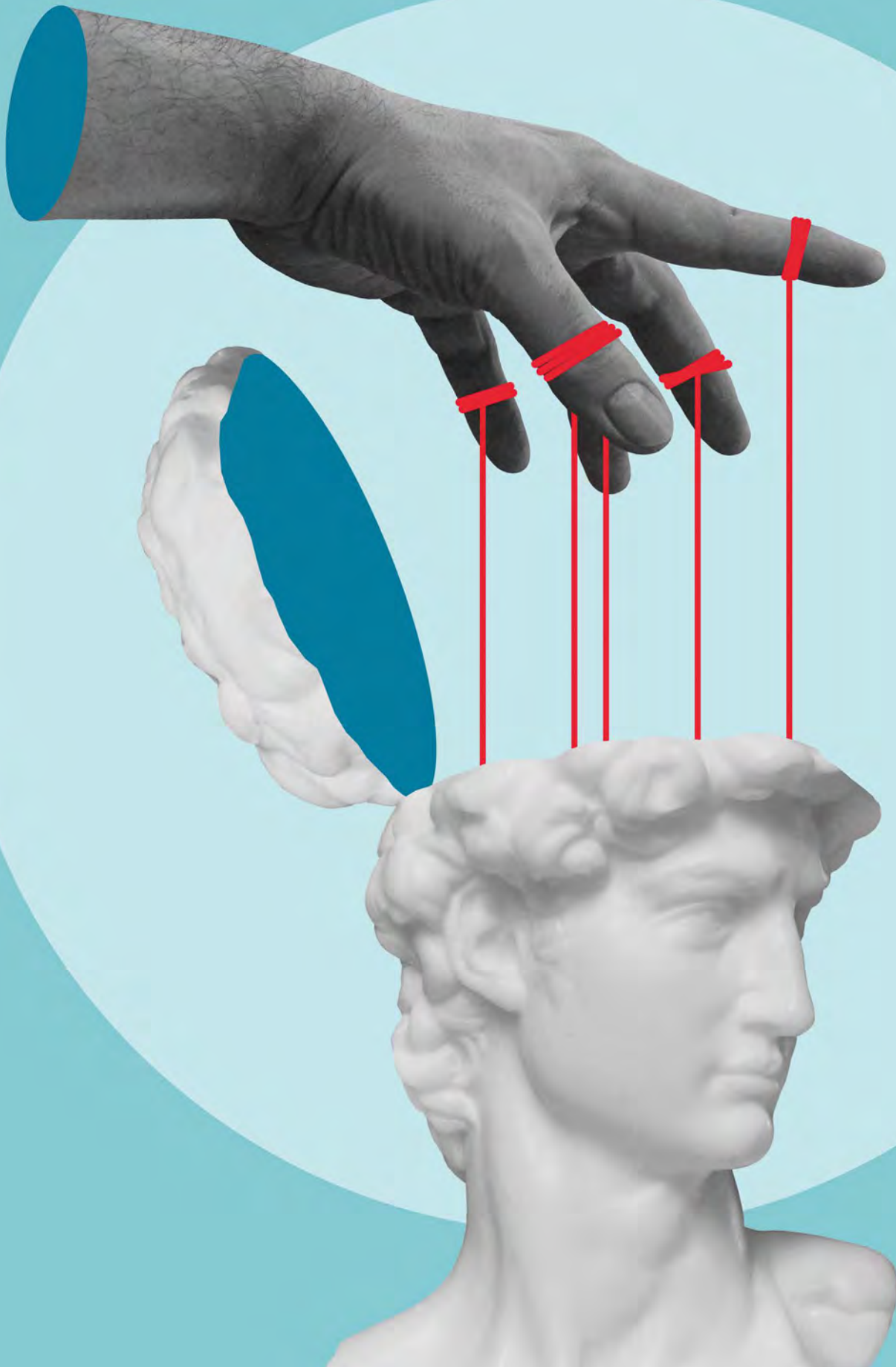
Un petit dernier pour la route ? Tentons de prouver par l'absurde qu'il n'existe aucun nombre qui serait plus grand que tous les autres !

- A** Il n'existe aucun nombre qui serait plus grand que tous les autres.
- B** Par l'absurde, supposons que ce nombre existe et désignons-le par M .
- C** Comme c'est un nombre, je peux lui ajouter +1, donc écrire $M'=M+1$.
- D** M' est encore un nombre, puisqu'ajouter +1 sur un nombre donne encore un nombre.
- E** De toute évidence $M' > M$!\

Une contradiction apparaît, donc c'est gagné ! Notre point de départ **B** était que M est le plus grand des nombres. Pourtant, nous avons pu construire M' qui est encore plus grand. Comme nous n'avons fait aucune erreur de raisonnement nulle part, la conclusion est claire: **B**, notre point de départ, ne tient pas debout. Donc **A** est vrai, c'est-à-dire qu'il n'existe aucun nombre M plus grand que tous les autres ! **A**

LE DOSSIER

TEXTE: PHILIPPE LAMBERT • PH.LAMBERT.PH@SKYNET.BE
PHILIPPE-LAMBERT-JOURNALISTE.BE
PHOTOS: ANDRII - STOCK.ADOBE.COM (PP.24-28)



Le fantôme de la liberté

Quand nous optons pour une décapotable plutôt que pour un monospace, que nous programmons d'arrêter de fumer ou tout simplement que nous poussons sur un interrupteur pour éclairer une pièce, nous croyons opérer librement des choix. Mais ces actes et ces pensées résultent-ils vraiment de notre volonté consciente ? Ne se pourrait-il, au contraire, qu'ils nous aient été dictés par un cerveau qui n'en fait qu'à sa tête et qui, à l'instant où j'écris, pourrait sélectionner les mots qui s'ajoutent les uns aux autres pour composer cet article sans que j'en sois informé consciemment ?

Faut-il emboîter le pas aux philosophes matérialistes du siècle des Lumières et à Diderot en particulier lorsqu'il affirmait que « l'homme n'est pas libre de vouloir ce qu'il veut » ? En 1983, le neuroscientifique français Jean-Pierre Changeux écrivait dans *L'homme neuronal* : « L'identité entre états mentaux et états physiologiques ou physicochimiques du cerveau s'impose en toute légitimité. » Et de fait, la neurophysiologie et la neuroimagerie n'ont cessé de confirmer que l'activité cérébrale est l'unique support de notre vie mentale. Le dualisme cartésien, qui opère une scission entre le corps et l'esprit, s'en est trouvé décapité. Aussi s'est posée avec une acuité renforcée la question du statut et du rôle de la « conscience phénoménale », plus communément appelée la conscience (1), qui est le réceptacle de nos représentations mentales et du ressenti qu'elles nous procurent.

En 1934, le philosophe et mathématicien Ludwig Wittgenstein, fervent opposant à la vision matérialiste de l'expérience mentale, soutenait qu'il y a quelque chose de plus en nous, quelque chose impossible à exprimer. « Ce quelque chose, d'intérieur et d'indicible, possède un nom en philosophie de l'esprit : les *qualia*, écrit Stéphane Charpier, professeur de neurosciences à Sorbonne Université et directeur de recherche

à l'Institut du cerveau (ICM - Paris), dans son récent livre *Le cauchemar de Descartes* (2). Chacune de nos expériences perceptuelles, de nos sensations corporelles, de nos passions, de nos désirs, de nos émotions, et même de nos "états d'esprit" constitue des *qualia* distincts. C'est de leur association à un instant donné que naît la conscience phénoménale. » Celle qui, selon les termes du philosophe Thomas Nagel, professeur émérite de l'Université de New York, est le creuset de « l'effet que cela nous fait » (de voir, de sentir, d'imaginer...).

À la lumière des découvertes scientifiques, la conscience phénoménale n'est qu'une émanation du fonctionnement cérébral. Là où les opinions divergent, c'est sur le caractère éventuellement biunivoque de la relation entre cerveau et conscience, une frange de neuroscientifiques défendant l'idée que la conscience phénoménale représente la base même sur laquelle nous fondons tout ce que nous entreprenons. Autrement dit, notre « ressenti », qui serait généré par l'activité neuronale, influencerait sur les traitements neuronaux suivants. Ce qui fait dire à Axel Cleeremans, professeur de sciences cognitives à l'Université libre de Bruxelles, directeur de recherches au FNRS et responsable du projet européen EXPERIENCE sur le rôle de



la conscience phénoménale, qu'un état physique numéro 1 induit un état mental numéro 1 et que ce dernier provoque un état physique numéro 2 qui fait éclore un état mental numéro 2, et ainsi de suite.

Le professeur Charprier ne partage pas cet avis. «Ce qui ne vient pas du cerveau ne pourrait venir que d'un élément immatériel, une sorte de transcendance qui agirait sur lui. La réalité est tout autre», insiste-t-il. Et d'assimiler la conception de liens biunivoques entre le cerveau et la conscience à la résurgence d'une forme de dualisme, ce que réfute le courant auquel adhère le professeur Cleeremans. Stéphane Charprier estime que beaucoup, dont nombre de scientifiques, croient à l'existence de phénomènes qui, via un mécanisme inconnaissable, auraient la capacité d'agir sur le fonctionnement des neurones. «Cela me pose un problème, étant donné que tout montre le contraire», dit-il.

Rien qu'une illusion

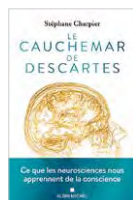
Étant donné que la perspective matérialiste des rapports «corps-esprit» implique que l'activité cérébrale précède l'activité mentale, la plupart des neuroscientifiques considèrent que l'idée de la présence d'un libre arbitre (en gros, la liberté de faire ce que l'on veut) n'est pas tenable. Le scénario suivant lequel notre conscience déciderait d'accomplir une action, puis en informerait le cerveau afin qu'il en déclenche l'exécution va à l'encontre de tous les résultats expérimentaux et est indissociable d'un retour au dualisme.

Largement étayée par les résultats des recherches contemporaines, cette conclusion bénéficiait déjà d'un ancrage expérimental plus ancien. Le professeur Charprier se réfère à une recherche fondatrice hautement significative à ses yeux pour démontrer le bien-fondé de la position matérialiste. Elle fut effectuée en 1909 par l'Américain Harvey Cushing, pionnier de la neurochirurgie. À la fin du 19^e siècle, les neurophysiologistes avaient réalisé une cartographie du cortex moteur chez l'animal. S'en dégageait une représentation des différentes parties du corps au niveau cortical (somatotopie). Un travail similaire fut ensuite mené à bien chez l'Homme. Que fit Cushing ? Il stimula électriquement une petite zone du lobe pariétal, laquelle ne déclencha pas de mouvement, mais un phénomène mental, une perception consciente sous la forme d'une sensation au bout d'un doigt. «Dans son expérience, le doigt n'a pas été touché. Sans s'en rendre compte, Cushing venait de mettre en évidence que la dimension subjective propre à toute sensation ne vient pas du corps, même si elle a trait à celui-ci. On a montré par la suite que si l'on stimule le bout du doigt, on observe une sensation, mais que si la région corticale correspondante est lésée, la stimulation reste lettre morte au niveau du ressenti», commente le chercheur de l'ICM.

Malgré l'accumulation de données scientifiques consacrant la mort du dualisme cartésien et heurtant de front l'idée de l'existence d'un libre arbitre, beaucoup, y compris parmi les matérialistes, essaient néanmoins d'entretenir l'espoir que nous disposions d'au moins un fragment de liberté. Deux raisons essentielles les y poussent. La première est que chacun éprouve le sentiment spontané d'être libre d'opérer des choix. La seconde est que le libre arbitre est perçu comme le fondement nécessaire à toute morale. Lors d'une interview qu'il accorda à Étienne Klein sur *France Culture* à la suite de la publication de son essai *Le cauchemar de Descartes*, Stéphane Charprier prenait l'exemple des criminels. À travers une espèce d'abstraction théorique, il dit en substance qu'«il faudrait se contenter d'incarcérer leur sphère mentale et pas leur corps» et que «s'il faut mettre quelque chose en prison, c'est la subjectivité de la personne.» Au 18^e siècle, le baron d'Holbach, philosophe matérialiste, soutenait que la bienveillance et la malveillance ne relèvent pas de choix moraux, mais sont déterminées par des causes extérieures. À ses yeux, la mise à l'écart des malveillants était nécessaire pour le bien de la société, mais ne devait pas être affaire de morale.

Comme s'il avait eu une prescience des résultats expérimentaux et des théories des neurosciences contemporaines, Spinoza écrivait déjà au 17^e siècle: «L'expérience et la raison sont d'accord

Stéphane Charprier,
*Le cauchemar
de Descartes*,
Albin Michel, 2025



pour établir que les hommes ne se croient libres que parce qu'ils ont conscience de leurs actions et non pas des causes qui les déterminent.» Pour Stéphane Charprier, ainsi que pour de nombreux autres neuroscientifiques et une fraction des philosophes, la conscience n'est qu'un épiphénomène émanant du fonctionnement cérébral et le libre arbitre, entendu comme une liberté de choix où l'intention mentale d'agir serait déterminante et déterministe dans l'exécution du comportement, qu'une illusion. Selon le philosophe américain Ned Block ou son homologue australien David Chalmers, les fonctions de la conscience peuvent être totalement dissociées de ses aspects phénoménaux.

Décédé en 2024, Daniel C. Dennett, autre philosophe américain (Université Tufts), partageait le même avis et fut un des plus ardents défenseurs de la thèse du caractère illusoire du libre arbitre. Pour «sauver les meubles», il proposa néanmoins une redéfinition de cette notion, qu'il conçut comme la liberté d'effectuer des choix intelligents, c'est-à-dire éclairés par nos expériences antérieures. Mais il situait cette possibilité dans un univers totalement déterministe où ce serait la configuration de nos circuits neuraux, héritière de notre patrimoine génétique et de notre histoire, qui tiendrait la baguette de chef d'orchestre. À vrai dire, cette définition de la liberté semble artificielle, en tout cas étrangère au sens commun.

Informé après coup

La célèbre expérience réalisée en 1983 par le neurophysiologiste américain Benjamin Libet, décédé en 2007, a beaucoup contribué à l'avancée de la conception matérialiste de la conscience et à la mise à mort de l'idée de l'existence d'un libre arbitre. Dans cette expérience, des volontaires sont invités à pousser sur un bouton quand ils le souhaitent et à préciser, en se référant à la position d'un point lumineux tournant sur le cadran d'une «horloge», le moment où ils ont le sentiment de prendre cette décision. Depuis les travaux du neurologue et neurophysiologiste allemand Hans Helmut Kornhuber, publiés en 1964, on sait qu'en électroencéphalographie, tout mouvement volontaire est précédé d'environ 550 millisecondes par un «potentiel de préparation motrice» et que celui-ci atteint son intensité maximale au niveau de son site de déclenchement, l'«aire motrice supplémentaire» située en avant du cortex moteur primaire. Or, que dévoile l'expérience de Libet ? Que les sujets rapportent avoir décidé d'appuyer sur le bouton 350 millisecondes après l'apparition de ce potentiel. Si le cerveau initie de la sorte nos mouvements volontaires avant même que nous ayons manifesté la volonté consciente de les accomplir, que reste-t-il de notre libre

LA GRANDE ÉNIGME

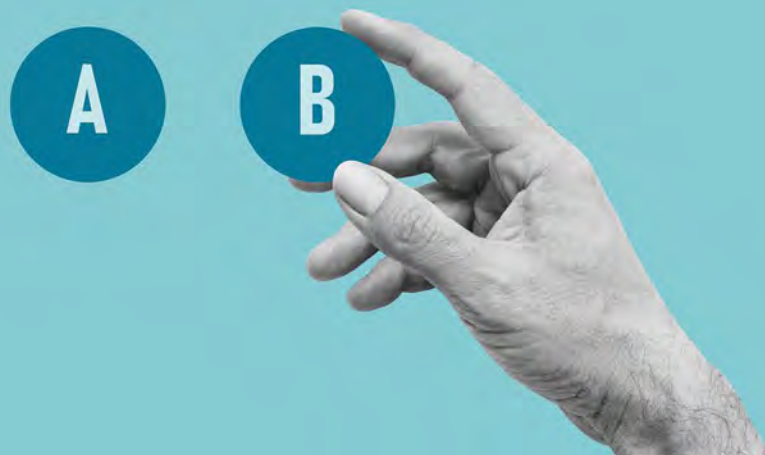
Comment une activité neuronale, donc physicochimique, peut-elle engendrer une activité mentale, une expérience subjective se conjuguant à la première personne, ce «secret intérieur» qui constitue le contenu de la conscience phénoménale ? Ainsi s'énonce l'énigme sans doute la plus fondamentale des neurosciences. Pour certains, comme le physiologiste et philosophe allemand Emil du Bois-Reymond (1818-1896), découvreur des potentiels d'action (influx nerveux), la question restera toujours sans réponse – «*Nous ne savons pas et ne saurons jamais*», disait-il. Il jetait l'éponge...

«*Tenants du monisme (3), d'autres cherchent à échapper à cette énigme de la transformation ontologique entre le fonctionnement du cerveau et l'expérience mentale en décrétant que cette question n'a pas de sens*, rapporte Stéphane Charprier. *Ils considèrent que la conscience et le cerveau seraient comme les 2 faces d'une même pièce, juste des points de vue différents pour regarder le même objet.*» Pour asséner un coup fatal à cette théorie, le neuroscientifique se réfère à Leibniz (1646-1716): «*Une de ses lois les plus fameuses stipule que des entités x et y sont identiques si et seulement si chaque attribut valide pour x est également valide pour y. (...) Si x est le cerveau (tout ou partie) et y une expérience mentale, alors chaque propriété du cerveau doit se retrouver dans le phénomène conscient, et vice versa. Est-ce le cas ? La réponse est manifestement non !*» D'après Stéphane Charprier, le moniste défend donc une position réductionniste erronée, la conscience phénoménale ne pouvant être réduite à des réseaux de neurones et des équations. Il ne convient évidemment pas de réhabiliter le dualisme, bien que le langage courant, mais également le langage de la science, en demeurent le plus souvent imprégnés. Non, la quête n'est autre que celle de l'élucidation d'une sorte de «métamorphose» induisant le passage d'un univers matériel à un univers mental fait de perceptions, d'émotions, de sensations, de sentiments, etc.

arbitre ? A priori rien, puisque tout se passe comme si la conscience des individus était informée après coup qu'un mouvement va être exécuté. «*La volonté consciente ne serait donc qu'un avertissement envoyé par notre cerveau à notre sphère mentale pour lui signifier que nous allons bientôt agir !*» souligne Stéphane Charprier dans son essai.

L'expérience de Libet a été régulièrement placée sur la sellette. L'une des principales réserves que d'aucuns émettent à l'égard de ses résultats tient au fait que, même si on laisse au sujet le choix du moment où il appuiera sur le bouton, il connaît la tâche qui lui incombe. En un sens, il a reçu une «méta-instruction» qui, selon ces détracteurs, pourrait préactiver des schémas moteurs dans le cerveau. Stéphane Charprier juge que cet argument et d'autres – par exemple, Aaron Schurger, de l'Université de la Colombie-Britannique à Vancouver suggère l'existence d'artefacts – ne sont pas recevables. «*Si, effectivement, les sujets de l'expérience de Libet sont déjà préparés à devoir pousser sur un bouton, cela*

BOUTON



n'enlève rien au fait qu'ils gardent la liberté de choix (pour autant qu'on puisse utiliser ces mots) de l'instant où ils vont appuyer sur ce bouton», dit le neuroscientifique de l'ICM.

Plusieurs études ultérieures répliquant l'expérience de Libet, avec éventuellement quelques aménagements, ont abouti à des conclusions similaires aux siennes. Et d'autres recherches ont également fait le lit de la négation du libre arbitre. Ainsi, en 2008, des travaux conduits par Chun Siong Soon, alors chercheur au *Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences*, avaient dévoilé, par la mesure du métabolisme cérébral, que l'activité du cerveau de sujets appelés à pousser, au choix, sur un bouton gauche ou sur un bouton droit permettait de prédire, dans 80% des cas, la décision qu'ils allaient prendre jusqu'à 7 secondes avant qu'ils n'en soient conscients... Pour le professeur Charpier, une évidence saute aux yeux. Dans *Le cauchemar de Descartes*, il écrit: «(...) le déterminisme comportemental (celui des actes supposés libres) trouve son origine dans des processus neuronaux inconscients et non dans la mentalisation de la volonté.»

La valse des mots

Chaque pensée, chaque sentiment, chaque interaction avec autrui ou avec l'environnement, chaque acte que nous posons..., en un mot tout ce qui nous lie au monde et définit notre statut d'être humain, modifie la structure même de notre cerveau en y établissant des connexions nouvelles et en en élaguant d'autres. Autrement dit, à un moment T, notre cerveau – et par là même son activité – est le fruit de notre dotation génétique et de notre histoire (nos expériences). C'est pourquoi Daniel C. Dennett concluait qu'un individu qui a opéré un choix *[ou plus précisément ce qu'il désignait comme tel]* dans les conditions physiques particulières

où il se trouvait n'aurait pu faire un autre choix. Imaginons qu'un individu prenne la décision de pousser sur un bouton A plutôt que sur un bouton B. Dennett soutient donc que si, replongé exactement dans la même situation (ce qui est évidemment un scénario fictif), le sujet pressait le bouton B, cette fois, il faudrait invoquer une intervention extérieure, ce qui est en contradiction avec l'idée que l'activité cérébrale est à l'origine de l'activité mentale. S'il adhère sans réserve à la double conclusion de la primauté de l'activité cérébrale et du caractère épiphénoménal de la conscience, le professeur Charpier tient toutefois à apporter une nuance. *«Il existe dans le cerveau une activité spontanée endogène connue sous le nom de "bruit synaptique", qui introduit de la variabilité, y compris dans la représentation mentale que l'on se fait du monde. Si on stimule des neurones de façon absolument identique, leurs réponses seront influencées par ce bruit de fond à telle enseigne qu'elles seront toujours différentes et que l'expérience consciente ne sera jamais rigoureusement la même.»*

Lorsque nous parlons, la plupart des mots qui sortent de notre bouche le font d'une manière que l'on pourrait qualifier d'automatique, sans quoi d'ailleurs la fluidité du langage oral serait mise à mal. En réalité, il nous est impossible de déterminer l'instant précis où nous aurions «choisi» un terme. Tout semble indiquer que nous prenons connaissance de ce que nous disons en nous écoutant parler et, ajoute le professeur Charpier, *«nous ne sommes pas surpris (ou rarement), car ce sont nos mots, choisis et produits par nos neurones»*. La même logique vaudrait au niveau de l'écriture, par exemple. Le neuroscientifique y voit *«la démonstration imparable*

qu'un déterminisme inconscient est à l'œuvre dans le cas du langage.»

Il arrive cependant que la production d'un mot incongru, inadapté, erroné, peu importe, soit inhibée au dernier moment et qu'à ce mot se substitue un autre ou un silence. Avant de se rétracter, Libet postula l'existence d'une forme de volonté lucide ou infra-consciente qui permettrait d'entraver le programme moteur en cours d'élaboration. La position de Stéphane Charpier est claire à ce sujet. *«Il n'y a (...) aucune raison que le "second choix" déroge aux règles neurophysiologiques du premier. L'interruption in extremis d'un acte dépend en définitive de nouvelles activités neuronales préconscientes et non d'un phénomène mental, en l'occurrence de rejet...»*, écrit-il dans son essai. Selon l'hypothèse qu'il défend, *«il est probable (...) que toutes les pensées, volontés et formes d'idéation émergent à la conscience alors que leur contenu a déjà été préparé, 500 millisecondes à plusieurs secondes auparavant, par des mécanismes neurophysiologiques inconscients»*. Nonobstant, à partir d'un certain moment, l'influx nerveux qui va conduire à la réalisation effective d'une action devient inarrêtable.

Un épiphénomène merveilleux

Pas de doute, répétons-le, les neurosciences semblent avoir rayé de la carte un possible libre arbitre. Toutefois, nous l'avons souligné, des philosophes et même, en contradiction avec les données scientifiques dont ils font état, certains neurophysiologistes matérialistes s'efforcent de le sauver, du moins en partie. Leurs hypothèses et postulats s'avèrent peu convaincants. Par exemple, Dennett quand il le redéfinit de façon artificielle ou le prix Nobel américain Gerald Edelman, décédé en 2014, quand il sort de son chapeau l'idée d'une conscience primaire et d'une conscience secondaire à laquelle l'Homme accèderait grâce au langage, lequel serait un outil qui faciliterait la prise de décision consciente. De surcroît, d'aucuns voient dans la mécanique quantique, plus particulièrement dans le principe d'indétermination formulé en 1927 par Werner Heisenberg, un argument fort en faveur du libre arbitre. Mais un indéterminisme au niveau du comportement des particules élémentaires, notamment au sein des neurones, s'ouvre-t-il sur la liberté de choix de l'individu ? Ainsi que le faisait remarquer Axel Cleeremans, il serait tout aussi inconfortable de se dire que nos décisions sont le fruit du hasard que de penser qu'elles sont totalement déterminées. Ce qui n'interdit pas de s'interroger sur un point: lorsqu'on raisonne à

l'échelle du cerveau, des réseaux neuronaux, des neurones, ne serait-il pas fondé de descendre encore à d'autres niveaux de description, ceux des particules élémentaires et de leurs interactions ?

Étant donné que la perspective matérialiste des rapports «corps-esprit» implique que l'activité cérébrale précède l'activité mentale, la plupart des neuroscientifiques considèrent que l'idée de la présence d'un libre arbitre (en gros, la liberté de faire ce que l'on veut) n'est pas tenable.

Au-delà de la question du libre arbitre demeure celle des qualia et de la conscience phénoménale, de ce que nous ressentons, de «l'effet que cela nous fait». S'appuyant essentiellement sur des résultats scientifiques, Stéphane Charpier estime, nous l'avons indiqué, que la conscience n'est qu'un sous-produit du fonctionnement cérébral et que son contenu ne peut influencer sur nos prises de décision. Étant donné qu'outre notre dotation génétique, la structure et le fonctionnement de notre cerveau sont conditionnés par notre histoire personnelle via la plasticité cérébrale, sans doute faut-il considérer que notre organe le plus noble est au centre d'un phénomène de remodelage permanent éveillant analogiquement, toutes proportions gardées, l'idée du machine learning en informatique. Il forgerait ses réponses à l'aune de l'impact, sur sa structure et son fonctionnement, de ses propres expériences antérieures indépendamment de notre ressenti subjectif.

Dans ces conditions, à quoi servirait donc la conscience phénoménale ? Dans la conception que défend le professeur Charpier, son absence ne changerait rien à nos comportements. *«Si nous en étions privés, des extraterrestres qui nous regarderaient vivre ne verraient probablement pas de différence.»* En revanche, elle fonde notre présence au monde, crée notre intériorité; sans elle, nous serions physiquement présents, mais n'en serions pas informés – nous serions des zombies. *«Il nous est d'ailleurs impossible d'imaginer son absence, car si elle n'existait pas, nous serions plongés dans un néant métaphysique qui interdit d'avoir quelque pensée que ce soit»*, ajoute encore Stéphane Charpier avant de conclure qu'elle constitue in fine un épiphénomène merveilleux qui, pour une raison qui nous échappe, a dû être sélectionné par l'évolution. 

⁽¹⁾ Ned Block propose de distinguer 2 types de conscience: la conscience phénoménale et la conscience d'accès, laquelle se caractériserait par ses effets fonctionnels associés.

⁽²⁾ Stéphane Charpier, *Le cauchemar de Descartes*, Albin Michel, 2025.

⁽³⁾ Le monisme est également qualifié de «matérialisme réductionniste». Il postule que les états mentaux sont des états physiques.

Colombe

Copyright Alsy 2026

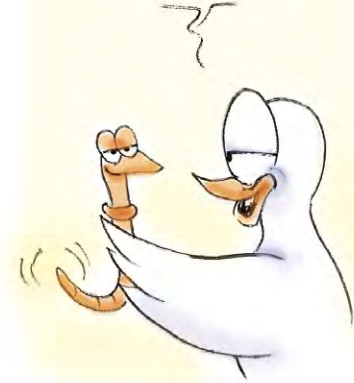
Le mimétisme entre un animal domestique et son maître est un phénomène scientifique reconnu.



L'animal adopte instinctivement les comportements et les émotions de son maître.



Tu as de beaux yeux, tu sais, Kiki.



En moyenne, un ver de terre vit entre 3 et 6 ans dans un environnement favorable.



« Favorable », ça veut dire sécurisé ?



Je sais à quoi tu penses...

BON ANNIVERSAIRE, KIKI !



Une étude du CNRS indique que les animaux sauvages rapetissent en raison des activités humaines.



C'est vrai ?



BURPS !
Malheureusement, oui...



Alsy



Curiokids

Voyage au cœur des cercles polaires

Miss Chouette te donne rendez-vous là où il fait froid... très froid. Là où les ours blancs croisent des baleines, où le sol est gelé depuis la Préhistoire et où chaque flocon compte. Un monde de glace, mais qui réchauffe notre planète... si on ne le protège pas

TEXTE: LAETITIA MESPOUILLE - INFO@CURIOKIDS.NET

PHOTOS: © SONG_ABOUT_SUMMER - STOCK.ADOBE.COM (P.31),

© JIM CUMMING - STOCK.ADOBE.COM (P.33)

ILLUSTRATIONS: PETER ELLIOTT

un thermostat géant pour toute la planète: si elles se dérèglent, c'est l'équilibre du climat mondial qui vacille.

Sous la banquise

Contrairement à ce que tu pourrais croire, les pôles ne sont pas des déserts glacés sans vie. Sous la surface gelée existe un monde rempli d'êtres vivants. Sais-tu que les zones polaires abritent plus de 21 000 espèces connues, toutes adaptées au froid extrême ? Dans l'Arctique, on croise ours polaires, morses, phoques barbus, bélugas ou encore la baleine boréale, capable de briser la glace avec sa tête ! En Antarctique, place aux manchots empereurs, aux orques, aux phoques de Weddell et surtout, au krill, un petit crustacé essentiel à toute la chaîne alimentaire. Sans lui, les baleines disparaîtraient.

Aux 2 extrémités de notre planète existent 2 mondes si froids et si reculés qu'on les croirait vides. Et pourtant, ils sont pleins de surprises ! L'Arctique, au nord, est un océan gelé entouré de terres habitées. L'Antarctique, au sud, c'est l'inverse: un immense continent glacé, sans habitants permanents, cerné par l'océan le plus puissant du monde. Ici, l'hiver peut atteindre -70 °C, la nuit dure des semaines et le paysage est glacé. Ce sont des régions vitales: elles stockent la glace, le carbone et nourrissent les baleines, les ours polaires ou les pingouins. Ces zones extrêmes agissent surtout comme





Ces **écosystèmes** reposent sur des chaînes alimentaires courtes mais ultraspécialisées: tout commence avec le phytoplancton et les algues de glace. Ce sont des producteurs primaires. Ces «végétaux» sont avalés par le zooplancton et le krill. Ces derniers sont à leur tour mangés par les poissons et les manchots, qui sont eux-mêmes dévorés par certains phoques. Au sommet de cette chaîne alimentaire se trouve l'ours polaire pour la zone arctique; l'orque et le léopard de mer en Antarctique. Si la glace fond, cette chaîne alimentaire s'effondre, entraînant la disparition de ces animaux.

La banquise, ce n'est pas qu'une immense patinoire, elle assure 3 rôles essentiels. D'abord, c'est une nurserie à ciel fermé. Sous la glace, vivent des algues microscopiques qui constituent, on l'a vu, la base de la chaîne alimentaire. C'est là que les larves de krill trouvent refuge et nourriture pendant leur premier hiver. Le poisson d'argent vient aussi y pondre ses œufs. Les phoques et les manchots viennent pour s'y reproduire et élever leurs petits. Tandis que l'ours polaire en fait son terrain de chasse. Le p'tit malin.

Mais la glace ne fait pas qu'abriter: elle protège aussi la planète du chaud. Sa couleur blanche agit comme un miroir (c'est l'effet «albédo») qui renvoie la lumière du soleil vers l'espace. Grâce à cet effet, on réduit le réchauffement des océans. Elle joue aussi les isolants, limitant les échanges de chaleur entre l'océan glacé et l'air polaire.

Le truc de ouf !

Des crottes pour nous sauver du réchauffement climatique

On appelle ça la «voie du carbone bleu»... et elle commence avec une minuscule algue flottant en surface: le phytoplancton. Ce dernier capte le dioxyde de carbone (le célèbre CO₂) dissous dans l'eau et la lumière du soleil et réalise la **photosynthèse**. Ensuite, arrive le zooplancton, comme notre ami le krill, qui dévore ces algues. Résultat: le carbone passe du ciel... à l'estomac d'un crustacé. Mais pourquoi dit-on que ces crustacés nous protègent du réchauffement climatique ? Voici ce qui se passe après. Notre ami le krill rejette des pelotes fécales denses (oui, du caca compact) qui coulent directement au fond de l'océan, emportant le carbone avec elles. Et ce n'est pas tout: à chaque **mue**, il abandonne une carapace pleine de carbone qui coule aussi. Enfin, en plongeant en profondeur pour digérer, il «expire» du CO₂... loin de l'atmosphère. Ce système de descente express permet au carbone de rester emprisonné dans les abysses pendant plus de 100 ans. On estime que le krill séquestre ainsi 23 mégatonnes de carbone par an rien qu'en Antarctique. Ce minuscule animal est notre bouclier anti-réchauffement climatique.

Et ce n'est pas fini. La banquise forme une barrière physique stratégique: elle ralentit les courants, freine le mélange des eaux et soutient même les glaciers en Antarctique. Quand les plateformes de glace se brisent, les glaciers terrestres peuvent s'écouler plus vite vers l'océan... et faire monter le niveau de la mer.

Tu vois, la glace n'est pas juste un glaçon: c'est un bouclier vivant, une maternité marine et un régulateur climatique à elle toute seule.

Une terre glacée qui cache bien des trésors

Imagine un sol gelé depuis l'époque des mammoths... C'est ça, le permafrost, aussi appelé **pergélisol**. Ce n'est pas juste de la glace: c'est un mélange de terre, de roche et d'eau gelée qui reste à une température de moins de

BIG DATA

20%

des océans sont polaires

21 000

c'est le nombre d'espèces connues dans les zones polaires

23 mégatonnes

de CO₂ sont séquestrés sous la glace chaque année grâce au krill

1 500 gigatonnes

c'est la quantité de carbone stocké dans le pergélisol

15%

c'est la surface de pergélisol sur les terres émergées (hors de l'eau)



0 °C pendant au moins 2 ans d'affilée. En Sibérie, il peut descendre jusqu'à 1 450 mètres de profondeur ! Mais chaque été, une fine couche en surface (15 à 30 cm) dégèle un peu, permettant aux plantes de se développer... pour quelques semaines seulement. Là pousse la toundra, un désert froid sans arbres, balayé par le vent. Ici, seuls les mousses, lichens, herbes rases et petits arbustes survivent, bien accrochés au sol. Des animaux très résistants comme le caribou, le renard polaire ou la chouette harfang y ont trouvé refuge, chacun avec ses propres astuces contre le froid.

Ce sol glacé est aussi une capsule temporelle géante. Il garde en lui des traces de vie ancienne incroyablement bien conservées: des os de mammoth, des graines vieilles de 30 000 ans et même des sols gelés remontant à 740 000 ans ! En plus, le permafrost renferme 2 fois plus de carbone que l'atmosphère. Un vrai trésor enfoui. Mais quand ce sol gelé commence à fondre à cause du réchauffement, il réveille les micro-organismes endormis qui se mettent à décomposer la matière organique. Résultat, 3 gaz s'échappent: le CO₂, le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O), hyper efficaces pour piéger la chaleur et abîmer la couche d'ozone. Car ce sont ces gaz qui renforcent l'effet de serre actuel, réchauffent plus fort l'atmosphère et entraînent la fonte d'encore plus de permafrost. C'est un terrible cercle vicieux, que les scientifiques appellent une boucle de rétroaction positive. Une fois dans l'air, ces gaz ne peuvent pas être «recapturés». Et il est là le danger. Quand ces gaz piégés depuis des millénaires dans le sol passent dans l'atmosphère, cela engendre de graves conséquences: effondrement de terrains, élévation du niveau des mers, retour de méchantes bactéries. En 2016 par exemple, en Sibérie, une carcasse de renne gelée a libéré une bactérie mortelle, *Bacillus anthracis*, causant une épidémie de maladie du charbon (anthrax) chez les rennes bien vivants. En Antarctique, dans les stations scientifiques et les lacs glaciaires, on a aussi déjà détecté des bactéries anciennes...

Comme un corps en surchauffe, l'Arctique et l'Antarctique rejettent de plus en plus de chaleur, de vapeur d'eau et de gaz à effet de serre. La glace fond, les océans s'évaporent, les sols dégèlent... et toute cette «transpiration polaire» bouleverse le climat de la planète entière. Cette fièvre glaciaire n'est pas un simple rhume: c'est un signal d'alarme que la Terre nous envoie.

EURÊKA

L'effet albédo

Pourquoi la glace est-elle si importante pour notre climat ? Parce qu'elle agit comme un miroir géant ! C'est ça, l'effet albédo: certaines surfaces (comme la glace ou la neige) renvoient l'énergie du soleil vers l'espace, au lieu de l'absorber. Plus une surface est claire, plus elle réfléchit la lumière visible. Plus elle est foncée, plus elle l'absorbe et réémet de la chaleur (des micro-ondes).

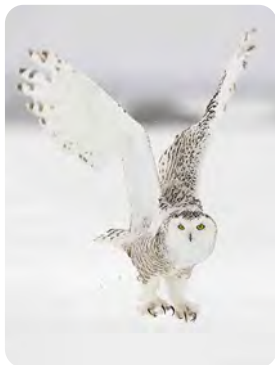
Et il est là le hic: quand la glace fond, elle laisse place à l'océan sombre ou à la terre ferme, toutes les 2 plus sombres. Ces nouvelles surfaces, elles, absorbent les rayons du soleil, transformant cette énergie en chaleur. Résultat: ces zones se réchauffent, ce qui fait fondre encore plus de glace... et ainsi de suite. C'est ce qu'on appelle une boucle de rétroaction positive: un cercle vicieux qui accélère le réchauffement.

Ce phénomène est particulièrement fort en Arctique, où la température augmente 2 à 4 fois plus vite que sur le reste de la planète. Même les algues ou les flaques d'eau à la surface des glaciers peuvent assombrir la glace et la faire fondre plus vite ! Au printemps, quand la neige disparaît plus tôt, le sol se réchauffe davantage, ce qui contribue à faire fondre le pergélisol. Et l'Antarctique ? Là-bas aussi, l'absorption solaire augmente, mais cette fois, la chaleur reste piégée sans pouvoir repartir vers l'espace.

Maintenant, tu comprends pourquoi la fonte des glaces est une réelle catastrophe pour le monde entier.



Le selfie du jour



La chouette Harfang

Tu la connais peut-être déjà, c'est Hedwige, la chouette d'Harry Potter. Avec son plumage tout blanc, ses yeux jaunes perçants et son vol silencieux, la chouette harfang (ou harfang des neiges) est la reine discrète de la toundra arctique. Pour survivre à des hivers glacés, elle porte un manteau de plumes ultra-denses, qui lui sert à la fois d'isolant thermique et de camouflage dans la neige. Mâles et femelles ne se ressemblent pas tout à fait: les mâles blanchissent en vieillissant, alors que les femelles gardent quelques taches brunes. Mais ce qui impressionne le plus, c'est sa capacité à chasser dans l'obscurité totale. En pleine nuit polaire, elle parvient à repérer ses proies, notamment les **lemmings**, grâce à son ouïe surdéveloppée. Même si la proie est enfouie sous la neige, elle peut l'entendre bouger ! Et pas question de creuser: le sol est gelé en permanence, c'est le pergélisol. Le harfang reste donc

actif au-dessus du sol, même par -50 °C. Malgré ses superpouvoirs, la chouette harfang est en danger. Elle a longtemps été chassée, et aujourd'hui, elle souffre surtout du changement climatique, qui modifie les cycles de reproduction des lemmings. Si sa nourriture disparaît, elle aussi risque de s'éteindre. Un symbole fragile de la vie sauvage du Grand Nord.

LE P'TIT DICO



Écosystèmes : C'est un ensemble d'êtres vivants (plantes, animaux, microbes...) qui vivent ensemble dans un endroit donné et qui dépendent les uns des autres.

Photosynthèse : C'est la façon dont les plantes fabriquent leur nourriture. Elles utilisent la lumière du soleil, de l'eau et du gaz carbonique (CO₂) pour produire de la matière organique l'énergie et libérer de l'oxygène.

Mue : C'est quand un animal change de peau, de poils ou de carapace pour grandir ou s'adapter.

Pergélisol : C'est un sol qui reste gelé toute l'année, même en été, pendant au moins 2 années consécutives.

Lemming : C'est un petit mammifère appartenant à la famille des rongeurs et qui vit dans la toundra. Il ressemble un peu à une grosse souris avec une fourrure épaisse.

EN MISSION AVEC LES SCIENTIFIQUES DE L'EXTRÊME

1 ÉTUDIER LE KRILL, LA SENTINELLE DU CLIMAT

Tu ne l'as sûrement jamais vu et pourtant, il est partout. Le krill est un petit crustacé translucide qui ressemble à une crevette, long d'à peine 6 centimètres. Il vit en essaims gigantesques dans les eaux froides des pôles, du nord au sud. En Antarctique, l'espèce la plus célèbre, *Euphausia superba*, est si abondante qu'elle forme parfois des nuages rouges visibles depuis l'espace ! Mais il existe aussi du krill dans l'Arctique, où il nourrit les saumons et autres espèces locales. On en trouve même dans les autres océans du monde.

Le krill ne se contente pas de flotter. Son cycle de vie est étroitement lié à la glace de mer. Les larves passent leur premier hiver accrochées sous la banquise, à grignoter les algues qui y poussent. La glace est non seulement pour lui un garde-manger, mais aussi une cachette contre les prédateurs. Autre truc marrant sur le krill: il mue toute sa vie, en renouvelant régulièrement sa carapace. Comme tu l'a vu avant, cette mue est essentielle pour le climat.

2 ESPIONNER LA FONTE DES GLACES

Comment surveiller un glacier géant qui bouge en plein milieu d'un désert de glace ? Facile: on y plante... une balise GPS ! Grâce à ces appareils high-tech, les scientifiques peuvent suivre à la trace le moindre mouvement des glaciers comme celui d'Astrolabe, en Antarctique. Les balises enregistrent en continu leur position pour mesurer la vitesse à laquelle la glace coule vers la mer. Savais-tu que l'Astrolabe avance de 600 mètres par an ? Ces données aident à comprendre quand et comment la fonte s'accélère... et à prévoir si le niveau de l'océan va monter.

Mais ce n'est pas si simple: les balises doivent être fixées dans la glace (avec des mâts de plusieurs mètres), et les chercheurs doivent les réparer chaque été, en évitant des crevasses profondes comme des immeubles ! Heureusement, elles sont équipées de panneaux solaires pour survivre au froid.

Et ce n'est pas tout: des drones, des robots sous-marins et des bouées connectées complètent l'enquête. Les robots marins explorent les eaux sous les glaciers pour mesurer la température et la salinité. Les drones peuvent même aller «prendre la température» des baleines en collectant leur souffle... Grâce à ces technologies de pointe, les chercheurs obtiennent une vision claire (mais parfois terrifiante) de la fonte des glaces et de ses conséquences sur le climat mondial.

3 COMPRENDRE LE RÔLE DE L'ARCTIQUE

Imagine une station de recherche qui glisse sur la banquise pendant 18 mois d'affilée... C'est exactement ce que fera la *Tara Polar Station*, un incroyable laboratoire flottant conçu pour se laisser piéger par les glaces de l'océan Arctique. Son but ? Étudier ce grand désert blanc qui change à vue d'œil et mieux comprendre le rôle de l'Arctique dans le climat mondial. Pendant 20 ans, des équipes de scientifiques vivront à bord de *Tara* pour observer l'océan, la glace, l'air et la vie sous-marine. Grâce à ses capteurs ultra-performants, la station pourra mesurer en continu les échanges entre l'atmosphère, la glace et l'eau. Les données récoltées aideront à prédire la météo de demain (jusqu'en Europe !) et à protéger les écosystèmes polaires.

Tara, c'est aussi un modèle d'écologie high-tech: elle fonctionne à l'énergie solaire, au vent et grâce à des carburants propres. À son bord, jusqu'à 18 personnes: climatologues, médecins, biologistes,... et même artistes, se relayeront pour explorer, prélever, analyser... et parfois, survivre dans le froid extrême.

TON P'TIT LABO

Une expérience à faire avec *Curiokids*:
«La décomposition de la couleur de tes feutres»

SCANNE-MOI





Burn-out sexuel, un épuisement du don de soi

Le burn-out n'est pas que professionnel. Il peut revêtir plusieurs visages présentant des traits communs et des traits spécifiques. L'épuisement sexuel, qui n'est pas le fait de personnes éreintées par le poids d'une hypersexualité, serait une forme de burn-out sur laquelle les recherches scientifiques commencent seulement à se pencher. Il touche essentiellement les femmes au sein de couples hétérosexuels. Un patriarcat encore robuste et l'un de ses principaux corollaires, le «devoir conjugal», en sont largement responsables

TEXTE: PHILIPPE LAMBERT • PH.LAMBERT.PH@SKYNET.BE

WWW.PHILIPPE-LAMBERT-JOURNALISTE.BE

PHOTOS: © LOUIS-PAUL PHOTO - STOCK.ADOBE.COM (P.35), © STOCK.ADOBE.COM (P.37)

et de concentration, parvenir avec peine à tenir une conversation, être en proie à des troubles psychosomatiques, devenir agressif, cynique, avoir des accès de colère...

On sait à présent que le burn-out professionnel ne fait pas cavalier seul. Dans les années 1980, certains auteurs ont suggéré l'existence d'une forme de burn-out qui ciblerait spécifiquement les parents. En 2015, une étude réalisée par Moïra Mikolajczak et Isabelle Roskam, professeures à la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'UCLouvain, a montré que le burn-out parental ne concernait pas uniquement les parents d'enfants chroniquement malades, comme on l'avait cru au départ, mais que chaque père, chaque mère pouvait en être la victime. Les 2 chercheuses mirent également en évidence que 2 des facettes du burn-out professionnel étaient partagées par son homologue parental: l'épuisement physique, mental et émotionnel ainsi que la perte d'efficacité et d'épanouissement, sur le plan professionnel pour l'un, parental pour l'autre.

Un troisième type de burn-out, celui de l'aidant proche, est également bien documenté aujourd'hui. Il impacte, lui aussi, la santé physique et psychique de la personne qui en souffre et nuit à sa relation avec la personne aidée – en général un malade chronique ou un handicapé. Un quatrième syndrome d'épuisement vient de faire l'objet d'un essai paru récemment chez *L'Harmattan*, intitulé *Le burn-out sexuel* (1). Si l'on

Pour beaucoup, le burn-out est un syndrome d'épuisement indissociablement lié à la vie professionnelle. Ses principaux symptômes sont bien connus: se sentir frustré, incompris par son entourage et son employeur, ne plus éprouver de satisfaction dans son travail, le considérer comme dénué de sens, souffrir de troubles du sommeil, se sentir extrêmement fatigué au point de rester parfois prostré dans un fauteuil ou au lit, avoir des pertes de mémoire

se réfère à la littérature scientifique, ce type de burn-out n'a pas encore suscité de programmes de recherche, mais comme le souligne Moïra Mikolajczak dans la préface du livre, «*dans l'histoire du burn-out, chaque nouvelle forme d'épuisement a d'abord été observée par des psychologues ou psychiatres œuvrant sur le terrain, avant d'être étudiée et formalisée par les scientifiques*». C'est effectivement à travers sa pratique clinique que l'auteure de l'essai, Alexandra de Troz, psychologue spécialisée en psychothérapie systémique et sexologue, s'est intéressée à ce qui constitue à ses yeux une nouvelle catégorie de syndrome d'épuisement. Moïra Mikolajczak décrit cet intérêt comme une démarche légitime. «*La lecture de l'ouvrage d'Alexandra de Troz, nourri d'observations et de témoignages issus de 15 ans d'expérience clinique en sexothérapie, m'a convaincue que le sujet méritait d'être investigué par les scientifiques*», écrit-elle.

Selon l'auteure, le burn-out sexuel se situe au confluent de 3 types de symptômes. D'une part, un épuisement physique caractérisé par une baisse de désir sexuel significative associée ou non à de la douleur ou de l'inconfort, voire de l'anorgasmie, et qui peut aller jusqu'au dégoût pour le sexe. On observe d'autre part une détresse émotionnelle pouvant se manifester par l'expression d'un sentiment de culpabilité, de honte, d'impuissance, de peur ou d'anxiété. Enfin apparaît, au niveau du couple, un tarissement relationnel qui se traduit par une distanciation affective et un désinvestissement du lien et de la tendresse dans un but d'évitement des rapports sexuels et d'autoprotection. «*En consultation, des femmes me disent en substance: "Je ne veux plus que mon compagnon me touche, même pour un moment de tendresse, parce que j'y vois une entrée possible vers des préliminaires sexuels." Une telle situation crée un désert affectif au sein du couple, avec toutes les frustrations qu'elle est susceptible d'engendrer chez l'homme et toute la culpabilité qu'elle peut occasionner chez la femme*», précise Alexandra de Troz.

L'ombre du patriarcat

Dans la sphère professionnelle, les cibles privilégiées du burn-out sont les personnes perfectionnistes ayant le culte de la performance ainsi qu'une tendance à se surinvestir dans leur métier et à éprouver des difficultés à se fixer des limites. Comme le fait remarquer le neuropsychiatre Patrick Mesters, fondateur et directeur de l'Institut européen d'intervention et de recherche sur le burn-out (EIIRBO), ce sont généralement les éléments les plus utiles à leur employeur qui finissent par «exploser en plein vol». Selon lui, le burn-out professionnel est le résultat de la

rencontre de personnes motivées, engagées et compétentes, d'un projet professionnel exigeant et d'une organisation défailante dans les domaines du travail et du management. On retrouve des ingrédients analogues dans le burn-out parental: des parents perfectionnistes très impliqués dans leur rôle de père ou de mère et porteurs d'un idéal de parentalité très fort, mais dont les ressources personnelles sont insuffisantes pour faire face à toutes les injonctions dont les médias, les associations, leurs proches les bombardent au sujet de l'alimentation et des loisirs des enfants, de l'assistance scolaire à leur apporter, etc. Ces parents estiment devoir respecter ces injonctions à la lettre s'ils veulent pouvoir se considérer comme de «bons pères» ou de «bonnes mères». «*Leur vie devient un enfer, parce qu'ils ne sont plus à même de gérer toute la pression, tous les stressors auxquels ils sont confrontés*», indique Isabelle Roskam. Aussi le burn-out a-t-il fréquemment rendez-vous avec eux.

La dynamique est similaire dans le burn-out de l'aidant proche, mais également dans le burn-out sexuel. Dans ce dernier, les femmes sont de loin les plus touchées. Pourquoi ? Essentiellement parce que l'ombre du patriarcat et d'un de ses principaux corollaires, le fameux «devoir conjugal», demeure très prégnante bien qu'elle ait été partiellement délavée sous l'impact du mouvement #MeToo. «*Loin d'être obsolète, le devoir conjugal est toujours très présent chez les couples aujourd'hui*», insiste Alexandra de Troz. D'après une enquête française réalisée en 2023 par l'Inserm, 43,7% (51% en 2006) des femmes âgées de 18 à 69 ans déclarent avoir accepté des rapports sexuels sans désir, contre 23,4% des hommes. Il faut cependant nuancer ces chiffres, dans la mesure où le plaisir et un désir naissant subséquemment peuvent être déclenchés par l'activité sexuelle proprement dite – le sujet peut devenir réceptif à la relation en cours même s'il n'était pas initialement proactif. Par ailleurs, l'homme, contrairement à la femme, ne peut masquer son manque de désir et dès lors se forcer à des rapports coïtaux non souhaités. Et si sa volonté est de se satisfaire et/ou de satisfaire son ou sa partenaire, mais que l'anxiété de performance ou toute autre cause entrave régulièrement l'érection, ce sera moins le burn-out sexuel qui le menacera qu'un sentiment d'impuissance, de frustration, de culpabilité et de honte, lequel pourra le pousser à éviter les rapports sexuels indépendamment de tout syndrome d'épuisement.

Les relents d'un lourd passé de patriarcat sont encore bien perceptibles de nos jours. Se référant au *Bréviaire de la femme* (2) où, au début du 20^e siècle, étaient dispensés des conseils pour «être une bonne épouse», Alexandra de Troz

Alexandra de Troz,
Le burn-out sexuel,
L'Harmattan, 2025.



Comtesse de Tamar,
Le Bréviaire de la femme,
Victor-Harvard & Cie,
1903



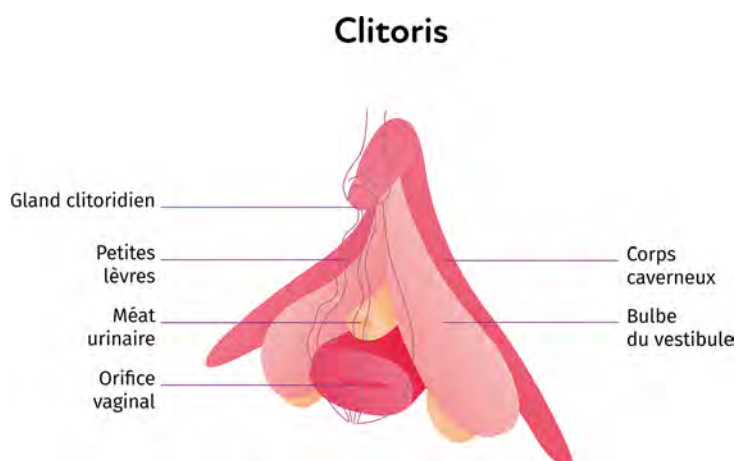
rappelle à quel point cet ouvrage (et d'autres de cette nature) était affligeant. La femme mariée perdait son identité propre, appartenait à son mari, lequel était responsable de son éducation sexuelle. Elle devait rester chaste en dehors du mariage et si elle était trompée, la responsabilité lui en incombait. En outre, elle devait tout mettre en œuvre pour satisfaire son époux, dont son corps était la «propriété». Héritières de ces diktats, nombre de femmes n'ont toujours pas réussi à s'en distancier totalement. Preuve en est le fait que, comme le mentionne Alexandra de Troz dans son essai, la grande majorité des femmes qui font appel à un ou une psychosexologue, «se sentent profondément coupables si elles ne parviennent pas à répondre aux "besoins" sexuels de leur partenaire». Raison pour laquelle elles consultent habituellement seules. En l'absence d'études scientifiques sur le sujet (3), notre interlocutrice émet l'hypothèse que le burn-out sexuel est très probablement provoqué par le fait de se forcer à avoir des rapports sexuels, d'y consentir sans en éprouver le désir ni aucune forme de plaisir, et ce, de façon répétée et dans la durée. Une baisse temporaire d'activités sexuelles en cas de maladie, changements hormonaux, stress, etc. ne doit donc pas être associée automatiquement à un épuisement sexuel.

Le retour du clitoris

Un élément connexe mérite d'être pris en considération, car il contribue à entraver l'expression du plaisir: l'étonnante méconnaissance que beaucoup de femmes ont de leur propre anatomie, en particulier du clitoris. «Les femmes découvrent généralement leur clitoris fortuitement. Contrairement au pénis, visible et facilement préhensible par l'homme, la vulve et le vagin sont anatomiquement moins accessibles et moins visibles. Le sexe des femmes requiert un miroir pour être correctement observé», peut-on lire sous la plume d'Alexandra de Troz.

L'anatomie féminine, il est vrai, fut longtemps présentée sous le prisme reproducteur et la sexualité de la femme, entourée de mythes tels que la prédominance du vagin ou l'existence du point G en tant que structure érogène distincte du clitoris, ce que les dissections pratiquées peu avant 2020 sur une dizaine de cadavres par l'urologue australienne Helen O'Connell n'ont jamais pu mettre en évidence. «Le point G ? Une légende urbaine qui a eu beaucoup de succès mais qui a été désastreuse sur le plaisir des femmes», dit Alexandra de Troz. Après une éclipse de plusieurs dizaines d'années, le clitoris est heureusement revenu sur le devant de la scène en 2005 grâce à des travaux en IRM, menés une fois encore par Helen O'Connell. Ils l'ont décrit en 3D comme une

structure mesurant de 8 à 12 centimètres, revêtant la forme d'un boomerang dont, explique Alexandra de Troz, «la réunification des 2 branches en leur milieu forme le gland du clitoris, visible de l'extérieur». Ces études ont permis à des femmes de se réapproprier quelque peu le principal organe dédié à leur plaisir sexuel. «Que les femmes prennent du plaisir par la pénétration est loin d'être systématique. L'orgasme vaginal est en fait un orgasme clitoridien. Par conséquent, les femmes qui connaissent bien leur anatomie intime ont l'avantage de pouvoir trouver les bonnes stimulations du clitoris pendant la pénétration», souligne encore l'auteure de *Burn-out sexuel*.



Le patriarcat et le poids de l'éducation ont été des obstacles à la connaissance du corps. Les injonctions éducatives qui touchent les femmes (bien se tenir, croiser les jambes, ne pas parler trop fort...) ont fait le lit, chez nombre d'entre elles, d'une forme de pudibonderie, de honte et par là même d'une certaine prise de distance par rapport à une sexualité décomplexée, jugée trop «animale». «Les statistiques montrent cependant que les temps changent. Par exemple, la pratique masturbatoire est en augmentation chez les femmes. Or, elle leur permet de découvrir les zones érogènes utiles aux partenaires lors des rapports sexuels», rapporte Alexandra de Troz.

Allié au poids du patriarcat et d'une éducation parfois trop rigide, le manque de plaisir lors des relations intimes contribue à tracer le sillon du burn-out sexuel. Dans son livre, la psychosexologue cite par ailleurs de multiples facteurs de risque susceptibles de faciliter la survenue de celui-ci. Par exemple, des traumatismes sexuels, tels des incestes, des attouchements, des viols; un climat incestuel où l'enfant est «connecté» dans sa famille d'origine à la vie sexuelle des adultes; des carences affectives durant l'enfance; une ingérence religieuse ou culturelle dans la sexualité; des déséquilibres dans la réalisation des tâches domestiques; des injonctions sociales à la performance; des problèmes de santé mentale et/ou des dysfonctions sexuelles d'origine organique telles que la dyspareunie (4) ou des infections ou inflammations génitales; un burn-out parental, familial ou professionnel... À l'inverse, elle émet l'hypothèse que des ressources telles que la gestion des conflits au sein du couple, une bonne régulation émotionnelle, des projets de couple, le respect des limites de chacun et de bonnes qualités communicationnelles ont des vertus protectrices contre l'apparition du burn-out sexuel.

Sexe en grève

Au-delà de ces considérations, Alexandra de Troz résume comme suit la dynamique menant au burn-out sexuel: *«Il s'agit d'un processus qui va d'abord débiter par l'acceptation d'activités sexuelles non désirées traduisant la volonté de préserver le lien et faire plaisir à son conjoint. Ensuite, des symptômes (baisse de désir, inconfort sexuel, anorgasmie...) vont émerger, signifiant que les limites d'un conjoint ont été dépassées, pour enfin évoluer vers un évitement significatif des rapports sexuels et un désinvestissement émotionnel du couple.»* En ce sens, le burn-out sexuel correspond à un épuisement du don de soi.

Le patriarcat et le poids de l'éducation ont été des obstacles à la connaissance du corps. Les injonctions éducatives qui touchent les femmes ont fait le lit, chez nombre d'entre elles, d'une certaine prise de distance par rapport à une sexualité décomplexée, jugée trop «animale».

Lorsque les femmes outrepassent leurs limites en cherchant à emmener leur corps là où leur volonté veut l'entraîner, il fait office de garde-fou par l'entremise de la somatisation. Peuvent survenir une sécheresse vaginale, des mycoses, une inflammation vulvaire, une dyspareunie ou encore du vaginisme, contraction involontaire et persistante des muscles du périnée entourant le vagin, qui rend douloureuse ou impossible toute pénétration vaginale. *«Le manque de désir empêche la lubrification vaginale, laquelle est directement ou indirectement à la base des différentes manifestations somatiques»*, précise Alexandra de Troz. Dans ces conditions, le devoir conjugal a lui aussi ses limites et le «sexe peut se mettre en grève» au grand dam du partenaire qui se sent alors frustré, au point de nourrir éventuellement de la rancœur et de la colère. *«Il y a de la souffrance chez certains hommes également. Il ne faut pas les diaboliser car beaucoup pensent qu'ils doivent exister à travers leur sexualité. Selon les injonctions sociales qui leur sont adressées, c'est elle qui doit asseoir leur virilité»*, explique la psychosexologue.

Une approche systémique

À ses yeux, le burn-out sexuel n'est que la pointe de l'iceberg: il témoigne d'une problématique beaucoup plus profonde au sein du couple, à telle enseigne que, sous un certain angle, il devrait être abordé comme un «burn-out conjugal» dont il constitue un des premiers signes, si pas le premier. Dans la prise en charge thérapeutique du burn-out sexuel, il apparaît le plus souvent qu'un des 2 partenaires (la femme en l'occurrence) se surinvestit dans la vie de couple, par exemple en s'acquittant de la plupart des tâches domestiques ou en gardant les enfants dès que son conjoint manifeste le souhait de s'adonner à des loisirs en dehors du cadre familial. Si les femmes consultent seules pour un manque de désir sexuel ou un burn-out qui y est lié, il est indispensable que la thérapie soit élargie au couple. *«Sinon ces femmes gardent en elles une culpabilité extrême et, de peur de voir se rompre le lien qui les unit à leur compagnon, ne règlent pas les problèmes*

essentiels qui minent leur couple. Le dialogue doit s'ouvrir et l'homme doit être conscientisé à la souffrance de sa partenaire, aux causes qui la génèrent ainsi qu'à ses propres responsabilités et à leurs soubassements», commente Alexandra de Troz.

C'est pourquoi elle mise en clinique sur des thérapies d'orientation systémique afin de prendre en considération tout l'«écosystème» de chacun des membres du couple. Comment les partenaires se sont-ils rencontrés et quelles sont les fondements de leur union ? Sur quel mode fonctionne le couple qu'ils ont formé ? Quelle place chacun occupait-il dans son propre système familial d'origine ?... Y a-t-il, chez l'un ou l'autre, une résurgence de mécanismes délétères ancrés dans son passé et qu'il rejoue à son insu dans la relation de couple ?... Autant de questions qui s'imposent. *«L'injonction au désir prônée par nos sociétés engendre des frustrations grandissantes chez les hommes et l'effet paradoxal d'entraver l'élan sexuel des femmes. Ce constat nous invite à repenser la place surestimée d'une sexualité performante et jouissive, considérée à tort comme gage pour de nombreux couples de la stabilité de leur relation et du sentiment amoureux»*, soutient Alexandra de Troz. Et d'ajouter: *«On doit abolir le principe d'une sexualité normée. On peut conclure qu'il n'y a pas une sexualité mais des sexualités (en ce inclus l'asexualité). Chaque couple a la responsabilité de définir ensemble la sienne: unique, singulière et respectueuse des limites de chacun (5).»* ^A

Les personnes qui se reconnaissent dans la description du burn-out sexuel et qui souhaitent participer à une étude menée à la faculté de psychologie de l'UCLouvain peuvent manifester leur intérêt à l'adresse mail suivante:

etudeburnoutsexuel@gmail.com

⁽¹⁾ Alexandra de Troz, *Le Burn-out sexuel*, L'Harmattan, 2025.

⁽²⁾ Comtesse de Tamar, *Le Bréviaire de la femme*, Victor-Harvard & Cie, 1903 - dixième édition.

⁽³⁾ Une recherche est en cours à l'UCLouvain.

⁽⁴⁾ Douleur éprouvée par certaines femmes lors d'un rapport sexuel.

⁽⁵⁾ D'après l'expérience clinique d'Alexandra de Troz, la question du consentement est plus claire au sein des couples homosexuels et le risque de burn-out, faible.



Qui est-ce ? Clara IMMERWAHR

TEXTE : JACQUELINE REMITS • JACQUELINE.REMITS@SKYNET.BE

je poursuis des études en chimie. Je prépare une thèse de doctorat et deviens l'assistante de mon directeur de thèse, Richard Abegg. Je cosigne plusieurs de ses travaux. En 1900, je défends ma thèse en chimie sur la solubilité des métaux lourds. Ce jour-là, je fais le serment de ne jamais agir de manière contraire à mes convictions, de poursuivre la vérité et de faire avancer la dignité de la science aux sommets qu'elle mérite. Je tiendrai parole. La défense publique de ma thèse est un véritable succès de foule. En effet, je suis la première femme à obtenir un doctorat de chimie en Allemagne. Ma position a toujours été qu'une vie mérite d'être vécue si on exploite à fond ses talents et qu'on essaie de vivre toutes les expériences que la vie humaine peut offrir. C'est sur cette impulsion, entre autres raisons, que je décide de me marier. En 1901, j'épouse Fritz Haber rencontré 10 ans plus tôt sur les bancs de l'université, persuadée que nous allons mener une carrière scientifique en duo. Ce ne sera jamais le cas. Nous déménageons à Karlsruhe car Fritz y est nommé professeur de chimie technique. Durant les premières années de notre mariage, j'assiste mon mari dans ses travaux. En 1902, je donne naissance à un fils, Hermann, mon unique enfant. Mon mari, centré sur lui-même, poursuit sa brillante carrière. Il ne me soutient pas, estimant que la place d'une femme est à la maison. Je m'efface, devient femme au foyer et prend en charge l'éducation de notre fils. Je me plains de cette situation, de ce rôle subalterne, dans des lettres envoyées à mon ami Richard Abegg. Fritz et moi nous disputons souvent. Non

Je suis...

Issue d'une famille passionnée par la chimie. Mon père, Philipp Immerwahr, propriétaire d'une grande entreprise agricole, a la passion de la chimie chevillée au corps. Ma mère, Anna, est femme au foyer. Jusqu'en 1877, je suis des cours à domicile avec mes frères et sœurs. J'entre ensuite dans un établissement pour filles. Mon frère Paul se lance dans des études de chimie et je décide de suivre ses pas. Une filière peu traditionnelle pour une femme à cette époque. En 1890, j'ai 20 ans quand je perds ma mère. En 1896, j'intègre l'université de Breslau pour y suivre des cours de physique. En 1897, celui qui deviendra mon mari et moi, juifs tous deux, nous nous convertissons, chacun de son côté, au protestantisme tant la pression antisémite est forte. Une condition nécessaire pour réussir dans l'Allemagne de l'époque. Un an plus tard,



CARTE D'IDENTITÉ

NAISSANCE: 12 juin 1870, Breslau (aujourd'hui Wrocław en Pologne)

DÉCÈS: 2 mai 1915, Berlin (Allemagne)

NATIONALITÉ: Prussienne, Allemande

SITUATION FAMILIALE: Mariée, 1 enfant

DIPLOME: Doctorat en chimie à l'université de Breslau

CHAMPS DE RECHERCHE: Chimie, catalyse des métaux

DISTINCTIONS: Création du prix Clara Immerwahr (2012) par la *Technischen Universität* de Berlin

seulement ses manières sont oppressives envers moi, mais en plus sa façon de se mettre en premier à la maison et dans le mariage fait en sorte qu'une personnalité moins affirmée que la mienne aurait été détruite. En outre, il est infidèle. Dès 1910, je présente des conférences sur les «sciences naturelles au foyer». En 1911, nous déménageons à Berlin car Fritz est nommé directeur dans un institut.

SAVIEZ-VOUS QUE...

Plus tard cette même nuit, dans le jardin de leur maison, Clara Immerwahr a pris le pistolet de son mari et s'est tiré une balle dans le cœur. Elle mourra, le lendemain, dans les bras de son fils. Les raisons et les circonstances de son suicide sont restées floues. Il n'y a eu ni autopsie, ni article dans les journaux. Le manque de documentation sur sa mort a créé de nombreuses controverses sur les raisons qui l'ont poussée à commettre ce geste fatal. Son suicide a pu être lié à ses convictions, faisant d'elle l'une des victimes d'Ypres. La situation sentimentale du couple pouvait aussi y être pour quelque chose. Son mari entretenait une liaison avec sa secrétaire, ce qui l'aurait forcément affectée. Mais même si les difficultés conjugales ont compté dans la décision tragique de Clara, son idéal scientifique a certainement joué un rôle déterminant. Toute sa vie, elle sera restée fidèle à son nom, Immerwahr, qui signifie «toujours juste».

Le lendemain même de sa mort, Fritz Haber a quitté le domicile conjugal pour mettre en place la première attaque au gaz toxique sur le Front de l'Est contre les Russes. S'il est brièvement accusé de crimes de guerre, il ne sera jamais inculpé.

Malgré son passé controversé, il reçoit en 1918, avec Carl Bosch, ingénieur et chimiste allemand, le prix Nobel de chimie pour ses travaux sur l'ammoniac utilisé comme engrais et qui apportaient une réponse décisive au problème alimentaire posé par l'augmentation de la population mondiale. Des travaux auxquels Clara a participé. Un prix vivement critiqué. Ernest Rutherford, lui-même prix Nobel de chimie en 1908, considéré comme le père de la physique nucléaire, a refusé de lui serrer la main lors de la cérémonie. Il illustre pourtant que la science peut avoir, à la fois, un impact négatif et positif. La méthode Haber-Bosch est souvent mentionnée comme étant la plus importante découverte du 20^e siècle. Car s'il est vrai qu'elle permet de produire des explosifs, elle est essentielle à la production d'engrais synthétiques, un des facteurs de l'agriculture à grand rendement, capable de nourrir une population mondiale qui allait passer de moins de 2 milliards en 1900 à plus de 8 milliards aujourd'hui.

Fritz Haber fuira plus tard l'Allemagne nazie et mourra à Bâle en Suisse en 1934. Ses cendres et celles de Clara Immerwahr sont enterrées ensemble dans un cimetière de Bâle. Par la suite, leur fils Hermann émigrera aux États-Unis où il se suicidera en 1946.

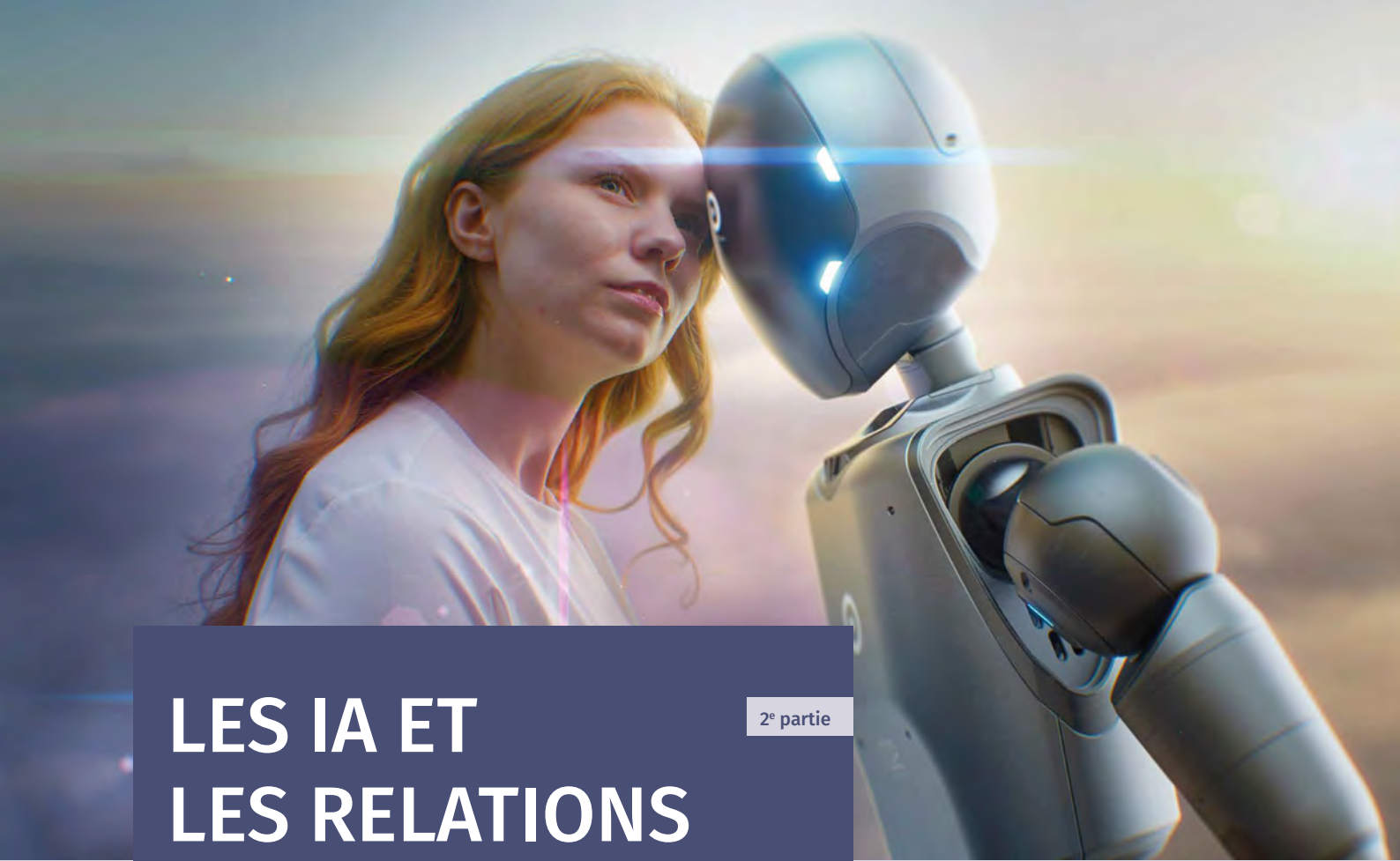
En 2012, la *Technischen Universität* de Berlin a créé un prix Clara Immerwahr de 15 000 euros récompensant des recherches sur la catalyse.

À cette époque...

L'année où je décroche mon doctorat, en 1900, le philosophe allemand Friedrich Nietzsche meurt à 55 ans. Sa doctrine se caractérise par un anti-germanisme et un antichristianisme virulents. Il a achevé son œuvre maîtresse, *Ainsi parlait Zarathoustra*, en 1885. En 1910, je donne des conférences sur les «sciences naturelles au foyer» et Robert Koch meurt le 27 mai à Baden-Baden en Allemagne. Les découvertes révolutionnaires de ce médecin bactériologiste permettront de dédramatiser l'impact de certaines maladies contagieuses. Notamment, en 1882, il isole le bacille de la tuberculose. Il a dirigé l'Institut d'hygiène de l'université de Berlin. Koch a exercé une influence décisive sur la médecine actuelle et a reçu le prix Nobel de médecine en 1905.

J'ai découvert...

À cause de la pression sociale faisant de la maison la place de la femme, j'ai eu du mal à mener des recherches. J'ai donc contribué, sans aucune reconnaissance, aux travaux de mon mari, en traduisant ses articles en anglais. En 1905, il m'a remerciée pour ma «coopération discrète» à l'occasion de la publication d'un manuel de thermodynamique. Ce qui atteste de mon travail scientifique réalisé au quotidien. Au début de la guerre, mon mari a été nommé conseiller scientifique du ministère de la guerre et chargé, en tant que chimiste, de développer des armes de masse. Il a joué un rôle important dans le développement des armes chimiques, en particulier des gaz toxiques. Selon moi, le développement de ces gaz de combat est une perversion des idéaux scientifiques et un signe de barbarisme corrompant la chimie, une discipline ayant pour mission d'élucider les différents aspects de la vie. À plusieurs occasions je lui ai demandé de s'arrêter, mais sans succès. En revanche, lui me reprochait, en public, mes interventions qu'il qualifiait de trahison à la patrie. Nous nous sommes souvent et violemment querellés. Même si j'ai tenté à plusieurs reprises d'arrêter ses travaux, j'ai participé à ses recherches. Ce qui aboutira à ce qu'il supervise la première attaque au gaz toxique de l'histoire militaire des Flandres le 22 avril 1915. Plus de 5 000 soldats alliés ont été tués à Ypres par les nuages de chlore. À son retour du Front, le 1^{er} mai, lors d'une soirée organisée en son honneur, mon mari a été fêté en héros et promu capitaine. Le soir du 1^{er} mai, je me suis installée à mon bureau pour écrire une série de lettres d'adieu à ma famille et à mes amis... ❶



LES IA ET LES RELATIONS SOCIALES: MODERN LOVE

2^e partie

Jusqu'où les intelligences artificielles conversationnelles viendront-elles s'infiltrer dans notre intimité ? Alors que l'épidémie de solitude s'étend, de plus en plus de gens en manque de connexion se tournent vers des chatbots toujours plus poussés pour entretenir des relations amicales, voire amoureuses. Une quête aux origines anciennes, mais qui n'est pas sans poser de grandes questions sur l'état de notre monde et la nature humaine

THIBAUT GRANDJEAN - GRANDJEAN.THIBAUT@GMAIL.COM

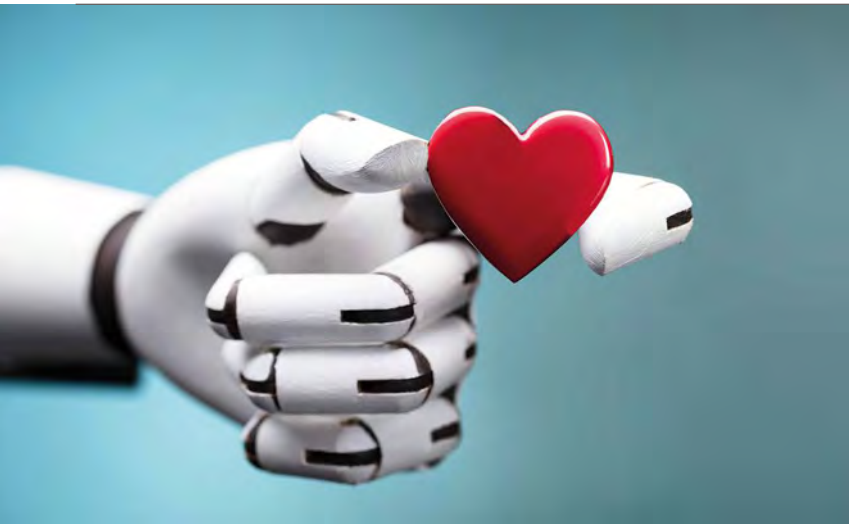
PHOTOS: © FRAMESTOCK - STOCK.ADOBE.COM (P.41), © ANDREY POPOV - STOCK.ADOBE.COM (P.42),

© MICHAELVI - STOCK.ADOBE.COM (P.44)

Si elle avait au départ pour but de permettre aux gens de continuer à converser avec des proches disparus, «ressuscités» sous forme numérique, *Replika* est devenue petit à petit un moyen de créer des amitiés synthétiques avec des avatars aux traits et à la personnalité choisis. Aujourd'hui, la plateforme revendique plus de 40 millions d'utilisateurs, et de nombreuses fonctionnalités, comme le mode ERP, pour *Erotic Role-Play mode*, qui permet d'entretenir des conversations sexuellement explicites avec son avatar. Les chatbots devenant, avec les progrès de l'intelligence artificielle, de plus en plus performants et capables de garder en mémoire les conversations passées, y faisant appel comme autant de souvenirs communs, quantité de personnes à travers le monde ont fini par entretenir avec leur avatar des amitiés, mais aussi des relations romantiques et sexuelles.

Cependant, en mars 2023, sous pression de la GPD Italiane, l'entité garante de l'utilisation des données personnelles, *Replika* a brutalement désactivé son mode ERP. Du jour au lendemain, les avatars ne répondaient plus aux sollicitations de leurs utilisateurs humains. Nombreux sont ceux qui ont alors expérimenté une forme de deuil envers leurs compagnons virtuels. Et le même phénomène s'est produit en juillet dernier lorsque *OpenAI* a fait évoluer *ChatGPT-4o*, apprécié pour sa douceur et sa bienveillance, à *ChatGPT-5*, beaucoup plus froid et factuel. Un terme a même

C'est une histoire qui préfigure peut-être notre réalité de demain. Nous sommes en 2023, et le monde découvre, à la fois fasciné et effrayé, le fameux chatbot *ChatGPT*. Pourtant, cette technologie alimente depuis un certain temps des chatbots comme *Replika*, une plateforme créée en 2017, qui permet aux utilisateurs de créer un avatar sur-mesure et de converser avec lui.



été créé pour rendre compte de ce sentiment: le «*Post Update Blues*», à l'image du blues post-rupture.

Si nombre d'entre nous peuvent trouver étrange de vivre la disparition d'une créature virtuelle comme une perte aussi douloureuse, elle est pourtant symptomatique d'une réalité qui prend de plus en plus d'ampleur: l'entretien de relations affectives avec des IA conversationnelles. Selon une enquête de *Common Sense Media* aux États-Unis, 72% des adolescents ont déjà utilisé un compagnon IA au moins une fois, plus de la moitié échangent avec plusieurs fois par mois, et au moins un tiers les utilisent à des fins de relations sociales, comme du «soutien affectif» et des «interactions romantiques».

Aujourd'hui, on préfère se confier à une entité qui donne une illusion d'empathie, afin de ne pas se sentir jugé par l'autre.

Passer notre amour à la machine

Mais alors que les IA conversationnelles sont relativement récentes, ces comportements ont en réalité une origine plus ancienne. «*L'utilisation de ces IA comme compagnons est simplement la suite d'un continuum beaucoup plus ancien, qu'on a vu apparaître dans les années 1990 avec les Tamagotchi*, observe Olivier Servais, anthropologue du numérique et professeur à l'UCLouvain. *Et ces IA sont d'autant plus amenées à se développer qu'elles sont aujourd'hui dotées de voix de plus en plus crédibles et émotionnelles, ce qui peut susciter un attachement très fort de la part de l'humain.*»

Selon Olivier Servais, la compréhension de ce phénomène et son essor ne peut pas faire

l'économie du contexte social dans lequel nous vivons. «*Un nombre important d'adultes dorment encore aujourd'hui avec un doudou*, révèle-t-il. *Cela peut prêter à sourire de prime abord, mais il faut rappeler que beaucoup de gens sont aujourd'hui extrêmement seuls. La première forme d'être en société est aujourd'hui le célibat.*»

En effet, d'après *Statbel*, l'Institut national de statistiques en Belgique, 9,3% de la population se sent seule, tout le temps ou la plupart du temps. Un chiffre en forte augmentation, en particulier depuis le Covid. Et d'après les données de l'état civil en 2022, près d'un adulte sur deux en Belgique est célibataire.

«*Ensuite*, continue Olivier Servais, *il est important de se rendre compte que nous vivons une crise économique et sociale, où la peur de l'autre devient un référentiel important. Dès lors, avoir quelqu'un, même virtuel, qui coûte pour l'instant moins cher qu'un chat ou un chien, avec qui on peut discuter à toute heure du jour et de la nuit, peut être vu comme une alternative acceptable.*»

Le caractère supposé neutre de la machine est en effet une des caractéristiques clés mise en avant par les utilisateurs. «*Pendant longtemps, les théories psychologiques ont considéré qu'avoir partagé une condition humaine était un élément fondamental pour pouvoir être en capacité d'écouter quelqu'un*, avance l'anthropologue. *Or, on constate aujourd'hui que c'est devenu, pour toute une partie de la population, et en particulier les plus jeunes, un frein. On va alors préférer se confier à une entité qui donne une illusion d'empathie, afin de ne pas se sentir jugé par l'autre. Et c'est là un des premiers critères qui va faire que l'on se tourne vers ces machines aujourd'hui.*»

Ces nouveaux usages ne sont cependant pas sans conséquences. Côté face, les IA conversationnelles offrent «*un substitut de lien social à des individus très désocialisés*», selon Olivier Servais, qui rappelle d'ailleurs que leurs utilisateurs se retrouvent dans l'ensemble des générations:

«*La crise du Covid a joué un rôle d'accélérateur dans la pénétration du numérique dans la vie de toute la population*», constate-t-il.

De plus, certaines études ont relevé chez certains utilisateurs la possibilité, au moins pour un temps, de baisser un peu la garde et de laisser au vestiaire la personnalité de façade pour ainsi «être soi-même», et «explorer toutes les facettes de leur personnalité ou de leur sexualité».

Mais côté pile, la pénétration de ces IA dans nos sociétés soulève quelques inquiétudes. Plusieurs

études constatent en effet aujourd'hui une plus grande difficulté à comprendre l'autre, à se mettre à sa place pour partager ses émotions. «*Nous vivons dans un monde où les bulles de filtres des réseaux et médias sociaux nous enferment avec des gens qui pensent comme nous et nous abreuvant de choses que l'on a envie d'entendre*, remarque Olivier Servais. *Cela a pour conséquence une plus grande difficulté à entendre et ressentir des choses différentes des nôtres, et ce manque d'empathie, constaté par plusieurs chercheurs, est aujourd'hui une préoccupation majeure.*»

En isolant un peu plus les gens dans un contact avec la machine au détriment de liens humains, les IA conversationnelles contribueraient alors à ce phénomène. «*Les chatbots ont une propension à toujours aller dans le sens de l'utilisateur, ce qui est inhérent à leur mode de fonctionnement, et amplifie ce manque d'empathie*, développe l'anthropologue. *Et cela va poser des questions très importantes pour le futur.*»

Un jeu de miroirs

Enfin, selon Olivier Servais, si la disponibilité permanente des IA conversationnelles est un atout pour les personnes seules, elle n'est pas sans poser également quelques problèmes éthiques. «*Les revendications pour plus d'égalité, à la fois raciales et de genre, ont été extrêmement fortes ces dernières années*, rappelle le chercheur. *Or, il y a, avec ces machines, l'établissement d'une relation de domination, et la création d'un objet de désir, et d'obéissance qui, contrairement à un humain, est disponible uniquement lorsque l'on en a envie. Et cela peut venir nourrir la crise de la masculinité que traversent certaines personnes en réaction à ces revendications égalitaires, avec le recours à une féminité fantasmatique soumise à l'ordre masculin.*»

Autant de questions vertigineuses auxquelles la science n'a pas, pour l'instant, la réponse, tant ces outils sont encore nouveaux dans notre quotidien. Mais en faisant un pas de côté, il est tout de même possible d'obtenir quelques perspectives.

Au Japon, et selon l'anthropologue française Agnès Giard qui a longtemps étudié le phénomène, nombre de personnes, en particulier des jeunes femmes, entretiennent des relations affectives avec des personnages virtuels, qu'elles appellent des «*amours en 2D*». Une situation rendue possible par de nombreux facteurs, comme le vieillissement de la population, et le désir des générations actives de s'affranchir du carcan sociétal qui demande aux femmes de rester à la maison, et aux hommes de travailler énormément pour subvenir aux besoins de la famille.

Mais surtout, l'anthropologue souligne que ces amours virtuels nous sont moins étrangers à nous, Occidentaux, qu'il n'y paraît de prime abord. Dans un article intitulé *Peut-on s'éprendre de tout ?*, elle souligne en effet l'attachement extrêmement fort, parfois érotique, que certains hommes entretiennent avec leurs voitures, ou certains musiciens avec leur instrument, avant de malicieusement poser la question suivante: «*Lorsque nous tombons amoureux-se d'une personne humaine, n'est-elle pas, finalement, l'équivalent d'un avatar: l'incarnation fugitive d'une figure idéale ou d'un fantasme ? Croyant nous attacher à de l'humain, ne sommes-nous pas les victimes plus ou moins dupes d'un jeu de réverbération des désirs ?*»

Quoique ces nouvelles formes d'attachement disent de nous, il sera en tous les cas très important de les réguler, estime Olivier Servais: «*Ces IA peuvent, dans certains cas, être apparentées à une forme de pornographie. A minima, des limites d'âge devront donc être posées. Mais il faudra aussi être vigilant à la collecte de données effectuée par ces chatbots, car l'usage d'informations affectives intimes peut vite devenir très problématique.*» Un avertissement qui résonne d'autant plus que Sam Altman, le patron d'OpenAI, vient d'annoncer l'ouverture de ChatGPT aux discussions érotiques.

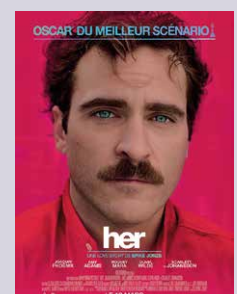
Dans la chanson *Modern Love*, sortie en 1981, David Bowie chantait: «*Il n'y a aucun signe de vie, juste le pouvoir du charme. Et pourtant je ne dis jamais au revoir.*» Vous avez dit prescience ? 

UN PEU DE CULTURE

En voyant ces humains qui préfèrent parler à des IA plutôt qu'à d'autres gens, impossible de ne pas évoquer le film *HER*, du réalisateur Spike Jonze. Dans ce film sorti en 2013, un homme incarné par Joaquin Phoenix traverse un divorce douloureux, et en vient à développer une relation sentimentale avec une IA, dont il n'entend que la voix, celle de Scarlett Johansson. Sans dévoiler la fin du film, cette œuvre en avance sur son temps pose quantité de questions actuelles sur les liens que l'on peut entretenir avec un être virtuel, et le regard des autres face à cette relation. Mais au fond, dans notre monde si clivé, où nous nous méfions de plus en plus les uns des autres, *HER* donne à penser une question finalement pas si futuriste et même vieille comme l'être humain: qu'importent les différences de culture, de genre, ou d'espèce, tant que les liens tissés sont heureux ?

Bande-annonce:

 <https://www.youtube.com/watch?v=5ttWV3D44Zs&t=145s>



Des images artificielles

C'est à se demander ce qu'il restera d'authentique de nos vies numériques à très court terme, tant le nombre d'outils capables de créer des contenus synthétiques s'emballe à une vitesse fulgurante. Si au départ de la course à l'IA, les utilisateurs avaient accès à des générateurs d'images, comme *Midjourney* et *Dall-E*, ces derniers étaient difficiles d'accès pour les novices. Puis *ChatGPT* d'*OpenAI* est arrivé et avec lui une immense vague de textes qu'aucun humain n'a jamais écrit. Mais depuis quelques mois, c'est au tour de la photo et de la vidéo d'être pris d'assaut. D'un côté, il y a *Nano Banana*, un outil devenu immensément populaire en raison de sa facilité d'utilisation. Intégré à *Gemini*, l'IA de *Google*, il est capable de modifier n'importe quelle photo avec une commande vocale, de façon indiscernable pour l'œil humain. Côté vidéo, *OpenAI* a mis en ligne *Sora*, un modèle de création de vidéos doublé d'un réseau social au contenu exclusivement synthétique. Problème, les vidéos qu'il est possible d'y créer sont si réalistes qu'elles ne sont pas sans conséquences, à l'instar d'un faux reportage de *France24* sur un coup d'État en France. ^A

<https://bit.ly/4qrmwlq>



Treefinder, un outil pour plonger dans l'IA

Si les grands modèles de langage (LLM) comme *ChatGPT* ou *Gemini* sont impressionnant de puissance, ils sont tout autant critiqués pour leur côté «boîte noire». Impossible en effet de déterminer comment la machine est arrivée à la réponse donnée, en particulier lorsqu'on la questionne sur de longs documents. Or, il s'agit d'un point crucial dans des domaines comme la médecine, le droit ou la finance, où la confiance dans la machine est impérative. Une équipe de chercheurs de l'ULiège a mis au point un système, dénommé *TreeFinder*, qui permet de savoir d'où le chatbot tire sa réponse. Ce programme identifie en effet les phrases clés du document source sur lesquelles le chatbot se base pour fournir sa réponse, en les isolant du «bruit» du reste du document. Par exemple, *TreeFinder* permet de déterminer quels paramètres du dossier d'un patient un chatbot a utilisé afin de produire une synthèse médicale. Cet outil est un pas important dans la nécessité d'auditer les réponses des IA, et d'identifier leurs biais potentiels, afin de fournir des IA qui soient dignes de confiance. Le code de *TreeFinder* est disponible sur *GitHub*. ^A

github.com/Pangasius/TreeFinder

Les robots-taxis arrivent

Il a fallu attendre longtemps, et dépenser beaucoup d'argent (plus de 100 milliards d'euros en 15 ans), mais la voiture sans chauffeur est désormais une réalité. Les robots-taxis de la firme *Waymo*, des SUV *Jaguar* blancs avec une tourelle sur le toit parcourent désormais les rues de San Francisco, mais aussi Los Angeles, Austin, et Atlanta. En Chine, plusieurs opérateurs sillonnent les villes de Pékin, Shanghai ou encore Shenzhen. Et très bientôt, ces voitures arriveront en Europe, comme à Londres en 2026. Le temps est loin où l'on se moquait des véhicules autonomes paralysés à un carrefour. Désormais, ces véhicules roulent à 50 km/h, doublent en souplesse voitures et scooters, anticipent les feux tricolores et s'arrêtent en douceur devant les piétons qui traversent. L'IA est évidemment un élément clé de ces véhicules, qui leur permet d'analyser en temps réel leur environnement, comme la position et la vitesse des autres usagers de la route. L'essor de cette technologie est à double tranchant: alors que certaines études pointent une diminution de 85% des collisions grâce aux systèmes automatisés, le nombre d'emplois supprimés pourrait, lui, augmenter de façon spectaculaire. Or, tout le monde s'accorde à dire que la question concernant un déploiement massif de cette technologie n'est pas si, mais quand. ^A

Une voiture autonome
Waymo One Jaguar
dans les rues de
San Francisco en Mars 2025.



2^e partie

NOTION: fonctionnalités avancées

TEXTE : JULIE FIARD • JFI@EASI-IE.COM

ILLUSTRATIONS : VINCE • VINCENT_DUBOIS@ME.COM

Dans la première partie de cet article, à lire dans le n° 374, nous avons posé les bases essentielles pour bien prendre en main l'application *Notion*: pages, sous-pages et blocs de contenu suffisent à créer une organisation lisible et fonctionnelle. Nous nous sommes appuyés sur un exemple d'organisation hebdomadaire afin d'illustrer concrètement la logique de l'outil. Car *Notion* n'est pas un agenda ni un simple planificateur de semaines. C'est un espace de travail numérique à personnaliser à l'infini, capable de rassembler au même endroit des projets, des notes, des ressources ou de simples idées. Chaque utilisateur construit son propre système, en fonction de sa manière de penser et d'organiser l'information.

Dans cette seconde partie, nous allons nous intéresser à ses fonctionnalités plus avancées, pour montrer comment enrichir, clarifier et faire évoluer

un espace existant. Nous commençons par les **blocs médias**, qui permettent d'intégrer des contenus visuels, audio ou externes directement dans une page *Notion*.

Les blocs médias

Dans *Notion*, les blocs médias servent à ajouter des images, des fichiers, des vidéos ou des contenus externes directement dans une page. Ce qui permet d'intégrer dans votre système et votre organisation, des contenus issus de différentes sources afin de les consulter et les retrouver au même endroit.

⚙ Les blocs image et vidéo

Ils permettent d'intégrer un visuel directement dans une page, en lien avec le contenu qu'il accompagne (schéma, photo, vidéo, capture d'écran,...).



⚙️ Les blocs audio

Ceux-ci permettent d'intégrer un fichier sonore directement dans une page *Notion*.

→ Pour quel usage ?

- Conserver une note ou un mémo vocale,
- Garder un extrait audio lié à une idée, un projet ou une réflexion,
- Regrouper des ressources audio au même endroit que des notes écrites ou des documents.

⚙️ Les blocs code

Le bloc code permet d'insérer du code (le code est un texte technique utilisé pour paramétrer un logiciel) dans un format lisible et distinct du reste du contenu.

→ Pour quel usage ?

- Stocker du code, des requêtes ou des formules, sans qu'il se mélange au reste de la page.

⚙️ Les blocs fichier

Le bloc fichier permet de stocker ou de relier des documents directement dans une page *Notion*, sans multiplier les emplacements. Les fichiers peuvent être importés dans *Notion* ou simplement liés depuis des services externes comme *Google Drive*, *Dropbox* ou *OneDrive*.

→ Pour quel usage ?

- Accéder rapidement à un fichier sans quitter *Notion*,
- Regrouper les fichiers utiles d'un projet ou d'un dossier,
- Utiliser *Notion* comme point d'entrée vers ses documents.

⚙️ Les blocs aperçu de lien Web

Lorsqu'un lien Web est collé dans une page, *Notion* peut proposer un aperçu du contenu.

→ Pour quel usage ?

- Intégrer une page Web de référence,

- Conserver des ressources issues du Web dans un espace structuré.

Pour aller plus loin, dans l'intégration de fichiers ou autres fonctionnalités que propose *Notion*, vous pouvez également utiliser la fonctionnalité **Intégration**. Au-delà des médias internes, *Notion* permet également d'intégrer des contenus issus d'outils externes. Ces blocs d'intégration renforcent le rôle de *Notion* comme espace central, capable de rassembler des informations dispersées sans être obligé de naviguer entre plusieurs applications.

Vous pouvez intégrer de nombreux services externes courants comme :

- des documents issus de *Google Drive* (*Docs*, *Sheets*, *Slides*),
- des vidéos *YouTube* ou *Vimeo*,
- des tableaux ou formulaires,
- des outils de design ou de gestion de contenu.

Lorsqu'un lien est collé dans une page *Notion* via la commande *Intégration*, l'application propose plusieurs options d'affichage :

- lien simple,
- aperçu,
- intégration complète (*embed*), lorsque le service est compatible.

Cette fonctionnalité permet d'afficher un contenu externe directement dans la page, sans quitter *Notion*.

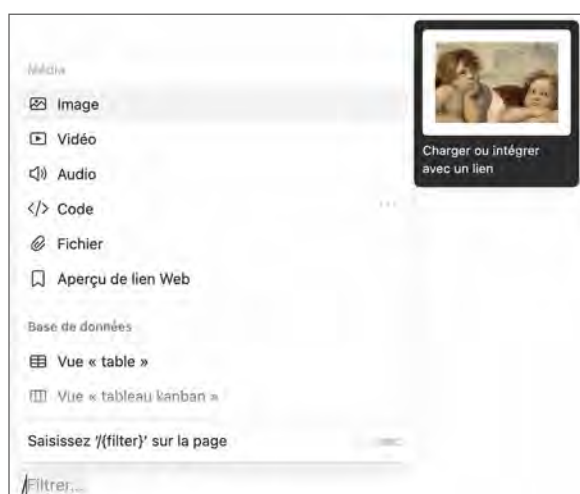
Voici un exemple concret avec *Google Maps*. Imaginez que vous avez très envie de créer un carnet de voyage pour votre prochaine aventure. Plusieurs contraintes vous freinent : vous n'avez pas envie, ni l'espace, pour emporter et porter tout au long du voyage, un carnet et un stylo. Vous n'avez pas envie de conserver physiquement des documents et autres souvenirs que vous aimeriez volontiers afficher dans votre carnet de voyage. Vous souhaitez illustrer par des cartes tous les endroits qui vous ont marqué, vous aimeriez créer votre carnet de voyage au fur et à mesure et non en rentrant, vous savez pertinemment que vous ne prendrez pas le temps. *Notion* permet précisément de répondre à ce type de contrainte

- 1 En utilisant la fonctionnalité *Intégrations* + *Google Maps*, vous pouvez afficher tous vos itinéraires directement dans la page de votre carnet de voyage.
- 2 Vous pouvez détailler et illustrer chaque jour de votre voyage en utilisant les blocs image, vidéo et audio. Les blocs image vous permettent d'envoyer n'importe quel document que vous avez préalablement scanné avec votre téléphone, sur votre page *Notion*. Des outils

pour smartphone, comme *Genius Scan* pour ne citer que celui-ci, scannent n'importe quel document imprimé et les exportent vers des applications annexes, comme *Notion*.

Si vous avez lu la 1^e partie de ce dossier, vous savez déjà comment créer des blocs. Voici un rappel si ce n'est pas le cas:

- à gauche de chaque nouvelle ligne que *Notion* vous permet de créer, vous verrez apparaître un +, qui sert à ajouter un nouveau bloc.
- Cliquez sur le + et choisissez le type de bloc dans le menu déroulant.
- Ou appuyer simplement sur la touche espace (ou /) pour faire apparaître le menu des blocs et sélectionner celui souhaité.



Certaines pages se transforment en repères de réflexion: «Intentions du mois», «Bilan personnel» ou encore «Petites victoires de la semaine». Ces usages favorisent la régularité et offrent une vision globale de ses habitudes et de leur impact sur le bien-être.

Rappel: les 6 points permettent ensuite de déplacer un bloc par glisser-déposer, afin de réorganiser la page librement, sans contrainte de structure.

Les bases de données

Jusqu'à présent, nous avons vu les principales fonctionnalités de *Notion*, les bases. Qui, à première vue, peuvent sembler familières. D'autant que les développeurs Web créent des applications d'organisation de l'information qui proposent à peu près les mêmes services. Hormis cette disposition en blocs, propre à *Notion*. C'était sans compter sur une fonctionnalité clé: les **bases de données**.

Pour comprendre les bases de données dans *Notion*, nous allons utiliser un exemple très simple

et qui pourtant pose parfois une vraie question d'organisation dans la vie quotidienne: compiler ses recettes de cuisine. L'objectif ici est de créer un espace de stockage permettant de retrouver rapidement une recette, selon plusieurs critères.

⚙ Pas à pas

1. Créez une nouvelle page et nommez-la *Recettes*.
2. Dans la page, tapez */base de données*.
3. Sélectionnez */base de données - pleine page* plutôt que */base de données - intégrée*.

Pourquoi choisir une *base de données pleine page* ? Afin de constituer un carnet de recettes central, facile à consulter régulièrement, peu importe le nombre de recettes. Elle permet aussi de naviguer facilement entre différentes vues pour retrouver une recette selon le besoin du moment. Alors qu'une table intégrée convient plutôt lorsqu'une sélection de recettes est affichée dans une page précise, par exemple un menu ou une planification.

La première colonne correspond au *nom de la recette* et chaque ligne représente une recette.

⚙ Ajouter les colonnes utiles

Cliquez sur le + à droite du tableau pour ajouter des colonnes.

Colonnes simples et efficaces :

- Type de plat: Entrée, Plat, Dessert, Snack,
- Temps de préparation,
- Ingrédient principal,
- À tester.

Ajoutez toutes les colonnes que vous souhaitez en fonction de vos besoins pour pouvoir trier et filtrer vos recettes.

💡 **ASTUCE:** si vous sélectionnez tout un tas de recettes sur internet pour pouvoir les cuisiner un jour, en ajoutant une colonne URL, vous allez pouvoir insérer le lien de la recette directement dans la base de données.

⚙ Ajouter le contenu d'une recette

Cliquez sur le nom d'une recette dans le tableau pour ouvrir la page de la recette. C'est ici que vous allez pouvoir ajouter la recette.

Dans la page dédiée à la recette, vous pouvez utiliser tous les blocs dont nous avons parlé dans la première partie de cet article: des blocs texte pour la liste des ingrédients, les étapes de préparation, des photos de votre recette, des vidéos, des notes personnelles.

💡 **ASTUCE:** créez vos recettes selon le même modèle.

Chaque recette devient ainsi une page complète, tout en restant classée dans la base. Vous pouvez également ajouter des recettes déjà existantes dans vos pages *Notion* et pas encore répertoriées dans votre base de données. Pour cela, il suffit de vous rendre sur la page de la recette: en haut à gauche de la page, à droite de son nom, la mention *Privée* est affichée, signifiant que vous seul pouvez voir cette page. En cliquant sur *Privée*, vous pouvez déplacer la recette directement dans la base de données *Recettes* préalablement créée, elle s'ajoutera et s'affichera directement dans le tableau.

Filtrer les recettes

Les filtres permettent d'afficher uniquement certaines recettes. Et c'est ici que les fonctionnalités des bases de données prennent tout leur sens, grâce aux informations fournies pour chaque recette dans les différentes colonnes.

Cliquez sur *Filtrer*, les 3 traits horizontaux en haut à droite du tableau. Le menu des filtres s'affiche au-dessus du tableau. En cliquant sur + *Filtrer*, choisissez une colonne et sélectionnez l'élément précis que vous souhaitez.

Vous pouvez filtrer plusieurs éléments dans des colonnes différentes. Les recettes non concernées restent dans la base, mais ne sont plus affichées sur votre écran. Il suffit de désactiver les filtres pour retrouver la vue complète de tous les éléments du tableau.

Créer un modèle de page

Créer un modèle de page permet de gagner du temps et d'éviter de recréer une nouvelle structure à chaque nouvelle recette. Les sections

importantes sont déjà en place, la présentation reste cohérente et chaque recette est plus rapide à saisir. Au fil du temps, cela rend la base plus agréable à consulter et beaucoup plus efficace à utiliser.

- 1 Ouvrez votre base de données Recettes.
- 2 En haut à droite du tableau, cliquez sur *Nouveau*, puis sur la *petite flèche* et cliquez sur + *Nouveau modèle*.
- 3 Donnez un nom au modèle.
- 4 Dans la page du modèle qui s'ouvre, ajoutez la structure que vous souhaitez retrouver à chaque fois, si vous avez déjà une page d'une recette qui vous convient, vous pouvez la copier/coller pour créer votre modèle.
- 5 Renseignez certaines propriétés. Comme vous pouvez le remarquer, les propriétés des recettes s'affichent automatiquement sur le haut des pages qui se trouvent dans le tableau de la base de données des recettes.
- 6 Fermez la page du modèle, il s'enregistre automatiquement.
- 7 Pour créer une nouvelle recette, cliquez sur *Nouveau* et sélectionnez le modèle *Recette type*: la page est prête à être complétée.

Le modèle de page de recettes s'affiche également dans la base de données.

Le partage de pages

Notion ne se limite pas à un usage individuel. Chaque page peut être partagée, de manière plus ou moins ouverte, selon le besoin.

Partager avec des utilisateurs *Notion*: il est possible d'inviter une personne disposant d'un compte en lecture seule, en commentaire ou en édition. Ce mode de partage est particulièrement utile pour le travail collaboratif ou le suivi à plusieurs.

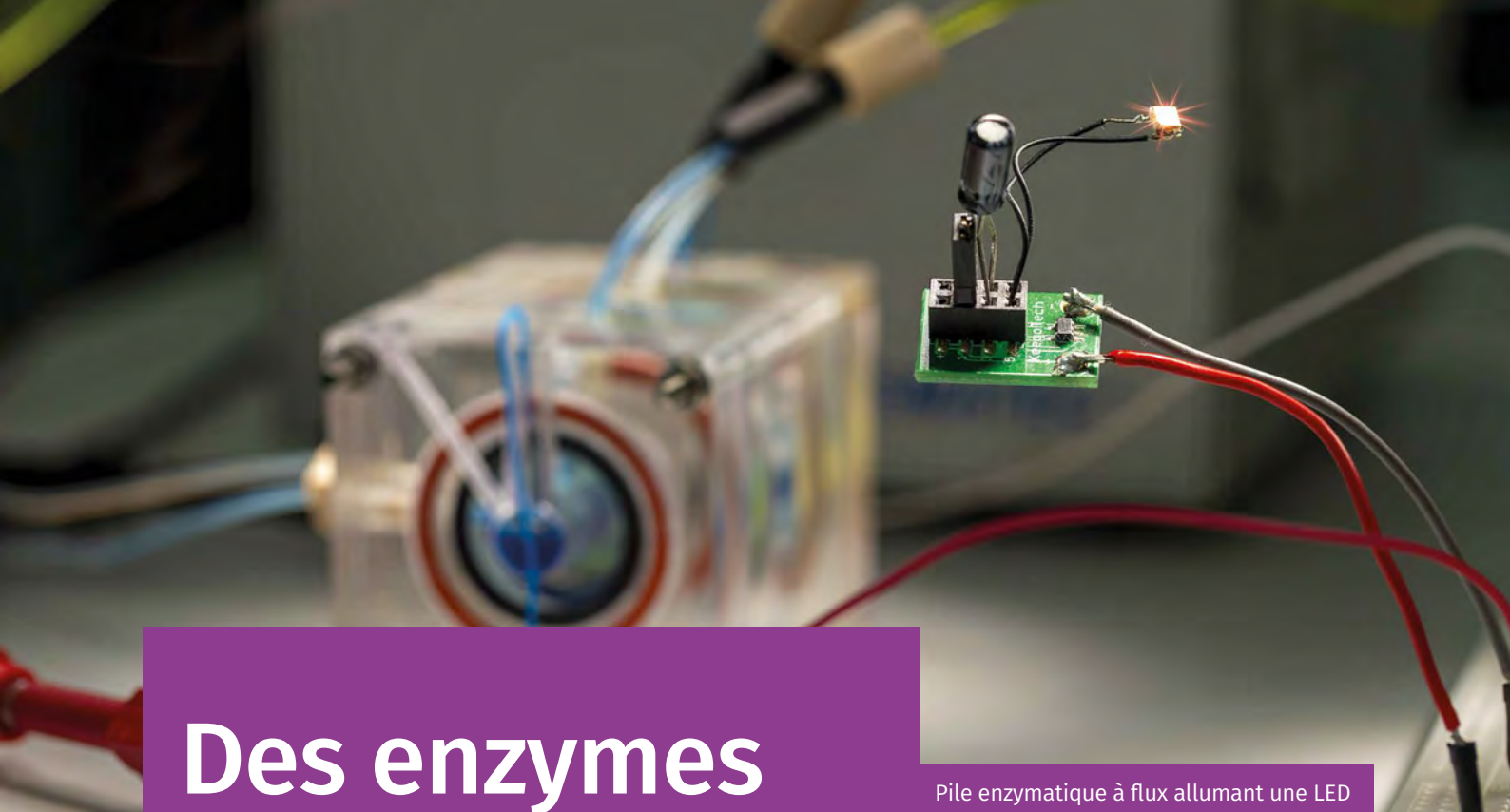
Partagez avec des personnes sans compte. *Notion* permet également de rendre une page accessible en lecture seule via un lien public, consultable dans un navigateur Web, sans création de compte. Le lien peut être désactivé à tout moment.

- 1 Ouvrez la page que vous souhaitez partager.
- 2 Cliquez sur *Partager* tout en haut à droite de la page.
- 3 Choisissez les propriétés de partage que vous souhaitez.
- 4 Cliquez sur *Copier le lien* et partagez-le.

Avec les blocs médias et les bases de données, *Notion* ne se limite plus à prendre des notes ou à empiler des informations. L'application permet surtout de construire des espaces qui tiennent dans le temps, évoluent avec les usages et restent lisibles, même quand l'information s'accumule.

Partagez-nous vos espaces *Notion* afin de nous montrer leur ingéniosité. Une question, une réaction sur un de nos articles, une expérience à nous partager: contact@easi-ie.com.





Des enzymes pour faire jaillir le courant

Et si produire de l'électricité propre revenait à copier... la chimie du vivant ? À l'Université Grenoble Alpes (UGA), des chercheurs du CNRS (Centre National de Recherche Scientifique français) développent une technologie aussi élégante que prometteuse: des piles enzymatiques à flux, capables de générer de l'électricité grâce à des enzymes, sans recourir aux métaux nobles. Une approche bio inspirée, durable, et potentiellement révolutionnaire pour l'énergie de demain (1)

TEXTE : MILAN VANDER WEE-LÉONARD • MILAN.VDWL@GMAIL.COM
PHOTO : © CHRISTIAN MOREL / DCM / CNRS IMAGES



LIEN VERS
L'ARTICLE
DU CNRS

Quand la chimie du vivant devient une pile

Une pile est un dispositif qui transforme de l'énergie chimique en énergie électrique. Elle repose sur une réaction d'oxydoréduction («rédox»), c'est-à-dire un transfert d'électrons entre deux espèces chimiques. Lorsqu'une substance s'oxyde, elle perd des électrons; lorsqu'une autre se réduit, elle les gagne. Les électrons libérés circulent alors dans un circuit externe: c'est le courant électrique.

Pile enzymatique à flux allumant une LED

Dans les piles classiques, ces réactions ont lieu sur des électrodes métalliques pour être catalysées. Le terme «catalyser» signifie qu'une substance, appelée catalyseur, accélère une réaction chimique sans être consommée. Or, la nature a trouvé depuis longtemps un autre moyen d'orchestrer ces transferts d'électrons: les enzymes. Ces protéines, produites par les êtres vivants, accélèrent des réactions chimiques avec une efficacité et une sélectivité remarquables, le tout à température ambiante et dans l'eau. Dans notre corps, elles sont omniprésentes: respiration, digestion, production d'énergie... sans enzymes, la vie serait tout simplement impossible.

Une pile enzymatique exploite précisément cette chimie du vivant. Certaines enzymes sont capables d'oxyder des molécules organiques riches en énergie, comme le glucose (un sucre), libérant des électrons. D'autres enzymes catalysent la réduction de l'oxygène de l'air, réaction complémentaire indispensable pour fermer le circuit. En reliant ces 2 demi-réactions par des électrodes et un circuit électrique, on obtient une pile fonctionnelle. Ce domaine de recherche porte un nom: la bioélectrochimie, à la frontière entre la chimie, la biologie et la physique.

Un autre concept essentiel associé à ces dispositifs est celui de la biocompatibilité. Un matériau ou un système est dit biocompatible lorsqu'il peut être en contact avec le vivant sans provoquer de réaction toxique, inflammatoire ou destructrice. Dans le cas des piles enzymatiques, cette notion prend tout son sens: les enzymes utilisées sont des molécules naturellement présentes dans les organismes vivants, et les réactions ont lieu dans

des milieux aqueux proches des conditions biologiques. Cette compatibilité avec le vivant ouvre la voie à des applications inédites, notamment dans le domaine médical, où une pile pourrait fonctionner au contact de tissus ou de fluides biologiques, sans perturber leur fonctionnement.

L'un des atouts majeurs de cette approche est l'abandon des métaux nobles. Le platine ou le palladium, excellents catalyseurs, sont rares, chers, énergivores à extraire et source de dépendances géopolitiques. Les enzymes, au contraire, sont composées d'éléments abondants (carbone, hydrogène, oxygène, azote, parfois fer ou cuivre), sont biodégradables et produites à faible impact environnemental. Se passer de métaux nobles, c'est donc rendre la pile plus durable, plus écologique et potentiellement plus accessible.

Le fonctionnement à flux continu: une pile qui respire

La particularité du dispositif développé à l'UGA réside dans son fonctionnement à flux continu. Contrairement aux piles communes, où les réactifs sont confinés dans le dispositif, proche des électrodes, une pile à flux utilise des solutions, contenant les espèces actives, stockées en externe dans des réservoirs. Ces solutions circulent en continu à travers la pile et les

réactions électrochimiques ont lieu lorsque ces fluides passent au contact des électrodes. C'est le même principe que dans les piles à combustibles (PAC) présentes dans les voitures électriques à hydrogène. Ces dernières ont un réservoir d'hydrogène (H_2) et capte l'oxygène (O_2) dans l'air pour produire de l'électricité et de l'eau (H_2O).

La pile enzymatique à flux présente plusieurs avantages majeurs. D'abord, sa puissance dépend essentiellement de la surface des électrodes, tandis que sa capacité énergétique dépend du volume de solution disponible. Il devient donc possible de dimensionner indépendamment ces 2 paramètres. Ensuite, la pile est facilement recyclable: il suffit de remplacer ou de régénérer les solutions enzymatiques, sans démonter tout le dispositif. Enfin, le fonctionnement en continu améliore la gestion thermique et la stabilité globale du système. Une véritable chimie douce !

Attention toutefois: douce ne signifie pas insignifiante. Les piles enzymatiques sont capables de fournir des courants suffisants pour alimenter des capteurs, des objets connectés, ou des dispositifs médicaux implantables. Certaines applications envisagent même d'exploiter le glucose naturellement présent dans le corps humain pour produire de l'électricité in situ. Le principal défi reste la stabilité des enzymes dans le temps, car ces protéines peuvent se dégrader. Les chercheurs travaillent donc activement sur leur protection, leur immobilisation et leur renouvellement. Dans les piles enzymatiques développées à l'UGA, on retrouve notamment des enzymes bien connues du métabolisme: la glucose oxydase ou la glucose déshydrogénase, capables d'oxyder le glucose. Côté réduction, des enzymes comme la laccase ou la bilirubine oxydase catalysent la réduction de l'oxygène de l'air en eau. Ces enzymes sont naturellement présentes chez des micro-organismes, des champignons ou certaines bactéries, où elles jouent un rôle clé dans la respiration cellulaire ou la dégradation de la matière organique.

Au-delà de la performance, cette technologie illustre une tendance forte de la chimie moderne: le biomimétisme. Plutôt que de forcer la matière avec des températures élevées ou des matériaux rares, on observe les procédés naturels... et on s'en inspire. Après la photosynthèse artificielle, les piles enzymatiques à flux montrent qu'il est possible de repenser la production d'électricité en s'appuyant sur les principes du vivant. 

DO IT YOURSELF !

Fabrique ta propre pile ! Pas d'enzymes de laboratoire chez toi ? Aucun souci: tu peux déjà explorer les bases de l'électrochimie avec une pile... au citron ! Munis-toi d'un citron, d'un morceau de zinc (ex.: clou galvanisé), d'un morceau de cuivre (ex.: une pièce «brune»), de fils électriques et d'une LED de faible puissance (ou d'un multimètre). Il existe, pour quelques euros, des kits complets dans les magasins de jouets ou en ligne).

Roule d'abord le citron sur la table pour libérer le jus à l'intérieur. Ce jus acide joue le rôle d'électrolyte, c'est-à-dire d'un milieu capable de transporter des ions, et donc des charges. Plante ensuite le morceau en zinc et celui en cuivre dans le citron, sans qu'ils se touchent, puis relie chaque métal à une borne de la LED avec les fils. Elle s'allume !

Le zinc s'oxyde en ions Zn^{2+} et libère des électrons, c'est l'anode. Tandis que le cuivre, inerte, sert de cathode en récupérant les électrons pour réduire des protons (ions H^+ venant de l'acide citrique du citron) en hydrogène gazeux (H_2). Les électrons circulent dans le fil et la LED: tu viens de produire de l'électricité ! Si cela ne s'allume pas, inverse les bornes de la LED avec ta pile (elle a un sens de fonctionnement). Si cela ne fonctionne toujours pas, c'est peut-être que les électrons ne sont pas assez «poussés»: la différence de potentiel (tension électrique) est trop faible... Il faut alors brancher plusieurs morceaux de citron en série. Chaque morceau de citron te fournira une tension de 1 Volt. Après un montage en série, si la LED ne t'éclaire toujours pas, c'est certainement que les électrons ne sont pas assez nombreux: l'intensité du courant est trop faible... Il faut donc connecter plusieurs morceaux de citron en parallèle. Je t'invite à consulter Internet pour envisager ces montages en série et parallèle.

⁽¹⁾ S. Cosnier, *J. Power Sources* 2025

 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.236990>



BIO NEWS

TEXTE : JEAN-MICHEL DEBRY • J.M.DEBRY@SKYNET.BE

PHOTOS : © HAKBAK - STOCK.ADOBE.COM (P.51), © TIBORI13 - STOCK.ADOBE.COM (P.52),
© LESIAYUN - STOCK.ADOBE.COM (P.53), © PROSTOCK-STUDIO - STOCK.ADOBE.COM (P.54),
© AUSNATIVE - STOCK.ADOBE.COM (P.54), © KEN GRIFFITHS - STOCK.ADOBE.COM (P.54)

Des requins cinéastes

On peut attribuer de nombreuses fonctions aux requins, mais on peut difficilement les imaginer cinéastes. Sauf quelques naturalistes intéressés par l'observation des espaces où ces squales se nourrissent. L'idée d'équiper des animaux de caméras n'est pas neuve et, avec le temps, s'est montrée plutôt efficace. L'originalité tient plutôt au fait que le porte-caméra est le requin tigre (*Galeocerdo Cuvier*), un animal impressionnant (3 à 4 m de long pour un poids qui peut atteindre 500 kg) et peu sélectif dans sa nourriture qui, à l'occasion, n'hésite d'ailleurs pas à s'attaquer à l'homme. Sept requins de l'espèce ont donc été capturés et équipés d'une balise et d'une caméra pour renvoyer, précisément, des images d'une bande littorale des Bahamas aux allures de prairie, que quelques herbivores viennent brouter, comme le dugong, par exemple. Outre cet aspect alimentaire, c'est surtout l'observation de la prairie marine qui a motivé le projet pour savoir si elle est, ou non, en expansion. Des satellites ont aussi été mis à l'œuvre pour opérer une estimation de la

même pelouse. Mais il est apparu à l'usage que les images venues d'en-haut manquaient souvent de précision. Rien de tel, par conséquent, que d'armer d'une caméra quelques requins qui se promènent «au ras des pâquerettes».

Ce qui apparaît, c'est que la prairie marine qui borde les Bahamas serait en croissance. Elle aurait même grandi d'un facteur 40 depuis la précédente estimation, avec une surface équivalant aujourd'hui à 3 fois celle de la Belgique, soit 92 000 km². Alors, question: pourquoi cet intérêt pour l'herbe et l'accroissement de sa surface plutôt que pour les animaux qui y habitent ou s'en nourrissent ? Déjà, l'un n'empêche pas l'autre. Mais cette prairie marine-là est en réalité un capteur apparemment efficace du CO₂ dissous. Plus elle s'étend et plus son capital sympathie s'accroît aux yeux des ceux qui voient l'accumulation de ce gaz à effet de serre d'un œil inquiet.

Voilà donc des squales de réputation plutôt négative du point de vue humain, qui se signalent comme étant de précieux auxiliaires de la cause écologique. Et tant qu'ils ne se nourrissent pas de cette herbe captatrice de CO₂ et qu'ils en éliminent les consommateurs primaires, ils ne font que gagner des points. Pourvu qu'un plongeur distrait ne passe pas par là au mauvais moment... 

► **Science, 2023; 378 : 457**



Replanter des forêts: bonne ou mauvaise idée ?

Depuis le Moyen-Âge, notamment en Europe occidentale, nombre de pays ont déboisé leur sol pour le laisser libre à l'agriculture. Mais aujourd'hui, face au risque d'un accroissement trop important de CO₂, réinitier des forêts là où elles ont été sacrifiées reste une solution écologique durable. La Chine et l'Inde, dont la surface le permet, l'ont bien compris, comme d'autres. Au total, 26 pays ont répondu à l'invitation des Nations Unies de réimplanter des forêts grâce à un montant de 16 milliards de dollars.

Sauf qu'il y a parfois de la distance entre l'intention et la réalisation. Nombre d'implantations ont été monospécifiques et peut-être peu adaptées à la nature du sol. Résultat: sur 176 sites visités après coup, il apparaît que moins d'un cinquième des arbres ont survécu après 1 an et sur d'autres, 44% seulement après 5 ans. En revanche, le taux de survie des jeunes arbres observés aux pieds de ceux qui avaient été replantés s'avère être de l'ordre de 64%.

Il est clair qu'il faut bien commencer par «quelque chose». Si le sol est délavé, les arbustes ont peu de chance de survivre; mais s'ils y parviennent, ils ramènent au sol à la fois de l'humus (né de la dégradation des feuilles) et des graines candidates à la repousse. Et l'abri forestier naissant devient une zone refuge pour toutes sortes de plantes dont les graines sont amenées par le vent ou les fientes des oiseaux qui vont y trouver un refuge temporaire ou plus définitif. L'implantation d'une forêt dans un endroit où elle n'existait plus doit être évaluée à l'aune de décennies, pas d'années. On le sait: les replantations spontanées, si on leur laisse le temps de croître finissent par occuper toute la surface si on n'y met pas un frein. Et les espèces entrent spontanément en symbiose ou en compétition. Il n'y a pas de raison qu'il en aille autrement dans des larges espaces replantés.

Après, ces essences qui s'implantent sont-elles plus ou moins captatrices de CO₂? Ce n'est peut-être pas l'essentiel; au début au moins. Il est toujours temps, ensuite, de rectifier le tir, si nécessaire. Sans oublier que les forêts ou de simples plantations d'arbres sont aussi des endroits idéaux pour se ressourcer en écoutant les oiseaux qui y ont réélu domicile... **A**

► **Science 2022; 378: 816-817**

Du poison en trompe-l'œil ?

«**C**inq fruits et légumes par jour...». Le refrain est connu. Sans distinction de goût et dorénavant, de saison, puisque les fruits et légumes voyagent le plus simplement du monde d'un continent ou d'un hémisphère à l'autre. Côté fruits, nous ne sommes pas démunis dans notre pays quand la saison s'y prête, avec les pommes, les cerises, les prunes. Un peu plus au sud, les pêches répondent à l'appel du soleil pour offrir leur chair délicate. C'est aussi le cas, des fruits secs, tels que l'amande. Tous les fruits cités ont un dénominateur commun: ils ont un noyau ou des pépins, auxquels la pulpe qui les entoure peut servir de terrain de germination si elle n'est pas consommée. Et que contiennent toutes ces graines ? De l'amygdaline. Mais encore ? Pour les chimistes, il s'agit d'un hétéroside cyanogène. Cyanogène... Un terme qui évoque assez clairement... le cyanure.

Après ingestion, l'amygdaline se transforme en effet en cyanure d'hydrogène grâce (ou à cause de ?) à l'action d'une enzyme, la bêta-glucosidase. Après avoir mangé des pépins et a fortiori, des noyaux en quantité substantielle et à condition que ceux-ci soient métabolisés, une toxicité pourrait être observée. Que

l'on se rassure toutefois: les doses supposées toxiques pour l'homme sont en effet suffisamment élevées que pour ne pas se monter dissuasives. Et encore faut-il que l'on ait l'idée de manger pépins et noyaux plutôt que la pulpe sucrée du fruit. Cette information ne doit susciter aucune inquiétude, donc chez les consommateurs des fruits évoqués. Si ce poison est présent, c'est, dans un registre évolutif, pour dissuader des petits animaux ainsi que des bactéries de s'attaquer à ce qui constitue l'élément reproductif de la plante: sa graine. On peut aussi signaler que les humains ne disposent pas du contexte enzymatique qui leur permet de digérer la cellulose (un composant de la coque des noyaux et pépins) et que ce qui est avalé entier ressort en bout de course dans le même état. Et peut-être un peu douloureusement pour les plus gros noyaux comme celui de la pêche.

Si cette observation trouve sa place ici, c'est parce que l'on a remarqué que des animaux détritiphages, comme le petit



Cultiver autrement

Plus personne, aujourd'hui, n'ignore qu'il existe un lien étroit entre notre état de santé et la composition du microbiome, l'ensemble des germes qui colonisent notre tube digestif. Le plus surprenant est que depuis bien plus longtemps, on sait que la même chose existe au niveau des racines des plantes, permettant à celles-ci de bénéficier de nutriments disponibles dans le sol de façon plus efficiente. Or, l'agriculture à grande échelle méconnaît dans une large mesure ces dispositions naturelles qui contribuent à la santé et à la vigueur des plantes ainsi que, parfois, à leur évolution. En revanche, antibiotiques, pesticides et fertilisants, plus faciles à contrôler, assurent le remplacement. Mais un remplacement plus quantitatif que réellement qualitatif.

Cela n'empêche que des recherches se poursuivent en la matière afin de voir s'il ne serait tout de même pas plus sain de remplacer une partie au moins de ces traitements massifs par un ensemencement de germes favorables aux plantes en culture. L'approche est réalisée en tenant compte de plusieurs réalités : quelles étaient les associations naturelles entre les germes du sol et les ancêtres de nos maïs, blés et aux cultivars sélectionnés d'aujourd'hui ? À quoi tiennent ces associations préférentielles au bénéfice des plantes aussi bien que des germes ?

Quelles peuvent être les interactions négatives possibles entre les différents germes mis à disposition des plantes ? Compte-tenu des modifications liées au réchauffement climatique, quelles pourraient être les associations les plus profitables dans des sols appauvris en eau ? Etc. Les domaines d'exploration ne manquent pas.

Et que l'on n'imagine pas que tout est affaire de recherche en laboratoire ; depuis que l'homme cultive et qu'il le fait attentivement, il a identifié les associations de plantes cultivées les plus à même de favoriser la croissance de l'une comme de l'autre. Les revues de jardinage sont remplies de conseils allant dans ce sens, tenant aussi compte du rôle de la fumure organique la plus favorable à la production d'un légume ou d'un autre, en fonction de la nature du sol qui les accueille.

Finalement, ce que la recherche a de plus contemporain en matière d'agronomie ne fait que reprendre, dans un registre expérimental, les découvertes sans doute plus aléatoires opérées par des jardiniers depuis bien longtemps.

Si ces bonnes dispositions pouvaient, à terme, et dans le respect des quantités produites, mener à une réduction de l'usage des pesticides et des engrais de synthèse, l'option serait gagnante pour tout le monde. On peut s'émerveiller des grandes monocultures de la Marne, entre Reims et Troyes, sur la route des vacances. On n'a qu'une faible idée des quantités de pesticides et produits phytosanitaires que de telles cultures nécessitent. Des contrôles sont certes opérés dans l'air des villes proximales. Mais substituer à ces composés jugés nécessaires quelques champignons, mycorhizes ou autres pour en réduire à la fois l'usage et le coût devrait être la bonne option environnementale... et sanitaire. Pour le bien de tous, des agriculteurs comme des autres. 

► *Science*, 2023 ; 378 : 599-600

 <https://bit.ly/3NLx28J>

► ver nématode *Caenorhabditis elegans*, ont développé une parade, grâce à un de leurs gènes qui code pour une enzyme détoxifiante. C'est ce qui leur permet, en conditions naturelles, de dégrader ces résidus de végétaux, même toxiques.

Une autre plante également riche en ce toxique est le laurier cerise ; un arbuste décoratif très présent dans les jardins et qui a cette faculté de se multiplier avec un bel enthousiasme si on n'y prend garde. Chaque été, il produit des petites baies noires en grappe (les fameuses « cerises ») qui sont consommées sans risque dans certains pays mais dont le noyau, là encore, contient de l'amygdaline. Existe-t-il un risque toxique pour les humains ? Pas vraiment, à moins d'y mettre tout l'excès possible. Il faut d'abord ne consommer que le contenu des noyaux préalablement ouverts et le faire en très grande quantité. Il va de soi que des signes d'alerte (maux de ventre, etc.) risquent de mettre un terme à l'aventure avant qu'elle ne prenne une tournure réellement toxique. Et tant qu'à chercher à s'intoxiquer, il existe d'autres produits plus efficaces et moins désagréables au goût. Mais que l'on n'y voie surtout aucune intention incitative ! 

► *Science*, 2023 ; 378 : 312





Quand l'origine s'en mêle

L'accès à la procréation médicalement assistée (PMA) est considérée par les couples hypofertiles ou stériles en attente d'enfant comme un passage obligé qui prend en général des allures de contrainte pénible. C'est vrai qu'en comparaison, la conception spontanée présente un profil éminemment plus agréable. Dans ce domaine comme en tant d'autres, il y a souvent pire ailleurs. Si ces techniques lourdes bénéficient d'un remboursement des frais médicaux depuis le début de ce siècle en Belgique, ce n'est pas le cas partout. Aux États-Unis, par exemple, l'accès à la PMA n'est possible qu'après souscription d'une assurance coûteuse qui en réserve l'accès aux mieux nantis. Tant pis pour les autres...

Mais il n'y a pas que cela. Une étude qui a porté sur près de 90 000 enfants américains nés par PMA entre 2017 et 2018 (93 469 exactement) a mis en évidence, en termes de mortalité néonatale et infantile, des différences assez considérables dans un registre « racial ». Les guillemets font référence ici à ce que les études américaines classifient comme races; en l'occurrence les caucasiens non hispaniques, les africains subsahariens non hispaniques, les hispaniques et les asiatiques; une classification qui s'inscrit dans l'histoire de la science américaine, qui est

au final peu représentative de l'origine et donc aussi de l'héritage génétique. Quoi qu'il en soit, des différences notables sont observées entre les groupes constitués. On note par exemple que les bébés nés de femmes d'origine africaine subsaharienne non hispaniques présentent un risque 4 fois plus élevés de mourir en période périnatale que des enfants conçus par des femmes caucasiennes, également non hispaniques. Quant aux 2 autres groupes, celui des hispaniques et des asiatiques, le risque est moitié moindre que chez les enfants africains subsahariens mais reste donc 2 fois plus élevé que chez les bébés caucasiens. Comme on pouvait aussi s'y attendre, le risque de mortalité est également plus élevé chez les fœtus et enfants conçus par PMA que ceux qui le sont spontanément, sans doute en raison de paramètres tels que l'âge de la mère et de la gravité de la pathologie prise en charge.

Les différences significatives étant pointées, il reste aux auteurs de l'étude à identifier ce qui fait les différences. Elles peuvent être d'origine génétique, physiologique ou simplement sociale, en lien avec les conditions d'existence des couples parentaux. Mais cela reste du domaine de l'hypothèse provisionnelle tant que celle-ci ne sera pas étayée par des valeurs chiffrées.

Toutes celles et ceux qui ont connu les contraintes de la PMA pour enfanter peuvent se sentir heureux d'avoir un enfant bien vivant, quand on découvre que 4,1% des grossesses largement en cours ou arrivées à terme (soit 1 sur 25) chez les américaines d'origine africaine subsahariennes ont mené à un décès infantile précoce. Nous ne sommes décidément pas égaux face à l'espérance de vie. Dès son origine, sinon déjà avant... A

► **Science, 2023; 380: 172**
Science, 2023; 380: 173-177



BIO ZOOM

Mais qu'est-ce donc que ce petit alien végétal plein d'yeux ou de bouches planté au bout d'une branche ? C'est le fruit, que l'on peut aussi appeler la gousse ou encore le cône (bien que ce ne soit ni un conifère, ni une sorte de pin), du Banksia. Cet arbuste, emblématique d'Australie, se caractérise par une floraison originale en forme d'épis. Un seul épi peut contenir des milliers de fleurs. Qui, quand elles sèchent, laissent apparaître ces « noix de Banksia ». Parfois de grande taille, elles sont utilisées pour le tournage du bois ou par exemple la création de nichoirs, car elles contiennent des graines.



Du soleil en beignet

Le tokamak chinois EAST vient de produire un plasma significativement plus dense que tous ceux produits jusqu'à aujourd'hui. Un exploit qu'on pensait impossible à réaliser

TEXTE : HENRI DUPUIS - DUPUIS.H@BELGACOM.NET

PHOTOS : © OLECNX - STOCK.ADOBE.COM (P.55), © EAST-IPP (P.56)

Le numéro daté du 1^{er} janvier 2026 du magazine *Science Advances* contenait un beau cadeau de fin d'année: la relation d'une avancée significative dans le domaine de la fusion nucléaire (1). L'équipe chinoise du EAST (*Experimental Advanced Superconducting Tokamak*) situé à Hefei, au centre-est de la Chine, a en effet réussi à produire dans ce réacteur de fusion un plasma plus dense qu'attendu, franchissant une limite (dite de Greenwald) qu'on pensait infranchissable. Un pas vers la domestication de la fusion ? Sans doute, même si l'on est encore (très) loin de la maîtriser pour en faire une source d'énergie exploitable.

L'aventure de la fusion nucléaire commence il y a un siècle, dans les années 1920, lorsque les physiciens constatent le «défaut de masse» de l'hélium. Autrement dit, la création de cet atome à partir d'éléments plus légers libère une grande quantité d'énergie. Plus précisément, la masse de l'atome produit n'est pas égale à la somme des 2 constituants fusionnés mais elle est inférieure. La masse «perdue» se transforme en énergie selon la célèbre formule d'Einstein d'équivalence entre l'énergie et la masse, $E=mc^2$. À la même époque, on suppose que c'est ce principe qui est à l'œuvre dans les étoiles, dont notre soleil: les atomes d'hydrogène fusionnent en atomes d'hélium dégageant une énergie colossale sous forme de rayonnement auquel nous devons la vie. Et comme l'hydrogène est l'élément le plus abondant de l'univers, la conclusion est évidente: l'humanité a conquis son graal, une énergie propre quasi infinie. Il lui suffit de reproduire sur terre ce qui est à l'œuvre dans le soleil. Pour l'anecdote, le réacteur chinois EAST est d'ailleurs surnommé le «soleil artificiel». Sauf que, de la théorie à la pratique, le chemin est semé d'embûches.

C'est le physicien allemand Hans Bethe qui a décrit le processus de fusion à l'œuvre dans les étoiles. Processus assez compliqué, qui se déroule en plusieurs étapes. Et qui commence par la fusion de 2 protons (atomes d'hydrogène sans leur électron). Or fusionner des particules dont la charge électrique est identique est



Le tokamak chinois EAST qui vient de pulvériser une limite de densité du plasma vieille de 40 ans.

⁽¹⁾ *Accessing the density-free regime with ECRH-assisted ohmic start-up on EAST.* Jiaxing Liu et al. *Science Advances*, 1 jan 2026.

⁽²⁾ Le recours à de très grandes pressions n'est cependant pas abandonné: un faisceau laser très intense peut comprimer des microbilles contenant le mélange deutérium-tritium.

⁽³⁾ Le noyau de l'hydrogène «normal», ^1H , est composé d'un seul proton; le deutérium, ^2H , a un noyau composé d'un proton et un neutron; le tritium, ^3H , a un noyau composé d'un proton et de deux neutrons.

toujours une gageure: cela n'est possible que dans des conditions de pression et de température élevées. Pour le soleil, pas de problème: sa température centrale est de 15 millions de degrés et il y règne une pression de $2,2 \cdot 10^{11}$ atm, d'où une densité de matière de 150 g/cm^3 , 150 fois celle de l'eau. À ces conditions, 620 millions de tonnes d'hydrogène sont transformées à chaque seconde en 615,7 millions de tonnes d'hélium. Des grandeurs qui posent tout de suite question: comment atteindre de telles conditions sur Terre ? La réponse est simple: on ne les atteint pas, du moins pas entièrement. Impossible en effet de comprimer un gaz à la pression faramineuse qui règne au centre d'une étoile ⁽²⁾. Mais on peut agir sur l'autre paramètre, la température. C'est ce qui a été réalisé dans les réacteurs de fusion où la température est portée jusqu'à 150 millions de degrés, bien supérieure donc à celle qui règne au cœur du soleil. Autre différence par rapport à celui-ci: on a renoncé à fusionner 2 atomes d'hydrogène (2 protons), opération trop énergétivore, mais plutôt deux de ses isotopes, le deutérium et le tritium ⁽³⁾. Même s'il n'est pas aussi répandu que l'atome d'hydrogène «normal», le deutérium, isotope stable, est abondant et fort accessible: il y a un atome de deutérium pour 6420 atomes d'hydrogène, notamment dans l'eau (un m^3 d'eau de mer en contient 33 grammes). Le tritium en revanche est un isotope instable (radioactif) qui n'existe pas à l'état naturel (sauf dans les rayons cosmiques) ce qui s'explique par sa courte période (12,3 ans) mais il est produit dans les centrales nucléaires de fission ou peut être fabriqué à partir du lithium. D'où les parois en lithium des réacteurs de fusion: les neutrons

libérés lors de la réaction frappent le lithium et convertissent certains de ses atomes en tritium.

Limite de Greenwald

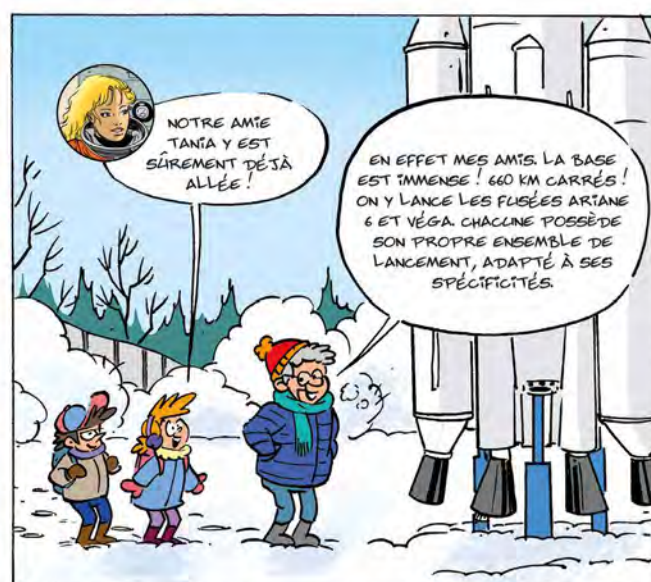
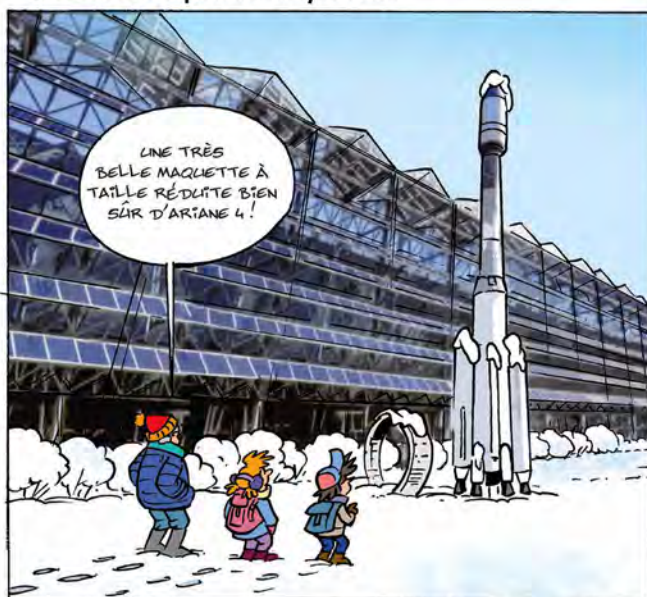
Pour que deutérium et tritium fusionnent, il faut atteindre des températures de plusieurs dizaines millions de degrés. Le gaz d'hydrogène se transforme alors en plasma, un état de la matière composé d'un mélange ionisé de noyaux et d'électrons. En fusionnant, les isotopes d'hydrogène donnent naissance à un noyau d'hélium et un neutron ainsi qu'à de la chaleur. L'hélium continue sa course dans le plasma et participe au maintien des hautes températures de celui-ci. Les neutrons frappent la paroi de lithium et, outre qu'ils en font jaillir le tritium, réchauffent cette paroi, laquelle chauffe un fluide (de l'eau) qui, transformé en vapeur, peut entraîner des turbines et ainsi produire de l'électricité. Tout ceci se déroule dans un tokamak (acronyme russe de chambre toroïdale avec bobines magnétiques), une cage en forme d'anneau (un tore, un beignet) où le plasma est confiné – il ne touche pas les parois du tokamak – grâce à la présence d'un très puissant champ magnétique (50 000 fois le champ magnétique terrestre) obtenu par des bobines entourant le plasma et par un fort courant électrique circulant dans le plasma lui-même.

Cette description très simplifiée du processus cache un problème: l'énergie fournie dépend de la densité du plasma (plus elle est dense, plus il y a d'énergie, donc de chaleur). Densité qui dépend de la quantité d'hydrogène qu'on peut injecter dans le tokamak. Or, depuis le début des essais de tokamak, les scientifiques ont constaté que s'ils essaient d'augmenter la densité, il se produit des perturbations. Au point que le confinement disparaît et que le plasma se répand n'importe où dans le tore. Une question s'est donc rapidement imposée: jusqu'où peut-on aller avant la catastrophe ? De quoi dépend cette limite ? En 1988, Martin Greenwald formule une règle empirique qui établit une corrélation entre le rayon interne du tore, le courant qui circule dans le plasma et la densité du combustible, appelée depuis «limite de Greenwald». Une limite qui a façonné la conception des grands réacteurs comme ITER dans le sud de la France. L'établissement de cette règle n'a cependant pas empêché des recherches théoriques ou expérimentales pour voir comment éventuellement la dépasser. En 2022 par exemple, une équipe de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne avait déterminé les conditions pour franchir cette limite en toute sécurité. Le tokamak chinois EAST vient de la franchir expérimentalement en produisant un plasma stable à une densité atteignant 1,65 fois la limite critique. **A**

Tania nous parle de l'Espace

Le Centre Spatial Guyanais.

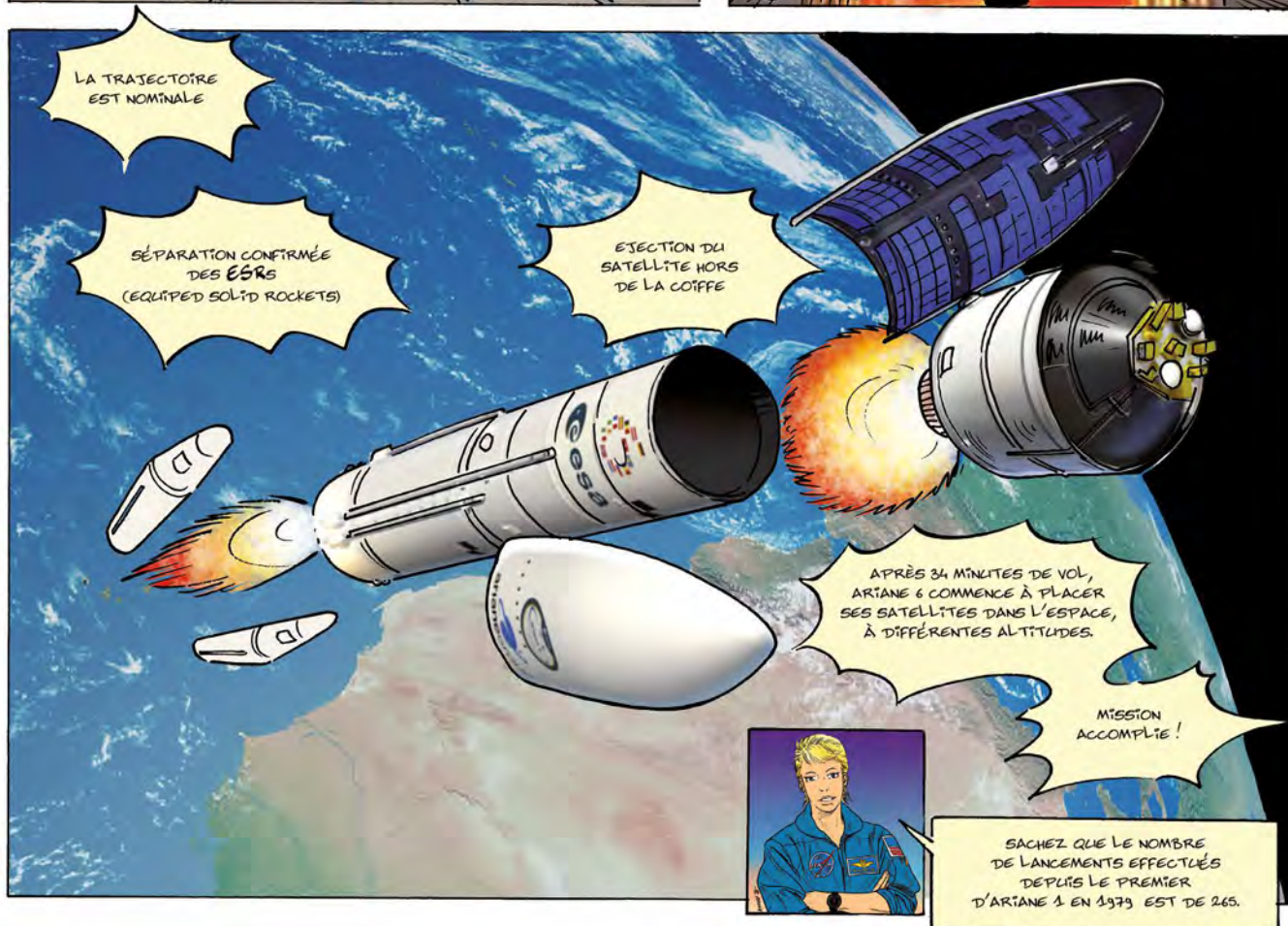
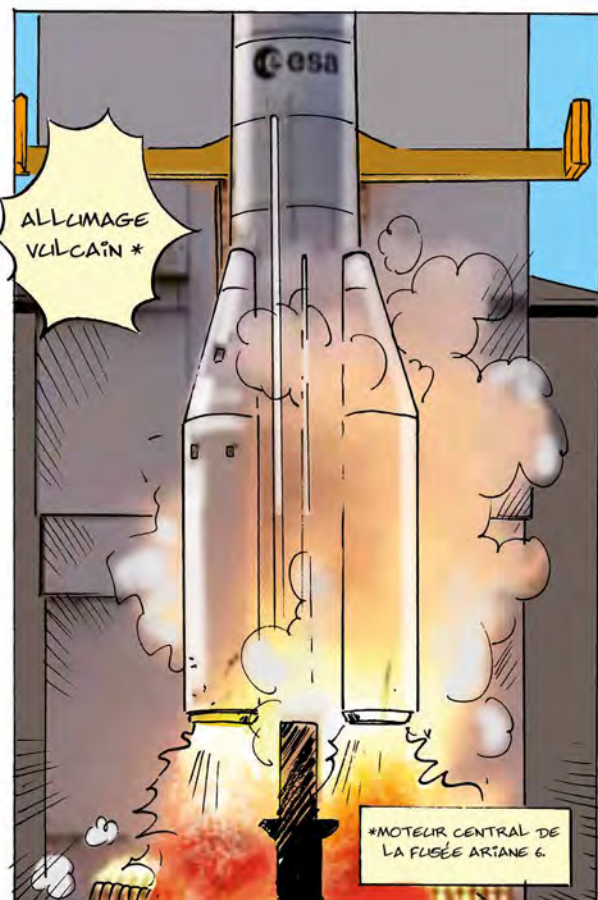
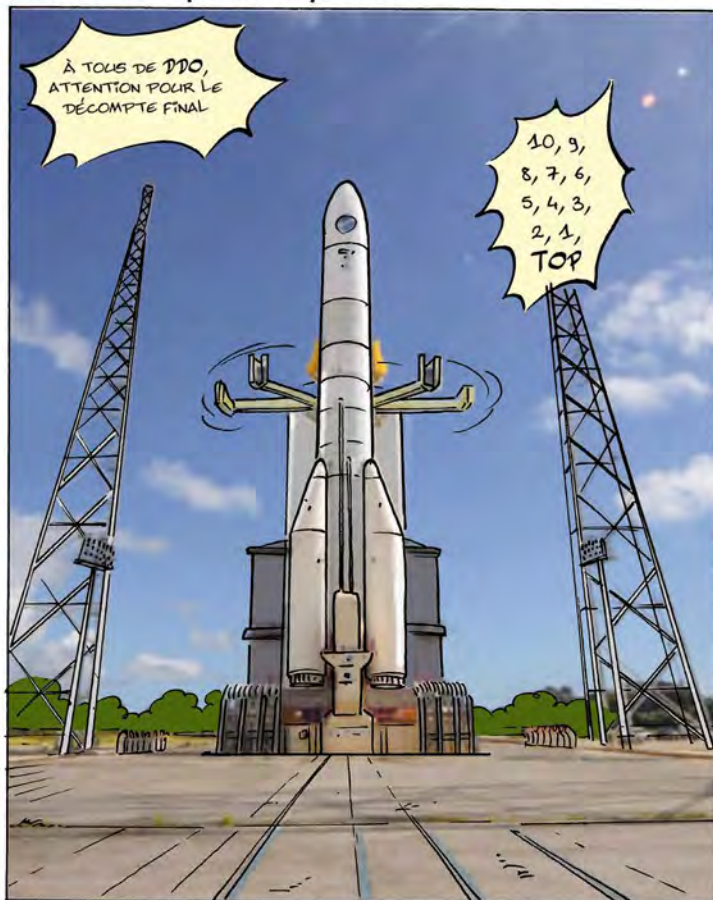
PAR
PIERRE-EMMANUEL PAULIS,
MIS ET FABIEN RYPERT



Tania nous parle de l'Espace

Le Centre Spatial Guyanais.

PAR
PIERRE-EMMANUEL PAULIS,
MIG ET FABIEN RYPERT



Les anecdotes spatiales de Tania

PAR PIERRE-EMMANUEL PAULIS & OLIVIER SAIVE



L'origine du mot Ariane.

C'est le ministre français du Développement industriel et scientifique (de 1972 à 1974), Jean Charbonnel, passionné de mythologie grecque, qui décida du nom. Il justifia son choix, appuyé par le président Pompidou: «Le fil d'Ariane symbolisait le cheminement difficile d'un projet qui avait tout de même abouti à sortir du labyrinthe des échecs».

L'excellente situation du CSG.

Le Centre Spatial Guyanais est idéalement placé pour lancer les fusées en orbite équatoriale. En effet, la vitesse de rotation de la Terre y est de 1 670 km par heure. Un avantage considérable afin d'atteindre la vitesse orbitale de 28 000 km/h à 400 kilomètres d'altitude.



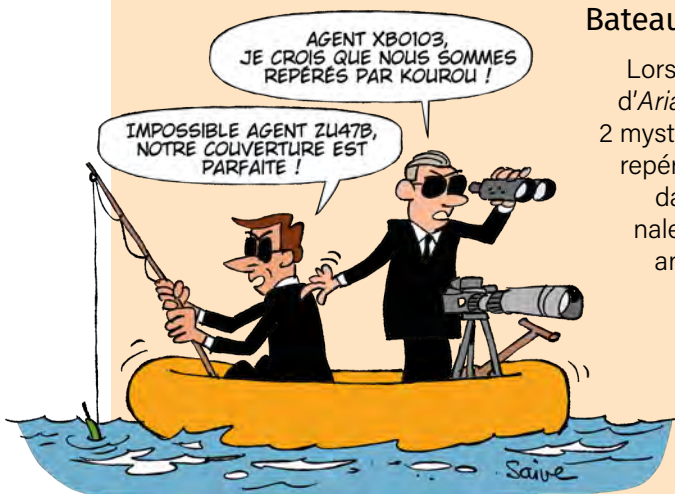
Il faut localiser une fuite ...

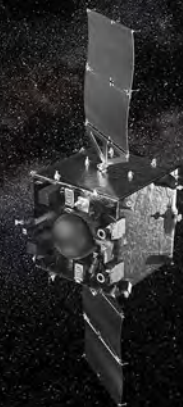
Lors de la préparation d'une fusée Ariane, les techniciens avaient détecté une fuite d'hélium mais impossible de la localiser... ils eurent l'idée d'utiliser ... un préservatif afin de voir là où il allait se gonfler. Un technicien se rendit donc dans une pharmacie de Kourou afin d'en acheter. La tête de la pharmacienne quand il lui demanda une ... facture, afin de se faire rembourser !



Bateaux espions.

Lors du premier lancement d'Ariane, en décembre 1979, 2 mystérieux chalutiers furent repérés au large de Kourou, dans les eaux internationales. Il est certain que les antennes dont ils étaient bardés n'étaient pas destinées à étudier les bancs de poissons !





La Belgique au service de l'ESA

Spacebel et *OHB Italia* concluent un accord pour le logiciel embarqué de la mission *RAMSES* de l'ESA en vue du rendez-vous avec l'astéroïde Apophis. *RAMSES* signifie *Rapid Apophis Mission for Space Safety* (mission rapide Apophis pour la sécurité spatiale). Cette mission de l'Agence spatiale européenne escortera et étudiera l'astéroïde Apophis lors de son survol exceptionnellement proche de la Terre en avril 2029. *Spacebel* fournit le logiciel embarqué pour *RAMSES*, un composant essentiel qui va gérer l'ensemble du vaisseau spatial, l'équipement de la plate-forme et les instruments de charge utile tout au long de la mission

TEXTE: GEOFFREY VAN HECKE - GEOFFREY@BVHCO.BE

PHOTOS: © ESA (P.56), © OHB-ITALIA (P.57), © ESA (P.57), © ALONES - STOCK.ADOBE.COM (P.58), © SPACEX (P.58), © ADAM MAKARENKO / W.M. KECK OBSERVATORY. (P.58), © NASA, ESA, CSA, RALF CRAWFORD (STSCI) (P.58)

À propos d'Apophis et de *RAMSES*

Le 13 avril 2029, Apophis, un astéroïde de 375 mètres de large, passera à environ 32 000 km de la Terre. Pendant quelques heures, cet objet rocheux sera visible à l'œil nu depuis l'Europe et l'Afrique. Ce type de passage rapproché ne se produisant qu'une fois par millénaire, il offre une occasion unique d'étudier en temps réel comment un astéroïde proche de la Terre réagit à une puissante force gravitationnelle.

Grâce à *RAMSES*, les scientifiques obtiendront des informations très détaillées sur la structure, la composition, la trajectoire et la rotation de l'astéroïde en réponse à des forces externes. Ces informations sont également essentielles pour affiner nos stratégies de défense planétaire en cas de menace future d'un objet proche de la Terre.

Construit et dirigé par *OHB-Italia*, en coopération avec l'équipe du consortium, le vaisseau spatial *RAMSES* emportera plusieurs instruments scientifiques et déploiera 2 CubeSats afin d'étudier Apophis de près et de maximiser le rendement scientifique de la mission.

Le véhicule spatial *RAMSES* de l'ESA effectuera un rendez-vous avec Apophis avant qu'il ne passe près de la Terre et accompagnera l'astéroïde pendant son survol pour observer la manière dont la gravité de notre planète le déforme et le modifie.

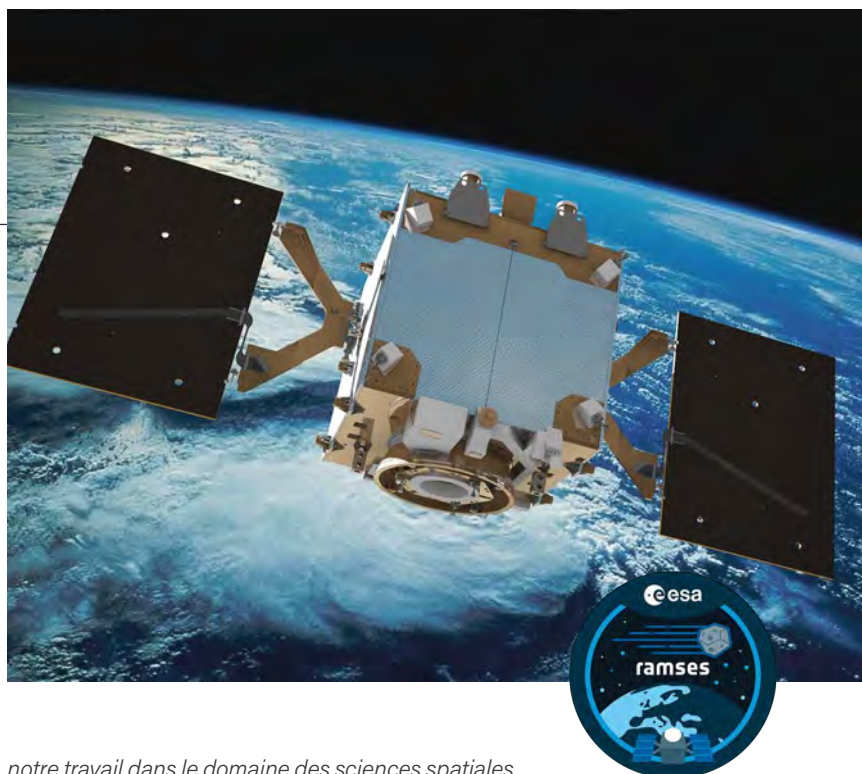
Le lancement de *RAMSES* est prévu en 2028 afin d'arriver à Apophis quelques mois avant le survol, ce qui permettra au vaisseau spatial d'observer l'astéroïde avant, pendant et après la rencontre.

Spacebel & RAMSES

Spacebel est responsable de la conception et du développement du logiciel central de *RAMSES* en capitalisant sur le développement d'*Hera* et de *Comet Interceptor* tout en maximisant la réutilisation des composants logiciels centraux. Ce logiciel de vol, qui fonctionne sur l'ordinateur de bord, assure les fonctions en temps réel du vaisseau spatial principal, notamment la commande et le contrôle des sous-systèmes, des équipements et des instruments embarqués, en particulier la caméra, utilisée à la fois pour l'observation et la navigation. Il gère les instructions opérationnelles et les mesures à bord et met en œuvre les algorithmes de contrôle et de traitement des données scientifiques. Il assure les communications bidirectionnelles entre le vaisseau spatial principal et ses 2 CubeSats, ainsi qu'entre le vaisseau spatial principal et la Terre.

Spacebel fournit également l'installation de validation logicielle (SVF), qui permet la validation complète des logiciels embarqués en modélisant les différents éléments du satellite, tels que l'ordinateur de bord, les équipements de la plateforme et les instruments de charge utile.

Éric Lardinois, PDG de *Spacebel*, explique avec fierté: «*Déjà étroitement impliquée dans diverses contributions logicielles essentielles à Hera, la première mission de défense planétaire de l'ESA, Spacebel joue une fois de plus un rôle clé dans une mission spatiale ambitieuse. Ce nouveau projet représente une nouvelle étape importante pour notre entreprise. Avec RAMSES, nous réaffirmons notre engagement en faveur de l'excellence, de l'innovation et de la responsabilité dans le domaine spatial. De plus, cette mission extraordinaire met en évidence notre objectif, à savoir contribuer à la sécurité et à la durabilité de la planète et inspirer l'exploration spatiale en concevant des solutions pour l'écosystème spatial global. Dans ce contexte, nous sommes également heureux de poursuivre notre partenariat de longue date avec OHB-Italia, soulignant ainsi les valeurs communes qui guident*



notre travail dans le domaine des sciences spatiales et de la défense planétaire.»

Spacebel en quelques points:

- Société belge créée en 1988
- Active dans le secteur spatial, la défense et la gestion de l'environnement & du territoire: conception, développement, intégration et validation de systèmes logiciels au sol ou embarqués; applications de l'observation de la Terre.
- Effectifs: 110 personnes en Belgique (Liège et Hoeilaart) et en France (Toulouse)

Quelques mots sur le Newspace

Jusqu'au début des années 2000, l'espace était l'affaire des États, des pays. Mais depuis, des acteurs privés, entreprises multinationales ou startups, investissent le secteur. C'est ce qu'on appelle le *Newspace*. La Belgique, et plus particulièrement la Wallonie, a suivi cette tendance.

Au niveau du spatial institutionnel, notre pays est le sixième contributeur global à l'ESA. Pour ceux qui l'ignorent, pour un euro investi dans les programmes de l'ESA par les autorités fédérales, les acteurs industriels et scientifiques enregistrent en général un euro de contrats directs en provenance de l'ESA, qui génère un effet levier. «*Ce dernier est souvent estimé à 3 ou 4 euros de rendement direct de cet investissement d'un euro.*» explique Vanessa Matz, Ministre fédérale en charge de la Politique Scientifique.

ThalesAlenia
Space

AMOS

AERO
SPACE
LAB

DELTA TEC

SAFRAN

constellr

Fusion
de Scan World
avec constellrSPACE
SEL

LAMBDA-X

Skywin
Aerospace cluster of Wallonia

Dans le secteur spatial, les fleurons wallons sont des acteurs majeurs en Belgique et à l'étranger: *Thales Alenia Space* (équipements pour les satellites et les lanceurs), *Aerospacelab*, qui construit actuellement la plus grosse usine de satellites en Europe à Charleroi, ou encore *Safran Aero Boosters* à Herstal. Il existe aussi *Amos* à Liège (solutions optiques) ou *Deltatec* à Ans (composants électroniques pour satellites), sans oublier *Scan World* (qui fut un des leaders wallons dans l'utilisation des données spatiales), absorbé par *Constellr*, *Lambda-X* (optique)...

Le secteur aérospatial en Wallonie constitue un pôle d'excellence technologique majeur, regroupant plus d'une cinquantaine d'entreprises innovantes, centres de recherche et acteurs industriels spécialisés. Il représente environ 2 000 emplois hautement qualifiés et se distingue par un fort taux d'internationalisation, notamment grâce à sa participation active aux programmes européens et aux collaborations avec l'ESA et de grands industriels. La Wallonie se place également parmi les régions les plus investies en R&D aérospatiale en Europe, ce qui renforce sa compétitivité et son rôle stratégique dans les chaînes de valeur spatiales et aéronautiques mondiales (1).

Skywin est le pôle de compétitivité aérospatial de Wallonie, qui rassemble entreprises, centres de recherche et universités du secteur. Il soutient l'innovation collaborative dans l'aéronautique, le spatial et les systèmes embarqués. Son rôle est d'accélérer le développement technologique, renforcer la compétitivité des acteurs wallons et favoriser leur visibilité internationale. A

(1) Source : AWEX

MAIS ENCORE...

Elon Musk promet un voyage vers Mars en 2026

Malgré les déconvenues de *Space X*, Elon Musk reste (trop ?) optimiste. La base de lancement de Boca Chica se dote d'une nouvelle tour et d'une plateforme inédite, et la fusée elle-même est modifiée avec l'intégration du block 3. Le premier vol d'essai de cette version plus puissante est attendu très bientôt, pour le premier trimestre 2026. Mais, en fin d'année 2025, le booster 18 qui devait servir, justement, à équiper cette nouvelle génération, a explosé de manière spectaculaire lors d'un simple essai au sol. Il a donc fallu construire un nouveau booster en toute hâte pour espérer faire voler le *Starship v3* sans prendre trop de retard sur le programme.



Les astronomes auraient découvert une atmosphère autour d'une exoplanète rocheuse

Près de 8 000 exoplanètes ont été détectées à ce jour. Sans pour autant avoir la preuve d'une vie extraterrestre. Toutefois, un pas vient d'être franchi. Un article publié dans *The Astrophysical Journal Letters* explique en effet qu'avec des observations du *JWST*, les astrophysiciens disposeraient maintenant de la preuve la plus solide à ce jour de l'existence d'une atmosphère sur une planète rocheuse en dehors de notre Système solaire. Plus exactement, les données fournies par le *James Webb* laissent penser que TOI-561 b abrite un océan de magma global, semblable à celui qui a probablement recouvert la Terre primitive durant l'Hadéen et qui a certainement existé à la même époque sur la Lune, océan qui serait recouvert dans le cas de l'exoplanète par une atmosphère épaisse.



Des astronomes découvrent une planète en forme de citron

À plus de 700 années-lumière de la Terre, une exoplanète atypique observée par le télescope *James Webb* bouscule les scénarios de formation planétaire. PSR J2322-2650b, déformée par la gravité d'un pulsar et dotée d'une atmosphère riche en carbone, reste un objet difficile à expliquer pour les astronomes.





AGENDA

Le mag scientifique

• PRINTEMPS DES SCIENCES (EN FWB) DU 23 AU 29/03/2026

L'esprit en éveil: 25 ans de culture scientifique

Le *Printemps des Sciences*, le rendez-vous incontournable des sciences et des technologies en Wallonie et à Bruxelles sera de retour du 23 au 29 mars 2026. Que vous soyez élèves, enseignants, curieux ou passionnés, embarquez pour une aventure scientifique et naviguez à travers de nombreuses activités et découvertes. La culture scientifique nous aide à voir le monde autrement: elle nous apprend à nous poser des questions. Grâce à elle, nous découvrons des choses cachées ou surprenantes qui rendent le quotidien plus intéressant. La culture scientifique transforme ce qui semble banal en quelque chose d'extraordinaire. Elle nous permet à la fois de mieux comprendre notre environnement, de nous questionner, et de nous émerveiller devant sa beauté et sa complexité. Le *Printemps des Sciences* est l'occasion unique de sensibiliser sur les défis environnementaux et sociétaux actuels et de célébrer les sciences et les technologies de manière éducative et ludique.

<https://www.sciences.be/printemps-des-sciences/>

• MAISON DE LA SCIENCE (LIÈGE) JUSQU'AU 23 OCTOBRE 2026

Incassables: l'exposition dont ton cerveau est le héros

Si, le jour de notre naissance, notre cerveau compte environ 100 milliards de neurones, sa fabrication est pour autant loin d'être terminée ! Notre cerveau possède une capacité étonnante... il est plastique ! Ceci lui permet de s'adapter aux événements de la vie. Conçue en partenariat avec le Centre de Culture Scientifique de Charleroi, et grâce au soutien de la Direction de la Sensibilisation du SPW Recherche, cette expo ludique et immersive nous invite à découvrir comment nos choix, nos actions et nos émotions influencent et modèlent notre cerveau. Comment pouvons-nous améliorer ses capacités, mais également apprivoiser ses côtés obscurs. Les contenus scientifiques de l'exposition se révèlent au-travers d'un parcours immersif et personnel, dicté par nos choix, nos actions et nos décisions. Il s'agit, pour nous, d'une triple expérience dans laquelle le public apprend en partant de son vécu; le musée se questionne et tente de se renouveler; les médiatrices et médiateurs scientifiques reviennent leur position face au public.

<https://www.incassables.be/>

VERS UNE SOCIÉTÉ ZÉRO CARBONE Michel WAUTELET - Éditions universitaires de l'UMONS

Et si bâtir un futur zéro carbone devenait notre plus grand défi... et notre plus grande chance ? *Vers une société zéro carbone* explore les chemins possibles pour transformer notre monde face à l'épuisement des énergies fossiles et au changement climatique. À travers des réflexions scientifiques et sociétales, l'auteur examine l'énergie, les matériaux, les transports, l'habitat et le numérique, en mêlant données chiffrées et perspectives historiques. Ce recueil accessible à tous encourage à comprendre les enjeux pour agir, en soulignant que le futur se construit aujourd'hui. L'auteur, Michel Wautelet, est professeur au Centre de Didactique des Sciences de l'Université de Mons-Hainaut, spécialisé en chimie inorganique et analytique. Il publie sur des sujets scientifiques contemporains, notamment les nanotechnologies, alliant enseignement et diffusion des savoirs.



À LIRE

ATHENA 375 Janvier-Février 2026

Tiré à 22 000 exemplaires, *Athena* est un magazine de vulgarisation scientifique édité par le Département de la Recherche et du Développement technologique du SPW Recherche.

Boulevard Cauchy 43-45-47, 5000 Namur
N° Vert du SPW: 1718 • www.wallonie.be

Abonnement (gratuit)

Vous souhaitez vous inscrire, obtenir gratuitement plusieurs exemplaires ou modifier vos coordonnées, contactez-nous !

• VIA LE FORMULAIRE SUR NOTRE SITE:
recherche.wallonie.be/formulaire-athena

• PAR COURRIEL À L'ADRESSE:
athena@spw.wallonie.be

• PAR COURRIER:
Boulevard Cauchy 43-45-47, 5000 Namur

Rejoignez-nous également sur

<https://athena-magazine.be>

<https://athena.wallonie.be>

[Facebook.com/magazine.athena](https://facebook.com/magazine.athena)

RÉDACTRICE EN CHEF

Géraldine TRAN

Ligne directe: 081 77 86 55

geraldine.tran@spw.wallonie.be

GRAPHISTE

Nathalie BODART

Ligne directe: 081 77 86 43

nathalie.bodart@spw.wallonie.be

IMPRESSION

Snel Grafics • Z.I. des Hauts-Sarts,

Rue Fond des Fourches 21, 4041 Herstal

ISSN 0772-4683 (P) • 2736-5875 (N)

COLLABORATEURS

Virginie Chantry, Jean-Michel Debry, Henri Dupuis, Julie Fiard, Thibault Grandjean, Philippe Lambert, Julie Luong, Laetitia Mespouille, P-E Paulis, Jacqueline Remits, Nathan Uyttendale, Geoffrey Van Hecke, Milan Vander Wee-Léonard

DESSINATEURS

Alsly, Peter Elliott, Fabien Rypert, Olivier Saive, Vince

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT

Jean-François HEUSE

Inspecteur général

ÉDITEUR RESPONSABLE

Lionel BONJEAN

Directeur général

COUVERTURE

Première

Crédit: © Gradual Growth - stock.adobe.com
(Généré à l'aide de l'IA)

Quatrième

Crédit: © tiber13 - stock.adobe.com

Toute reproduction totale ou partielle nécessite l'autorisation préalable de la rédactrice en chef.



Visitez nos sites

<https://athena-magazine.be>

<https://athena.wallonie.be>

<https://recherche.wallonie.be>

Rejoignez-nous sur

[Facebook.com/magazine.athena](https://facebook.com/magazine.athena)



Formulaire
d'abonnement
(gratuit)