

Mathématiques p.22

**Les maths
en jeux**

IA p.41

**L'IA
made in Belgium**



EDIWALL



ÉDITO

Puis-je vous demander votre attention (quelques instants seulement) ?

TEXTE: GÉRALDINE TRAN - RÉDAC'CHEF - PHOTOS: © IVANKO80 - STOCK.ADOBE.COM - TITRE, ID PHOTO/VIGNETTE



L'exposition massive aux écrans: est-ce que ce serait elle LE mal du siècle ? C'est en tous cas un sujet d'actualité, un sujet de débat, voire même un sujet de dispute parfois lorsque l'on se retrouve en tête à écran au resto avec sa moitié ou lorsqu'il s'agit de se mettre d'accord sur l'éducation des enfants... Quelles conséquences ont les écrans sur nos vies mais surtout sur nos facultés mentales et cognitives ? Nous rendent-ils asociaux ? Nous font-ils «perdre des neurones» ? Nous rendent-ils plus distraits ? L'«effet Flynn», soit une hausse constante des scores aux tests de QI durant l'essentiel du 20^e siècle (+ 2% par décennie), est-il toujours d'actualité depuis (en dépit de) l'apparition du (tout) numérique ? Et bien non: depuis 1990, cette tendance observe une stagnation et même une régression. Est-elle en corrélation avec l'omniprésence des écrans ? Si les raisons de cet inversement sont toujours débattues et si le QI n'est qu'un élément parmi d'autres dans l'arsenal des facultés cognitives humaines, cela soulève tout de même certaines inquiétudes, y compris au niveau de notre capacité d'attention, dans une époque où l'on entend souvent dire que les jeunes (et moins jeunes d'ailleurs) d'aujourd'hui peinent à se concentrer. Vous serez sans doute étonné mais l'attention sélective (sur une tâche particulière

en un temps restreint) en tous cas se serait légèrement améliorée ! C'est ce qu'avance Denise Andrzejewski, chercheuse en psychologie à l'Université de Vienne, sur base d'une étude réalisée sur une période de 30 ans sur plus de 20 000 sujets issus de 32 pays. Concernant les enfants: statu quo. L'on a cependant observé qu'ils répondent désormais plus vite mais en faisant plus d'erreurs qu'auparavant. Pour les adultes donc, une capacité d'attention accrue qui s'expliquerait par une capacité d'adaptation elle-même plus spécifique: le cerveau humain étant exposé à d'innombrables distractions serait parvenu à améliorer sa capacité à se concentrer brièvement sur des tâches spécifiques que lui seul est capable de réaliser pour le moment. Mais fort heureusement, l'intelligence humaine revêt de nombreuses facettes. Si certains aspects semblent un peu moins bons que par le passé, d'autres sont devenus plus performants afin de répondre à des questions de plus en plus spécialisées. Cette faculté d'adaptation, elle, me paraît être l'un des aspects essentiels et cruciaux de ce que l'on appelle l'intelligence du vivant... Et, et nous en faisons l'expérience tous les jours, elle sera sans doute la clé pour «survivre» dans ce monde... J'espère que les informations et connaissances que nous diffusons dans ce magazine vous y aideront... Bonne lecture !



SOMMAIRE

365

Janvier-Février 2024

Le mag scientifique



- 4 **Actualités** • Le monde de la recherche, des nouvelles technologies et des entreprises à la loupe
- 10 **Wall'Innove Tour** • Cognivia
- 12 **Technologie** • Voitures électriques: où en sont leurs batteries ?
- 16 **L'ADN de...** • Émilie FOCKEDEY, Spécialiste en IA
- 18 **Société** • Biodiversité: l'autre urgence
- 22 **Mathématiques** • Les maths en jeu
- 24 **Dossier** • Vaccin: pour ou contre ? Quels sont les rouages de l'hésitation vaccinale ?
- 30 **Colombe** • Aussi barje que *Barje*, elle nous partage son regard acéré sur l'actu scientifique
- 31 **Curiokids** • La Terre en surchauffe
- 35 **Santé** • Les prisonniers du sommeil
- 39 **Qui est-ce ?** • Gerty Theresa CORI
- 41 **IA** • L'IA made in Belgium
- 45 **Internet** • *Threads*: un nouveau fil de discussion
- 49 **Chimie** • Alfred Nobel et ses célèbres prix annuels
- 51 **Biologie** • Plongez au cœur des cellules et de la vie
- 55 **Physique** • Tout est (il ?) quantique
- 57 **Espace** • Quoi de neuf dans l'espace ?
- 58 **Astronomie** • Petite balade tête dans les étoiles
- 60 **Espace** • Mesure du CO₂: n'est-il pas trop tard ?
- 63 **Agenda** • À voir, à tester, à cliquer, à lire...

ACTUS



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

PHOTOS : © JUERGENL - STOCK.ADOBE.COM (P.4), © ROMASET - STOCK.ADOBE.COM (P.5), © OFF5173 - STOCK.ADOBE.COM (P.5),

© PCESS609 - STOCK.ADOBE.COM (P.6), © HALFPPOINT - STOCK.ADOBE.COM (P.7), © SEAVOLT (P.7),

© ORGAN RECOVERY SYSTEMS (P.8), © SAMABRIVA (P.8), © GUILLAUME GÉGO/MARS SOCIETY BELGIUM (P.9)

Dix ans de plus pour le glyphosate

Le 16 novembre dernier, l'Union européenne a prolongé jusqu'en 2033 l'autorisation d'utilisation du glyphosate par les agriculteurs européens. Une décision très attendue et critiquée, en raison de la vive controverse scientifique actuelle sur la toxicité de l'herbicide.

Dans les années 1970, le N-(phosphonométhyl)glycine, plus connu sous le nom de glyphosate, a été breveté par la firme *Monsanto*, en raison de ses excellentes propriétés herbicides. Elle le commercialise alors en 1974 sous le nom de *RoundUp*. La substance connaît un immense succès, et est aujourd'hui encore l'herbicide le plus utilisé au monde. Et depuis que sa formule est tombée dans le domaine public, on le retrouve dans plus de 750 produits, vendus par 90 fabricants.

Le glyphosate est un herbicide total, c'est-à-dire qu'il fonctionne sur tous les types de plantes ou presque, avec un mode d'action simple: il inhibe la synthèse d'acides aminés qui sont indispensables à leur bon fonctionnement. Majoritairement utilisé par pulvérisation, il adhère cependant mal aux feuilles et doit être utilisé en combinaison avec d'autres molécules, comme dans le *RoundUp*. Une fois absorbé, il se diffuse au reste de la plante via la sève.

Au départ, le glyphosate était conçu pour être directement utilisé sur les mauvaises herbes, afin de désherber les champs avant d'y planter les cultures. Mais *Monsanto* a ensuite conçu une méthode bien plus efficace: en modifiant génétiquement les plantes, la firme américaine a ainsi créé des variétés de soja, de maïs ou encore de coton résistantes au glyphosate. Les agriculteurs pouvaient alors épandre directement le *RoundUp* sur leurs cultures, détruisant ainsi toutes les plantes non cultivées. Cette technique est encore aujourd'hui très utilisée aux Etats-Unis, au Canada ou encore dans les grands pays agricoles d'Amérique du Sud qui exportent alors ces produits chez nous.

Car en Europe, la culture d'OGM est interdite. Pourtant, l'utilisation de glyphosate y a fortement augmenté depuis

le début des années 2000, et ce en raison de la pratique de la dessiccation. Au lieu d'être utilisé avant les récoltes, les agriculteurs l'épandent dans les champs juste avant les moissons. Cette technique permet de supprimer les mauvaises herbes présentes dans la culture, et d'homogénéiser et d'accélérer la maturité des plantes. Elle a cependant pour conséquence d'augmenter sa présence dans les produits destinés à l'alimentation, et est désormais interdite depuis le renouvellement de l'autorisation de l'herbicide.

En raison de son utilisation massive à travers le monde, on retrouve aujourd'hui le glyphosate et ses dérivés dans de nombreux milieux comme les sols, les nappes phréatiques, et jusque dans nos propres corps. En 2016, une étude allemande a montré que 99 % de la population avait des traces détectables dans leurs urines, dont plus des trois quarts de façon significative.

Une contamination qui est loin d'être anodine: de nombreuses études ont pointé sa toxicité pour la biodiversité, et le glyphosate a même été classé comme cancérogène probable pour l'être humain en 2015 par le CIRC, le *Centre international de Recherche sur le Cancer*, l'agence de l'*Organisation Mondiale de la Santé*. En 2021, l'*Inserm* en France a également conclu à des risques pour l'ADN, la santé reproductive et la santé neurologique humaines.

En dépit de ces informations, en juillet 2023, l'*Autorité européenne de sécurité des aliments* (EFSA) a une nouvelle fois conclu que l'herbicide ne présentait pas de risque majeur pour la santé ou l'environnement, avis qui a été suivi par la Commission européenne. Cette différence notable de résultats est due à la méthode d'analyse : pour rendre ses conclusions, l'EFSA se base en priorité sur des études standardisées menées par les fabricants eux-mêmes, et non par des chercheurs indépendants. De plus, la plupart des études concluant au caractère inoffensif du glyphosate l'ont été sur la substance seule, alors même que plusieurs laboratoires ont montré que les additifs utilisés pour aider l'herbicide à pénétrer dans la plante jouent un rôle majeur dans sa toxicité. **A**

L'ACTU DES LABOS

Du plastique à base de dioxyde de carbone

Des 9 milliards de tonnes de plastiques générées entre 1950 et 2017, plus de la moitié n'a été produite qu'après 2004 ! Et si la demande globale continue, on estime que la production annuelle atteindra 1,1 milliards de tonnes en 2050. Il y a donc urgence à réguler cette consommation, en diminuant les plastiques à usage unique, mais également en trouvant des solutions plus durables pour ceux pour lesquels il n'existe pas d'alternative à l'heure actuelle. Car si les plastiques vierges continuent à être massivement utilisés, c'est parce que nombre d'entre eux ne se recyclent pas, ou mal. Mais la recherche avance: une équipe de chercheurs de l'ULiège et de l'UMons a mis au point une nouvelle technique de production en y injectant du dioxyde de carbone, l'un des autres grands polluants de notre époque. Les plastiques ainsi produits possèdent une grande variété de propriétés, pouvant être très malléables, ou au contraire très rigides. Et leur structure leur permet de subir plusieurs cycles de recyclage, sans détérioration des matériaux. ^A

► Habets et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2023



Des probiotiques maternels pour lutter contre l'asthme

Dans nos sociétés occidentales, certaines maladies sont bien plus répandues que dans les pays en développement. Ainsi les allergies comme l'asthme sont en constante augmentation depuis plusieurs années. Même s'il n'existe pas encore de consensus sur la raison de ce phénomène, de plus en plus d'études montrent qu'exposer précocement les enfants à certains microorganismes rend leur système immunitaire plus tolérant vis-à-vis du monde extérieur. Ils développeraient ainsi moins d'allergies, et cela grâce à notre microbiote intestinal. Une équipe de l'Institut d'immunologie médicale de l'ULB a ainsi montré que, chez la souris, l'administration de certains probiotiques à la mère durant la grossesse diminuait les risques d'allergies et de maladies respiratoires chez les fœtus à naître. Ces résultats indiquent qu'il existe des liens entre le microbiote de la mère et le système immunitaire du fœtus, et pourraient donner lieu, une fois confirmés par des études cliniques, à de nouvelles recommandations pour les femmes enceintes. ^A

► Smout et al. *Frontiers in immunology*, 2023



La pollution marine modifie les couleurs des poissons

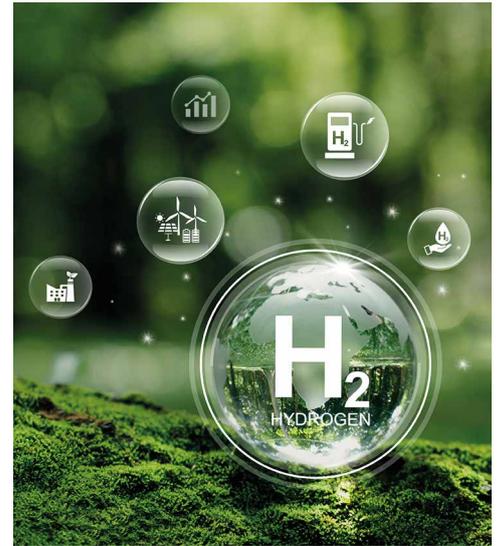
À travers le règne animal, nombreuses sont les espèces qui arborent sur leur peau, leur pelage ou leur plumage, couleurs chatoyantes et motifs en tout genre. Si nous les admirons pour leur esthétique, ces signaux visuels ont une importance cruciale pour la communication entre les individus, allant de la reconnaissance à la séduction, en passant par la dissuasion et le camouflage. Comme chez nous, la couleur présente dans la peau des poissons est due à la présence de pigments comme la mélanine. Mais elle contient également d'autres molécules, capables de lui donner cet aspect irisé si caractéristique, ou d'autres encore capables d'émettre une certaine lumière grâce à la fluorescence. Une équipe de chercheurs de l'UNamur a montré que les radicaux libres, comme le peroxyde d'hydrogène, dont la concentration augmente dans l'eau de mer suite aux activités humaines, modifiaient les propriétés de ces molécules et donc leur couleur. En se penchant sur les Grégoires d'Australie, une espèce de poissons vivant au sein de la Grande Barrière de corail, ils ont également découvert que, contrairement à ce qu'on croyait, les poissons possèdent bien comme nous 2 types de mélanine, et non une seule ! ^A

► Mouchet et al. *Optics*, 2023

De l'hydrogène vert et local ? Pas si simple

Sortir des énergies fossiles implique de les remplacer par de l'électricité. Un défi majeur, car contrairement au pétrole, elle ne se stocke pas facilement. Pour ce faire, l'une des solutions envisagées consiste à utiliser l'hydrogène: en faisant passer un courant électrique dans de l'eau, on sépare cette dernière en dioxygène et dihydrogène. Ce mode de production énergétique dépendra alors de 2 facteurs majeurs: la place nécessaire pour déployer panneaux solaires et éoliennes, et une quantité d'eau suffisante pour produire de l'hydrogène. Autrement dit, des ressources qui entrent en compétition avec les besoins humains et les systèmes agricoles. D'autant que les pays ayant le plus grand potentiel d'énergie solaire sont également ceux où l'eau se fait la plus rare, comme dans le Sahel. Une équipe internationale, à laquelle appartiennent des chercheurs de l'ULB, a publié une étude dans laquelle ils ont établi un scénario par pays à l'horizon 2050. Dans la plupart d'entre eux, moins de la moitié de la demande d'hydrogène pourra être réalisée localement. Certaines régions du monde, où espace et eau sont particulièrement abondants, comme l'Australie ou une grande partie de l'Afrique subsaharienne, pourraient alors tirer leur épingle du jeu en devenant exportatrices d'hydrogène. ^A

► Tonelli et al. *Nature Communications*, 2023



EN BREF

Les forêts ne sont pas les seuls écosystèmes capables de stocker du carbone et d'héberger la biodiversité. Dans un article paru dans *Nature Communication*, des chercheurs de l'ULB appellent également à protéger les mangroves et autres écosystèmes côtiers. En protéger ne serait-ce que 30% pourrait sauvegarder 16,3 milliards de dollars de valeur de propriété côtière, 6,1 millions de personnes et 50,7 millions de jours de pêche, et plus d'une gigatonne de carbone par an.

► Dabala et al. *Nature Communications*, 2023

Une équipe internationale, dont font partie des chercheurs de l'UNamur et de l'UMons, a publié une étude dans la revue *Nature* apportant une meilleure compréhension des mécanismes microscopiques qui conduisent à la manipulation de qubits moléculaires. Cette étude ouvre un peu plus la voie aux futurs ordinateurs quantiques où les bits, valant 0 ou 1, sont remplacés par des qubits, comportant théoriquement plusieurs valeurs simultanées.

► Gorgon et al. *Nature*, 2023

Une étude menée par des chercheurs de l'UCLouvain auprès de nouveaux-nés âgés de 4 mois a démontré que, déjà à cet âge, leur cerveau montrait une préférence pour la voix par rapport à d'autres sons de l'environnement. Ces résultats suggèrent que, comme pour les adultes, le cerveau dispose très tôt d'une zone dédiée à la reconnaissance des voix, et qu'il ne s'agit pas d'un comportement acquis avec le temps.

► Calce et al. *Current Biology*, 2023

Une nouvelle méthode pour éradiquer le gaz moutarde

Le gaz moutarde, ou ypérite, est tristement connu pour avoir été massivement utilisé durant la Première Guerre mondiale, notamment à Ypres en 1917. En Europe, cela peut sembler de l'histoire ancienne, mais saviez-vous qu'il existe encore nombre d'anciens dépôts de munitions datant de cette période et contenant du gaz moutarde ? Un casse-tête pour les chimistes qui doivent en éliminer les composants, particulièrement toxiques et dangereux pour l'environnement. De plus, ils ne peuvent pas mener des tests préalables en laboratoire, le gaz moutarde ayant été banni par la convention sur l'interdiction des armes chimiques. Une équipe de l'ULiège a cependant réussi à mettre au point un nouveau procédé sûr et économique de son élimination grâce à de l'ozone. Ces résultats ont été atteints grâce à une simulation *in silico*, c'est-à-dire en étudiant virtuellement les composants chimiques et leurs réactions, en toute sécurité. Ces expériences permettent également de prédire les conditions optimales de neutralisation, et donc de ne pas générer de déchets. ^A

► Boddart et al. *Green Chemistry*, 2023



L'ACTU DES ENTREPRISES

Le suivi du diabète par algorithme

Depuis plusieurs années, suivre et gérer son diabète est devenu bien plus simple pour les patients. En effet, au lieu de se piquer régulièrement le bout du doigt, il existe désormais des capteurs à poser sur la peau et qui permettent de suivre quasiment en temps réel sa glycémie directement sur son smartphone ou une montre connectée. Et les pompes à insuline ont également fortement progressé, se rapprochant de plus en plus du pancréas artificiel. Mais pour les enfants et les adolescents, le contrôle de la glycémie n'est pas toujours optimal avec de fortes fluctuations dues par exemple à des épisodes de forte croissance ou la puberté. Difficile à gérer quand les rendez-vous médicaux n'ont lieu que tous les 2 à 3 mois. L'hôpital des enfants de l'UZ Brussel a donc lancé une nouvelle technologie pour les enfants ayant déjà un capteur de glycémie connecté. Grâce à un capteur et l'application *Cloudcare*, leur glycémie est suivie en permanence, et transmise de façon hebdomadaire aux médecins, qui peuvent alors faire un suivi à distance bien plus régulier. Une méthode qui permet d'espacer les rendez-vous quand tout va bien, et ainsi consacrer plus de temps aux patients qui en ont le plus besoin. Une centaine d'enfants sont déjà suivis de cette manière. **A**



Des panneaux solaires flottants

Non loin du port d'Ostende flotte désormais, et pour un an, une plateforme d'essai recouverte de panneaux solaires visant à tester la possibilité de produire de l'énergie photovoltaïque en mer. Produite par la société *Seavolt*, et financée par un consortium auquel s'est associé le gouvernement fédéral, ce nouveau type de plateforme vise à compléter les parcs éoliens offshore, en multipliant les sources locales d'électricité. Un défi, car les panneaux solaires, de différents types pour l'expérience, doivent supporter des conditions autrement plus difficiles que ceux qu'on installe sur nos toits ! Ils doivent être résistants non seulement à l'eau salée, aux intempéries, mais également à la houle et aux organismes qui s'y accrocheront... Le test doit également permettre d'évaluer l'impact écologique de la plateforme, en y associant une culture de moules et d'huîtres comme organismes de contrôle. Et c'est peu dire que le photovoltaïque offshore attire les convoitises: le gouvernement néerlandais a prévu d'en installer 3 GW, l'équivalent d'un peu plus de 3 réacteurs nucléaires, dans ses propres eaux territoriales d'ici 2030. **A**



Une batterie domestique 100% belge

Lorsqu'on a des panneaux solaires, on aimerait bien pouvoir utiliser directement l'énergie que l'on produit. Problème: lorsque le soleil est au plus haut, nous sommes le plus souvent... au travail ! Dès lors, pourquoi ne pas stocker l'électricité produite ? La société *Destore* a mis au point, en collaboration avec l'UCLouvain, une batterie domestique thermique et qui n'utilise aucune terre rare. Concrètement, la batterie utilise des matériaux à changement de phase, c'est-à-dire qui emmagasinent l'énergie sous forme de chaleur, comme de la paraffine. Quand la paraffine se liquéfie, elle va absorber énormément d'énergie, qu'elle va transférer à son tour à de l'eau froide. L'eau ainsi chauffée est immédiatement disponible pour l'utilisateur, pour le chauffage ou les sanitaires. D'une durée de vie de 35 ans, facile à réparer et capable de stocker jusqu'à 8 heures de consommation, cette batterie peut être associée à un système de contrôle fait à partir de smartphones recyclés. Ce dernier optimise considérablement l'utilisation d'une pompe à chaleur en augmentant de 21% l'auto-consommation. Disponible en 2025, vous pouvez d'ores et déjà contribuer au financement participatif. **A**

6 greffes rénales en moins de 20 heures

Fin septembre 2023, 6 greffes rénales ont été réalisées en moins de 20h aux Cliniques Saint-Luc ! Cette prouesse a été notamment rendue possible grâce à une technique de préservation sur machine par oxygénation, mise au point en 2022. Pour conserver les greffons le plus longtemps possible, ces derniers sont placés dans des caissons contenant une solution froide et perfusés de façon permanente avec un liquide de préservation. En collaboration avec la société *Organ Recovery Systems*, l'*Institut de Recherche Expérimentale et Clinique* de l'UCLouvain a réussi à encore améliorer cette technique: une fois le rein dans la machine, cette dernière continue d'oxygéner uniquement la surface du liquide. Par diffusion, l'oxygène pénètre dans le tissu du rein et améliore sa préservation et son état métabolique. Le tout permet d'améliorer grandement l'efficacité du rein une fois transplanté, de diminuer les séances de dialyse nécessaires tout en augmentant le taux de survie du greffon. **A**



Le transporteur de rein LifePort® d'*Organ Recovery Systems*.



SCANNEZ-MOI



Une symbiose plante-bactérie productrice de médicaments

Une grande partie des molécules utilisées en médecine ont pour origine une substance naturelle. À l'heure actuelle, certaines d'entre elles sont d'ailleurs toujours produites directement par des plantes cultivées, car leur synthèse en laboratoire est difficile et onéreuse. Mais l'industrie pharmaceutique requiert souvent un processus parfaitement maîtrisé, ce qui peut être délicat quand on parle de végétaux, sans compter les risques de maladie et les inégalités de rendements. Pour contourner ce problème, la firme française *Samabriva*, qui s'implante actuellement en région liégeoise, a mis à profit une conséquence étonnante de la maladie dite *Hairy Root*, littéralement des « racines poilues ». Lorsqu'une plante est infectée par *Rhizobium rhizogenes*, une bactérie présente dans le sol, la plante réagit en faisant pousser un long filament blanc ! Ces filaments, qui peuvent alors être récoltés et cultivés indéfiniment en laboratoire, produisent de nombreux métabolites d'intérêt que l'on peut ensuite récupérer et purifier. Cette réaction étant due à la transmission de matériel génétique de la bactérie à la plante, il suffit alors aux biologistes de modifier certaines séquences ADN, pour pousser certaines voies de synthèse et ainsi forcer les racines à développer certaines molécules plutôt que d'autres. **A**

En Bref

Plus utilisées pour spéculer que pour faire ses courses, les cryptomonnaies s'invitent doucement dans notre vie quotidienne. Les centres commerciaux du groupe *WereldHave* les acceptent désormais pour les achats de cartes cadeaux dans les 5 centres commerciaux du pays.

Concurrent de *X*, anciennement *Twitter*, *Threads*, le réseau social créé par *Meta*, la maison-mère de *Facebook*, est arrivé en Europe en décembre dernier. Contrairement à *X*, *Threads* se veut exemplaire grâce à une modération proactive qui limite la diffusion des contenus haineux, et/ou dégradants. Lancé le 14 juillet dernier, le nouveau réseau social n'était jusque là pas disponible, en raison du très strict RGPD européen.

La Spin-off APEO de la faculté Agro Biotech de Gembloux a déposé un dossier pour l'homologation d'un bioherbicide total, susceptible donc de remplacer le glyphosate. Créé à partir d'huiles essentielles, et biodégradable, ce produit agit en plusieurs endroits de la cellule végétale, ce qui diminue les risques de développement de résistances.

Au 21^e siècle, tout doit-il aller le plus vite possible ? Pas si sûr. Le train de nuit fait désormais son grand retour en Europe. Car après Vienne, c'est à Berlin que vous pourrez vous réveiller au départ de Bruxelles-Midi. Et ces nouvelles rames, exploitées par la compagnie autrichienne *ÖBB* ont pu bénéficier des aménagements modernes: «cabine capsule» pour plus d'intimité dans les wagons-lits, couchettes plus confortables, meilleur confort sonore et pointes à 230 km/h...

INTERVIEW

Aujourd'hui l'Utah, demain mars ?

Mémorant dans le *laboratoire de Protéomique et Microbiologie* de l'UMons, Guillaume Géo s'est envolé... non pas sur Mars, mais pour le désert de l'Utah, aux États-Unis, où une base analogue permet de mener des missions de simulation, en préparation des futurs voyages sur la planète rouge. Un séjour organisé par la maison mère de la *Mars Society*, et sponsorisé par sa branche Belge.

Quel projet de recherche menez-vous là-bas ?

Je travaille sur un projet qui s'intéresse aux bactéries pourpres. Ces bactéries réalisent une photosynthèse dite anoxygénique, c'est-à-dire qui ne produit pas d'oxygène. Leur intérêt réside dans leur «nourriture»: pour effectuer cette photosynthèse, les bactéries pourpres peuvent utiliser diverses sources comme les acides gras volatils ou de l'hydrogène.

En quoi cela revêt-il un intérêt pour les astronautes ?

Ces 2 molécules sont en réalité des déchets dans l'espace ! Les acides gras proviennent de déchets humains, comme l'urine ou les fèces. Quant à l'hydrogène, il est issu de l'électrolyse de l'eau, qu'on effectue pour produire de l'oxygène. On peut ainsi espérer

recycler des déchets en un produit utilisable par l'être humain, car les bactéries pourpres sont hautement protéiques et une source de vitamines indispensables, comme la vitamine B12. Ce projet aura donc aussi, je l'espère, des retombées directes sur Terre, pour produire des systèmes d'assainissement de l'eau et de production de nourriture.

Pourquoi tester ce système dans l'Utah ?

Il s'agit d'une simulation où tout est identique à une station martienne, à l'exception de la gravité. Nous testons ce projet avec des matériaux fiables et low-cost, loin des conditions idéales du laboratoire. Car si on ne peut même pas réaliser cette expérience dans l'Utah, imaginez dans l'espace ! Imposer ces contraintes permet de se rendre compte des limites du système, que ce soit sur Terre ou sur Mars. **A**



DATA

«Admin» & «pasw00rd»

Chaque jour, des gens se font hacker leur compte e-mail ou de réseaux sociaux à cause d'un mot de passe trop simple. Dans une étude en partenariat avec des chercheurs indépendants, la société spécialisée en cybersécurité Nordpass a établi la liste des mots de passe les plus en vogue dans 35 pays. Ces données ont été obtenues grâce aux bases de données librement accessibles, dont certaines, volées, proviennent du darknet. En Belgique, le mot de passe le plus utilisé est «admin», sans doute à cause d'une configuration de base jamais modifiée par l'utilisateur. Mais on retrouve également des mots de passe à base de pokémons ou de clubs de foot. Comme toute activité numérique, la sécurité de nos multiples comptes requiert une certaine hygiène: ne jamais utiliser 2 fois le même mot de passe, ne pas choisir des mots de la vie courante, et combiner des chiffres, des lettres majuscules et minuscules, et des caractères spéciaux...



COUP D'CRAYON

OLIVIER SAIVE

Les livres de développement personnel nous vantent souvent les pouvoirs de la microsieste. Les oiseaux migrateurs l'ont bien compris, eux qui doivent parfois rester en l'air plusieurs jours durant. Mais les plus forts à ce petit jeu sont les manchots à jugulaire de l'Antarctique qui s'assoupissent jusqu'à... 10 000 fois par jour ! De 4 secondes en moyenne, ces microsiestes permettent au parent qui couve (le mâle et la femelle alternent chacun leur tour) de se reposer tout en veillant sur les œufs tandis que l'autre est parti chasser, parfois pendant plusieurs jours. Ce comportement n'est pas le seul fait étonnant de ces oiseaux: une fois que les petits ont atteint 20 à 30 jours, ils rejoignent une crèche, c'est-à-dire un rassemblement de petits sous la garde d'un ou deux adultes, qui ne sont pas forcément leurs parents. Qui a dit que la nature était forcément conservatrice ?



WALL'INNOVE TOUR: arrêt sur Cognivia

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

PHOTOS : JANNOON028/FREEPIK + PHOTOMONTAGE (P.12), © COGNIVIA/DOMINIQUE_JORDAN (P.12-13)



cognivia

CARTE D'IDENTITÉ

CRÉATION: 2013

SIÈGE SOCIAL:
Rue de Granbonpré, 11/9
1435 Mont-Saint-Guibert

**SECTEUR
D'ACTIVITÉS:**
Pharmaceutique

**MEMBRES
DE L'ÉQUIPE:**
20

CONTACT:
071 14 02 00

info@cognivia.com


Il était une fois...

Une petite entreprise qui a pour objectif de défier l'effet placebo. Pourquoi ce défi en particulier ? L'industrie pharmaceutique dépense des millions d'euros chaque année pour tenter de réduire le risque d'échec des essais cliniques. Les protocoles sont élaborés pour que les bonnes données soient collectées, les sites cliniques sont sélectionnés et le personnel est formé pour optimiser l'expérience du patient au cours de l'essai. Mais l'efficacité des études cliniques est souvent mise à mal par des facteurs psychologiques complexes, tels que l'effet placebo ou les variations liées aux sites cliniques. Pourtant, le lien entre la psychologie individuelle et les résultats pour la santé est pourtant bien connu. À lui seul, l'effet placebo entraîne l'échec de plus d'un tiers des études cliniques de phase 3. Il en découle des coûts et des enjeux énormes pour les sociétés pharmaceutiques. Plus grave, certains médicaments efficaces et indispensables aux patients sont abandonnés. Ils n'arriveront jamais sur le marché car leur efficacité n'a pas pu être prouvée.

La psychologie des patients, pièce essentielle du puzzle qui aura un impact sur les données, n'a pas été prise en compte dans la compréhension des essais cliniques. Jusqu'à l'arrivée de *Cognivia*.

Cognivia est la première entreprise à combiner la quantification de la psychologie du patient avec l'intelligence artificielle pour prédire la réponse et le comportement du patient dans les essais cliniques et les soins de santé. «Nos technologies de plateforme brevetées identifient et gèrent les principales sources de variabilité dans les données des essais cliniques», précise le CEO, Dominique Demolle. Elles améliorent considérablement le taux de réussite des essais et réduisent le risque dans le développement des médicaments. Les approches traditionnelles ont conduit à des taux élevés d'échec en phases 2 et 3, résultant de l'incapacité à démontrer l'efficacité thérapeutique. Pour contrer ces échecs, les essais cliniques ont évolué en devenant de plus en plus complexes. Ajouter les connaissances issues de la psychologie des patients à l'analyse des données était nécessaire pour révolutionner les essais cliniques et changer le paradigme. De cette manière, nous plaçons une nouvelle compréhension du patient au centre du développement de médicaments innovants.» L'activité de *Cognivia* se concentre sur le développement d'outils permettant d'améliorer la caractérisation de la réponse individuelle placebo à certains traitements thérapeutiques dans des domaines pour lesquels cet effet placebo handicape un développement clinique efficace.

Depuis 2014, la société a connu plusieurs augmentations de capital avec des investisseurs privés de renom tel que Jean-Stephane. L'année 2018 a été marquée par l'arrivée de nouveaux actionnaires parmi lesquels Jean-Pierre Delwart, *Innovation-Fund* et *Sambrinvest*.

...l'envie d'innover

Depuis 10 ans, *Cognivia* développe des solutions innovantes pour quantifier les mécanismes du cerveau. «Ces innovations sont possibles grâce à notre approche unique au monde, qui combine des modèles statistiques et de l'intelligence artificielle avec les données individuelles d'un patient, comme, entre autres, la personnalité.»

En 2021, *Cognivia* a lancé son premier produit, *Placebell*, qui quantifie la réponse placebo de chaque participant à une étude clinique. L'entreprise a validé l'efficacité de la première technologie capable de prédire l'effet placebo. «Ce premier produit a permis de quantifier l'effet placebo et d'en neutraliser les effets négatifs dans les études cliniques. Il comprend une combinaison de questionnaires, de tests sélectionnés réalisés à l'échelle de chaque patient, des traitements mathématiques des données collectées lors de ces tests, des outils de reporting, des recommandations pratiques utilisables par l'investigateur d'un essai clinique.» Désormais utilisé par de nombreuses firmes pharmaceutiques et biotechnologiques à travers le monde, ce produit à haute valeur ajoutée est très simple d'application. «Chaque patient remplit un questionnaire avant le début de l'étude, dont les données sont analysées, détaille Dominique Demolle. Le résultat est un score par patient, que l'on appelle "pronostic covariate". Ce score peut être intégré par la société pharmaceutique dans l'analyse de l'étude, exactement de la même manière qu'elle le fait pour toute autre covariable usuellement prise en compte: poids, sexe, âge, données biologiques, etc.»

Depuis lors, un 2^e produit est disponible sur le marché. Sa spécificité est de permettre des analyses «post-hoc», c'est-à-dire après obtention des résultats de l'étude. «Ces analyses corrigent les variations liées au site dans lequel les patients se rendent dans le cadre d'une étude clinique multicentrique. En effet, les patients répondent différemment au traitement suivant l'accueil reçu, la confiance générée par le personnel soignant et d'autres variables de type psychologique.» *Cognivia* collecte de façon très spécifique ces «influences» qui engendrent des variabilités significatives. «À travers la collecte de données des différents sites et pays, cette approche permet de corriger, après obtention des résultats de l'étude, les écarts attribuables aux différences de

réponses des patients suivant qu'ils aient été traités sur le site A plutôt que sur le site B.»

L'histoire ne s'arrête pas là. Profitant de cette croissance organique, un 3^e produit basé sur la même technologie a été lancé: *Compl-AI*. Cette approche centrée sur le patient prévoit les risques de non-observance et d'abandon de prise des médicaments et/ou du risque pour un patient de quitter prématurément l'étude clinique avant l'inscription des patients à un essai clinique. «Ce produit permet de mettre en œuvre des stratégies proactives pour améliorer la rétention des patients et augmenter les taux de réussite des essais. L'adaptation de l'engagement en fonction des traits de personnalité individuels transforme la dynamique de recrutement et de gestion des patients et atténue ainsi les défis de la non-observance et des abandons. Ces progrès aboutissent à une qualité de données supérieure, à des informations précises et à des essais rationalisés. Cette solution aisée à mettre en place est applicable quel que soit le domaine thérapeutique et ne nécessite aucune autorisation réglementaire. Ce qui rend la commercialisation très simple.» En innovant sans cesse par de nouvelles approches, *Cognivia* renforce sa position de partenaire incontournable pour limiter les échecs des traitements thérapeutiques en développement. L'équipe de 20 personnes de très haut niveau scientifique y travaille d'arrache-pied. ⁴



QUI EST DOMINIQUE DEMOLLE, CEO ?

Dominique Demolle occupe la fonction de CEO de *Cognivia* depuis sa création en 2013. Après son doctorat en biochimie à l'ULB, elle rejoint le groupe de recherche clinique de *GD Searle*, puis celui d'*Eli Lilly*. Au sein de ce groupe, elle occupe des postes avec des responsabilités croissantes, notamment à l'unité de recherche clinique *Lilly* d'Indianapolis aux États-Unis et à la direction opérationnelle européenne, pour finalement devenir Associate Director des Opérations Mondiales de la phase précoce. En 2007, elle cofonde et développe la société de consultance *Aepodia*, dédiée au soutien des sociétés pharmaceutiques et biotechnologiques dans la phase précoce de leurs recherches cliniques.



Voitures électriques : où en sont leurs batteries ?

En passant d'un moteur à explosion à un moteur électrique, les voitures changent de carburant. Exit le pétrole, bonjour la fée électricité ! Mais si les moteurs électriques sont bien plus performants que leurs compères à essence, faire le plein d'électrons s'avère plus compliqué que de sans plomb

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

PHOTOS : © PHONLAMAIPHO - STOCK.ADOBE.COM (P.12), © NAEBLYS - STOCK.ADOBE.COM (P.13), © FREEDOM_WANTED - STOCK.ADOBE.COM (P.14), © ROMASET - STOCK.ADOBE.COM (P.14), © DAKAR 2024 (P.15)

Le 29 avril 1899, une course automobile est organisée par la revue *La France Automobile* sur une piste de 2 km de long dans les Yvelines, près de Paris. Sur la piste, 2 voitures s'opposent : la «Duc», du constructeur *Jeantaud*, affronte la «Jamais Contente», construite par la *Compagnie Générale Belge des Transports Automobiles Jenatzy*, et pilotée par l'ingénieur belge Camille Jenatzy. C'est cette dernière qui remportera la course, dépassant au passage et pour la première fois les 100 km/h sur terre. Cette course pourrait paraître anecdotique, à un détail près : les 2 véhicules fonctionnaient... à l'électricité ! En effet, au début du 20^e siècle, les voitures électriques occupaient près d'un tiers du marché automobile. Simples d'utilisation, elles étaient préférées par beaucoup aux moteurs à explosion et ceux à vapeur.

Pourtant, pendant plus de 100 ans, et notamment grâce au succès de la *Ford T* en 1908, ce sont les voitures à essence qui ont largement dominé nos routes, en dépit de quelques tentatives ponctuelles de faire revivre le moteur électrique au fil des ans. Car en 1899 comme en 2024, faire rouler une voiture électrique sur de grandes distances nécessite de lourdes batteries. La «Jamais Contente» pesait en effet 1 450 kg, dont la moitié provenait de ses batteries au plomb.

Place au lithium

Cette domination du pétrole arrive cependant à son terme. Avec le réchauffement climatique,

l'Europe a sonné la fin des moteurs à essence, trop émetteurs de CO₂. En 2035, leur vente sera interdite dans l'Union européenne, et les moteurs électriques reviennent donc en force. Et pour les alimenter en énergie, c'est la technologie des batteries lithium-ion qui a été plébiscitée par les constructeurs. Inventée dans les années 1970, puis progressivement améliorée dans les années 1980 jusqu'à sa première commercialisation en 1991 par Sony, la batterie Li-ion est à l'heure actuelle la plus puissante et la plus légère. Les différents inventeurs et ingénieurs qui ont contribué à ce succès ont d'ailleurs reçu le prix Nobel de chimie en 2019. D'abord utilisées dans les dispositifs portables comme nos téléphones et nos ordinateurs, le doublement de leur capacité comme de leur durabilité au fil des recherches leur a permis de progressivement s'inviter dans nos voitures.

Comme toutes les batteries, celle au lithium-ion est composée d'une borne positive (la cathode) et d'une borne négative (l'anode). La cathode est faite d'un oxyde métallique tandis que l'anode est faite d'un mélange de noir de carbone et de graphite, comme celui que l'on trouve dans les crayons de papier. Entre ces 2 bornes, on trouve un mélange liquide qui contient les fameux ions lithium ainsi qu'un séparateur pour isoler les 2 compartiments. Lorsque la batterie est chargée, la grande partie du lithium se trouve du côté de l'anode, avec laquelle il est associé. Une fois qu'on met le moteur en marche, le lithium va alors migrer vers la cathode sous forme d'ion. Les électrons manquant, eux, vont faire le même trajet mais par les câbles qui relient les 2 bornes, générant ainsi un courant électrique. Et lorsqu'on met la voiture en charge, le phénomène inverse se produit ! «Ces 4 composants que sont l'anode, la cathode, le mélange liquide et le séparateur forment ce qu'on appelle une cellule électrochimique, révèle Frédéric Boschini, Professeur associé à l'Université de Liège, et logisticien de recherche en chef au Laboratoire GREENMat. Et une batterie est composée d'une multitude de ces 4 couches qui se superposent sous forme de feuillets.»

Une cellule ne génère finalement que peu d'énergie. Il faut donc en aligner plusieurs milliers pour obtenir la puissance électrique nécessaire à la propulsion d'une voiture. Avec pour conséquence un poids non négligeable: la batterie d'une Renault Zoé pèse 326 kg, celle d'une Tesla près de 600 ! «C'est bien parce que les voitures nécessitent une quantité importante d'énergie que les batteries sont aussi lourdes, indique le Pr Boschini. Imaginons que vous ayez des panneaux solaires sur le toit de votre maison. En moyenne, et par jour de grand soleil, vous produirez environ une trentaine de kiloWattheure (kWh). Or, une voiture consomme

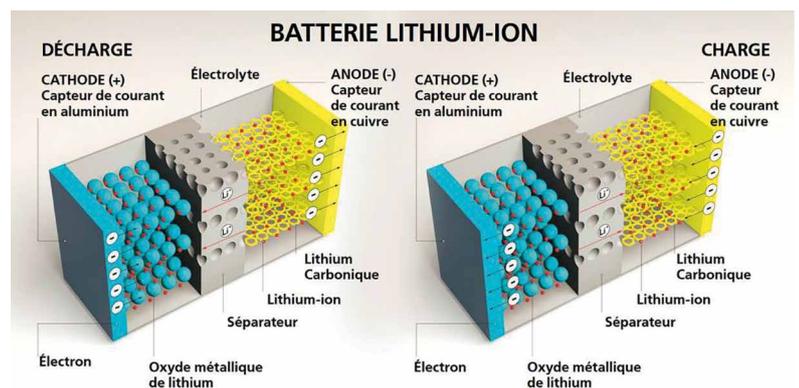
entre 15 et 20 kWh au 100 km. Autrement dit, vous pourrez faire au maximum 200 km avec la production d'électricité de toute une journée. »

Le lithium est devenu une ressource extrêmement convoitée : bien qu'il s'agisse d'un élément assez abondant dans la croûte terrestre, les gisements exploitables de ce métal sont en réalité assez peu nombreux.

Haro sur les matières premières

Si les batteries Li-ion ont été grandement optimisées au cours des 30 dernières années, cela ne les empêche pas de rencontrer plusieurs défis. Le premier réside dans le mélange liquide que l'on nomme électrolyte et que l'on trouve entre les 2 électrodes. «Il s'agit de composés fluorés et de carbonates qui sont à la fois toxiques et hautement inflammables, détaille le Pr Boschini. C'est pour cette raison qu'une batterie comporte également tout un système d'électronique embarqué. Il va détecter et gérer tout problème de surchauffe, mais également à la charge de la batterie. En effet, le dépassement d'un certain seuil de température dans la batterie peut conduire à la décomposition de l'électrolyte en produits gazeux inflammables.»

Ensuite, les batteries Li-ion utilisent des matériaux rares, au point de créer des tensions géopolitiques et économiques importantes. Le lithium, tout d'abord. Surnommé l'or blanc, en raison de son importance centrale pour le stockage de l'énergie, il est devenu une ressource extrêmement convoitée. Car bien qu'il s'agisse d'un élément assez abondant dans la croûte terrestre, les gisements exploitables de ce métal sont en réalité assez peu nombreux: il est extrait de la saumure d'anciens lacs salés, comme dans l'Atacama, au Chili. Une voiture en requiert au minimum 10 kg, et jusqu'à 200 kg pour un bus. Rien que pour les





1. Champs de lithium: étangs d'évaporation dans le désert d'Atacama au Chili - un «paysage surréaliste où naissent les batteries».

2. Test de batteries du moteur électrique.



batteries des voitures électriques et le stockage énergétique, l'UE aura besoin de 18 fois plus de lithium d'ici à 2030 par rapport à 2020, et jusqu'à 60 fois plus d'ici à 2050 !

Moins connu, les batteries Li-ion utilisent également du cobalt, un métal produit pour son immense majorité en République Démocratique du Congo. «Une majorité de batteries l'utilise au niveau de la cathode pour s'associer au lithium, explique le Pr Boschini. Or c'est la cathode qui va déterminer la densité d'énergie que la batterie est capable d'emmagasiner. Pour cette raison, certains constructeurs se détournent du cobalt pour d'autres matériaux de cathode à base de phosphate et de fer, moins chers mais qui ont des densités d'énergie inférieures. Tout cela entre dans un calcul bénéfice-coût, qui dépend de l'utilisateur final: après avoir construit de gros SUV avec d'énormes batteries, le marché est en train de changer pour des voitures plus petites, à l'autonomie plus courte, mais finalement plus proche de nos besoins réels.»

L'innovation se poursuit

Les chercheurs du GREENMat travaillent donc sur les batteries de nouvelle génération qui seront peut-être amenées à remplacer un jour celles au lithium. À ce titre, les batteries au sodium sont particulièrement étudiées. «Le sodium est un élément similaire au lithium, mais avec l'immense avantage d'être beaucoup plus abondant et plus largement distribué sur Terre, expose le Pr Boschini. Donc les batteries pourront être moins chères, et produites avec des ressources en parties locales. De plus, l'anode de ces batteries peut être conçue non plus avec du graphite, mais avec du carbone peu cristallisé, qui a l'avantage d'être une ressource renouvelable.»

Pour autant, il ne suffit pas de substituer le lithium par du sodium pour que la batterie fonctionne. «Le sodium a des capacités inférieures au lithium,

et à poids égal, les batteries seront donc moins performantes, nuance le chimiste. Mais surtout, les batteries au sodium nécessitent l'utilisation de nouveaux électrolytes, et le développement de nouveaux matériaux de cathode, ce qui change complètement le processus industriel. Certains fabricants, en Chine en particulier, commencent malgré tout à équiper leurs voitures de batteries au sodium. Je pense que, dans les années à venir, plusieurs types de batterie vont cohabiter, en fonction des différents besoins.»

Et dans une optique d'économie circulaire, les chercheurs du GREENMat visent également à optimiser les électrodes au graphite des batteries Li-ion en y insérant du silicium. «Nous sommes capables de recycler des panneaux solaires afin d'en récupérer le silicium, affirme le Pr Boschini. On peut alors lui donner une seconde vie en l'insérant dans l'anode des batteries. Cela permet de libérer de l'espace dans la batterie pour accroître la quantité de matériau de cathode et augmente ainsi les performances de la batterie.»

Quid du recyclage ?

Une chose est sûre, si on souhaite éviter une catastrophe environnementale, cet appétit gigantesque pour les batteries et le stockage de l'électricité devra aller de pair avec un recyclage performant. Or, il est difficile de recycler des objets aussi complexes qui comportent autant de composants et de minerais différents. En Belgique, la société Umicore, particulièrement pionnière dans le domaine, utilise une technique dite de pyrométallurgie. «Il s'agit d'un principe selon lequel la batterie est chauffée à très haute température, résume le Pr Boschini. On peut ensuite récupérer les différents métaux, mais on perd alors tout ce qui ne résiste pas à cette température comme le graphite.»

Selon le Pr Boschini, cependant, l'avenir est à la technique dénommée Direct Recycling: «Au lieu

de tout concasser, l'idée ici est de faire un travail de précision. On ouvre la batterie et on en retire les différents éléments pour les traiter séparément. Par exemple, avec les cycles de charge et de décharge, les cathodes perdent leur capacité à s'associer au lithium. Or, il est possible de les traiter pour les réactiver et ainsi les remettre en circulation. Une telle méthode a plus de sens écologiquement, mais cela ne sera possible que si on connaît précisément la composition des batteries auxquelles on a affaire.» Car à l'heure actuelle, les fabricants n'ont que peu d'obligations en la matière. Seules quelques données sont présentes sur les batteries, ce qui reste totalement insuffisant pour envisager un recyclage de précision. «Savoir qu'il s'agit d'une batterie au cobalt ou au phosphate de fer n'est guère suffisant, juge le Pr Boschini. Dans quelle proportion ces composés sont-ils présents, sous quelle forme ? Nous avons besoin de données précises. De même pour l'électrolyte, il est primordial de connaître sa composition exacte afin de le traiter efficacement. Or, chaque constructeur dispose de sa propre recette, et celle-ci relève bien sûr du secret industriel.»

Mais les choses sont appelées à changer. Dès le 1^{er} janvier 2026, toutes les batteries vendues en Europe seront équipées d'un QR code permettant d'accéder à un identifiant unique attribué à chaque batterie, ainsi qu'à sa composition précise. Véritable jumeau numérique, ces données reprendront en plus l'empreinte carbone totale de l'objet, depuis l'extraction minière et jusqu'au recyclage, ainsi que sa durée de vie attendue.

En parallèle, le Parlement européen prévoit d'imposer aux industriels des seuils minimum de minerais recyclés pour la fabrication de nouvelles batteries. Ces seuils devront atteindre 50% pour le lithium en 2027 et 80% d'ici 2031, et 90 à 95% pour le cobalt, le cuivre, le plomb et le nickel. Mais pour le Pr Boschini, ces normes seront d'autant plus efficaces que la production de batteries se fera en Europe: «À l'heure actuelle, l'immense majorité de la production se fait en Corée du Sud, au Japon, et surtout en Chine. Autrement dit, on cherche à imposer des normes à des produits dont on ne maîtrise pas la conception. Il est donc important de rapatrier à la fois les chaînes de valeurs et les connaissances sur ces objets.» 

TECHNO-ZOOM

UN BUGGY À L'HYDROGÈNE POUR LE DAKAR

Restons encore un peu dans le monde des 4 roues le temps d'une balade dans le désert. Le *Dakar 2024*, qui s'est déroulé en janvier dernier en Arabie Saoudite, dispose d'une nouvelle épreuve en marge de la course emblématique: *Mission 1000*. Il s'agit d'une course de 1 000 km en 10 étapes, réservée exclusivement à quelques véhicules triés sur le volet et équipés de nouvelles technologies, afin de tester leur résistance dans les très dures conditions du désert. Sur la ligne de départ, le buggy à hydrogène *Hyse-X1*, du consortium *Hyse (Hydrogen Small Mobility & Engine Technology)* et qui rassemble 4 marques japonaises: *Suzuki, Yamaha, Honda, et Kawasaki*. Contrairement aux véhicules à hydrogène actuels, qui sont des véhicules électriques alimentés par une pile à combustible, il s'agit bien ici d'un moteur à explosion, qui accepte de l'hydrogène à la place de l'essence. De plus, ce buggy de 998 cc de 1 450 kg, est en partie belge, car il repose sur le châssis de la société belge *Overdrive Racing*, et qui a été modifié pour accueillir les réservoirs de H₂.

Le consortium japonais n'est d'ailleurs pas le seul à s'intéresser aux moteurs à combustion alimenté par de l'hydrogène. En 2022, lors du rallye de Belgique WRC près de Ypres, la firme *Toyota* a utilisé une *Yaris H₂* comme voiture de démonstration, là encore avec un moteur à hydrogène. Cette dernière était équipée d'un moteur 3 cylindres 1.6 turbo, très proche de celui des déclinaisons routières, hormis quelques modifications sur le circuit d'alimentation et le système d'injection. Bien sûr, il n'est pour l'instant pas question pour les automobilistes de faire le plein d'hydrogène à la pompe du coin: ce dernier, très explosif, doit être stocké dans des réservoirs à haute pression. Mais à terme, il est probable que cette technologie, sans émission de CO₂, alimente au moins les sports automobiles, très attachés au ronronnement des moteurs...





L'ADN de... Émilie FOCKEHEY

Spécialiste en IA

en Intelligence artificielle dispensé en soirée et le week-end à la Faculté des Sciences de l'UMons. Peu importe la voie ou le domaine d'application, ce qui est passionnant dans ce métier, c'est de permettre aux humains de s'approprier les technologies et d'en tirer bénéfice. C'est une de mes convictions: la technologie doit rester au service de l'humain et de la société.

Vous travaillez actuellement en tant que Program Manager AI pour DigitalWallonia (Agence du Numérique), quelle est votre journée-type ?

Personnellement, je n'ai pas de journée-type. Notre volonté, à travers le programme DigitalWallonia4AI est d'accélérer l'adoption et le développement de l'intelligence artificielle sur le territoire wallon et le développement de l'écosystème. Nous avons l'opportunité de choisir les initiatives que nous menons pour autant qu'elles rencontrent les objectifs fixés. De manière générale, il y a 3 composantes importantes dans mon job: ① rester chaque jour en contact avec le terrain, que ce soit via des rencontres avec les experts, les acteurs de l'accompagnement, de la formation ou de la recherche, les entreprises ou les citoyens pour mettre en oeuvre les initiatives et actions qui auront du sens et de l'impact ② répondre aux sollicitations des entreprises et des citoyens ③ avancer sur des sujets de fond et la mise en place de toutes ces initiatives.

Quels sont vos rapports avec la science ? Quels sont vos premiers souvenirs «scientifiques» ?

J'ai toujours adoré les mathématiques et la logique. Je trouve ça fascinant. C'est un jeu en quelque sorte ! Au niveau familial, j'ai un père médecin et une maman infirmière. J'ai également plusieurs oncles ingénieurs qui avaient toujours tendance à analyser les choses de manière bien structurée, ce que j'ai toujours adoré !

Recto

Travailler dans le secteur de l'Intelligence artificielle, c'est une vocation que vous avez depuis toute petite ?

Jusqu'en rhéto, je ne savais pas trop vers quoi me diriger. J'oscillais entre la diplomatie, le droit international, les langues orientales ou encore les filières scientifiques. Finalement, j'ai décidé de m'orienter vers des études d'ingénieur civil car c'était pour moi, l'option qui m'offrirait le plus d'opportunités. Ce que j'apprécie énormément, c'est travailler dans des environnements technologiques, en abordant une multitude d'aspects différents.

Comment devient-on spécialiste en IA ?

Pour moi, il n'y a pas qu'un seul type de spécialiste en IA, et donc pas qu'un seul chemin. On peut être spécialiste sur les aspects éthiques, légaux en IA ou encore développer soi-même des algorithmes. Pour ma part, j'ai opté pour un certificat complémentaire universitaire

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

Notre objectif est de pouvoir toucher l'ensemble de la population. La plus grande difficulté est de pouvoir toucher les personnes qui sont les plus éloignées de nos réseaux tout en ayant un impact élevé.

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

Je n'ai pas un moment particulier en tête. Ce que j'aime tout particulièrement, c'est vivre des victoires en équipe. Passer de ce que j'ai imaginé et conçu, jusqu'à la réalisation, en ayant fait travailler de concert toute une équipe, je trouve ça très galvanisant. À titre d'exemple, j'ai géré une équipe d'experts en vue de designer un nouvel équipement et nous avons été jusqu'au dépôt de brevets. Ou encore lorsque j'ai travaillé dans le secteur bancaire où j'ai mis sur pied 7 équipes de

projet afin d'opérationnaliser une série de directives.

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

Entretenir sa curiosité et suivre son intuition et ses envies. Pour ma part, j'ai suivi le certificat universitaire en intelligence artificielle de l'UMons déjà en 2019-2020 "Hands on AI" car j'avais envie de mieux comprendre ce qu'était l'intelligence artificielle et ses applications, sans penser à ce moment-là que je travaillerai dans ce monde-là. Juste par curiosité. Et puis, quand j'ai vu 3 fois l'offre pour le job de co-responsable du programme wallon en IA, je me suis dit qu'il n'y avait pas de hasard 😊



Émilie Fockedeey

ÂGE: 40 ans

PROFESSION:
Co-responsable du programme DigitalWallonia4AI, le programme wallon en intelligence artificielle

FORMATION: Ingénieure civile en mécanique à l'UCLouvain. Certificat universitaire en IA (Hands on AI) à l'UMons.

MAIL:

emilie.fockedeey@agoria.be

www.digitalwallonia.be/ia

Verso

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

Je trouve le métier de médecin fabuleux. J'aurais aimé être chirurgienne cardiaque ou gynécologue.

Je vous offre un super pouvoir...

J'ai longtemps hésité... J'adorerais parler de manière très fine toutes les langues du monde.

Je vous offre un auditoire...

J'adorerais être devant un grand auditoire d'enfants de 6^e primaire et leur montrer ô combien les sciences et les mathématiques sont fabuleuses.

Je vous offre un laboratoire...

Je choiserais un laboratoire visant à développer de nouveaux médicaments, avec l'aide de l'intelligence artificielle bien évidemment !

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

Un smartphone de par sa multitude d'applications et de fonctionnalités rassemblées dans un seul appareil. Cela a complètement changé les habitudes mais aussi les relations. Ce que j'aime tout particulièrement par exemple, c'est écouter des podcasts du monde entier ou encore que cela nous a rendus plus proches des parents simplement en leur envoyant régulièrement des photos des enfants via WhatsApp ;-)

Je vous offre un voyage...

Dans l'espace ! Ce serait juste... vertigineux !

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

J'aurais dit Kelvin Kiptum, recordman du marathon en 2h et 35 secondes, qui nous a malheureusement quittés il y a quelques semaines. J'ai moi-même couru un marathon et je suis toujours impressionnée par l'état d'esprit de ces sportifs de haut niveau qui allie excellence et détermination. Je pense également à Jacinda Ardern, ancienne première ministre de Nouvelle-Zélande, reconnue pour son leadership bienveillant.

La question « a priori »: Vous travaillez pour un secteur dont on pense qu'il va faire disparaître de nombreux métiers occupés jusqu'ici par des humains, on ne fait pas d'omelette sans casser des œufs ?

En effet, de nombreux métiers vont être amenés à évoluer, certains vont disparaître. Comme cela a déjà été le cas par le passé. On a bien sûr tendance à penser aux métiers qui vont disparaître mais pas à ceux qui vont être créés grâce à ces innovations technologiques. Effectivement, cela demande de continuer à se former et à se développer pour pouvoir accéder à ces nouveaux métiers et de s'assurer que ce soit le cas pour tout le monde afin d'éviter d'accentuer la fracture numérique. Il y a donc bien sûr de grands enjeux de formation liés à de belles perspectives d'évolution.

En savoir



Certificat en Intelligence artificielle de l'UMons:

<https://web.umons.ac.be/fr/recherche/intelligence-artificielle-ia/>



Biodiversité: l'autre urgence

Au moins 1 million d'espèces animales et végétales - plus d'1 sur 8 - sont actuellement menacées d'extinction. Cet effondrement de la biodiversité, largement documenté, est principalement causé par le changement d'utilisation des sols (déforestation, artificialisation), qui détruit l'habitat des espèces. Avec des répercussions en cascade, qui se combinent aux effets du réchauffement climatique

TEXTE: JULIE LUONG - JULUONG@YAHOO.FR

PHOTOS: © OLIVIER - STOCK.ADOBE.COM (P.18), © ERNI - STOCK.ADOBE.COM (P.19),

© KAREL - STOCK.ADOBE.COM (P.19), © CREATIVENATURE.NL - STOCK.ADOBE.COM (P.19)

© ERIC - STOCK.ADOBE.COM (P.21), © ALEXANDER - STOCK.ADOBE.COM (P.21)

Aux côtés du réchauffement climatique, les scientifiques alertent régulièrement sur une autre catastrophe annoncée: celle de l'effondrement de la biodiversité. Apparu dans les années 80 et inscrit en 1992 dans la Convention sur la diversité biologique de Rio de Janeiro, le terme de «biodiversité» désigne la diversité - immense et multidimensionnelle - des êtres vivants sur la planète. «Il y a 2 aspects dans la biodiversité: un aspect de nombre et un aspect de variété», explique Nicolas Schtickzelle, professeur d'écologie et de conservation à l'UCLouvain. *Si on a 3 smileys jaunes versus 10 smileys jaunes, il y a plus de biodiversité où il y en a 10 car il y en a plus. Mais si on a d'un côté 3 smileys jaunes et de l'autre un jaune, un vert et un rouge, on a plus de biodiversité dans ce dernier cas car on a plus de variété. Mais si j'ai 10 jaunes, est-ce que j'ai plus ou moins de biodiversité que si j'ai un jaune, un vert, un rouge ?»*

Un taux d'extinction sans précédent

En vérité, aujourd'hui, quel que soit l'angle sous lequel on l'examine, la biodiversité est menacée. Ainsi de la forêt tropicale, «qui abrite non seulement de nombreuses espèces différentes mais aussi un grand nombre d'individus», illustre Nicolas Schtickzelle. Situées entre le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne (Amazonie, bassin du Congo, Asie du Sud-Est), ces forêts abritent les deux tiers de la biodiversité présente dans l'ensemble des forêts du monde (qui

abritent elles-mêmes 80% de la biodiversité). «Un hectare de forêt tropicale (soit la taille d'un terrain de football) abrite plus de 150 espèces d'arbres, contre une quinzaine seulement dans nos forêts tempérées», rappelle Greenpeace. Et si de tout temps, des espèces sont apparues tandis que d'autres disparaissaient, le taux d'extinction est aujourd'hui 100 à 1 000 fois plus élevé que le rythme qui prévalait avant l'ère industrielle... tandis que le taux d'apparition est resté identique. «Une grande quantité d'espèces au niveau mondial a décliné de manière plus ou moins importante et comme dans tout changement, il y a des gagnants, précise Nicolas Schtickzelle. Par exemple le merle noir, une espèce forestière qu'on retrouve maintenant dans tous les jardins. Mais ces espèces qui en "profitent" sont infiniment moins nombreuses... 99% des espèces souffrent énormément.»

Selon l'IPV (Indice Planète Vivante), entre 1970 et 2018, la taille moyenne des populations de vertébrés sauvages a décliné de 69%, indique le WWF. Le déclin le plus alarmant est celui des espèces sauvages d'Amérique latine (94%), même si aucune région du monde n'est épargnée. Toujours selon les chiffres de l'ONG de protection de l'environnement, dans le parc national de Kahuzi-Biega, en République démocratique du Congo, le nombre de gorilles des plaines orientales a baissé de 80%. En 3 décennies à peine, le nombre d'éléphants de forêt africains a chuté de plus de 86%. Quant aux populations de requins et de raies océaniques, elles ont diminué de 71% au cours des 50 dernières années. Selon l'IPBES, le Giec de la biodiversité, il reste moins de 10 ans pour éviter une 6^e extinction de masse.

Pour Hélène Soublert, directrice générale de la *Fondation pour la recherche sur la biodiversité*, il faut encore distinguer la «diversité spécifique» et la «diversité génétique». La diversité spécifique concerne le nombre d'espèces, soit entre 8 et 12 millions d'espèces, animales et végétales, sur la planète... sans même compter les micro-organismes tels que les bactéries. Huit à 12 millions d'espèces dont seules 2 millions d'espèces ont été décrites ! Tous les jours, les scientifiques en découvrent de nouvelles... Certaines disparaissent donc avant même qu'on ait pu les connaître. Par ailleurs, au sein d'une même espèce, il existe une importante diversité génétique... exactement comme on l'observe au sein de l'espèce humaine. Pas 2 singes, 2 tigres, 2 dauphins qui soient exactement semblables. Or cet aspect de la biodiversité est également menacé, notamment à cause de la sélection pratiquée sur les animaux d'élevage, qui les forme et les rend plus vulnérables, notamment face au risque pandémique. «Si un pathogène

s'y développe, tous les organismes réagiront de la même manière et seront potentiellement tous affectés», explique Hélène Soublert.

Effet pare-brise

Même sans voyager dans de lointaines contrées, même sans se plonger dans les rapports alarmants des ONG, l'effondrement de la biodiversité est aujourd'hui perceptible depuis chez soi, à l'échelle d'une vie. D'où le sentiment de «solstalgie» partagé par de nombreuses personnes, soit la détresse psychique causée par la conscience que certains paysages familiers ont été irrémédiablement modifiés, que certaines expériences ne reviendront pas. «Avant, si vous faisiez Bruxelles-Ostende en voiture, votre pare-brise était maculé d'insectes, raconte Nicolas Schtickzelle. Ce n'est plus le cas aujourd'hui. Et les études ont montré que cela n'avait rien à voir avec l'évolution de la forme des voitures...». Ce «syndrome du pare-brise» est une expérience concrète qui témoigne de la diminution, en à peine quelques décennies, de plus de 70% d'insectes... Papillons, libellules, abeilles, bourdons: les insectes jouent pourtant un rôle primordial pour les autres espèces, en particulier

En Wallonie, les espèces d'oiseaux communs ayant subi le déclin le plus significatif sont :

1. le bruant proyer (*Emberiza calandra*)
2. l'hypolaïs icterine (*Hippolais icterina*)
3. la tourterelle des bois (*Streptopelia turtur*)



pour les oiseaux, puisqu'ils sont la nourriture principale des oisillons. Ainsi, en Wallonie, les effectifs d'oiseaux communs ont chuté de 40% en 30 ans... Les espèces ayant subi le déclin le plus significatif sont le bruant proyer, l'hypolaïs icterine et la tourterelle des bois (voir photos p.19) puisque leurs populations ont diminué respectivement de 99,5%, 97,5% et 97,2% en 31 ans. Or les insectes jouent un rôle majeur dans la pollinisation... ce qui a donc aussi des répercussions sur la survie de nombreuses espèces végétales.

Sans parler des effets sur l'humain. «On peut évoquer toutes sortes de raisons pour préserver la biodiversité, commente Nicolas Schtickzelle. Des raisons éthiques, religieuses, esthétiques, l'idée que "les baleines ont le droit de vivre" ou qu'on "emprunte la terre à nos enfants". Mais par ailleurs, la biodiversité, on en a aussi besoin maintenant, pour nous, elle nous rapporte et elle nous aide. Elle nous permet notamment de manger, d'avoir du bois pour chauffer les maisons, pour faire la cuisine - le bois est encore la source principale d'énergie pour 3 milliards d'humains sur la planète - mais aussi de nous soigner. Toute une série de médicaments sont encore aujourd'hui dérivés d'espèces végétales que nous ne sommes pas capables de fabriquer artificiellement.» Par ailleurs, d'un point de vue écosystémique, la biodiversité nous protège de certains dangers comme les inondations. «Dans un contexte d'élévation du niveau des mers, la mangrove stabilise énormément les côtes», poursuit Nicolas Schtickzelle. «En tant qu'être humain, nous faisons partie de la biodiversité, et nous vivons, nous mangeons, nous respirons grâce à nos relations avec d'autres espèces. Sans cette biodiversité, nous disparaîtrions. C'est donc un ensemble complexe, difficilement modélisable et encore mal connu», résume Hélène Soublet.

Un capital entamé

Pour Nicolas Schtickzelle, la cause de cet effondrement peut être résumée en une phrase: nous consommons trop de ressources. «Ce que nous consommons, c'est ce que chacun consomme multiplié par le nombre d'humains, détaille-t-il. Or il y a 2 manières de voir les choses: soit il y a trop d'humains, soit ces humains consomment trop. Si l'on était 100 000 sur Terre, oui, on pourrait vivre comme ceux qui consomment le plus et il n'y aurait pas de problème. D'un autre côté, si on vivait tous comme ceux qui consomment le moins, ça ne poserait pas problème non plus.» Les notions de «jour du dépassement» et d'«empreinte écologique» permettent de se représenter cette surconsommation. Calculé par le Global Footprint Network, le jour du dépassement était en 2023 le 2 août, soit la date à laquelle l'humanité avait consommé (empreinte écologique) l'ensemble des ressources que la Terre peut reconstituer en une année (biocapacité). «Autrement dit: pour régénérer ce que l'humanité consomme aujourd'hui, il nous faudrait l'équivalent de 1,7 Terre en termes de surface», explique WWF France. «J'aime bien faire une autre analogie, poursuit Nicolas Schtickzelle La biosphère est un

capital. Chaque année, elle produit des intérêts. Si on dépense chaque année les seuls intérêts, on peut vivre comme ça indéfiniment. Mais si on dépense plus que les intérêts, on entame le capital, qui par conséquent diminue. Or moins vous avez de capital, moins vous avez d'intérêts. La cause systémique de la perte de biodiversité, c'est ça: l'humanité a entamé son capital, ce qui marche un certain temps mais qui n'est pas viable à long terme.»

Au-delà de cette notion générale de surconsommation, on distingue habituellement 5 causes à l'effondrement de la biodiversité:

1. la surexploitation (chasse, pêche, coupe des arbres...);
2. la perte d'habitat et le changement de l'usage du sol;
3. le changement climatique;
4. la pollution;
5. les espèces exotiques envahissantes.

«Contrairement à ce qu'on pense souvent, c'est la perte d'habitat et non le changement climatique qui est de très loin le facteur majeur de perte de biodiversité», commente Nicolas Schtickzelle. Les activités agricoles et sylvicoles entraînent notamment une «simplification des milieux», problématique pour de nombreuses espèces. Les oiseaux, par exemple, trouvent moins de ressources alimentaires sur des terrains cultivés selon les principes de l'agriculture intensive, mais aussi moins de lieux où faire leurs nids (haies, bosquets). «Beaucoup d'espèces vont souffrir de plusieurs de ces menaces en même temps, prévient Nicolas Schtickzelle. Et souvent, quand il y en a plusieurs qui se combinent, la combinaison est pire que la somme... Par exemple, beaucoup d'insectes souffrent de la pollution, ce qui est aggravé par le changement climatique.» Ainsi, comme le rappelle le WWF, même si aujourd'hui le changement climatique est à l'avant-plan de tous les discours politiques, la disparition des espèces sauvages et de leurs habitats n'est pas un moindre problème: «Ces 2 crises sont fortement liées: la dégradation alarmante des milieux naturels les conduit non seulement à perdre leur capacité de stockage mais aussi à émettre, à leur tour, plus de gaz à effet de serre. Par conséquent, une plus grande quantité de dioxyde de carbone pénètre dans l'atmosphère, accélérant le réchauffement du globe... Si nous ne parvenons pas à limiter la hausse à 1,5 °C, le changement climatique deviendra la principale cause de perte de biodiversité au cours des prochaines décennies.»

Pour Nicolas Schtickzelle, espérer endiguer l'effondrement de la biodiversité en faisant appel





Frelon asiatique



à la conscience éthique ou au sentiment esthétique est illusoire. «*Pour moi, la clé, c'est que chacun se rende compte que garder la biodiversité vivante est plus rentable, commente-t-il. En Wallonie, l'une des raisons principales pour lesquelles on a planté des quantités gigantesques de résineux plutôt que du feuillu, c'est parce que c'était moins taxé. Un épicéa, contrairement à un chêne, peut pousser et être exploité en 40 ans donc si vous gériez bien votre affaire, vous vous arrangez pour tout couper avant de transmettre la parcelle à la génération suivante qui ferait pareil à son tour... Il y a quelques années, il y a donc eu une réforme de la législation pour éviter cette taxation multiple.*» Le même nerf de la guerre, partout sur la planète, pour une bataille décisive. 

ESPÈCES ENVAHISSANTES

Les espèces exotiques envahissantes sont des espèces végétales ou animales introduites par l'homme en dehors de leur aire d'origine et qui constituent une menace pour la biodiversité. Généralement «plus compétitives et plus voraces» que les espèces indigènes, elles peuvent aussi être porteuses de nouveaux agents pathogènes et menacer ainsi la survie des espèces avec lesquelles elles sont appelées à cohabiter. Elles peuvent également affecter le fonctionnement des écosystèmes en modifiant les propriétés du sol ou de l'eau.

Environ 12 000 espèces exotiques ont été observées jusqu'à ce jour dans l'Union européenne, parmi lesquelles 10 à 15% sont considérées comme envahissantes. Le frelon asiatique, par exemple, est un insecte invasif de la famille des guêpes, originaire d'Extrême-Orient. Introduit accidentellement près de Bordeaux en 2004, il progresse vers le nord au rythme moyen de 60 km par an. Le premier nid a été détecté en Wallonie en 2016 et les premiers cas d'attaque de ruches ont été signalés en 2017. Depuis, sa progression se poursuit sur tout le territoire.

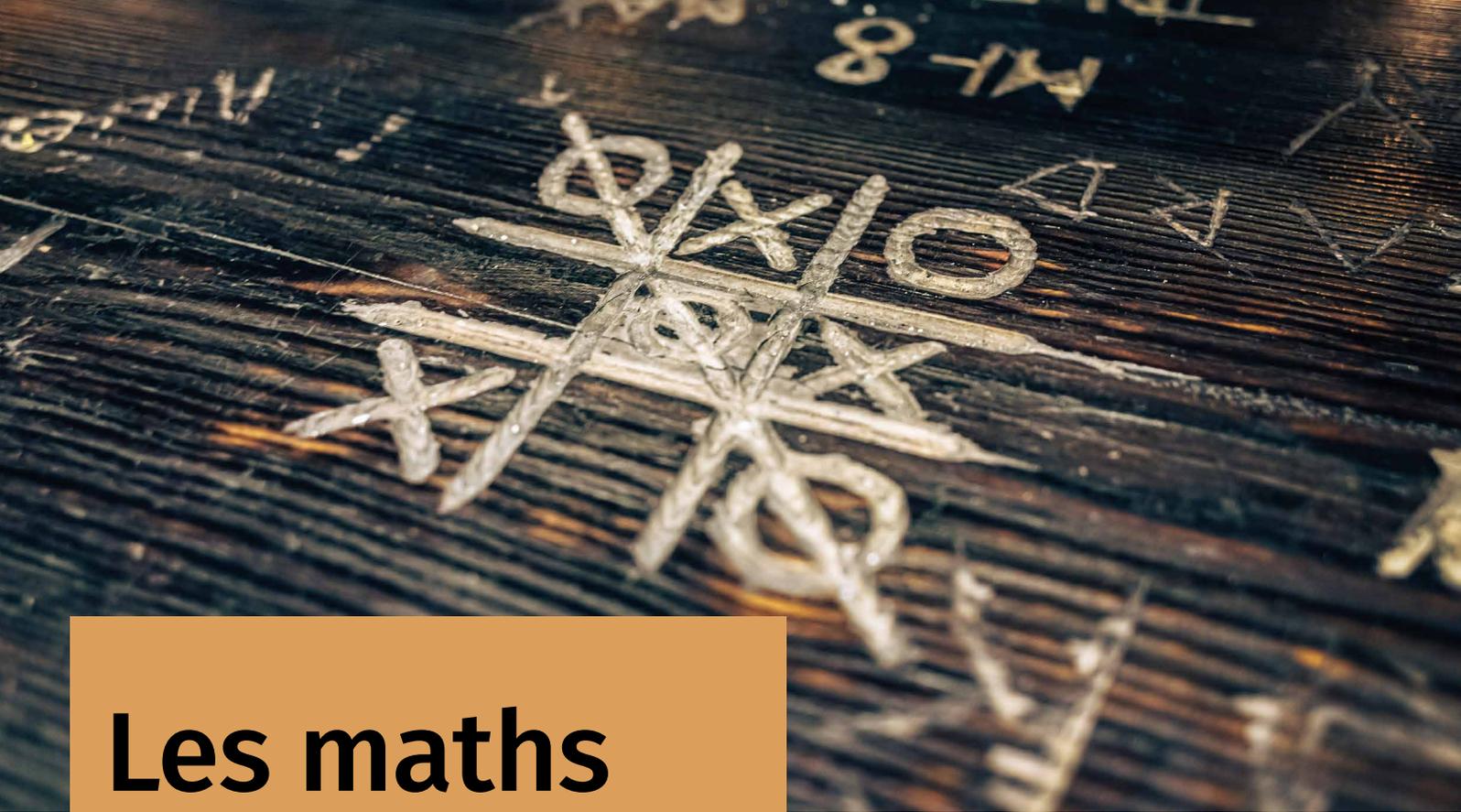
Le cas du raton laveur

Avec son pelage poivre et sel, son masque noir et son charmant museau pointu, le raton laveur s'attire souvent l'attendrissement des humains. Agile et peu farouche, il est cependant considéré lui aussi comme une espèce exotique invasive, avec 50 à 75 000 spécimens présents en Wallonie. Les autorités encouragent ainsi les riverains à ne surtout pas les nourrir et les chasseurs à les éliminer...

Originaire d'Amérique, le raton laveur a été introduit par l'homme en Europe au début du 20^e siècle... jusqu'à rejoindre la Belgique dans les années 80 où il a commencé à croître de manière significative à partir de 2005. Le premier groupe de rats laveurs est probablement venu d'Allemagne, où ils ont été introduits dans les années 1930 par le régime nazi comme gibier pour les chasseurs et comme source de nourriture. Le 2^e groupe de rats laveurs est venu de France, amenés comme mascotte par des aviateurs américains dans les années 60 puis relâchés autour de cette base aérienne de l'Aisne.

Bien qu'il vive habituellement à proximité des rivières et en milieu forestier, on retrouve aujourd'hui le raton laveur en lisière des habitations dans lesquelles il finit parfois par entrer... Omnivore, il se nourrit aussi bien de végétaux, de céréales, de grenouilles, d'oiseaux et de poules que de croquettes pour chat et de restes du frigo...

«*De plus en plus d'études montrent que ce prédateur opportuniste peut constituer une menace sérieuse pour la survie de populations d'espèces menacées en Europe (moules, écrevisses, reptiles, oiseaux, chauve-souris, etc.)*», estime la Région wallonne. Le raton laveur exerce notamment une pression de prédation importante sur plusieurs espèces d'oiseaux menacées, comme le cincle plongeur, l'hirondelle de rivage ou le gobemouche noir.



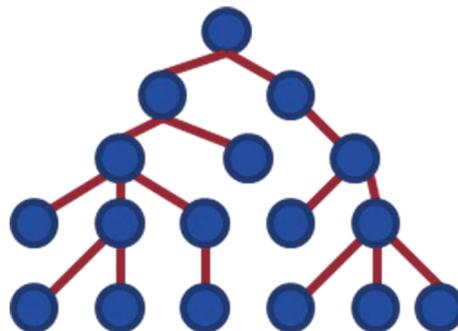
Les maths en jeu

Formalisée dans le courant du 20^e siècle, la théorie des jeux est une branche des mathématiques qui regroupe un très large spectre de sous-domaines. Jeux «combinatoires», «bayésiens», «différentiels», «coopératifs» ou au contraire «compétitifs», «discrets» ou «continus», «à somme nulle» ou non, «symétriques» ou «asymétriques», «simultanés» ou «séquentiels»... La liste est étourdissante ! Et pour cause: le concept de «jeu» recouvre des réalités profondément différentes, du Pierre-papier-ciseaux aux Échecs en passant par le *Seven Wonders* ou le Jeu de l'Oie... mais aussi les relations diplomatiques, la micro- ou macro-économie ou même les sciences sociales ! Car, en somme, les mathématiques appellent «jeu» toute série d'interactions entre des agents rationnels - les joueurs - qui poursuivent chacun un objectif en agissant conformément à un panel de règles. Vaste programme...

TEXTE : CLÉMENTINE LAURENS - TWITTER: @CLEMLAURENS
PHOTOS : © LARYSA - STOCK.ADOBE.COM (P.22), GOEL/WIKI-CC BY-SA 4.0 (P.22), GDR/WIKI-GFDL (P.23), JACOB RUS/WIKI-CC BY-SA 4.0(P.24)

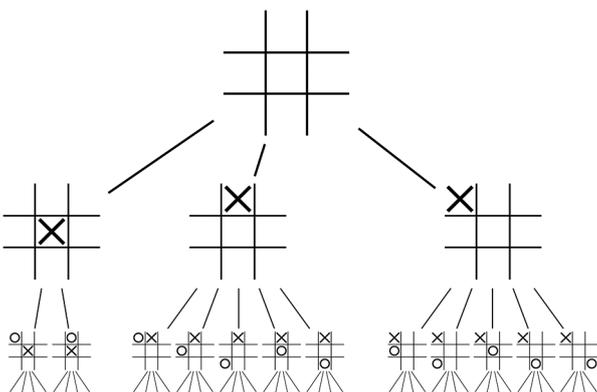
En raison de cette variété, la théorie des jeux a adopté bien des visages différents au cours des dernières décennies, et nombreux sont les outils mathématiques qui se sont immiscés dans la discipline. Nous nous attardons ici sur un outil central, qui apparaît assez naturellement et s'est révélé très utile pour étudier de nombreux jeux: les graphes.

Pour comprendre comment la théorie des graphes s'immisce dans la théorie des jeux, prenons un exemple connu de toutes et tous: le jeu Oxo sur une grille à 9 cases. Il est facile de se convaincre que si les 2 adversaires jouent correctement, la partie d'achèvera sur un match nul. Mais comment s'en assurer mathématiquement ? Une solution consiste à construire ce que l'on appelle un «arbre du jeu»: un objet qui présente sous une forme synthétique l'ensemble des parties possibles. Un «arbre», en mathématiques, est un type particulier de graphe, c'est-à-dire un ensemble de sommets relié par des arêtes, comme dans la figure ci-dessous.



Dans le cadre plus précis qui nous intéresse, un arbre de jeu est un arbre mathématique dont les sommets sont des états possibles du plateau de jeu - on appelle ces états les «positions» du jeu - et tel que 2 sommets sont reliés par une arête si et seulement si l'on peut passer d'une position à l'autre quand un joueur joue.

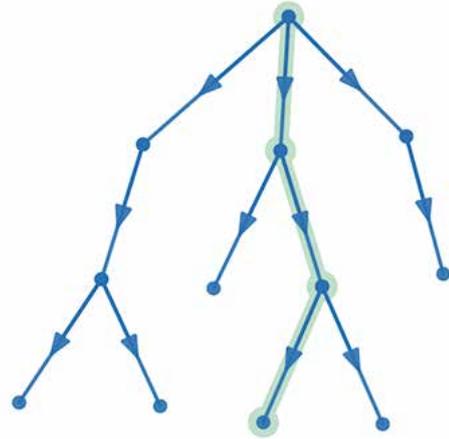
En pratique, pour construire l'arbre du jeu Oxo, on procède de la manière suivante. La première ligne de l'arbre est constituée d'un unique sommet, appelé la «racine», qui représente la grille à 9 cases vides, c'est-à-dire la position de départ du jeu. Partant de là, le premier joueur peut placer son symbole, au choix, dans la case du centre de la grille, ou dans la case en haut au milieu, ou dans la case en haut à gauche etc.: il dispose, en tout, de 9 options. Les 9 positions d'arrivée correspondantes sont représentées par 9 sommets, qui constituent la deuxième ligne de l'arbre. Par définition, on peut passer de la position de départ du jeu à chacune de ces 9 positions: chacune est donc reliée à la racine de l'arbre par une arête. On poursuit en répétant l'opération à partir de chacune des 9 positions de la deuxième ligne: partant de l'une d'entre elles, le second joueur doit choisir entre 8 options, pour placer son symbole, ce qui donne 8 positions d'arrivée possibles. Donc chacune des 9 positions de la deuxième ligne est reliée à 8 positions, placées sur la troisième ligne. Etc. On trouvera ci-dessous une représentation partielle des 3 premières lignes de cet arbre du jeu Oxo (toutes les options ne sont pas présentées à chaque ligne, seulement quelques exemples).



On comprend aisément que l'arbre grossit très rapidement ! Et encore, il s'agit ici d'un jeu très simple, où à chaque coup les joueurs disposent d'un nombre réduit d'options. L'arbre du jeu d'échecs - ou pire: celui du jeu de Go - sont bien plus étendus encore !

L'intérêt de représenter un jeu sous cette forme, qui peut pourtant sembler lourde et compliquée au premier abord, c'est que l'arbre ainsi créé

contient toutes les parties possibles, agencées d'une manière qui rend facile leur étude algorithmique. En effet, une partie d'un jeu est une succession de positions, qui s'enchaînent à mesure que les joueurs jouent en suivant les règles. Par construction de l'arbre, une partie est donc représentée par un chemin qui part du sommet (la position initiale) et qui progresse de position en position, une ligne après l'autre, en suivant les arêtes, jusqu'à arriver à une position finale dans laquelle le joueur dont c'est le tour n'a plus aucune option à sa disposition.



Victoire assurée ?

Cela permet de programmer des algorithmes d'exploration de l'arbre d'un jeu, par exemple pour identifier une stratégie optimale pour l'un des joueurs. Partant d'une position donnée, c'est-à-dire d'un sommet de l'arbre, on peut en effet dérouler toutes les suites possibles pour la partie en cours, en parcourant entièrement ou partiellement les branches de l'arbre qui partent de ce sommet. Cela permet de juger dans quelle direction il est préférable d'emmener la partie, pour le joueur dont c'est le tour. C'est en réalité exactement ce que font les joueurs de bon niveau aux échecs ou à d'autres jeux de ce type, et ce procédé est facilement automatisable pour pouvoir être mené par un ordinateur en exploitant une importante puissance de calcul.

Ce genre de raisonnement est à la base d'un algorithme très célèbre, appelé «MiniMax» (ou parfois «MinMax»), qui permet de déterminer si une position donnée dans un jeu est «gagnante» pour l'un des joueurs - c'est-à-dire si quels que soient les choix de jeu de son adversaire par la suite, ce joueur peut forcément réagir d'une manière qui, en définitive, lui assurera la victoire. Cependant, il n'est pas toujours possible d'exploiter directement cet algorithme, car les arbres de certains jeux sont tellement grands que même les ordinateurs les plus puissants ne parviennent pas à les parcourir en entier en un temps raisonnable !

Revenons à Oxo et à notre question d'origine: comment s'assurer de ce que notre intuition nous indique: si les 2 joueurs jouent bien, la partie s'achèvera nécessairement sur un match nul. En parcourant toutes les branches de l'arbre depuis l'origine, on constate pourtant que certaines parties s'achèvent par la victoire de l'un ou l'autre des joueurs. Mais dans ces parties, il existe en fait forcément une position où le joueur perdant aurait pu prendre une autre décision, orienter la partie vers une autre branche qui, elle, aurait abouti à un match nul. Les arbres sont formels: dans ce jeu, si l'on joue bien, on ne perd pas. À vous de jouer ! 



LE DOSSIER

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

WWW.PHILIPPE-LAMBERT-JOURNALISTE.BE

PHOTOS: © TALIA MDLUNGU/PEOPLEIMAGES.COM -
STOCK.ADOBE.COM (P.24),

© DUSKO - STOCK.ADOBE.COM (P.26),

© PROSTOCK-STUDIO - STOCK.ADOBE.COM (P.28)

Vaccin: pour ou contre ? Quels sont les rouages de l'hésitation vaccinale ?

Regroupés sous le terme générique d'hésitation vaccinale, le refus ou la réticence à se faire vacciner ou à faire vacciner ses enfants n'ont sans doute jamais suscité autant de débats, de polémiques, de jugements de valeur, d'incompréhension, d'hostilité que durant la pandémie de la Covid-19. Mais, au fait, qui sont les hésitants vaccinaux ? La réponse à cette question est plus complexe qu'il n'y paraît...

Propice à une exacerbation des tensions entre les provaccins et les antivax, la crise de la Covid-19 a constitué un terrain fertile - oserait-on dire un laboratoire grandeur nature ? - pour les psychologues sociaux soucieux de décortiquer les phénomènes psychologiques et sociétaux sous-jacents. C'est dans ce contexte qu'Olivier Klein et Vincent Yzerbyt, professeurs respectivement à l'Université libre de Bruxelles et à l'Université catholique de Louvain, ont publié en 2023 un ouvrage très documenté intitulé *Psychologie de la vaccination*, aux Éditions de l'Université de Bruxelles (1). Cet essai se fonde, d'une part, sur les conclusions d'études internationales relatives à la dimension psychosociale de la vaccination contre la Covid-19 mais également contre d'autres agents infectieux, et, d'autre part, sur les données issues de 42 rapports produits dans le cadre du Baromètre de la motivation. Créé en 2020, cet instrument empirique fut alimenté par les travaux d'une équipe de chercheurs de différentes universités belges. Objectif: surveiller les composantes motivationnelles et de santé mentale de la population durant la récente crise sanitaire, en lien notamment avec la décision de se faire vacciner ou non contre le coronavirus, et rendre compte des données collectées au public et aux autorités. «*Nous avons pu suivre la population via des enquêtes longitudinales qui ont regroupé un peu plus de 450 000 répondants au total*», rapporte Vincent Yzerbyt.

Si l'on se réfère aux remarquables succès de la vaccination en termes de santé publique, il semble a priori paradoxal et irresponsable de nourrir une méfiance tenace, voire inextinguible, à son égard ou, plus encore, de la vouer aux gémonies. Les choses ne sont cependant pas si simples sous la loupe de la psychologie sociale. Si l'attitude et les campagnes des antivax sont scientifiquement infondées et le plus souvent empreintes de désinformation, la condamnation péremptoire et la stigmatisation des hésitants vaccinaux manquent aussi de nuance. Elles font fi d'un ensemble touffu de déterminants psychologiques et sociaux qui s'enchevêtrent et dont certains s'enracinent dans des préoccupations que l'on ne peut balayer d'un revers de main. Car, entre autres, l'histoire des vaccins n'a pas toujours été un long fleuve tranquille. Revenons un instant au vaccin contre la polio. En 1955 est survenu l'«incident de Cutter», du nom d'une des sociétés pharmaceutiques (les *Laboratoires Cutter*, à Berkeley) sélectionnées par le gouvernement américain pour produire le premier vaccin injectable contre la maladie, le vaccin Salk. Cette firme fut à l'origine de la plus grande catastrophe vaccinale que connurent les États-Unis. Elle diffusa 120 000 doses de vaccin contaminées par le virus vivant (donc non inactivé) de la polio. Conséquences: 40 000 cas de poliomyélite abortive, c'est-à-dire sans gravité (fièvre, maux de gorge, céphalées légères...), mais



L'intention vaccinale peut être favorisée par la perspective d'une récompense, comme l'obtention d'un Covid Safe Ticket par exemple.

La décision de se faire vacciner ou non ne se résume pas à une question de biais cognitifs ou de traits de personnalité. Une multitude d'appartenances à des groupes (sexe, âge, idéologie politique, statut ethnoculturel...) et de liens sociaux contribuent également à façonner les attitudes et décisions des individus face à la vaccination.

Au fil de l'avancement de la campagne de vaccination contre le coronavirus, de nombreux hésitants vaccinaux ont également fait valoir que la proportion de personnes vaccinées qui aboutissaient dans les services d'urgence des hôpitaux ne cessait de croître. Cet argument visant à discréditer la vaccination est spécieux. Il se heurte de plein fouet à la logique statistique. Étant donné que le vaccin n'offre pas une protection à 100%, plus il y a de vaccinés, plus on recense, au sein de l'ensemble des malades, des personnes qui ont reçu le vaccin. Sans fondement, ce genre d'arguments portés par des hésitants ne nous dit encore rien, ou presque, des déterminants psychologiques et sociaux qui poussent à l'hésitation vaccinale. D'autant que celle-ci (réticence ou refus) peut être générale, donc relative à toute vaccination, ou partielle, axée sur un ou plusieurs vaccins précis. Par exemple, celui de la Covid-19, parce que jugé trop «expérimental» par certains, ou celui de l'hépatite B, principalement en raison d'une rumeur, totalement démentie aujourd'hui, qui lui attribuait la responsabilité de cas de sclérose en plaques.

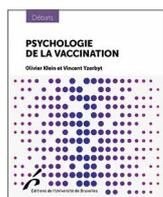
Fondamentalement, le concept de motivation est central dans l'intention et la décision de se faire vacciner ainsi que, a contrario, dans l'hésitation vaccinale. Les psychologues distinguent classiquement 2 types de motivation: la première, dite volontaire ou autonome, et la seconde, qualifiée de contrôlée. D'après les études, la motivation volontaire, qui répond au besoin d'autonomie, de liberté, repose sur le sentiment qu'on n'est pas en train de nous dicter notre conduite, en l'occurrence quand on nous propose un vaccin. Elle est de loin le prédicteur le plus robuste de l'intention vaccinale, laquelle sera forte si la protection de notre santé et de celle des autres est une valeur essentielle à nos yeux et que nous estimions que la vaccination est en adéquation avec cet objectif. En revanche, l'intention vaccinale est mise à mal notamment lorsqu'une campagne de vaccination conduit à percevoir

surtout 113 cas de paralysie et 5 décès. Pareil dérapage laisse des traces dans certains esprits...

Le prédicteur le plus robuste

À chaque époque, à chaque vaccin, sa vérité. Mais, les chiffres le prouvent à l'envi, le rapport bénéfices-coûts de la vaccination est résolument positif et dans ce bilan, la colonne des risques est théoriquement appelée à s'amenuiser toujours davantage au fur et à mesure de l'avancée des connaissances scientifiques et en raison des exigences des comités d'éthique et instances responsables de la mise des médicaments sur le marché.

«Pour justifier leur méfiance à l'égard du vaccin contre la Covid-19, beaucoup ont avancé qu'il s'appuyait sur une approche révolutionnaire peu testée, souligne le professeur Yzerbyt. Or, la technique des vaccins à ARN messenger, qui a d'ailleurs valu le prix Nobel à 2 professeurs de l'Université de Pennsylvanie, la Hongroise Katalin Kariko et l'Américain Drew Weissman, était déjà à l'essai depuis des années, notamment en oncologie.» Et d'ajouter: «De toute l'histoire de la médecine, les vaccins contre la Covid-19 sont probablement ceux qui ont été le plus testés - des dizaines de milliers de volontaires - avant leur mise sur le marché.»



(1) Olivier Klein, Vincent Yzerbyt, *Psychologie de la vaccination*, Éditions de l'Université de Bruxelles, 2023.

cette dernière comme contraignante, comme une forme d'intrusion contraire à nos valeurs ou priorités et, en définitive, à notre soif d'autonomie. Se référant à la «théorie de la réactance», Olivier Klein et Vincent Yzerbyt écrivent: «(...) toute tentative cherchant à restreindre la liberté d'action d'une personne provoquera une réponse dont l'objectif premier sera de restaurer son sentiment d'autonomie et, in fine, sa liberté d'action.»

La motivation contrôlée, elle, reflète le sentiment qu'il est nécessaire d'agir pour éviter la réprobation sociale ou pour être récompensé d'un effort que l'on aurait consenti. Dès lors, la motivation à se faire vacciner peut être sous-tendue, par exemple, par le désir de ne pas être considéré comme un irresponsable ou un égoïste aux yeux de son entourage ou, si l'on se réfère à la récente pandémie, par celui de bénéficier d'un *Covid Safe Ticket* qui autorisait à nouveau l'accès à des lieux publics tels que les restaurants. L'impact de la motivation contrôlée sur les intentions vaccinales s'avère néanmoins inférieur à celui de la motivation volontaire - il est tantôt positif, mais aussi tantôt nul.

Si elles augmentent en principe la propension à se faire vacciner, les motivations volontaire et contrôlée doivent se jouer d'autres facteurs qui exercent un effet négatif sur l'intention vaccinale. Ils sont essentiellement de 2 ordres: l'absence de motivation (l'amotivation, disent les psychologues) résultant soit de la méfiance, soit de l'effort à consentir. La confiance constitue un élément majeur dans l'intention de se faire vacciner. Les doutes que peuvent nourrir les individus envers l'efficacité d'un vaccin ou sa sécurité en termes d'effets secondaires représentent évidemment un moteur important de l'hésitation vaccinale. La suspicion que certains citoyens se sont forgée à l'égard des intentions et compétences des autorités, des experts et des professionnels de la santé qui promeuvent la vaccination alimente également la réticence, voire le refus de se faire vacciner. Quant à l'amotivation liée à l'effort, «elle renvoie au fait que certaines personnes ne disposent pas de toutes les ressources, qu'elles soient d'ordre psychologique ou physique, pour mener à bien leur souhait de se faire vacciner», indiquent Olivier Klein et Vincent Yzerbyt. Certains d'entre nous, en effet, ont pu se sentir enlisés dans les démarches à accomplir pour prendre rendez-vous dans un centre de vaccination lors de la pandémie de la Covid-19. Pour d'autres, le frein tenait aux horaires d'ouverture des centres; pour d'autres encore, à l'absence de moyens de transport facilement accessibles pour s'y rendre... Des points sur lesquels une action des autorités est possible et souhaitable quand une vaccination de masse s'impose.

Altérations du jugement

Sur le plan individuel, divers biais cognitifs (des mécanismes de pensée à l'origine d'une altération du jugement) sont impliqués dans l'hésitation vaccinale. Ainsi, l'être humain est enclin à généraliser des réalités individuelles. Comme le souligne Vincent Yzerbyt, «quelques cas de personnes vaccinées qui ont malgré tout été malades peuvent complètement éclipser l'effet des statistiques». On parle à ce propos d'un «biais narratif», la narration d'un événement singulier étant parfois à même de mettre à mal la vérité des chiffres. Dès lors, on peut avancer qu'au début de la crise de la Covid-19, certains responsables politiques ont commis l'erreur de présenter les vaccins comme un bouclier absolu. Un autre biais, au nom ésotérique de «*post hoc ergo propter hoc*» emprunté à la locution latine éponyme, amplifie la tendance que nous avons à conférer à des cas individuels un caractère de généralité. Il repose sur notre tendance à confondre association d'événements et relation de cause à effet. Ainsi, lorsque quelqu'un décède d'un infarctus quelques jours après s'être vu administrer un vaccin, la tentation est grande d'imputer la responsabilité de sa mort à celui-ci. C'est ignorer les statistiques qui montrent que parmi toutes les femmes et tous les hommes qui se font vacciner un jour donné, certains décéderont peu après d'une crise cardiaque, indépendamment du vaccin, au même titre que des non-vaccinés réputés en parfaite santé peu avant d'être terrassés par un arrêt du cœur.

Ça n'arrive qu'aux autres: la formule est bien connue. La sphère de la vaccination n'échappe pas à ce «biais d'optimisme». Les données du Baromètre de la motivation ont mis en évidence

UNE GRANDE CONQUÊTE

En 2019, l'hésitation vaccinale figurait, selon l'OMS, parmi les 10 principales menaces pour la santé publique à l'échelle planétaire. Elle côtoyait dans ce cercle mortifère le changement climatique, le virus Ebola ou encore la résistance aux antimicrobiens. La vaccination est une des plus grandes conquêtes de la médecine. Son apport en termes de santé publique est tout bonnement colossal. Pour s'en convaincre, il suffit par exemple de songer à l'éradication de la poliomyélite partout dans le monde sauf au Pakistan et en Afghanistan où elle reste endémique - 140 cas en 2020. Autre illustration: «Selon une évaluation datant de fin 2021, les vaccins contre la Covid-19 auraient sauvé près de 750 000 vies rien qu'en Europe et aux États-Unis», peut-on lire dans l'essai d'Olivier Klein et de Vincent Yzerbyt.



que, durant la récente pandémie, la majorité des individus considéraient que le risque qu'ils encouraient d'être personnellement contaminés par le coronavirus ou de tomber gravement malades était moindre que pour le reste de la population. «Bref, se croyant faussement "immunisés" contre les dangers d'une maladie, les gens ne sont plus influencés par les informations disponibles à propos de son incidence ou des dangers qu'elle fait peser sur eux», concluent les 2 auteurs de *Psychologie de la vaccination*. Se croire «protégé» relève parfois du «santéisme», mouvance qui confine au sentiment d'être prémuni contre les maladies grâce à une saine alimentation, à une parfaite hygiène de vie, au recours à une médecine naturelle, etc. Donc, pas besoin de vaccin ! «Les hésitants vaccinaux qui sont dans cette posture ne se perçoivent pas comme des personnes ascientifiques (2) ou antiscientifiques; elles se revendiquent même parfois de la science, mais d'une science naturelle, légitime, contrastant avec une science dévoyée par des forces occultes - financières et étatiques», fait remarquer le professeur Yzerbyt.

(2) Qui ne répondent pas à la logique de la science.

Obscurantistes ou moutons

L'individu ne vit pas isolé, il est éminemment enraciné sur le plan social. Sa décision de se faire

vacciner ou non ne se résume pas à une question de biais cognitifs ou de traits de personnalité, même si les uns et les autres participent à la construction de ses attitudes et décisions. Une multitude d'appartenances à des groupes (sexe, âge, idéologie politique, statut ethnoculturel...) et de liens sociaux contribuent également à les façonner. C'est dans ce cadre que s'inscrivent 2 grands types de normes sociales qui nous influencent. Les premières, dites descriptives, reflètent le comportement des personnes qui nous entourent. Elles ont valeur de balises, de modèles à suivre au sein de la société. C'est pourquoi, par exemple, les informations relatives à la proportion de personnes motivées à se faire vacciner sont cruciales lors d'une campagne de vaccination. Si ce pourcentage est élevé, il s'assimilera à une sorte de courroie d'entraînement, mais s'il est faible, à un frein à l'intention vaccinale. De même, la tendance de certains médias à insister sur les réticences ou les résistances d'une fraction de la population à se faire vacciner ne facilite pas les campagnes vaccinales. Un élément clé est en outre le comportement du personnel soignant, en particulier des médecins. C'est une vitrine ! Que les professionnels de la santé se fassent vacciner en masse booste l'intention vaccinale.

Quant aux normes sociales prescriptives, ce sont des standards partagés de ce qu'il convient de faire dans une situation donnée. Illustration: un

fou rire sera réprouvé socialement s'il se produit lors de funérailles. Quand l'effet d'imitation et d'entraînement des normes descriptives ne fonctionne pas, les normes prescriptives sont susceptibles de prendre parfois le relais. Ainsi que le confirment les données du Baromètre de la motivation, les représentants du monde médical, par leur proximité avec les citoyens et la légitimité que ces derniers leur attribuent communément - bien plus qu'aux autorités politiques - ont une fois encore un rôle déterminant à jouer pour doper l'intention vaccinale, en la préconisant et en expliquant le bien-fondé.

Toutefois, la confiance dont jouissent les prestataires de soins n'est pas illimitée. Par exemple, les personnes qui font montre d'une appartenance au courant des médecines alternatives seront beaucoup moins facilement convaincues par le discours majoritaire allopathique et provaccination. Cette situation nous amène à sillonner la piste de la théorie de l'identité sociale, aux termes de laquelle nous nous percevons, selon le contexte, tantôt comme des individus distincts des autres, tantôt comme des membres d'une collectivité, d'un «endogroupe» au sein duquel une identité partagée nous confère un sentiment de puissance et guide notre conduite. L'endogroupe se distingue des autres groupes, les «exogroupes», qui peuvent cristalliser une certaine hostilité à leur égard, voire une hostilité marquée. Ainsi, les antivax pourront être perçus par les provaccins comme des obscurantistes réactionnaires et les défenseurs de la vaccination, par le courant contraire, comme des «moutons» qui suivent aveuglément les concepts erronés de la «mauvaise science».

Opposition aux élites

Les identités sont mouvantes en fonction des contextes socioculturels et économiques, de sorte que chez des personnes défavorisées - «À Bruxelles, 37% de la population n'a pas de médecin généraliste», rappelle le professeur Yzerbyt -, l'antivaccinisme peut être le fruit d'un rejet du monde de la santé ou du sentiment d'une connivence entre celui-ci, les autorités et le «Big Pharma». Il peut en outre émaner de l'affiliation à un endogroupe dont la posture est une opposition aux élites ou au «système» à l'image de celle du mouvement des gilets jaunes dans un autre domaine. Les tenants de groupes religieux fondamentalistes clouent eux aussi la vaccination au pilori car, à leurs yeux, elle contrarierait la providence divine. Le trait s'exacerbe quand il s'agit de vaccins prévenant des maladies sexuellement transmissibles, tel le vaccin HPV, alors que, d'après ces groupes, il conviendrait de punir le «péché de chair».

SERINGUES ET COMLOTISME

Un phénomène inattendu pèse d'un poids non négligeable dans la réticence à se faire vacciner: la peur des seringues, qui, chez 3 à 10% de la population, atteindrait le stade de la phobie et aurait partiellement des causes génétiques. En 2021, il est ressorti d'une étude américaine que plus de la moitié des individus d'un échantillon d'adultes non encore vaccinés relataient une peur des injections. Selon les psychologues, il y a des raisons de penser que des gens embrassent des théories complotistes pour y trouver une justification à leur opposition à la vaccination, alors que sa cause ne serait parfois que l'effroi inspiré par l'idée de l'intrusion d'une seringue dans leur corps. En pareille occurrence, les arguments conspirationnistes ne seraient pas un des catalyseurs de leur hésitation vaccinale, mais une bouée de sauvetage.

Faisant feu de tout bois, dont le biais *post hoc ergo propter hoc* qui nous pousse à conférer un caractère général à des cas particuliers, les rumeurs gravitant autour des vaccins sont un autre fléau pour la couverture vaccinale. Si leur diffusion est intense, principalement via les réseaux sociaux, elles deviennent des croyances largement partagées. Comme celle qui circula en 1994 au sujet du vaccin contre le tétanos, prétendument vecteur de stérilité. «Les rumeurs sont spécialement susceptibles d'émerger lorsque des vaccins nouveaux sont utilisés et, en particulier, lorsqu'ils recourent à des technologies inédites, comme l'ARN messager», peut-on lire dans *Psychologie de la vaccination*. À l'instar des rumeurs, les théories du complot découlent des représentations sociales. Notamment de l'idée que les élites sont corrompues ou que les dirigeants veulent contrôler le peuple. D'où, par exemple, la croyance que le vaccin contre la Covid-19 avait pour but de nous implanter des puces électroniques afin de nous surveiller.

Enfin, une des leçons des données du Baromètre de la motivation à l'adresse des autorités est que toute tergiversation et toute communication non en phase avec l'état réel de la situation, c'est-à-dire son niveau de risque, est délétère pour le bien-être mental, l'état de motivation de la population et l'intention vaccinale. Ce fut notamment le cas lorsque, contre toute logique, les salons de coiffure furent rouverts durant la pandémie récente, suscitant l'incompréhension du public. A

Colombe

©Alsy 2024

Pourquoi tu ne peux pas me libérer?

C'est à cause des MATHÉMATIQUES.



Des mathématiques?

Attends, je te montre...



Les mathématiques sont fondées sur la notion d'ensemble. Toi, en tant que canari, tu appartiens à l'ensemble: Cage (X) pour canari (c)...



Cage (X) canari (c)
c appartient à X.
c est un élément de X.
c est dans X.
X a pour élément c.
X possède c.

$$c \in X$$



Mais, c'est RIDICULE! Il te suffit d'ouvrir la porte de ma cage!



Impossible.



Pourquoi?

Parce que tu n'appartiens pas à mon ensemble.



Et c'est quoi ton ensemble?

Ce qui est en dehors de ta cage.

Attends, je te montre...



Cage (X)
Liberté (L)

$$X \notin L$$



Alsy



curiokids

La Terre en surchauffe

Aujourd'hui, nous allons aborder un sujet chaud chaud chaud: le réchauffement climatique. Imagine-toi dans un grand conte, où la planète Terre est le personnage principal et où les humains, comme toi et moi, jouons un rôle crucial. Il commence au 19^e siècle...

TEXTE: LAETITIA MESPOUILLE - INFO@CURIOKIDS.NET
PHOTOS: © JOZSITOEROE - STOCK.ADOBE.COM (P.31)
ILLUSTRATIONS: PETER ELLIOTT

Il était une fois une certaine Eunice Newton Foote. C'est elle qui a découvert l'effet de serre, ce fameux phénomène qui permet à la Terre de conserver une température agréable pour y vivre. Au-delà de l'effet de serre naturel, il y a aussi l'effet de serre provoqué par l'activité humaine. Depuis les années 60, les preuves s'accumulent et confirment que quelque chose de grave se passe sur notre planète: le climat change. Comprendre le phénomène et ses conséquences, c'est déjà agir. Nous allons t'aider à comprendre et à devenir toi aussi un héros ou une héroïne du climat.

L'effet de serre, c'est quoi ?

Ce phénomène peut être vu comme un grand manteau chaud qui entoure notre belle planète. Mais d'où vient-il ? Et bien, imagine-toi en train de te balader dans une serre remplie de plantes. Tu remarqueras sûrement qu'il fait plus chaud à l'intérieur qu'à l'extérieur. C'est parce que la serre emprisonne la chaleur du soleil. L'effet de serre naturel, c'est un peu le même principe mais à l'échelle de toute la Terre !

Revenons à cette découverte: au 19^e siècle, un brillant mathématicien et physicien, Joseph Fourier, a eu cette intuition géniale que l'atmosphère de la Terre agissait comme une couverture, emprisonnant la chaleur du soleil. Comme une grosse couette nous permettant de rester au chaud. Eunice Newton Foote a ensuite confirmé cette intuition. En 1856, elle a découvert que l'effet de serre était possible grâce à certains gaz, comme le dioxyde de carbone (le CO_2) et la vapeur d'eau (H_2O).

Pour bien comprendre le phénomène, regardons le soleil: quand ses rayons lumineux atteignent la Terre, une partie de l'énergie rebondit sur l'atmosphère et se dissipe dans l'espace. Mais une autre partie de celle-ci est captée par notre atmosphère. Parmi les gaz qui la composent, il y a ceux qu'on appelle les «gaz à effet de serre». Ces gaz, comme le dioxyde de carbone

(CO₂), le méthane (CH₄), et d'autres un peu compliqués à prononcer, sont responsables du réchauffement de l'atmosphère. Grâce à eux, les températures sur Terre sont douces et propices au développement de la vie. Sans eux, la température moyenne de la Terre serait de -18 °C, un vrai froid de canard !



Quel lien avec le réchauffement climatique ?

Bonne question ! Comme on l'a dit, notre planète a besoin de l'effet de serre naturel pour que la vie s'y développe. Celui-ci est dû à certains gaz dont le dioxyde de carbone (CO₂), qui est produit par la respiration des animaux, par exemple. Ce CO₂ est ensuite récupéré par les plantes lors de la photosynthèse. C'est le cycle du carbone. Mais, et c'est bien là le problème, trop de gaz à effet de serre provoque une élévation des températures et avec elle, des problèmes en cascade. Voyons voir ça !

La Terre a connu de nombreux changements de climat. Cependant, en étudiant les relevés de températures réalisés entre 1880 et aujourd'hui, on réalise que le climat se réchauffe plus vite qu'il ne devrait. En 100 ans, la température a augmenté de près de 1° C. Pourquoi ? À cause de l'activité humaine. En effet, cette élévation de la température correspond à la révolution industrielle, qui a eu lieu au 19^e siècle. Durant cette période, les usines se sont développées partout en Europe. Et pour faire tourner les machines, on devait brûler des **ressources fossiles** comme le charbon, le pétrole et le gaz. La **combustion** de ces énergies fossiles produit le dioxyde de carbone (CO₂). Un des gaz à effet de serre les plus connus. Mais il n'est pas le seul.

Qui sont les coupables ?

Voyageons dans l'atmosphère terrestre ! Tu as appris plus haut que notre atmosphère avait la capacité de retenir la chaleur du soleil. En réalité, seuls certains gaz peuvent le faire. Ces gaz, qui agissent comme une couverture thermique pour notre planète, sont appelés gaz à effet de serre. Bien qu'essentiels, ils sont problématiques quand ils sont présents en trop grande quantité. Tu sais que notre atmosphère se compose à 78% d'azote et à 21% d'oxygène. Ces 2 gaz majoritaires ne sont pas des gaz à effet de serre, qui se cachent donc dans le 1% restant. Qui sont-ils ?

- Le dioxyde de carbone = CO₂. Sa teneur est seulement de 0,04%. Il est émis principalement lorsque nous brûlons des combustibles fossiles. Les plantes en sont friandes car elles le consomment lors de la **photosynthèse** pour produire l'oxygène (O₂) que nous respirons. Mais si nous continuons à couper les arbres, moins de CO₂ sera absorbé. C'est donc un problème.
- Le méthane = CH₄. Lui vient de la décomposition de déchets et des... prouts de vaches ! Bien sûr, un peu de méthane est normal, mais en trop grande quantité, ça peut perturber l'équilibre délicat de notre atmosphère.
- Le protoxyde d'azote = N₂O. Ce gaz provient des activités humaines telles que l'agriculture et l'industrie, ainsi que de la combustion des combustibles fossiles.
- Les **gaz fluorés**: ces gaz synthétiques se cachent dans diverses applications industrielles comme les climatisations ou les réfrigérateurs. Leur potentiel de réchauffement global est bien plus élevé que celui du CO₂, ce qui en fait de redoutables contributeurs au changement climatique.

Ces gaz ne réchauffent pas l'atmosphère de manière identique. Les molécules de méthane sont par exemple 25 fois plus puissantes pour réchauffer l'atmosphère que celles du CO₂. On parle ici de potentiel de réchauffement global.

LE TRUC DE OUF

Comment des gaz peuvent-ils réchauffer toute une atmosphère ?

Imagine que le CO₂ est représenté par 3 boules reliées entre elles par un ressort, le carbone étant au centre. Lorsque les rayons du soleil atteignent la Terre, une partie de cette énergie (les infrarouges) est absorbée par ces molécules de CO₂ et les ressorts se mettent alors à vibrer. Mais pourquoi le CO₂ réagit-il spécifiquement aux infrarouges ? Pour répondre à cette question, nous devons nous plonger dans la symétrie des molécules, comme nous l'enseigne Linus Pauling, Prix Nobel de chimie. Les molécules d'oxygène et d'azote sont parfaitement symétriques, même quand elles vibrent, ce qui n'est pas le cas du CO₂. Lorsqu'il vibre, il devient asymétrique, créant ainsi un dipôle. Cela veut dire qu'il y a une zone plus négative et une zone plus positive sur la molécule. C'est ce dipôle qui le rend sensible aux infrarouges. Maintenant, imagine des milliards de molécules de CO₂ agitées par la chaleur du soleil, se heurtant et transférant leur énergie aux molécules environnantes comme l'oxygène et l'azote. Cette énergie se présente sous forme de chaleur. Ce processus se produit des milliards de fois par seconde. Tu comprends maintenant comment, par la vibration des molécules, l'atmosphère se réchauffe.



Vibration symétrique



Vibration asymétrique

Le pire de tous étant le tétrafluorométhane (CF₄), 6 630 fois plus puissant que le CO₂.

Les vapeurs d'eau présentes dans les nuages contribuent aussi au réchauffement climatique. Tout comme le dioxyde de carbone, elles peuvent absorber les rayons infrarouges et contribuer au **réchauffement climatique** (voir *Le truc de ouf*). Prenons notre machine à remonter le temps et revenons encore une fois au 19^e siècle, où un certain John Tyndall, un physicien irlandais, a brillamment mis en lumière le rôle de la vapeur d'eau dans l'effet de serre. C'était en 1861, dans son ouvrage intitulé *Heat: A Mode of Motion*. Tyndall a montré comment certains gaz, dont la vapeur d'eau, ont la capacité d'absorber et de réémettre le **rayonnement infrarouge**, contribuant ainsi à piéger la chaleur dans l'atmosphère.

En tous cas, la question de savoir si le réchauffement climatique est provoqué par l'activité humaine ne se pose plus ! Tu as lu que certains gaz comme le méthane ou le dioxyde de carbone étaient capables de piéger une partie de l'énergie du soleil et de la conserver. Tu as vu aussi que ces gaz étaient responsables de l'effet de serre naturel. Cependant, depuis 1850, les scientifiques ont constaté une augmentation significative de cet effet, largement attribuée à l'activité humaine. En Belgique, les émissions de gaz à effet de serre issues des transports représentent près d'un quart de la totalité, tandis que l'industrie et l'agriculture contribuent plus de la moitié. Certains pourraient encore douter, se référant à des périodes passées de changements climatiques drastiques, comme les ères glaciaires. Cependant, ces événements étaient le résultat de processus naturels s'étalant sur des milliers d'années, contrairement au réchauffement climatique actuel, qui se déroule à un rythme alarmant. Il est donc impératif de cesser de débattre de la responsabilité humaine et de travailler ensemble pour trouver des solutions durables.

ACTU SCIENCE

Record battu !

Peux-tu imaginer un monde où les arbres poussent en Antarctique ? Où le niveau des océans est de 15 à 20 m plus haut qu'aujourd'hui ? Cela peut te sembler impossible, et pourtant, c'était la réalité du monde il y a 3 millions d'années, pendant une période appelée le Pliocène.

Une étude menée par des chercheurs en Allemagne a récemment révélé des faits étonnants sur le changement climatique. Elle utilise un tout nouveau modèle pour évaluer la concentration de CO₂ dans notre atmosphère. Actuellement, elle atteint le record alarmant de 414 **parties par million** (ppm). Cette concentration est presque identique à celle d'il y a 3 millions d'années. Comment le sait-on ? Les chercheurs ont analysé des carottes de glace, prélevées dans les zones les plus froides du globe. Dans ces carottes de glace se trouvent des bulles de CO₂ coincées dans les cristaux. Ces échantillons sont comme des capsules temporelles, conservant des informations sur le passé de notre planète.

La dernière fois que la concentration de CO₂ a dépassé les 400 ppm, c'était il y a des millions d'années, à une époque où nos ancêtres à peine évolués, les Australopithèques, arpentaient les terres africaines. Les conditions y étaient très différentes de celles d'aujourd'hui : les températures étaient bien plus chaudes, les océans plus hauts et même l'Antarctique était verdoyant !

BIG DATA

-18 °C

c'est la température moyenne qu'il ferait sur Terre sans l'effet de serre naturel

0.04%

C'est la quantité de dioxyde de carbone naturellement présente dans l'atmosphère

60 m

c'est l'élévation du niveau des mers si l'Arctique et l'Antarctique venaient à fondre



LE SELFIE



Eunice Newton Foote, découvreuse de l'effet de serre

Bien que l'Histoire soit dominée par les hommes, cette femme audacieuse, visionnaire a bravé les conventions de son époque pour laisser sa marque indélébile dans l'histoire de la climatologie. Eunice est née en 1819 dans le Connecticut aux États-Unis. Plus qu'une femme de son temps, elle était une pionnière, une scientifique avant-gardiste et une militante des droits des femmes. À l'âge de 37 ans, elle fait une découverte révolutionnaire. Dans une série d'expériences ingénieuses, elle démontre que certains gaz, comme le dioxyde de carbone (CO₂), se réchauffent lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil. Elle comprend que l'augmentation des niveaux de CO₂ dans l'atmosphère pourrait entraîner des changements climatiques, un phénomène aujourd'hui connu sous le nom d'effet de serre. Ses résultats sont publiés en 1856, faisant d'elle la première femme américaine à publier dans une revue scientifique sur le sujet. Pourtant, malgré ses contributions exceptionnelles, son travail tombe dans l'oubli pendant près d'un siècle. Ce n'est qu'au 20^e siècle que des universitaires redécouvrent ses travaux, reconnaissant enfin son rôle crucial dans la compréhension précoce de l'effet de serre.

LE P'TIT DICO



Ressource ou énergie

fossile Le pétrole, le gaz ou le charbon sont des trésors formés il y a des millions d'années à partir d'animaux et de plantes qui se sont transformés.

Combustion C'est une réaction chimique qui implique que quelque chose brûle - comme le bois - en présence d'un autre composé - l'oxygène. Cette réaction dégage de la chaleur.

Photosynthèse C'est une réaction chimique réalisée par les plantes. Avec la lumière, du CO₂ et de l'eau, elles fabriquent leur propre nourriture.

Gaz fluorés Ce sont des gaz qui contiennent des atomes de fluor. Son symbole chimique est F.

Rayons infrarouges Elles sont un type de lumière que nos yeux ne peuvent pas voir, car ils se situent juste en dessous du spectre visible. Mais on peut les sentir comme de la chaleur. Quand les infra-rouges touchent ta peau, les molécules s'agitent et libèrent de l'énergie sous forme de chaleur.

Parties par million

Imagine un paquet rempli de 1 000 000 de M&M's jaunes sauf un qui est rouge. Un M&M's sur 1 million est rouge. Ça correspond à 1 ppm.

DES SCÉNARIOS CATASTROPHES

1 Un degré, grosses conséquences

Sais-tu que le réchauffement climatique, ne serait-ce que d'un 1,5 °C, peut avoir de sérieux impacts sur nos vies et sur la nature ? Les experts du climat nous mettent en garde contre la disparition de nos habitats, la diminution de notre nourriture, la détérioration de nos récifs coralliens, et même une augmentation du niveau de la mer. Oh là là, c'est grave, n'est-ce pas ? Ce n'est pas tout, ils nous disent aussi que le nombre de poissons pêchés diminuera, que notre accès à l'eau sera plus compliqué, que des tempêtes de fous balaieront les villes, et même que certaines maladies se propageront de nouveau dans certains pays. Cette toute petite différence de 1,5 °C peut avoir un impact énorme, mettant la vie des êtres vivants en danger.

2 Montée des eaux et migration climatique

La montée du niveau des mers menace les populations résidentes sur les zones côtières, mais aussi sur certaines îles, pouvant être englouties par les flots. Les îles Tuvalu sont un ensemble de 9 îles perdues au milieu du Pacifique. Dans ce pays habitent 11 000 personnes environ. Avec la montée du niveau des océans, leurs îles sont menacées et pourraient disparaître d'ici 80 ans. Où habiteront-ils alors ? Heureusement pour eux, l'Australie propose de les accueillir ! Cependant, le cas des îles Tuvalu n'est pas unique. De nombreuses îles et pays sont menacés par cette montée des eaux. Dans le



scénario où les pôles devaient fondre, le niveau de la mer engloutirait la Flandre, et Bruxelles deviendrait une station balnéaire. Tu imagines le nombre d'habitants qui devraient déménager ? En Belgique et partout ailleurs sur la planète ? Pour aller où ? Et combien de temps seraient-ils à l'abri ? Et si un jour, il n'y avait plus assez de place sur la planète ?



3 Un ours dans la jungle

Avec la fonte de la banquise au pôle Nord, de nombreux animaux voient leur territoire se réduire. La banquise, qui devient plus fragile, rend la chasse plus difficile pour les lourds prédateurs comme l'ours blanc et le morse. Aujourd'hui, l'ours blanc a déjà perdu 35% de son territoire. Comment chasser le phoque, son plat favori, sans banquise ? Pour survivre, ces animaux ont besoin de manger 50 à 60 phoques par an. Mais avec la fonte précoce de la banquise, la chasse s'arrête plus tôt. Beaucoup meurent de faim tandis que d'autres s'épuisent en mer pour gagner de nouveaux territoires. Au Canada, les ours se rapprochent des villages pour voler des déchets. La cohabitation avec les êtres humains devient alors compliquée. Imagine-toi aller à l'école en vélo et croiser un ours blanc sur ton chemin. Trop bizarre, hein ! Même si ce serait incroyable de vivre cela un jour, ce ne serait pas normal. Ce sont des animaux sauvages que l'on est pas censé croiser au coin de la rue... 🐻

TON P'TIT LABO

Une expérience à faire avec Curiokids :
«Comment faire monter l'eau dans un verre avec une bougie»

Scanne-moi !





Les prisonniers du sommeil

S'endormir en pleine journée pour un oui ou pour un non. Quelquefois, se sentir paralysé dans son lit durant quelques secondes ou quelques minutes au moment du réveil. Et parfois aussi, dans une des formes de la maladie, s'affaler soudainement sur le sol, sans tonus musculaire, parfaitement conscient mais immobile. Voilà 3 manifestations spectaculaires de la narcolepsie, cette hypersomnie des plus handicapantes dans la vie quotidienne. Une pathologie décrite aujourd'hui comme auto-immune d'origine génétique et environnementale

TEXTE: PHILIPPE LAMBERT • PH.LAMBERT.PH@SKYNET.BE
WWW.PHILIPPE-LAMBERT-JOURNALISTE.BE
PHOTOS: © STOCK.ADOBE.COM (P.35), © AEROKING - STOCK.ADOBE.COM (P.38)

Entendues au sens large, les hypersomnies font référence à toutes les plaintes de somnolence diurne excessive dues, pour la plupart, à une privation chronique de sommeil, à une perturbation des rythmes circadiens ou à des syndromes dépressifs qualifiés alors de dépressions hypersomnolentes. Au sens neurologique du terme, en revanche, les hypersomnies sont au nombre de 3: le syndrome de Kleine-Levin, l'hypersomnie idiopathique et la narcolepsie de type 1 (NT1) ou de type 2 (NT2).

Dans cette triade, la narcolepsie, bien que relativement rare (de 2 à 3 cas pour 10 000 personnes), est de loin la plus fréquente et la plus étudiée. Elle existe sous 2 formes: le type 1 (environ 80% des cas) et le type 2. La première s'accompagne de cataplexies, épisodes soudains de chutes partielles ou généralisées du tonus musculaire au niveau des muscles volontaires (squelettiques). Par ailleurs, elle est caractérisée par un dysfonctionnement d'une population restreinte de neurones (70 000 à 80 000 au total) localisés dans l'hypothalamus latéral et dorso-médian: les neurones producteurs d'hypocrétine, également appelée orexine. Selon de récents travaux, il pourrait s'agir, plutôt que d'une destruction neuronale habituellement évoquée, d'un état de sidération des neurones dont l'expression de l'hypocrétine serait rendue silencieuse par une méthylation des promoteurs du gène codant pour ce neuropeptide. «*Dans la narcolepsie de type 1, le taux d'hypocrétine dans le liquide céphalorachidien est fortement réduit ou indosable*», précise Julien Fanielle, neurologue au CHU de Liège. Dans la narcolepsie de type 2, il n'y a pas de cataplexie, les neurones producteurs d'hypocrétine ne sont pas impactés et le taux du neurotransmetteur n'est pas abaissé, sauf quelquefois où il adopte une valeur «intermédiaire». «*Dans ce cas, il est légitime de se demander si l'on n'a pas affaire à des narcolepsies de type 1 en devenir*», dit le neurologue. Abstraction faite des différences entre types 1 et 2, qui s'étendent aussi, nous le verrons, à la sphère génétique, le diagnostic de narcolepsie se fonde sur 2 éléments clés: une hypersomnolence durant

la journée et la survenue de sommeil paradoxal lors de siestes constitutives des «tests itératifs de latence d'endormissement» (*voir infra*).

Irruption de sommeil paradoxal

Outre un entretien clinique détaillé, quel est le cheminement classique menant au diagnostic dans le cadre des tableaux d'hypersomnie ? Tout d'abord, le patient est équipé d'un actimètre durant une quinzaine de jours. Ce dispositif, qui enregistre les mouvements corporels, permet au neurologue de se forger une idée de la manière dont le sujet se partage entre veille et sommeil ainsi que de se prononcer sur l'éventualité d'une privation chronique de sommeil ou d'un trouble du rythme circadien - 2 occurrences de nature à engendrer des plaintes d'hypersomnolence. «C'est typiquement le cas chez les adolescents qui vont se coucher tard ou chez les travailleurs postés, dont les rythmes biologiques peuvent s'avérer totalement irréguliers. Déterminer s'il y a un déficit chronique de sommeil ou des troubles du rythme circadien est important pour faire la part des choses car ces situations favorisent parfois la survenue du sommeil paradoxal à l'occasion des siestes programmées lors des tests itératifs de latence de sommeil», explique le docteur Fanielle. Deuxième étape: une polysomnographie effectuée durant une nuit passée par le patient dans une unité hospitalière spécialisée. Elle a pour objectif de mettre en lumière des troubles au niveau de la physiologie du sommeil et de les quantifier.

L'étape suivante fait appel aux tests itératifs de latence d'endormissement. Cinq siestes diurnes de 20 min, espacées de 2 h, sont proposées au patient. S'il s'endort tardivement (après 18 min, par exemple), la session peut être prolongée de 15 min. Le but de l'examen dans la recherche d'une possible narcolepsie est de percevoir l'immixtion éventuelle d'épisodes de sommeil paradoxal au cours des siestes diurnes, ce qui est censé ne pas se produire normalement. En effet, le sommeil paradoxal ne doit théoriquement se manifester que dans la dernière phase d'un cycle de sommeil, dont la durée approximative est de 90 à 120 min. Les critères diagnostiques pour la narcolepsie sont la survenue de 2 épisodes de sommeil paradoxal (SOREMP - *Sleep onset REM period*) (1) sur les 5 siestes, dans les 15 min suivant l'endormissement, ou d'un seul et d'un autre, précoce (dans les 15 min également), enregistré par la polysomnographie durant la nuit passée dans une unité d'étude du sommeil. Pour l'hypersomnie idiopathique, par exemple, où le sommeil est en quelque sorte programmé

comme le mode par défaut au lieu de l'éveil, le critère diagnostique est une latence d'endormissement moyenne inférieure ou égale à 8 min sur les 5 siestes, avec moins de 2 SOREMP.

Le plus fréquemment, la narcolepsie débute dans l'enfance ou l'adolescence ou chez le jeune adulte. Elle présente aussi un pic d'incidence vers 30 ans, mais peut néanmoins commencer à un âge plus avancé. Son diagnostic n'est habituellement posé que tardivement, en moyenne 8 ans après l'apparition des premiers symptômes et seulement chez un tiers des malades. Pour qu'il soit enfin établi, il faut souvent qu'émergent de graves problèmes, tels une chute des résultats scolaires, un accident de la route ou encore de sévères difficultés professionnelles. Pourquoi ? «Parce que la maladie est relativement mal connue et très régulièrement banalisée», rapporte Julien Fanielle. Ainsi, on trouve toujours une bonne raison pour justifier la somnolence excessive d'un enfant. On dira qu'il va se coucher trop tard ou qu'il souffre peut-être d'une mononucléose, par exemple.»

Un état anxigène

Dans un article publié en 2015 dans *The New England Journal of Medicine*, Thomas E. Scammell, de la *Harvard Medical School*, à Boston, écrit: «Le sommeil paradoxal peut survenir chez les personnes atteintes de narcolepsie à n'importe quel moment de la journée, et les éléments classiques du sommeil paradoxal s'immiscent souvent dans l'état de veille.» Quels sont ces éléments ? La production de rêves, des mouvements oculaires rapides et une atonie musculaire touchant les muscles squelettiques, à l'exception des muscles oculomoteurs et du diaphragme. Rêves, hallucinations...: chez le patient narcoleptique peuvent survenir des hallucinations hypnagogiques, c'est-à-dire se produisant à l'endormissement, ou des hallucinations hypnopompiques, propres aux premiers instants de l'éveil. Plutôt dérangeantes (vision de voleurs ou de monstres, impression de percevoir une voix ou un bourdonnement...), les unes et les autres sont tantôt visuelles, tantôt auditives, tantôt kinesthésiques, voire multimodales. En outre, dans une étude publiée en 2019, des chercheurs de l'*Institut du cerveau (ICM)*, à Paris, se sont interrogés sur la possibilité que les personnes narcoleptiques soient globalement plus créatives que des sujets contrôles, les données de la littérature suggérant qu'une sieste qui inclut une phase de sommeil paradoxal favorise, dans sa foulée, une période de plus grande flexibilité mentale. Il apparut que les sujets narcoleptiques obtenaient effectivement de meilleurs scores à des tests de créativité. Toutefois, comme le précisent les chercheurs, «seule

(1) REM pour *Rapid Eye Movement*. Il s'agit du sommeil paradoxal.

(2) Découvert par le Pr Jean Dausset, prix Nobel de médecine ou physiologie en 1980, le complexe majeur d'histocompatibilité, qui se subdivise en 2 classes (molécules de classe 1 et 2) joue un rôle essentiel en immunologie. Il permet notamment de connaître la compatibilité entre un donneur et un receveur pour une greffe d'organe.

une partie d'entre eux sortait vraiment du lot en matière d'accomplissement créatif».

Dans la narcolepsie, on observe également des «paralysies du sommeil». «Au moment où elles se réveillent, les personnes concernées sont parfois incapables de bouger, signale Julien Fanielle. L'atonie musculaire du sommeil paradoxal, qui devrait être "désactivée" au moment où l'on sort du sommeil, dure encore quelques secondes, éventuellement 1 ou 2 min. Les individus restent paralysés des 4 membres, seuls les yeux et le diaphragme sont mobiles. État anxiogène qui, sans explications appropriées pour le prévenir, est associé au sentiment d'être prisonnier de son corps, ainsi qu'à la crainte d'événements dramatiques tels une paralysie définitive ou un arrêt cardiaque.» On constate par ailleurs des troubles dans le sommeil paradoxal sous la forme de mouvements désordonnés qui se substituent à l'habituelle immobilité présidant à cette phase de sommeil. Une prise de poids est observée chez 30% des patients narcoleptiques, essentiellement parce que la somnolence les rend peu actifs et que le système de l'orexine (hypocrétine), dont on connaît l'implication dans la régulation de l'éveil, du sommeil paradoxal, mais également de l'appétit, est défaillant. La dépression est aussi au rendez-vous chez un tiers des patients.

De l'émotion à la cataplexie

Les personnes narcoleptiques ne présentent pas nécessairement un tableau complet de l'ensemble des symptômes de la maladie. Une de ses manifestations à laquelle ils n'échappent cependant pas est la fragmentation du sommeil de nuit. Contrairement à une idée reçue, ils ne «dorment pas tout le temps». Certes, ils connaissent des endormissements irrésistibles en journée, mais leur sommeil nocturne est émaillé de nombreux réveils. Chez eux, il y a une altération de sa qualité et de sa continuité. S'agissant même de courtes durées de sommeil, celui-ci est réparateur mais la somnolence ne tarde pas à réapparaître, surtout dans un contexte d'inactivité.

La narcolepsie de type 1 est le cadre de cataplexies généralisées ou partielles. Ces épisodes sont habituellement déclenchés par une émotion, le plus souvent agréable - le rire, la rencontre inattendue d'un ami, un orgasme, etc. Il arrive néanmoins qu'ils éclorent à la suite d'émotions négatives comme la colère ou l'effet de surprise. «Dans la majorité des cas, le rire est le principal déclencheur de ces pertes de tonus musculaire dans lesquelles semble être activée

une voie mettant en œuvre l'amygdale, structure du système limbique impliquée dans la gestion émotionnelle, le cortex préfrontal et le tronc cérébral, commente le docteur Fanielle. On pense que la cataplexie s'explique par une intrusion, durant l'éveil, de l'atonie musculaire typique du sommeil paradoxal.»

La narcolepsie balafre la vie sociale, professionnelle et scolaire; elle multiplie les risques d'accidents domestiques, de la route ou du travail à moins qu'elle n'interdise la conduite automobile ou d'autres activités comportant certains risques. Elle débouche parfois sur une stigmatisation notamment d'élèves désignés à tort comme fainéants.

Lors d'un épisode cataleptique, qui dure traditionnellement de quelques secondes à 2 min environ, il n'y a jamais de perte de connaissance comme dans une syncope. Si la cataplexie est partielle, on observe régulièrement des troubles de l'élocution et un relâchement des muscles de la face. Si elle est totale, la personne peut s'affaler sur le sol, où elle demeure immobile, mais pleinement consciente. Ainsi que le souligne Julien Fanielle, le phénotype est différent chez les enfants, les cataplexies infantiles prenant classiquement la forme d'une modification du tonus du visage, d'une ouverture involontaire de la bouche et d'une protrusion de la langue (projection vers l'avant), laquelle est parfois animée de mouvements anormaux involontaires (dyskinésies). De surcroît, dans les narcolepsies de l'enfant, l'apparition d'une démarche chancelante durant des périodes prolongées et une prise de poids inhabituelle associée à la somnolence peuvent faire partie du tableau clinique.

Si l'étiologie de la narcolepsie de type 2 conserve une grande part de mystère, celle de la narcolepsie de type 1 est beaucoup mieux connue. Et l'on peut considérer aujourd'hui que nous sommes très probablement face à une maladie auto-immune d'origine génétique et environnementale. Quelque 95% des patients narcoleptiques de type 1 possèdent l'allèle HLA-DQB1*06:02 au sein du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) (2) de classe 2, entité importante du système immunitaire humain. Cependant, dans la population générale, 20 à 25% des individus en sont également porteurs. HLA-DQB1*06:02 n'est donc pas spécifique de la narcolepsie. «Il y a aussi, mais moins fréquemment, une mutation au niveau du récepteur TCR, le récepteur des lymphocytes T, et une association avec des polymorphismes d'autres gènes encore - P2RY11, par exemple», indique Julien Fanielle. Et d'ajouter: «On a en outre identifié des groupes HLA protecteurs, tels HLA-DPB1*04:02 et HLA-DQB1*06:03.» Cela nous mène sur la piste d'une forte prédisposition génétique qui, alliée à certains facteurs environnementaux déclencheurs, initierait un mécanisme auto-immun se traduisant par la destruction ou l'inactivation des neurones à hypocrétine de l'hypothalamus. «Étant donné qu'on n'a jamais trouvé d'anticorps circulants associés à la narcolepsie, il est vraisemblable que nous ayons affaire à une réaction immunitaire de type cellulaire, laquelle mobilise les lymphocytes T», fait remarquer notre interlocuteur.



Vers un tournant thérapeutique

Parmi les facteurs environnementaux dont la responsabilité est évoquée, le regard se porte prioritairement sur la grippe et les infections à streptocoques. Motif ? Des cas de personnes ayant développé une narcolepsie de type 1 dans la foulée d'une de ces maladies ont été répertoriés. Ainsi, conformément à l'hypothèse d'une responsabilité possible des virus influenza, la Chine, où la grippe H1N1 a sévi durant l'hiver 2009-2010, a vu l'incidence de la narcolepsie être multipliée par 3 l'année suivante. H1N1 toujours: un événement survenu en 2009 apporte de l'eau au moulin de la thèse de la maladie auto-immune. L'utilisation en Europe - particulièrement en Scandinavie - du vaccin *Pandemrix*® de *Glaxo-SmithKline* contre la grippe H1N1 a drainé dans son sillage une multiplication par 12 du nombre de nouveaux cas de narcolepsie. L'adjuvant (AS03) de ce vaccin est mis en cause, dans la mesure où un vaccin similaire (*Focetria*®), doté d'un autre adjuvant (MF59C), et un autre vaccin encore (*Panenza*®), sans adjuvant, n'ont pas entraîné le même effet délétère.

⁽³⁾ Publication en juillet 2023 dans *The New England Journal of Medicine*.

⁽⁴⁾ Produits de transformation d'un corps organique au sein d'une cellule, d'un tissu ou du milieu sanguin.

La narcolepsie balafre la vie sociale, professionnelle et scolaire; elle multiplie les risques d'accidents domestiques, de la route ou du travail à moins qu'elle n'interdise la conduite

automobile ou d'autres activités comportant certains risques; elle débouche parfois sur une stigmatisation lorsque, par exemple, un élève narcoleptique est désigné comme fainéant par des condisciples ou par des professeurs qui méconnaissent sa situation. Il n'existe à ce jour aucun traitement étiologique pour faire obstacle au processus d'altération des neurones à hypocrétine. En revanche, différents traitements symptomatiques sont disponibles. Ils agissent tantôt sur la somnolence, tantôt sur la cataplexie, tantôt sur les 2. Mais leur efficacité se limite à une amélioration des symptômes et leurs effets secondaires ne sont pas négligeables. Néanmoins, une révolution est en cours. Une équipe de chercheurs de l'Université de Montpellier, dirigée par le professeur Yves Dauvilliers, a testé l'administration par voie orale d'un agoniste des récepteurs 2 à l'hypocrétine développé par la firme pharmaceutique japonaise *Takeda* et baptisé TAK-994. Résultats spectaculaires s'il en est ! ⁽³⁾ «*Nous n'avons pas eu une simple amélioration des symptômes; pour la première fois, les patients se sont tout simplement sentis guéris*», rapporte Yves Dauvilliers. Ou plutôt se sont sentis comme guéris, car ce traitement n'est pas curatif.

L'essai clinique a toutefois dû être interrompu en raison de troubles hépatiques chez certains patients. «*On pense qu'un des métabolites* ⁽⁴⁾ *du médicament est en cause et que ce n'est donc pas à proprement parler la fixation de la molécule thérapeutique qui pose problème puisqu'il n'y a pas de récepteurs de type 2 à l'hypocrétine dans le foie*», explique le docteur Fanielle. La firme *Takeda* et les chercheurs français travaillent déjà sur une nouvelle molécule qui se joue a priori de la toxicité hépatique de sa devancière.

Pour l'heure, la narcolepsie est essentiellement traitée par une combinaison d'approches comportementales et pharmacologiques. Peut également s'y greffer une prise en charge psychologique en raison d'une éventuelle symptomatologie dépressive associée. Au niveau comportemental, une hygiène de vie stricte est la clé de voûte. «*C'est contraignant, mais cet effort conduit à un meilleur contrôle de la maladie*», dit Julien Fanielle. Dans ce contexte se plier à des siestes diurnes d'une vingtaine de minutes permet au patient de recharger ses batteries et d'écarter ainsi la somnolence qui malheureusement, sans autre intervention, reviendra au galop 1 h ou 2 plus tard. ^(A)



Gerty Theresa Cori et son époux, Carl Ferdinand Cori

Qui est-ce ? Gerty Theresa CORI

TEXTE : JACQUELINE REMITS - JACQUELINE.REMITS@SKYNET.BE
PHOTOS : SMITHSONIAN INSTITUTION (P.39)

parents qui ne voient pas d'un bon œil ma relation avec un jeune docteur. Nous commençons à travailler: Carl comme pharmacologue et moi dans un hôpital pédiatrique où je m'intéresse à l'insuffisance thyroïdienne congénitale. Mais je souffre de xérophtalmie (assèchement de la conjonctive et de la cornée de l'œil) et je dois partir me reposer chez mes parents à Prague pour récupérer ma vision. La situation matérielle et professionnelle que l'Autriche peut nous offrir ne nous satisfait pas. En plus des conditions déplorables, il nous faut fuir la montée de l'antisémitisme. C'est pourquoi nous décidons de tenter de quitter l'Europe. Nous proposons notre candidature aux Pays-Bas pour partir travailler sur l'île de Java. Entre-temps, nous recevons une proposition d'embauche de l'Institut d'État de Buffalo aux États-Unis pour l'étude de maladies malignes. Carl part en 1922 et je le rejoins 6 mois plus tard après avoir obtenu un poste d'assistante en pathologie. À cette époque, la misogynie est très présente aux États-Unis et malgré mes recherches fructueuses, je publie seulement 11 articles en solo et près de 50 avec Carl. À l'Université de Rochester, on conseille à mon mari de ne pas «ruiner sa carrière» en publiant avec moi. À l'Eastern New Mexico University, il nous est déconseillé de travailler ensemble. J'ai le statut d'assistante pathologiste. Quand elles cherchent à engager mon mari, les universités de Toronto et de Cornell refusent de m'embaucher. Finalement, en 1931, nous partons pour l'Université Washington à Saint-Louis, dans l'État du Missouri. Nous nous consacrons aux recherches du métabolisme des

Je suis...

Médecin biochimiste et la première femme à avoir reçu le prix Nobel de physiologie ou médecine. C'était en 1947. Née à Prague dans une famille bourgeoise juive, mon père est chimiste et je suis l'aînée de 3 sœurs. D'abord instruite à domicile par un précepteur, j'intègre à 10 ans un gymnasium pour filles. À 16 ans, je sais ce que je veux devenir: médecin. Pendant 2 ans, je m'y prépare en me mettant au niveau nécessaire en mathématiques, chimie et latin afin de pouvoir entrer à l'Université Charles de Prague. C'est là que je rencontre Carl Ferdinand Cori, qui deviendra mon mari. La Première Guerre mondiale fait rage et Carl est recruté sur le front italien. Malgré cela, nous obtenons notre diplôme de médecine en 1920. La même année, nous partons à Vienne où nous nous marions contre la volonté de nos



CARTE D'IDENTITÉ

NAISSANCE: 15 août 1896, Prague (royaume de Bohême, empire austro-hongrois)

DÉCÈS: 26 octobre 1957, Saint-Louis (Missouri, USA)

NATIONALITÉ: Austro-hongroise, Tchèque, Américaine (dès 1928)

SITUATION FAMILIALE: Mariée, 1 fils

DIPLÔME: Médecine à l'Université Charles de Prague

CHAMPS DE RECHERCHE: Biochimie, métabolisme des saccharides

DISTINCTIONS: Prix Albert-Lasker pour la recherche médicale fondamentale (1946), Prix Nobel de physiologie ou médecine (1947)

saccharides. Carl obtient un poste de professeur de pharmacologie et moi, d'attachée de recherche dans ce domaine. Ce n'est qu'en 1946, quand mon mari prendra la direction du département de biochimie, que j'obtiendrai une chaire de professeure associée de recherche en chimie biologique et en pharmacologie. Une étape importante dans ma carrière. C'est la première fois qu'une femme est

nommée à un poste de professeur à temps plein dans une faculté de médecine.

À cette époque...

À ma naissance, en 1896, Prague est la capitale du royaume de Bohême au sein de l'empire austro-hongrois. Après la guerre, en 1918, les députés de Bohême réclament l'union des Tchèques et des Slovaques au sein d'un État indépendant. Le 28 octobre de la même année, l'indépendance est proclamée à Prague. C'est la chute de l'empire et la naissance de la Tchécoslovaquie. En 1947, l'année où nous recevons le prix Nobel, les États-Unis décident d'un plan d'aides économiques à l'Europe, le plan Marshall, du nom du secrétaire d'État George Marshall qui l'a initié.

J'ai découvert...

Avec mon mari, le processus de conversion catalytique du glycogène et le rôle de l'hypophyse dans le métabolisme de sucre. En 1936, au cours de nos recherches sur le glucose, nous découvrons le glucose-1-phosphate et nous mettons au point la description de la dégradation du glycogène en glucose. Après 6 ans de travaux, Carl et moi reconstituons le cycle de synthèse du sucre dans les muscles et le foie, ce qui s'appellera plus tard le cycle de Cori. Nos travaux auront un impact sur l'utilisation de l'insuline, découverte quelques années plus tôt. C'est la première étape de notre recherche qui nous mènera à obtenir ensemble le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1947 «pour la découverte du processus de conversion catalytique du glycogène», en même temps que Bernardo Houssay, un physiologiste argentin, «pour la découverte du rôle joué par l'hormone du lobe de l'hypophyse antérieure dans le métabolisme des sucres». Je deviens ainsi la 3^e femme après Marie Curie et Irène Joliot-Curie, et la première Américaine, à recevoir le prix Nobel. Quelques jours avant de partir recevoir notre prix Nobel à Stockholm, on me diagnostique une splénomégalie myéloïde, maladie rare et irréversible provoquant une dégénérescence de la moelle osseuse. Mais je continue de travailler au laboratoire, découvrant comment la perte ou le dysfonctionnement d'une enzyme peut causer des maladies. ^A

SAVIEZ-VOUS QUE...

Cette découverte révolutionnaire dans le domaine de la génétique humaine a constitué une avancée majeure dans la compréhension de la manière dont les maladies génétiques sont causées. Elle a depuis été utilisée pour développer des traitements pour une variété de troubles génétiques. Le travail de Gerty Cori a contribué à améliorer la vie d'innombrables personnes.

Elle meurt en 1957, l'année de sa promotion comme professeure titulaire, chez elle à Saint-Louis à l'âge de 61 ans. Jusqu'en 1977, elle a été la seule femme au monde récompensée du prix Nobel de médecine. Il faut savoir que Gerty et Carl Cori ont longtemps été ignorés dans leur pays natal, le régime communiste tchécoslovaque ayant toujours refusé qu'on évoque ces chercheurs. Ce n'est qu'en 1997, année du 50^e anniversaire de leur attribution du prix Nobel, qu'a été organisé à Prague un séminaire sur ces seuls lauréats tchèques du prix Nobel de médecine. À cette occasion, leur fils Carl Thomas Cori, venu des États-Unis, a pu pour la première fois visiter les maisons natales de ses parents. Il a rencontré Pavel Cech, chef du Cabinet d'histoire de la médecine de l'Université Charles, qui a sorti des archives des témoignages sur ses célèbres parents. Il avait reconstitué leurs traces sur base de témoignages dans des écoles, des synagogues, des maisons de proches et ancêtres et leurs maisons natales. En 2007, un séminaire s'est tenu à l'Université Charles de Prague pour rappeler l'œuvre et la vie de ces scientifiques.

Aujourd'hui, les choses ont changé. Des plaques commémoratives ont été placées sur leurs maisons natales, dans la Nouvelle-Ville de Prague. Un cratère lunaire et un astéroïde portent le nom de Cori. Sur le St. Louis *Walk of Fame*, dans le Delma Loop, un quartier dynamique et historique de Saint-Louis, une étoile porte leur nom. Cet honneur reconnaît les immenses contributions du couple aux avancées scientifiques dans le domaine de la biochimie.

Femme déterminée et passionnée, Gerty Cori a toujours refusé d'être freinée par les règles de discrimination sexuelle et de népotisme de son époque. Malgré les obstacles rencontrés, elle n'a jamais renoncé à son intérêt de toujours pour la recherche médicale. Ses découvertes sur le rôle des enzymes dans le métabolisme ont révolutionné le domaine de la biochimie. Elles continuent d'être une source d'inspiration pour les jeunes femmes scientifiques d'aujourd'hui.



L'IA MADE IN BELGIUM

Alors que la Belgique prend pour 6 mois la présidence de l'Union européenne, c'est la Fédération Wallonie-Bruxelles qui sera en charge des questions relatives au développement de l'IA. Pionnière en la matière, elle a, il y a quelques années, mis sur pied le *Trail*, pour *Trusted AI Labs*. Ce consortium, formé des 5 universités francophones et des 4 centres de recherche agréés, a pour but de former des chercheurs tout en permettant aux entreprises wallonnes de s'approprier ces outils. Rencontre avec le Pr Benoît Macq de l'UCLouvain, premier président de *Trail*, Anne-Laure Cadji, Executive Officer du *Trail*, et Fabian Lapierre, spécialiste en recherche innovation au Service Public de Wallonie

THIBAUT GRANDJEAN - GRANDJEAN.THIBAUT@GMAIL.COM

PHOTOS: © SUMMIT ART CREATIONS - STOCK.ADOBE.COM (P.41), © SEBASTIAN - STOCK.ADOBE.COM (P.42), © TONY BAGGETT - STOCK.ADOBE.COM (P.43), © SHUO - & LUZITANIJA - STOCK.ADOBE.COM (P.44), © FRESHIDEA - STOCK.ADOBE.COM (P.44)

Pensez-vous que l'Intelligence Artificielle (IA) a le pouvoir de changer profondément la société ?

Benoît Macq: Absolument ! Il y a tout d'abord eu cette première révolution qu'est Internet, et qui a généré d'immenses quantités de données sur les comportements humains. Tout à coup, nous avons pu observer le monde avec beaucoup plus de précision. Et en parallèle, de nouvelles capacités de calcul capables de traiter ces données ont vu le jour, et l'IA a pu prendre son essor. C'est un peu comme un nouveau télescope qui nous permet de voir des choses invisibles auparavant. Par exemple, sans l'intelligence artificielle, on serait aujourd'hui incapable de traiter la masse d'informations qui nous provient de l'étude du génome. Dans le domaine de la production manufacturière, on peut désormais réaliser des jumeaux numériques d'usines, qui en reprennent tous les paramètres pour optimiser son fonctionnement et ainsi consommer moins d'énergie, de matières premières... Et de nombreux autres domaines sont concernés.

Anne-Laure Cadji: Pour autant, cet immense potentiel ne doit pas cacher les profondes préoccupations de la population à l'égard de ces outils, qui sont à la fois présentés comme ayant le pouvoir de détruire des emplois, tout en commettant des erreurs grossières. Aujourd'hui, on doit pouvoir injecter l'expertise humaine dans ces algorithmes, et au sein de *Trail*, les interactions



humain-machine, destinées à avoir une décision humaine plus élaborée, sont vraiment notre préoccupation numéro 1.

Fabian Lapierre: L'avènement de l'IA peut être comparé à l'arrivée de l'électricité au 19^e siècle. Comme avec l'électricité, seules les entreprises, mais aussi les sociétés au sens large, qui adopteront l'IA survivront. Il est donc important de franchir ce pas, même si cela fait peur. D'autant que les IA ont vraiment la capacité d'aider les travailleurs à économiser du temps et retrouver une qualité de vie. Cependant, au vu des enjeux climatiques, le développement à base de grands centres de calcul tel qu'il est prôné aux États-Unis et en Chine ne me paraît pas soutenable. Dès maintenant, L'UE doit s'appuyer sur une utilisation parcimonieuse des données et de l'énergie.

Les données forment justement le carburant des IA. Or, pour que cette dernière soit pertinente, elle doit être nourrie par des données de qualité...

B. M.: Plus que la qualité des données, c'est avant tout leur pluralité qui est importante, et c'est une des forces de l'Europe. Au contraire des États-Unis, qui sont un marché très uniforme conduit par l'économie d'entreprise, et de la Chine, où l'IA est conduite par une vision étatique, nous avons chez nous une grande diversité de courants de pensée, de langues, et de façons de gérer nos données. En recherche, nous travaillons avec des silos de données hétérogènes, qui permettent d'avoir une IA plus robuste, et moins centralisée. Un exemple: dans le domaine médical, les hôpitaux universitaires fournissent quantités des données de santé, mais nous choisissons également de nous appuyer sur celles provenant des hôpitaux périphériques. Ces données sont peut-être moins fournies, moins détaillées, mais elles sont importantes car elles reflètent la diversité des patients. On peut également donner l'exemple de ChatGPT: si tout le monde raisonne avec cet outil, il va y avoir progressivement une uniformisation de la pensée. Notre multiculturalité doit être un atout dans ce domaine.

A-L.C.: Il y a pour moi 3 aspects primordiaux pour obtenir des données de qualité. Tout d'abord l'accès à Internet. L'Europe est un des continents les plus connectés au monde, et elle l'est dans toute sa diversité. Ensuite, nous sommes la première région à élaborer une réglementation en la matière, l'IA Act, qui établira des standards auxquels l'IA doit se conformer pour une utilisation rigoureuse des données. Ensuite, nous avons ici, en Europe, des cerveaux extraordinaires. Si l'on regarde du côté de la Silicon Valley, nombreux

y sont les développeurs européens et cela insufflé de la diversité.

Cela suffira-t-il pour développer une IA qui soit à la fois performante et éthique ?

F. L.: Toute innovation technologique nécessite d'établir des gardes-fous contre une utilisation malveillante. C'est pourquoi il est important que son développement ne soit pas uniquement laissé aux ingénieurs. Ensuite, je pense qu'il nous faudra développer des outils de sensibilisation à l'IA, afin que les utilisateurs comprennent la façon dont elle fonctionne. Prenons l'exemple de *ChatGPT*: son utilisation de façon naïve n'est guère utile. Il est nécessaire pour cela d'utiliser un train de pensée, c'est-à-dire une technique qui permet d'en obtenir des informations pertinentes.

A-L.C.: À nouveau, on touche là à l'importance cruciale de l'interaction humain-machine. À l'heure actuelle, il est clair que nous allons avoir besoin de nouveaux métiers, capables de s'approprier cet art de communiquer avec la machine.

B. M.: D'un côté, les chercheurs doivent avoir la connaissance la plus fine possible de l'objet qu'ils manipulent. Et en complément, ces derniers doivent être à la disposition d'experts capables de questionner ces recherches de façon critique, pour fournir un cadre éthique à même de développer une vision humaniste de l'IA. Pour cette raison, la nouvelle version de *Trail* embauchera non seulement des chercheurs en IA, mais également des philosophes, des éthiciens, des psychologues sociaux...

Comment fournir à l'IA la puissance machine dont elle a besoin pour fonctionner ?

F. L.: La Wallonie est équipée de plusieurs unités de calcul que les chercheurs utilisent déjà pour concevoir et entraîner leurs algorithmes. Il y a tout d'abord les 5 calculateurs, tous interconnectés, que l'on trouve dans chaque université francophone. Ensuite, le centre de recherche *Cenaero*, participant du *Trail*, héberge le 245^e supercalculateur mondial, LUCIA. Il permet notamment de faire des calculs en matière de recherche climatique. Et enfin, la Belgique fait partie d'un consortium européen qui a financé LUMI, le supercalculateur le plus rapide d'Europe, situé en Finlande.

B. M.: Et pour aider les entreprises, nous avons mis en place au sein de *Trail* une plateforme dénommée la *Trail Factory*. Les chercheurs pourront y déverser les logiciels qu'ils conçoivent, afin de mettre directement leurs compétences au service du tissu socioéconomique.

A-L.C.: Les supercalculateurs nécessitent également du matériel informatique de pointe, qui est actuellement majoritairement produit à Taiwan et en Chine. Cependant, il y a une volonté de relocaliser la production de ces puces en Europe, et la Wallonie participe activement à cette initiative européenne de créer une chaîne de production de composants électroniques.

Un peu d'histoire

L'idée de l'intelligence artificielle, c'est-à-dire d'un être non vivant capable de raisonnement, est aussi vieille que l'humanité. Il y a eu l'automate *Talos* de la mythologie grecque, le golem des légendes juives, et plus récemment le monstre de Frankenstein. Mais ce qu'on nomme aujourd'hui l'IA prend sa source au sein de travaux scientifiques menés dans les années 1940 et 1950, où les premières machines pensantes ont été imaginées. Il faut dire que le contexte y était très favorable: à cette époque, plusieurs travaux ont déjà montré que le cerveau est gouverné par un réseau de neurones fonctionnant par impulsion électrique. La cybernétique, une discipline qui établit que les machines comme les êtres vivants sont animés grâce à la transmission d'informations, est en plein essor. Mais surtout, les premiers ordinateurs commencent à arriver et, en 1951, le premier programme de jeu d'échecs voit le jour. Cinq ans plus tard, en 1956, la conférence de Dartmouth donnera le coup d'envoi à 2 décennies de découvertes dans ce domaine. Durant plusieurs semaines, les premiers pionniers de l'IA se retrouvent au même endroit et discutent de ce qui n'est encore que des hypothèses. C'est à ce moment-là qu'est créé le terme d'intelligence artificielle. Dans la thèse de la conférence, ils écriront: «Chaque aspect de l'apprentissage ou toute autre caractéristique de l'intelligence peut être si précisément décrit qu'une machine peut être conçue pour le simuler.» ^A



PETIT LEXIQUE

Il y a tant de termes obscurs qu'il est parfois difficile de s'y retrouver lorsqu'on parle de l'intelligence artificielle. Voici un petit lexique pour vous aider à vous y retrouver dans cette jungle qu'est l'IA.

Intelligence artificielle: Une IA est un système informatique qui traite des informations pour répondre à une question, résoudre un problème ou comprendre un phénomène. L'intelligence a plusieurs facettes mais l'IA n'en maîtrise qu'une seule, l'intelligence analytique: c'est la capacité d'établir des relations entre différentes informations, et d'appliquer un raisonnement à partir de ces dernières.

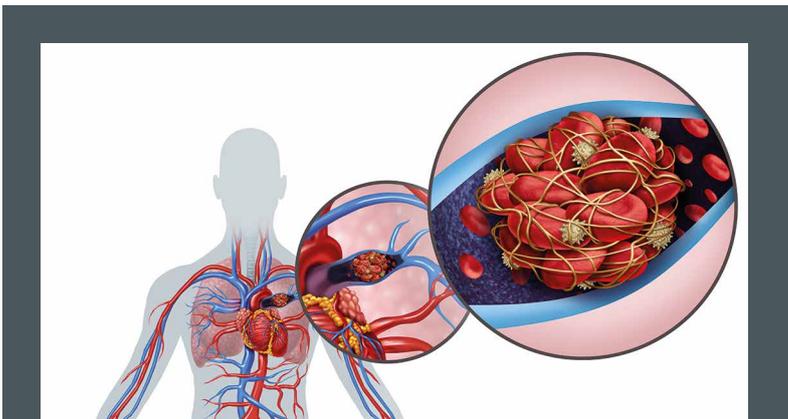
Algorithme: C'est le premier composant d'une IA. Il s'agit d'une suite d'instructions qui permet de résoudre un problème. Pour le comprendre, il faut l'imaginer comme une recette de cuisine, qui décrit les étapes pas à pas pour transformer les ingrédients (farine, œufs, laits) en de délicieuses crêpes, sans oublier un retour d'expérience du goûteur pour améliorer les résultats.

Données: Les données sont les ingrédients nécessaires à la réalisation de la recette. Il peut s'agir de nos habitudes sur Internet, pour qu'un algorithme nous propose des publicités adaptées à nos goûts, ou des informations renvoyées par nos panneaux solaires et nos vannes thermostatiques au thermostat, pour adapter notre consommation d'énergie. Lorsqu'il s'agit de données humaines, il est important qu'elles soient les plus diversifiées possibles, pour éviter les biais sexistes ou racistes.

Réseau de neurones: Il s'agit d'un système très répandu d'IA imitant grossièrement plusieurs couches de neurones. Ils sont capables d'apprendre automatiquement à trouver la solution la plus pertinente, à partir des données brutes du monde réel. Il peut s'agir par exemple de l'algorithme de *Netflix* qui, sur base de votre historique, du nombre d'épisodes que vous avez regardés, du moment où vous avez mis sur pause, est capable de vous proposer des films et séries que vous aimerez à coup sûr.

Feu vert pour l'IA ACT

Le 8 décembre 2023, les États membres de l'Union européenne (UE) et le Parlement européen se sont mis d'accord sur la législation destinée à encadrer la conception et l'utilisation des systèmes d'intelligence artificielle au sein de l'UE. Premier en son genre, ce texte législatif distingue les IA en fonction du risque qu'elles font peser sur la société, de minimal à inacceptable. À ce titre, le texte interdit les IA qui posent un risque pour la sécurité et les droits des citoyens, comme les IA destinées à classer les personnes en fonction d'un score, ou encore les identifications biométriques en temps réel, comme la reconnaissance faciale (à l'exception de quelques cas limités dans le temps). Les IA à haut risque, comme par exemple celles destinées à l'identification des personnes, le contrôle des frontières, l'éducation, l'emploi, la justice et les forces de l'ordre, devront se conformer entre autres à des standards de transparence, une supervision humaine, et une certaine robustesse technique tout au long de la durée de vie de l'IA. «*Afin que toutes les entreprises aient les moyens de se conformer à l'IA Act, nous travaillons sur plusieurs dispositions*, explique Fabian Lapierre, spécialiste en recherche et innovation au Service public de Wallonie. *Tout d'abord, il est important que les dispositions légales soient intégrées dès le stade de la recherche, et non a posteriori. Ensuite, nous souhaitons mettre en place des structures publiques d'audit pour permettre aux entreprises de situer leur produit sur l'échelle des risques, et leur donner les moyens financiers de s'y conformer.*» 



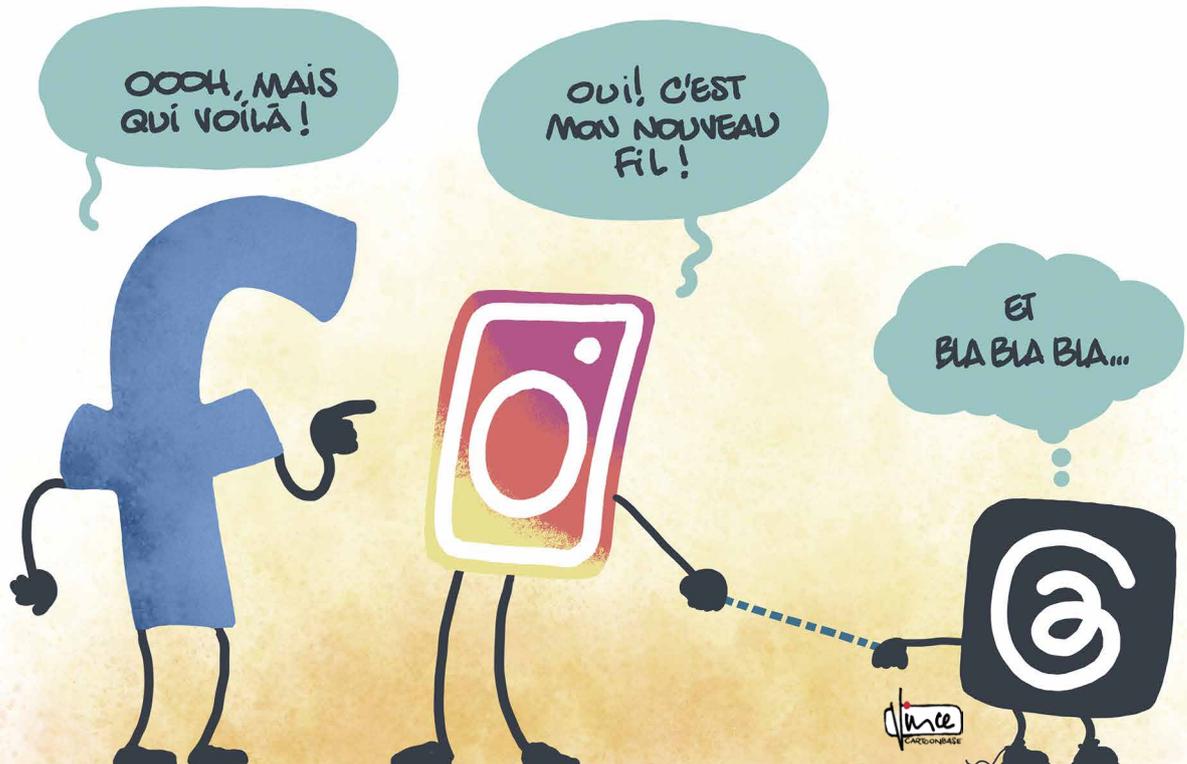
L'IA détecte l'embolie pulmonaire

La reconnaissance d'image fait sans doute partie des domaines les plus prometteurs de l'IA, en particulier dans le domaine de l'imagerie médicale. Ainsi, la *Pulmonary Embolism Response Team* (PERT) de l'UZ Brussel a désormais recours à l'IA pour identifier automatiquement les patients victimes d'une embolie pulmonaire sur base d'un scanner. Concrètement, chaque angiographie pulmonaire (un scanner des vaisseaux sanguins des poumons) est analysée par le module AIDOC AI. L'application examine la taille du caillot et le risque qu'il présente pour le cœur. Les médecins reçoivent automatiquement une notification sur leur smartphone, ce qui leur permet d'analyser les images et d'estimer les risques encourus par le patient. Ils peuvent alors décider de façon multidisciplinaire de la meilleure approche. Ainsi, les patients sont mieux pris en charge et de façon plus précoce, ce qui améliore leurs chances de guérison. 

L'IA se met au vert

Afin de diminuer l'usage des pesticides, les semenciers souhaitent développer des variétés de plantes résistantes aux stress environnementaux. Un travail de fourmi, à la fois laborieux et chronophage, qui nécessite d'observer attentivement chaque plant. Des chercheurs de Gembloux Agro-Bio Tech, en collaboration avec le Centre Wallon de Recherches Agronomiques et l'Université de Mons ont donc mis en place une étude sur 6 ans afin de réaliser ces observations de façon automatisée, à l'aide de l'intelligence artificielle. Ils ont établi une parcelle de culture munie de nombreux capteurs capables de déterminer, avec une très haute résolution, différentes caractéristiques physiques des épis de blé. Ils ont ensuite entraîné l'IA à distinguer des épis sains de ceux atteints de fusariose, une maladie fongique. Aujourd'hui, la machine est capable de distinguer automatiquement les plants tolérants à la fusariose des plants malades, alors même que ces derniers, une fois matures, sont difficilement distinguables à l'œil nu. 





Threads: un nouveau fil de discussion

TEXTE : JULIE FIARD · JFI@EASI-IE.COM

HTTP://WWW.EASI-IE.COM · HTTP://WWW.TWITTER.COM/EASI_IE

HTTPS://WWW.FACEBOOK.COM/EASILEXPERTSDUWEB

ILLUSTRATIONS : VINCE · VINCENT_DUBOIS@ME.COM · WWW.VINCE-CARTOON.BE

Dans l'article «*TWITTER: un nouveau chapitre intitulé «X»*» du n° 363 (<https://bit.ly/30Ve1ye>), nous vous annonçons l'arrivée d'un nouveau réseau social de conversation écrite sur mobile baptisé *Threads*, aux caractéristiques proches de celles de *Twitter*. Propulsé par le groupe *Meta*, il a fait une entrée assez remarquable dans le monde en 2023 et en fin d'année en Europe. Lancé en juillet 2023 seulement aux États-Unis, *Threads* (<https://www.threads.net>), directement lié à *Instagram*, a atteint 1 million d'utilisateurs en 1 h et 100 millions en 4 jours. Malgré quelques difficultés rencontrées initialement concernant la protection des données, il est disponible depuis la mi-décembre en Belgique et en Europe.

Threads est une plateforme de microblogging (ou microblogage) offrant aux utilisateurs la possibilité de partager de brefs messages (500 caractères) pour tenir informés ceux qui les suivent de leurs actualités personnelles ou partager de l'information sur des sujets qui les passionnent.

L'application a déjà été critiquée pour la collecte intensive de données personnelles, engendrant des préoccupations liées à la vie privée, ainsi que des préoccupations liées à la confiance envers le toujours plus tentaculaire *Meta*. Jusque là rien d'extraordinaire ! Tous les réseaux sociaux proposent d'écrire et de diffuser des messages avec leur communauté, parmi un nombre incalculable d'autres possibilités. Est-ce que *Threads* est une simple réponse concurrentielle du géant *Meta* à *X* (ex-*Twitter*) ? Ou ce réseau propose réellement des fonctionnalités inédites ? C'est ce que nous allons découvrir ici.

Se connecter à *Threads*

Comme d'habitude, soit il suffit de télécharger l'application depuis son appareil mobile:



POUR EN SAVOIR PLUS

Threads est une application développée par et appartenant à *Meta*, la société mère de *Facebook* et *Instagram*.

Pour en savoir plus, lire l'article "La petite histoire du géant Facebook" - <https://bit.ly/3SSsWdJ>, dans le numéro d'Athena 354.

- Sur l'App store: <https://apps.apple.com/us/app/threads-an-instagram-app/id6446901002>
- Sur Google play: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.instagram.barcelona&hl=fr&gl=US&pli=1>
- Depuis votre navigateur Web, en vous rendant sur le site: <https://www.threads.net>

Notez que vous pouvez utiliser *Threads* sans profil pour naviguer sur l'application, mais vous ne pourrez pas faire de publications, interagir avec du contenu, ni obtenir de recommandations.

Une fois l'application ouverte, l'on vous demandera de vous connecter via votre compte *Instagram* si vous en possédez un. Si oui, il vous suffit de cliquer sur le bouton «Continuer avec *Instagram*» et de choisir le profil avec lequel vous souhaitez vous connecter (si vous en avez plusieurs). Pour créer votre profil *Threads*, vous devrez importer vos données «Nom, Bio, Liens, ...» directement depuis *Instagram*. Vous pouvez d'ailleurs vous

connecter à *Threads* depuis *Instagram*, cliquez simplement sur le logo qui se trouve dans le menu.

Comme sur *Instagram*, il est possible de choisir un profil public: tout le monde sur et en dehors de *Threads* peut voir, partager et interagir avec votre contenu. Ou privé: dans ce cas, seuls les followers que vous aurez approuvés pourront voir votre contenu et interagir avec celui-ci.

Threads vous propose, lors de la création de votre compte, de vous connecter aux comptes que vous suivez déjà sur *Instagram* et qui ont eux aussi un compte *Threads*. Une fois connecté, vous verrez que l'interface est assez neutre et épurée, la forme des boutons et le fil d'actualité fait immédiatement penser à X (ex-Twitter).

Même si vous n'avez pas autorisé le réseau à vous imposer de suivre les mêmes comptes que sur *Instagram*, une fois sur *Threads* vous êtes tout de même comme qui dirait en famille... Celle de *Facebook* et d'*Instagram*, les contenus qui vous sont proposés sont essentiellement ceux que vous suivez/consultez sur ces réseaux. Rien de neuf donc.

Bienvenue sur *Threads*

L'idée de l'application est de partager du contenu texte. *Threads* permet de poster des messages courts (un maximum de 500 caractères, comme sur X, vous pouvez en lier plusieurs, en cliquant sur «Ajouter au thread») et également des photos et des vidéos ET de s'abonner à d'autres comptes.

Créer une première conversation

Sur l'application mobile, cliquez sur votre profil (le petit bonhomme noir en bas à droite), puis sur «commencer votre premier thread». Le message «lancez la conversation...» apparaît. Vous pouvez agrémenter votre conversation de 10 photos maximum par publication (en cliquant sur l'icône habituelle), de vidéos (jusqu'à 5 minutes au total, avec maximum 10 vidéos/post), de GIF (à choisir sur l'application *Giphy*) comme sur *Facebook* ou d'un message vocal (30 secondes maximum). C'est l'une des particularités inédites du réseau.

Alors qu'il est possible d'envoyer des messages vocaux en conversations privées uniquement, dans la plupart des réseaux sociaux, *Threads* propose de les partager directement dans votre fil d'actualité. Encore mieux ! Après avoir choisi l'icône «Micro» pour enregistrer un message vocal, quand celui-ci est enregistré et que vous mettez fin à l'enregistrement en cliquant sur le

carré rouge et en appuyant sur «Terminé», votre enregistrement s'affiche alors dans votre *thread* ainsi que sa retranscription totale en texte ! Vous pouvez alors modifier votre publication et le texte de la transcription si vous le souhaitez ou la supprimer pour ne publier que l'audio.

Deux autres fonctionnalités s'ajoutent à la publication des *threads*: l'ajout de *hashtags* en cliquant sur le # dédié et la possibilité de proposer un sondage dans vos publications d'une durée de 24 h.

Vous ne pouvez utiliser qu'un seul # par *thread*, ce qui peut paraître restrictif. Cependant, vous pouvez transformer ce # en phrase: plutôt que d'écrire «#livre», vous pouvez écrire «#le meilleur livre de l'année 2023», ce hashtag géant s'affichera alors en bleu dans votre *thread*. En cliquant dessus, vous pourrez consulter des *threads* ayant partagé ce même hashtag et ainsi, suivre des comptes qui partagent les mêmes intérêts que vous.

ASTUCE

Vous avez 5 minutes pour modifier un *thread* après l'avoir publié sans qu'aucun label particulier ne soit ajouté au *thread* modifié ! En utilisant les 3 petits points en haut à droite. Un moyen efficace de commencer à minimiser les fautes d'orthographe qui pullulent sur tous les réseaux sociaux ?

Attention: contrairement à d'autres réseaux sociaux, *Threads* ne possède pas de messagerie instantanée privée, à l'instar de *Messenger* par exemple. Il n'est pas possible via l'application de s'envoyer de messages privés entre utilisateurs.

Accéder au contenu

Exactement comme sur *TikTok*, *Threads* propose 2 façons de faire:

- du contenu «Pour vous» proposé par l'algorithme en fonction de votre utilisation du réseau;
- un contenu «Suivi(e)s», qui est l'ensemble des *threads* proposés par les comptes que vous avez sélectionnés et suivis.

Le choix entre les 2 apparaît en cliquant sur le logo depuis la version mobile ou sur le bouton de la version Web prévu à cet effet, en bas à gauche de votre écran.

Pour chercher du contenu et des comptes à suivre qui traitent de sujets susceptibles de vous intéresser, n'hésitez pas à utiliser la loupe. Rien



qu'en cliquant dessus, *Threads* vous propose déjà des comptes à suivre, en fonction de votre utilisation et de celle d'*Instagram*, puisque l'algorithme des 2 réseaux fonctionne en synergie. À chaque fois que vous rechargez la page, en tirant vers le bas pour l'application mobile, *Threads* vous propose toujours de nouveaux comptes à explorer et à suivre. Pour savoir si un compte vous intéresse, il vous suffit de visiter celui-ci en cliquant dessus pour accéder à son contenu et à sa bio (la présentation du compte).

Vous pouvez également rechercher des comptes à suivre en utilisant des mots-clés. Par exemple, en tapant «Belgique» dans la barre de recherche, le réseau va vous proposer des *threads* dont le contenu contient ce mot et également des comptes dans lesquels le mot Belgique apparaît

dans la bio. Il vous faudra alors procéder à votre propre sélection.

Une interface ultra simplifiée

Notamment par l'absence de publicités. Et oui, dès les premières minutes d'utilisation du réseau, on se sent comme «perdu» avec l'impression qu'il manque quelque chose ! Pas de publicité dirigée, pas d'annonce, pas de vidéo, ni de bande sonore qui se lance sans qu'on ait rien demandé. Seulement du contenu, publié par des utilisateurs et non des annonceurs, puisqu'il n'est pas encore possible de créer des comptes de marques professionnelles sur le réseau.

Pourquoi ce choix, alors que la survie du groupe *Meta* est basé essentiellement sur la vente de publicités, comme sur toutes ses autres plateformes ? Pour le moment, *Threads* se concentre sur la construction d'une audience captive de taille. Pendant ce temps-là, le réseau aspire un maximum de données d'utilisation des utilisateurs. C'est à dire que l'algorithme, comme tous les autres algorithmes des réseaux sociaux, est occupé à suivre chaque fait et geste de chacun de ses utilisateurs. Pourquoi ? Pour pouvoir diffuser les futures publicités «au bon endroit» et aux bonnes cibles, car cela arrivera tôt ou tard. Quand une application est gratuite sur le Web, c'est que c'est l'internaute le produit. Il semblerait

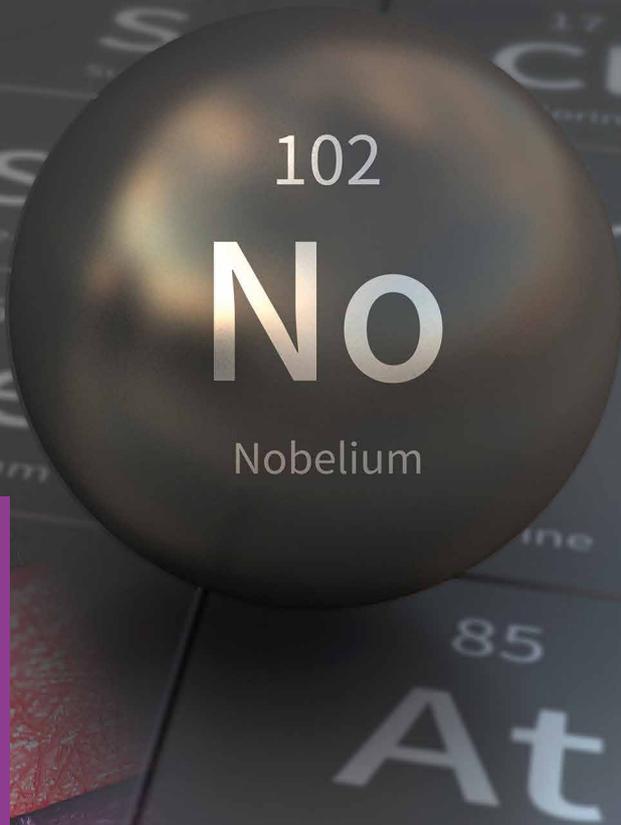
que *Meta* soit en train, avec *Threads*, d'essayer d'épurer son système d'analyse de données afin de proposer des annonces réellement ciblées aux utilisateurs sans pour autant qu'ils se sentent «agressés» par des publicités qui ne leur sont pas adressées, comme c'est le cas sur *Facebook*.

Est-ce pour cela également que le réseau social ne possède pas encore de messagerie instantanée ? Pour éviter les spams et sollicitations en tout genre comme sur *Messenger* et la messagerie instantanée d'*Instagram* ? C'est une supposition qui fait sens. Adam Mosseri, le directeur d'*Instagram*, qui supervise également le projet, a indiqué que *Threads* n'était pas un réseau qui a pour vocation de favoriser l'information chaude et les contenus politiques et polémiques... contrairement à *X* et *Facebook*.

Depuis quelques années, il n'est pas rare qu'un nouveau réseau social fasse son apparition. Cependant, le monde des internautes avertis est de plus en plus frileux à développer une communauté active sur chacun de ces réseaux. Ceci relève pour chaque réseau d'un véritable challenge et cela demande une expertise différente pour chaque plateforme. Tout ce travail quasi-professionnel peut être anéanti en une seule mise à jour de l'algorithme. Récemment, de nombreux youtubers «célèbres» ont jeté l'éponge, la course à la visibilité s'étant transformée en un véritable asservissement à la cause (une course permanente à toujours plus de followers, plus de vues, etc.) pour de moins en moins de visibilité, et de plus en plus de haters...

Et vous, qu'en pensez-vous ? Êtes-vous attiré par les nouveaux réseaux sociaux ? Qu'espérez-vous trouver en utilisant *Threads*? N'hésitez pas à nous partager vos avis et expériences par mail à contact@easi-ie.com





Alfred Nobel et ses célèbres prix annuels

Grâce à ses recherches sur la nitroglycérine, un explosif liquide extrêmement puissant mais difficile à gérer, l'ingénieur chimiste suédois qu'était Alfred Nobel fut amené en 1867 à transformer celui-ci en pâte (dynamite), beaucoup plus facile à utiliser moyennant l'intervention d'un détonateur. Avec sa fortune, cet industriel instaura par testament divers prix considérés comme les plus hautes récompenses dans le domaine considéré, et notamment en chimie. En son hommage, le numéro atomique 102 a d'ailleurs été attribué au nobélium

TEXTE : PAUL DEPOVERE - DEPOVERE@VOO.BE

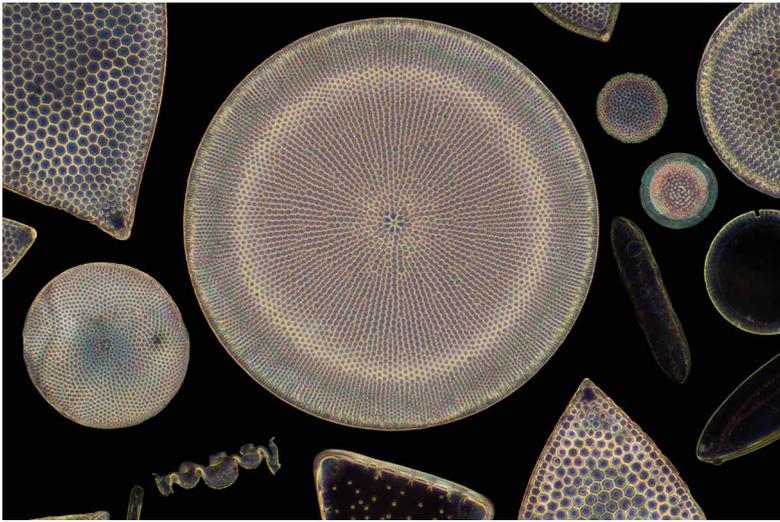
PHOTOS : © JEANLUC - STOCK.ADOBE.COM / © TUNA SALMON - STOCK.ADOBE.COM + PHOTOMONTAGE (P.49), © NATUREEYE91 - STOCK.ADOBE.COM (P.50), © THE NOBEL PRIZE (P.50)



La poudre à canon, comprenant du soufre, du salpêtre (nitrate de potassium) ainsi que du charbon de bois a été inventée par les Chinois dès le 9^e siècle. Pendant des siècles, ce fut le plus puissant mélange déflagrant que l'on connaisse, jusqu'à la découverte de la nitroglycérine en 1847 par le chimiste italien Ascanio

Sobrero (1812-1888), lequel travaillait sous la direction du non moins célèbre chimiste français Théophile-Jules Pelouze (1807-1867). Pelouze avait entendu parler du coton-poudre obtenu par hasard (sérendipité) en abandonnant un chiffon imbibé de traces d'acides nitrique et sulfurique. Or, ce coton-poudre, extrêmement explosible, n'est rien d'autre que de la cellulose nitrée par l'entremise de nombreuses fonctions esters. Sobrero eut alors l'idée de nitrer un substrat beaucoup plus simple, en l'occurrence du propane-1,2,3-triol (glycérol ou glycérine). Mais la nitroglycérine obtenue s'avérait encore si dangereuse à manipuler que Sobrero garda secrets ses résultats tout en recommandant de ne pas se hasarder dans ce domaine de recherches. Malgré cela, malgré diverses violentes explosions, un autre collaborateur de Pelouze, un certain Alfred Nobel (1833-1896), retourna chez lui en Suède obsédé par l'idée de rendre la nitroglycérine suffisamment stable pour être commercialisée de manière sécurisée. À cette époque, le développement gigantesque des industries et des voies ferrées exigeait des quantités croissantes d'explosifs. De surcroît, le père d'Alfred Nobel venait de fonder une fabrique d'armements près de Saint-Pétersbourg. C'est dans ce contexte compliqué par la guerre de Crimée que ce fils imaginaire décida d'employer en guise d'adjuvant une poudre fine, adsorbante, qu'on appelle de la «terre de diatomée».

Voilà comment Alfred Nobel obtint sa célèbre dynamite (aux propriétés balistiques



Un exemple de diatomées en microscopie électronique. Ces microalgues unicellulaires sont apparues dans la mer il y a 200 millions d'années environ et constituent l'élément majeur du plancton marin. Ces cellules sont entourées d'une coque siliceuse finement ornementée, montrant qu'elles sont capables de fabriquer (avec art) du verre à température ambiante, ouvrant ainsi la voie à ce qu'on appelle la «chimie douce».

exceptionnelles) nécessitant, ne l'oublions pas, l'emploi d'un détonateur, ce qui lui apporta bien vite la fortune et les honneurs, malgré la persistance d'accidents (1) très graves ! En l'espace de 30 ans, Alfred Nobel édifia un véritable empire industriel. Il devint richissime, s'offrant partout des demeures luxueuses qu'il transformait en laboratoires de chimie pour son plaisir personnel ! N'ayant pas d'enfant, ce célibataire endurci légua son immense fortune à une Fondation chargée d'en distribuer les revenus sous forme des prix annuels que l'on connaît. Ainsi, le premier prix de chimie fut décerné en 1901 au chimiste néerlandais Jacobus H. van't Hoff. Par ailleurs, pour l'anecdote, lors de la Seconde Guerre mondiale, le chimiste hongrois George de Hevesy (prix Nobel 1943), voulant éviter le vol par les Nazis des prix Nobel de Max von Laue (1914) et de James Franck (1925), a dissous les 2 médailles dans de l'eau régale. La solution ainsi obtenue, rendue de la sorte anodine et conservée à l'insu des Allemands, a permis plus tard de récupérer l'or pour refrapper les 2 médailles.

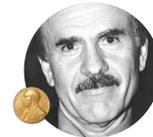
Usage médical de la nitroglycérine

Après avoir remarqué que certains dérivés nitrés semblent soulager les crises d'angine de poitrine, un médecin de l'hôpital de Westminster, William Murrell, décida en 1878 de vérifier si la nitroglycérine en était capable. Tel fut bien le cas avec un effet bénéfique persistant environ 1h. Il est intéressant de signaler que des années après,

des médecins prescrivirent de la nitroglycérine à Alfred Nobel lui-même afin de soulager ses propres crises d'angor. De fait, ce dérivé nitré agit en dilatant les vaisseaux coronariens, ce qui permet d'améliorer instantanément l'oxygénation du muscle cardiaque. Le mécanisme d'action est le suivant: placée sous la langue, la nitroglycérine y est prise en charge par les nitrate-réductases présentes dans les nombreuses bactéries, ce qui a pour effet de réduire les fonctions nitrate en nitrites. Ces derniers sont ensuite convertis en molécules de monoxyde d'azote (NO) qui sont les véritables déclencheurs de la vasodilatation. Pour avoir découvert le rôle régulateur-clé propre au système cardio-vasculaire où intervient majoritairement le NO, Robert Furchgott, Louis Ignarro et Ferid Murad reçurent le prix Nobel (2) de Médecine en 1998.



Robert
F. Furchgott



Louis
J. Ignarro



Ferid
Murad

Pour terminer, on se doit de signaler que ce même NO est impliqué dans la découverte par les laboratoires Pfizer du citrate de sildénafil (*Viagra*), en l'occurrence un médicament préconisé pour traiter les dysfonctions érectiles (impuissance). Pour les puristes, il s'agit d'un inhibiteur de la phosphodiesterase de type 5 qui empêche la destruction du GMP cyclique, permettant ainsi de maintenir une concentration suffisante de NO qui diffuse ensuite au niveau des cellules endothéliales des vaisseaux sanguins propres aux muscles lisses. C'est à ce niveau qu'il se produit une relaxation des myofilaments se traduisant par une vasodilatation responsable de l'érection. Au vu des sommes folles générées par ce médicament à succès, d'autres formules concurrentes ont été proposées par des laboratoires divers. Mais ceci est une autre histoire ! (A)

(1) Une explosion, particulièrement désastreuse, eut lieu en 1864 et coûta la vie à 5 personnes, dont Emil, le frère cadet d'Alfred. Ce dernier fut obligé de se réfugier dans une péniche loin de Stockholm afin de poursuivre ses recherches.

(2) Pour être précis, une 4^e personne fut sélectionnée pour ce prix Nobel. Il s'agit de Salvador Moncada, un pharmacologue des Laboratoires Wellcome à Beckenham.



BIO NEWS

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

PHOTOS : © SLOWMOTIONGLI - STOCK.ADOBE.COM (P.51), © YASHKIN ILVA - STOCK.ADOBE.COM (P.52),
© RALWEL - STOCK.ADOBE.COM (P.53), © PHOTOGRAPHEE.EU - STOCK.ADOBE.COM (P.53),
© OPENWATER - STOCK.ADOBE.COM/BIOZOOM (P.54),
© HIROMITSU KATO - STOCK.ADOBE.COM/BIOZOOM (P.54)

Pêche multicolore ?

Tous les aquariophiles connaissent le *Danio rerio*, ce petit poisson d'eau douce originaire d'Asie dont la robe striée de noir lui a valu le surnom de poisson zèbre. Il est plutôt rustique, peu onéreux et constitue une bonne option de base pour les amateurs. Ces mêmes caractéristiques ont fait de ce petit vertébré un modèle expérimental aisément accessible pour réaliser des études scientifiques. On en retrouve donc le nom dans nombre de publications.

Entre autres essais de laboratoire, on a tenté et réussi l'intégration, dans le génome de l'animal, de gènes qui codent pour la fluorescence. L'option a fait florès dans les années 90, l'apparition de cette fluorescence sous un rayonnement UV permettant de valider très rapidement une intégration génique réussie. Et c'est comme cela que des Danios se sont retrouvés parés d'une belle fluorescence bleue, verte ou rouge du plus bel effet. De là à leur trouver un intérêt commercial, il n'y avait qu'un pas qui a été vite franchi et le Danio fluorescent a fait

place au Glofish - son nom commercial déposé - construit avec les mots anglais *glow* (luire) et *fish* (poisson). Moins officiellement, on l'a aussi surnommé *Franckenfisk*, une appellation dont on perçoit rapidement l'origine. Son succès a mené à la création de fermes d'élevage au Brésil pour répondre à la demande. Jusque-là, rien à redire, sauf que les opérations de vidange des bassins ont permis à quelques-uns de ces produits de la technologie du gène de se retrouver dans l'environnement... où on les a rapidement et facilement identifiés.

Une problématique nouvelle est donc ouverte et anime le landerneau écologique: comment cette première espèce transgénique libérée en espace ouvert va-t-elle se comporter ? Déjà, on sait qu'elle se reproduit plutôt bien puisque des pêches sélectives l'ont identifiée dans plusieurs bassins du réseau de surface au Brésil. Ce Danio-là, issu des laboratoires, semble plus fécond et plus résistant que son ancêtre sauvage. Risque-t-il de supplanter localement les espèces natives qui occupent la même niche ou, compte-tenu de sa visibilité accentuée, risque-t-il de devenir une proie facile pour nombre de nouveaux prédateurs ? Ce sont des questions auxquelles les études locales en cours devraient assez rapidement apporter une réponse. Il n'y a pas (encore ?) forcément péril. Mais on sait aussi qu'à titre préventif, plusieurs États américains du sud ont déjà interdit la vente du Glofish. 

► **Science, 2022; 375: 704-705**



Pourquoi les lézards se débarrassent-ils de leur queue ?

On sait que les lézards entre autres sont capables de se débarrasser de leur queue, voire d'un membre, quand un prédateur l'a saisi. Résultat: le premier peut en profiter pour se sauver quand l'autre se demande ce qui lui arrive, avec un morceau encore mobile de ce qu'il convoitait dans sa gueule. Longtemps, on a pensé qu'il devait exister une zone structurelle de moindre adhérence qui, sous l'effet d'une traction, permettait la séparation en 2 morceaux. Sur le fond, cela reste vrai, mais c'est un peu plus compliqué que cela. Et puis cela n'explique pas pourquoi cette séparation ne survient qu'en cas d'attaque et pas dans la vie courante de l'animal (comme lors d'un mouvement un peu violent ou une traction fortuite). Une étude anatomique ciblée a fait le point sur cette disposition: la surface de séparation est en réalité assez complexe, avec des structures progressives associées qui vont de quelques centaines de microns (ou dixièmes de millimètres) à quelques nanomètres (millardièmes de mètre). Les structures les plus grosses sont du type «plug & socket» (genre prise mâle–prise femelle). Si on porte son attention sur ce qui compte pour la partie «mâle» qualifiée, vu sa forme de champignon, on note que sa surface est faite de petites structures cylindriques (les piliers) dont la partie supérieure est microporeuse. C'est à ce niveau très ténu que se passe l'adhésion la plus fine, répétée un nombre considérable de fois sur toute la surface de séparation. Lorsqu'une traction inhabituelle sur la queue ou le membre survient, une réaction en chaîne est enclenchée qui se transmet comme une traînée de poudre à la zone, menant à la libération immédiate de l'organe ou la patte. Ces structures rappellent celles des geckos, des batraciens et des insectes pour se mouvoir sur des surfaces lisses et verticales comme le verre; les dispositifs étant ici mis à profit pour adhérer avec le concours d'une libération de fluide par les micropores. Il est vraisemblable que le mécanisme de séparation ne repose pas que sur des dispositifs de type «physique», mais que des enzymes ou des substances d'une autre nature soient également impliquées. C'est sans doute ce que des études additionnelles s'appliqueront à mettre en évidence. ¹

► *Science*, 2022; 375: 721-722 et 770-774

La nuit des aînés

L'avancée en âge, ce n'est pas un scoop, est accompagnée de toute une série de dérèglements physiologiques, articulaires et autres qui finissent par rendre la vie quotidienne un peu plus compliquée qu'auparavant. La perte de sommeil en fait partie: ce n'est pas une nouveauté, les personnes âgées se plaignent souvent d'avoir un sommeil difficile, souvent fragmenté de périodes d'éveil et les renforts de la pharmacologie auxquels il est fait appel chaque soir au coucher finissent par devenir de moins en moins opérants avec le temps, à force d'accoutumance.

Il peut y avoir des causes diverses pour rendre compte de ces pertes de sommeil: dépression, anxiété, stress divers et notamment post-traumatique, Parkinson, et autres troubles neurodégénératifs. Mais il ne peut pas n'y avoir que cela: de nombreuses personnes qui avancent en âge n'ont pas forcément de soucis de ces genres-là et font pourtant l'expérience de nuits courtes et fragmentées de périodes d'éveil plus ou moins longues. C'est donc qu'il existe autre chose. C'est partant de cette hypothèse que des chercheurs ont entamé l'exploration

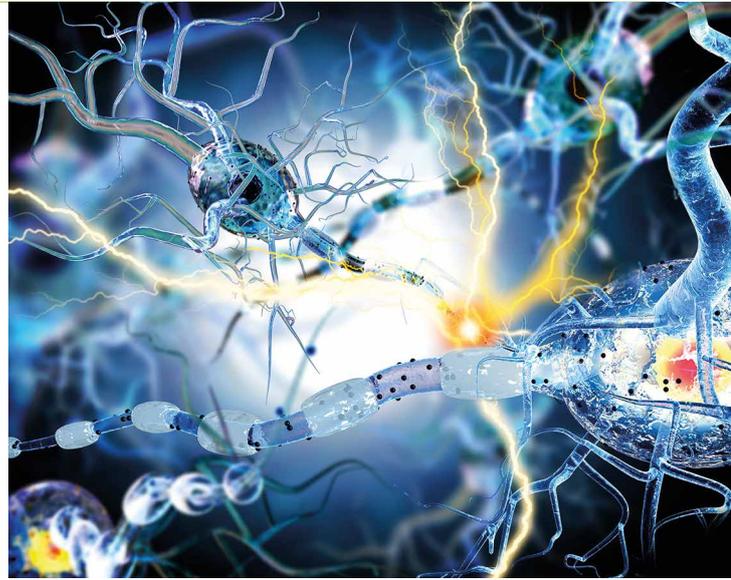
du cerveau de patients insomniaques et de souris âgées. Ils ont découvert que l'âge aidant, un petit groupe de neurones (quelques centaines), situés dans l'hypothalamus latéral (1) ont tendance à diminuer en nombre. Ces neurones produisent un médiateur, l'hypocrétine (encore appelée orexine) et envoient des prolongements dans plusieurs zones du cerveau. Leur fonction: provoquer l'éveil et l'activation des fonctions avec lesquelles ils sont en contact. Il existe heureusement un mécanisme inhibiteur qui vient réduire la production du médiateur, ce qui induit la perte de l'attention et mène au sommeil.

Le rapport avec l'insomnie ? Simple: chez les sujets âgés (ou une partie importante d'entre eux au moins), cette diminution du nombre de neurones producteurs est compensée par une hyperexcitabilité qui mène à des pics récurrents de libération d'hypocrétine à tous moments, y compris pendant la nuit. Ce serait une des causes au moins de l'insomnie liée à l'âge. Est-ce la seule ? Sans doute pas: les différentes fonctions cérébrales, comme les autres, sont progressivement affectées par l'usure

Du ventre au cerveau

On ne peut plus ignorer aujourd'hui les liens très étroits qui relient le tube digestif au cerveau et, plus que le tube digestif lui-même, son contenu en germes divers. La seule idée de voir s'installer dans une relation étroite et privilégiée, quelques milliards de bactéries, virus - retrouvés ensuite dans les matières fécales - et cet organe noble qu'est le cerveau n'est a priori pas fort ragoûtante, mais il faut bien se rallier à l'évidence. La réalité est heureusement un peu plus subtile. Les bactéries digestives sont naturellement placées à l'interface entre les aliments ingérés (liquides et solides) et la résorption par notre organisme. En fonction de la nature de ce qui transite dans les voies digestives, de la façon dont les germes y répondent, la résorption n'est pas la même d'un individu à l'autre, ce qui amène dans leur sang puis dans leurs tissus - dont le cerveau - des métabolites qui diffèrent en nature et quantité.

Entre autres matières résorbées, les peptidoglycane, des composants des membranes bactériennes, faits de polymères de glycanes (des sucres simples ou monosaccharides) insolubles. Ils sont accompagnés d'autres métabolites bactériens qui, via la circulation sanguine, peuvent atteindre tous les tissus et en particulier le cerveau une fois encore où ils peuvent affecter les cellules neurales (neurones, glie) en bien comme... en moins bien. Le système étant évolutivement programmé, ces résidus y retrouvent, selon leur nature, un récepteur spécifique qui les véhicule vers un site d'action. Celui-ci se trouve en particulier dans une partie du cerveau connue pour réguler l'appétit. Et c'est là que se trouve tout l'enjeu.



Les systèmes impliqués sont complexes et leur évocation sort du cadre de cette brève revue. En résumé, le type de glycanes - et donc le type de bactérie digestive dont il émane - peut avoir un effet qui a des répercussions diverses sur la satiété et l'appétit, de même que sur les hormones qui les régulent: leptine, ghréline, insuline. Ce n'est pas tout: des liens sont également établis avec la qualité du sommeil et sans doute d'autres fonctions. Bref, une fois de plus, tout est dans tout et ce que nous avalons n'est pas anodin pour la composition de la flore intestinale et, par effet retour, pour notre métabolisme en général. Dis-moi ce que tu ingères, je te dirai qui tu es... ⁽¹⁾

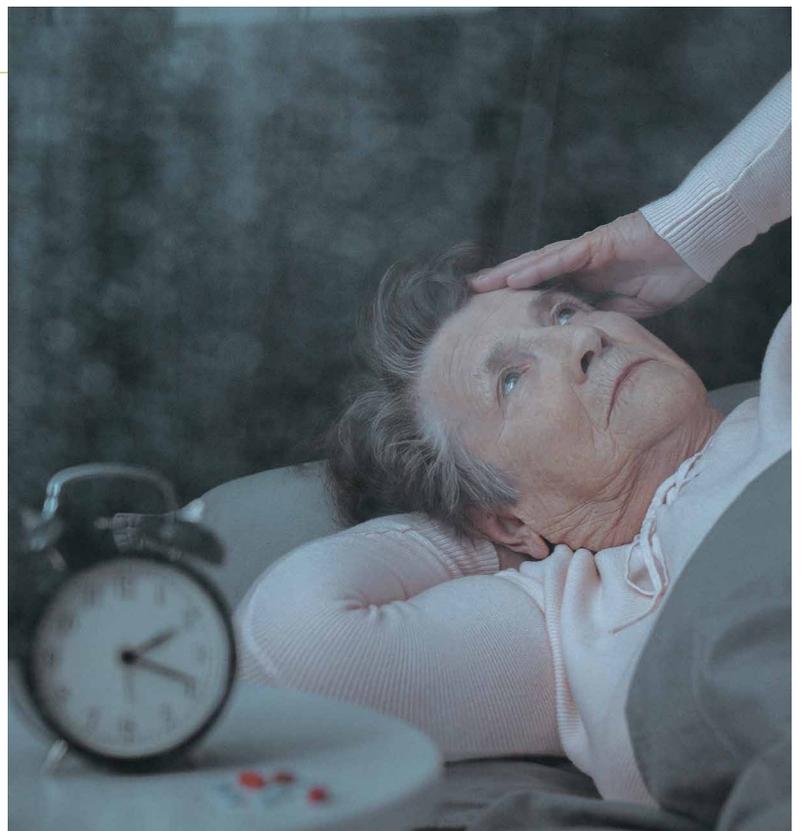
► *Science*, 2022; 376: 248-249



du temps. On a par exemple aussi évoqué un défaut de «clearance» (nettoyage) dans les ventricules cérébraux des métabolites qui y sont accumulés. On peut y ajouter les divers états de stress et neuro-pathologiques évoquées plus haut qui, in fine, nous rendent tous inégaux face au sommeil et à ses errements. Et donc aussi face aux pertes d'attention et de mémoire. Tout comme aussi à l'agressivité qui en résulte parfois. ⁽¹⁾

► *Science*, 2022; 375: 816-817 et 838

⁽¹⁾ Une structure située à la face ventrale de l'encéphale



La chimie sous la loupe

Plutôt que de jeter un regard obsessionnel et unifocal sur le réchauffement climatique, il serait au moins aussi judicieux de s'intéresser un peu plus aux risques liés à l'exposition permanente aux produits chimiques. Ils seraient plus de 50 000 à nous offrir leur présence quotidienne, sans doute utile, mais sans contrôle. Car si tout le monde trouve normal que de futurs médicaments fassent l'objet de recherches cliniques, il n'en est jamais question pour des produits qui se mêlent pourtant à notre alimentation ou qui, s'offrant des voies de pénétration diverses, finissent par nous contaminer de façon durable.

Parmi ces composés, on identifie plus de 800 perturbateurs endocriniens (PE); des molécules qui, par leur structure, miment un effet hormonal qui, à tous les âges et surtout dès avant la naissance, peuvent avoir un effet néfaste, détectable et malheureusement parfois permanent sur l'une ou l'autre de nos fonctions. Les plus connues sont les phtalates, ces assouplissants des matières plastiques qui se retrouvent dans les emballages des matières alimentaires. Un autre exemple est le Bisphénol A qui se retrouve sous forme de film à l'intérieur de toutes les canettes et boîtes de conserve. Dans les tickets de caisse thermosensibles aussi et, il y a quelques années encore, dans le plastique des biberons. Leurs effets sur la fertilité masculine et les anomalies utérines sont connus et bien documentés depuis longtemps. Ces produits ont fait l'objet d'études ciblées qui devraient mener à en réduire sinon à en interdire l'usage. Mais qu'en est-il de l'effet synergique quand plusieurs de ces PE agissent de concert, surtout sur des jeunes enfants ou sur des embryons et fœtus in utero ?

Une première étude a été menée et publiée. Elle a porté sur 1 874 couples mère-enfant en Suède entre 2007 et 2010. Plusieurs substances, dont celles qui viennent d'être évoquées ont été dosées, ainsi que d'autres, dont les PFAS. Il s'agit dans ce dernier cas des substances perfluoroalkylées qui constituent,

par milliers, des composants de notre environnement immédiat où ils subsistent longtemps sans se dégrader. Ces composés (et d'autres) ont été dosés dans le sang et les urines de femmes enceintes, et leurs bébés ont ensuite été soumis à des examens divers. Il apparaît en particulier que 10% des enfants nés de femmes contaminées présentaient un retard de langage. Des modèles expérimentaux vivants (larves de batraciens et de poisson, organoïdes cérébraux (2)) ont été soumis aux mêmes substances pour mettre en évidence des altérations dans l'expression de plusieurs gènes, ce qui a été observé. On estime par ailleurs que 54% des bébés examinés ont été soumis in utero à des doses combinées dont la concentration peut justifier l'existence d'anomalies.

Dès lors, que faire ? À titre individuel, supprimer quand cela est possible ce qui peut paraître suspect. Mais on aura compris que la réponse est essentiellement politique. L'autorité européenne pour la sécurité alimentaire a par exemple proposé de réduire la dose admissible de Bisphénol A à un niveau... 100 000 fois plus faible que ce qu'il est actuellement. Mais il faut pouvoir convaincre les lobbies industriels concernés et ils savent se montrer persuasifs. On a vu ce qu'il en était avec la pollution planétaire aux matières plastiques et le courage des politiques européens à se limiter aux tiges de ballons et de bâtonnets ouatés, aux pailles pour boissons et plus récemment aux paillettes de maquillage. Dérisoire... Il faudra encore longtemps sans doute avant qu'une vraie mesure de protection soit prise pour les populations exposées, c'est-à-dire finalement tout le monde, les plus sensibles (embryons, fœtus et jeunes enfants) en première ligne. Pendant ce temps-là, la taxe carbone aura toujours le temps de courir... 

► **Science, 2022; 375: 708; Science 2022, 375: 720-721 et 735 pour quelques articles parmi les plus récents**

(2) Les organoïdes sont des pseudo-organes construits en laboratoire avec des cellules agglomérées, prévus pour tester les effets que pourraient avoir des substances sur les organes entiers.



BIO ZOOM

On pourrait croire que ce sont de jolis végétaux posés subtilement sur l'eau, tels les nénuphars. Ces fleurs de glace (ou de givre) sont constituées de ce que l'on appelle de la « jeune glace », qui se forme à la surface des eaux calmes et dans des conditions froides. Ces cristaux, qui poussent en plaques de 3-4 cm de diamètre, donnent ainsi à ces étendues d'eau un aspect de champs de fleurs givrées. Lorsque la température descend en dessous de -20° C, des pétales pointus peuvent également apparaître qui font penser à des graminées ou des fleurs d'herbes de pampa...

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = H\Psi$$

Tout est (il ?) quantique

C'est (re)devenu une mode, notamment en matière de santé: tout est quantique, le quantique nous fait du bien. Pauvre physique quantique, que de crimes on commet en ton nom...

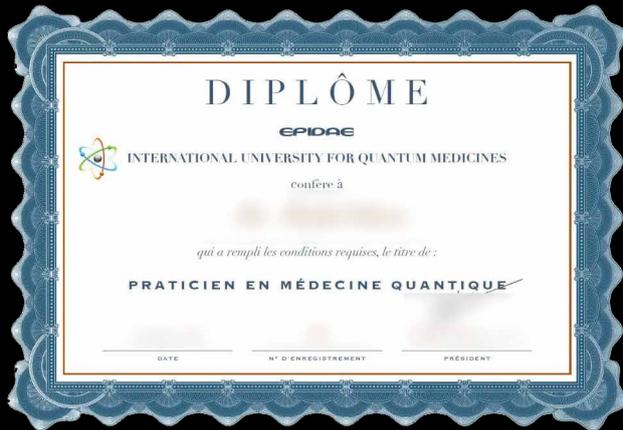
TEXTE : HENRI DUPUIS - DUPUIS.H@BELGACOM.NET
PHOTOS : © SAKKMESTERKE - STOCK.ADOBE.COM (P.55)

Quand, au tout début du 20^e siècle, Albert Einstein publie sa théorie de la relativité restreinte, il ne faut pas attendre longtemps pour qu'une expression fasse florès dans les salons et la presse: «*Tout est relatif !*». On devine l'aphorisme asséné d'un air de certitude... absolue, ne souffrant aucune contradiction. Peut-être est-ce le cas en philosophie, mais relier cette certitude au monde de la physique constitue une jolie contradiction et une méconnaissance - oserait-on écrire absolue - des travaux d'Einstein. La théorie de la relativité est en effet une théorie des invariants, de l'absolu puisqu'elle identifie ce qui ne varie pas quand on change de référentiel. Ainsi, si chaque observateur est doté d'un temps propre au référentiel dans lequel il se trouve (en cela, le temps n'est plus absolu, on change de temps propre quand on change de référentiel), Einstein identifie un absolu, la vitesse de la lumière qui, elle, n'est pas modifiée par un changement de référentiel. Face au mésusage du terme relativité, Einstein aurait d'ailleurs regretté son emploi et tenté de renommer sa théorie «théorie des invariants».

Équation de Schrödinger qui décrit l'évolution d'un système quantique au cours du temps

Une expression voisine aurait pu avoir le même succès à la même époque mais cela ne semble pas avoir été le cas: «*Tout est quantique*». La physique quantique a en effet peu ou prou été édiflée en même temps que la relativité, dans ce premier quart du 20^e siècle qui a connu un bouleversement complet de la physique. Pourtant, sauf erreur, on ne s'écriait pas «*Tout est quantique*» à l'époque. Un retard rattrapé aujourd'hui, particulièrement dans le domaine du bien-être. Spécialistes en thérapie ou soins quantiques ont pignon sur rue. On en veut pour preuve l'annonce, en ce début d'année 2024, par un grand parfumeur français (*Guerlain*) du lancement d'une crème capable de «*restaurer la lumière quantique d'une cellule jeune à l'échelle de l'infiniment petit pour amplifier la réjuvenation visible de la peau*» (sic). Annonce qui a suscité de nombreuses réactions de scientifiques, au point de forcer *Guerlain* à modifier certains termes de sa publicité. À ce propos, on pourra regarder avec profit une vidéo de G Milgram, un youtubeur spécialisé dans la dénonciation du «*faux quantique*» (1).

L'idée n'est pas de se prononcer ici sur l'efficacité du produit ou de sa campagne marketing, moins encore sur son prix (faramineux !) ou le pourquoi de cette mode du recours au mot quantique, mais de rappeler ce que cela signifie en physique.



L'adjectif quantique, très à la mode dans le secteur du bien-être...
Mais qui n'a rien à voir avec la physique du même nom.

Atomes et particules

La physique quantique a pour objet l'étude de la matière et du rayonnement à l'échelle atomique et subatomique. C'est tout ? Oui. Mais c'est gigantesque et cela induit 2 difficultés majeures. C'est gigantesque car elle permet de comprendre le comportement et les interactions entre particules et les champs de force qui les animent. Or notre monde est de plus en plus basé sur notre compréhension de ce qui se passe à l'échelle des atomes et particules. La lumière est à la fois une onde et une particule ? Heureusement, sinon pas de panneaux solaires. Les échanges d'énergie au sein de la matière ne se font que par paquets ? C'est sur cela que repose toute notre électronique moderne (téléphones portables, ordinateurs, voitures...) qui doit son existence à cette particularité. Tout comme les lasers utilisés dans l'industrie ou en médecine par exemple. La physique quantique a déjà envahi le secteur de l'imagerie médicale (l'IRM n'est rien d'autre que l'observation du comportement des noyaux d'hydrogène plongés dans un champ magnétique intense) ou celui des capteurs industriels. Dans le futur, nos ordinateurs eux-mêmes seront quantiques (plus seulement leurs microprocesseurs !), fonctionnant avec des qubits qui peuvent représenter 0 ET 1 et non plus des bits actuels (0 OU 1). Et notre cryptographie (tellement nécessaire !) le sera aussi.

On pourrait ainsi multiplier les exemples. Sans oublier notre «simple» compréhension du monde - *pourquoi le soleil brille ? Pourquoi le ciel est bleu ?* - qui s'appuie souvent sur cette physique. Bref, tout est quantique ? Les composants ultimes de notre monde, oui. Mais notre monde ne l'est pas.

Difficile interprétation

La physique quantique porte en effet en elle 2 difficultés, 2 soucis qui peuvent expliquer pourquoi l'adjectif quantique se retrouve souvent utilisé dans des domaines mystérieux, irrationnels, charlatanesques pour tout dire.

La première est l'interprétation à notre échelle de phénomènes qui paraissent souvent contre-intuitifs. Car si elle décrit et prédit parfaitement par des équations mathématiques les phénomènes qui surviennent à son échelle, ceux-ci diffèrent beaucoup du comportement de la matière à plus grande échelle. Le premier exemple qu'on peut donner est bien sûr celui de la dualité onde-particule. Vite repérée pour la lumière (les photons) puis pour les autres particules comme les électrons. Transposée dans notre univers, cela voudrait dire que si on lance une pierre, celle-ci pourrait devenir onde pour se propager et passer par exemple par 2 fentes à la fois (les célèbres fentes de Young utilisées pour la lumière), puis redevenir pierre à son arrivée.

Une autre difficulté vient du principe d'incertitude (ou d'indétermination) qui régit ce monde. Selon celui-ci, il y a une limite à la précision sur la mesure de 2 quantités en même temps. Plus l'une est précise, moins l'autre l'est. Ainsi, il n'est pas possible de connaître avec précision à la fois la vitesse et la position d'une particule. Alors que, bien entendu, si nous nous déplaçons sur une route en voiture, il est évident qu'on peut mesurer et la vitesse de déplacement et la position du véhicule. Enfin, conséquence de cela, un même état quantique (une position par exemple) peut donc avoir plusieurs valeurs selon des probabilités diverses. D'où l'interprétation volontairement provocante qu'en a fait Schrödinger: un chat peut être à la fois vivant ET mort... Un chat quantique peut-être; un chat réel, certes pas.

Décohérence

Car la physique quantique présente une seconde difficulté et non la moindre: si nous sommes bien composés d'éléments qui obéissent aux lois de la physique quantique, notre ensemble ne l'est pas. Très vite surgit en effet ce qu'on appelle le phénomène de décohérence, capital. Pourquoi ne sommes-nous pas quantiques ? À partir de quel moment et pourquoi y a-t-il passage des lois quantiques aux lois classiques ? Le monde quantique des particules est un monde très solitaire, les particules isolées, telles que considérées par la physique quantique n'interagissent pas, ou peu, entre elles. Mais notre monde est constitué de milliards de milliards de ces particules qui interagissent chacune avec leur environnement. Pire, ce sont les différents états possibles qui interagissent et on peut démontrer qu'alors les différentes possibilités deviennent incohérentes (d'où le nom). Autrement dit, la probabilité d'observer un état superposé tend vite vers zéro. Ces interactions peuvent évidemment être le fait des observateurs et leurs mesures (on éclaire un système par exemple d'où un afflux de photons) mais pas seulement: c'est un phénomène naturel quasi instantané si les interactions sont nombreuses et les systèmes complexes mais beaucoup plus lent dans le vide intersidéral par exemple où il n'y a guère que le rayonnement diffus originel à 3K qui va venir troubler les systèmes. Des expériences ont ainsi montré qu'une molécule complexe (on est déjà très loin de la particule ou l'atome isolé) mettra 10^{-30} sec. pour se «décohérer» dans l'air ambiant mais plus de 30 000 ans dans le vide intersidéral. 

 <https://www.youtube.com/watch?v=z4ZfsJRGJsM>

Quoi de neuf dans l'espace ?

Un nouveau rapport de la Cour des comptes américaine montre que l'état d'avancement de la mission lunaire *Artemis III*, troisième du programme éponyme, est très critique. L'agence spatiale américaine (*Nasa*) ambitionne d'atterrir sur la Lune en décembre 2025. Mais apparemment, le calendrier de développement est bien trop ambitieux et la mission pourrait bien s'en trouver «modifiée»...

TEXTE: FLEUR OLAGNIER • FLEUR.OLAGNIER@GMAIL.COM | PHOTO: DAVID J. PHILLIP

D'où vient ce retard ?

La Cour des comptes américaine considère comme «improbable» le fait que l'atterrisseur lunaire de *SpaceX* (*Human landing system* ou HLS) soit prêt d'ici fin 2025. Pour rappel, le HLS se compose du *Super Heavy* (fusée) et du HLS *Starship* (véhicule pour l'alunissage). Il est basé sur une architecture commune au *Starship*, c'est-à-dire la plus grosse fusée de la société *SpaceX* qui a déjà réalisé 2 vols d'essais, dont un pendant lequel l'engin a explosé... Des étapes techniques seraient en suspens, notamment concernant la performance des moteurs *Raptor* et la démonstration du transfert de carburant cryogénique en orbite. En outre, le développement des combinaisons spatiales contribue au retard global. En effet, la *Nasa* souhaite désormais que ces équipements garantissent une autonomie de survie de 60 minutes en cas de dysfonctionnement. C'est plus que n'importe quelle combinaison jamais développée, ce qui oblige la société *Axiom* qui les fabrique à revoir sa copie. Enfin, *SpaceX* développe un réservoir de propergol et un dépôt spatial de carburant qui doivent permettre la mise en place d'une «station service» en orbite. Là encore, la complexité du projet pourrait mettre à mal les échéances de la *Nasa*. «*SpaceX a fait des progrès limités dans le mûrissement des technologies nécessaires à ce plan*», a jugé la Cour des comptes américaine.



Jim Stein, ingénieur en chef d'*Axiom Space*, présente un prototype de la nouvelle combinaison spatiale que les astronautes porteront lors de la mission *Artemis III*.

Une mission «modifiée» ?

Au vu des délais rencontrés, il ressort de l'étude de la Cour des comptes américaine que la mission *Artemis III* ne serait envisageable qu'après 2027... au point de reporter à plus tard le retour de l'Homme sur notre satellite naturel. La *Nasa* a déjà évoqué à mi-mots la possibilité d'un décalage de plusieurs années, ainsi que d'une mission *Artemis III* «différente» si les retards venaient à persister. À comprendre: une mission sans atterrissage lunaire. L'architecture et les objectifs pourraient également être revus en fonction des résultats de la mission non habitée autour de la Lune *Artemis II*, dont le lancement est prévu fin 2024.

Pourtant, on prépare déjà la suite...

Avec le retour de l'Homme sur la Lune, le besoin de se déplacer à la surface lunaire semble indispensable. La *Nasa* est donc en train de sélectionner l'entreprise qui construira le futur rover ad hoc, et la société *Astrolab* est très bien partie. *Astrolab* aurait «réinventé la roue lunaire» et a d'ores et déjà signé avec *SpaceX* pour un démonstrateur de son rover *Flex* qui sera à bord d'un vol test du *Starship* en 2026. Il est même déjà prévu que l'astromobile embarque 8 charges utiles, dont 5 sont connues. La plupart sont des technologies de start-up qui ont besoin de tests in situ: extraction d'eau par *Argo Space Corp*, tri de grains de régolithe pour construire des briques lunaires par *Astroport Space Technologies* ou encore serres expérimentales par *Interstellar Lab*... 

À la Une du cosmos

TEXTE : YAËL NAZÉ · YNAZE@ULIEGE.BE ·
HTTP://WWW.ASTRO.ULG.AC.BE/NEWS



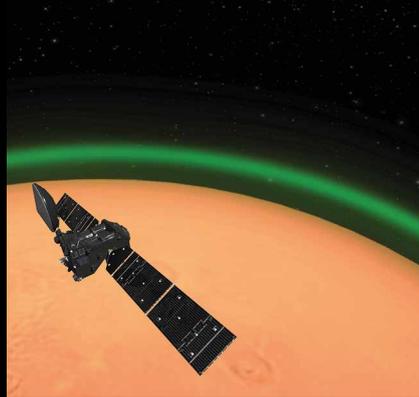
Le Petit Nuage de Magellan est fait de 2 galaxies naines situées l'un derrière l'autre et séparées de 15 000 années-lumière.

CRÉDITS: DSS



Révision ! L'occultation d'une étoile par l'astéroïde centaure Chiron suggère que ce dernier n'est pas entouré d'anneaux comme suggéré en 2015 mais bien de «nuages» de matière en évolution. De même, les lunes proposées pour Kepler 1625b et 1708b ont finalement du plomb dans l'aile...

CRÉDITS: CELESTIA TEAM



Lumière ! Sur Mars, on vient de dévoiler les lueurs vertes émises par les atomes d'oxygène martien côté nuit. Sur le Soleil, un phénomène de type auroral a été observé au-dessus d'une tache solaire - il impliquerait des électrons de grande énergie piégés dans un champ magnétique.

CRÉDITS: ESA - VUE D'ARTISTE



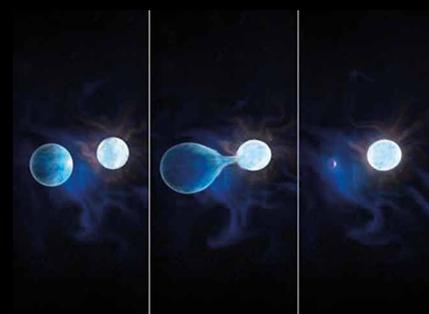
La comète de Halley se trouve actuellement au plus loin du Soleil, à 53 milliards de km - elle est extrêmement peu lumineuse, mais ça va s'améliorer en revenant plus près du Soleil dans les décennies à venir !

CRÉDITS: ESA



Composition ! ❶ Pour la première fois, des molécules simples contenant du phosphore ont été découvertes à la périphérie de la Galaxie, dans un nuage dense. Les abondances sont comparables à celles que l'on observe plus près du centre galactique, ce qui reste à expliquer. ❷ Autre ingrédient important en astrobiologie: le cyanure d'hydrogène, qu'on vient de trouver dans les geysers d'Encelade. L'océan souterrain regorgerait ainsi d'énergie chimique. En parallèle, 17 exoplanètes froides et peu denses pourraient ressembler aux lunes glacées comme Encelade, reste à vérifier si elles possèdent des geysers (une vérification actuellement possible pour 2 cas). ❸ Le JWST a trouvé de nombreuses molécules organiques relativement complexes près d'une trentaine de proto-étoiles ainsi qu'un cocktail eau/silicates/dioxyde de soufre dans l'atmosphère de l'exoplanète WASP-107b.

CRÉDITS: CASSINI



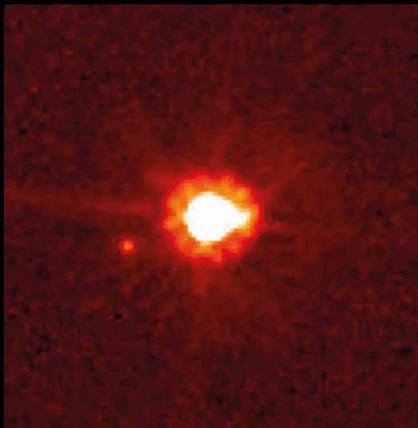
Cannibales ! ❶ Vu la vitesse de rotation de la brillante étoile d'Orion appelée Bételgeuse et sa composition chimique, l'étoile a pu avaler une compagne plus petite à un moment de son évolution. ❷ Les astronomes ont découvert dans les Nuages de Magellan une population d'étoiles massives dépouillées de leur enveloppe par leurs compagnes.

CRÉDITS: N. MARVI, CARNEGIE INSTITUTION FOR SCIENCE - VUE D'ARTISTE



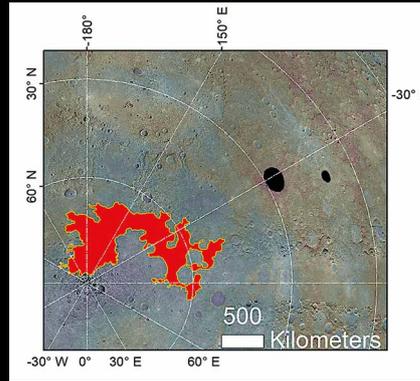
1 Alors que MAVEN a enregistré un «trou» dans le vent solaire il y a un an (dû à un vent rapide balayant tout sur son passage), certains s'inquiètent de l'impact des tempêtes solaires sur les signaux ferroviaires actuels et d'autres étudient en détail la tempête solaire exceptionnelle de 1872, qui a perturbé les infrastructures technologiques de l'époque. 2 Plus lointain (2 milliards d'années-lumière), le GRB 221009A, le sursaut gamma le plus brillant jamais détecté, a aussi eu des conséquences: il a déclenché des détecteurs de foudre en Inde... et aussi perturbé l'ionosphère côté jour !

CRÉDITS: ESA - VUE D'ARTISTE



Au-delà de Neptune se trouvent notamment Pluton et Eris, de taille et masse similaires. De nouvelles analyses indiquent que le second comporterait plus de roches que le premier et que son intérieur serait plus mouvant (couche convective de glace, contrairement à Pluton dont l'enveloppe est conductive).

CRÉDITS: HST



Des terrains sur Mercure présentent des signatures chimiques de composés volatils - il pourrait s'agir de glaciers salins qu'on retrouve dans certaines régions terrestres aux conditions d'habitabilité extrêmes.

CRÉDITS: NASA



Formation ! 1 Pour la première fois, ALMA a repéré le disque d'une étoile jeune en formation dans une autre galaxie, le Grand Nuage de Magellan, tandis que de grandes zones de formation d'étoiles étaient cartographiées dans la galaxie M51. 2 On pensait que des cailloux recouverts de glace migraient des régions extérieures des disques protoplanétaires vers l'intérieur: le JWST en a trouvé la preuve. Il a également montré que les parties internes de ces disques restaient semblables même dans un environnement hostile: autrement dit, les planètes rocheuses peuvent se former dans une gamme de conditions plus large que prévu. Enfin, il a cartographié les glaces entourant le bébé-étoile nommé HH 48 NE: le CO y semble mélangé avec le CO₂ et l'eau, ce qui lui permettrait de rester plus longtemps sous forme de glace.

CRÉDITS: ESO



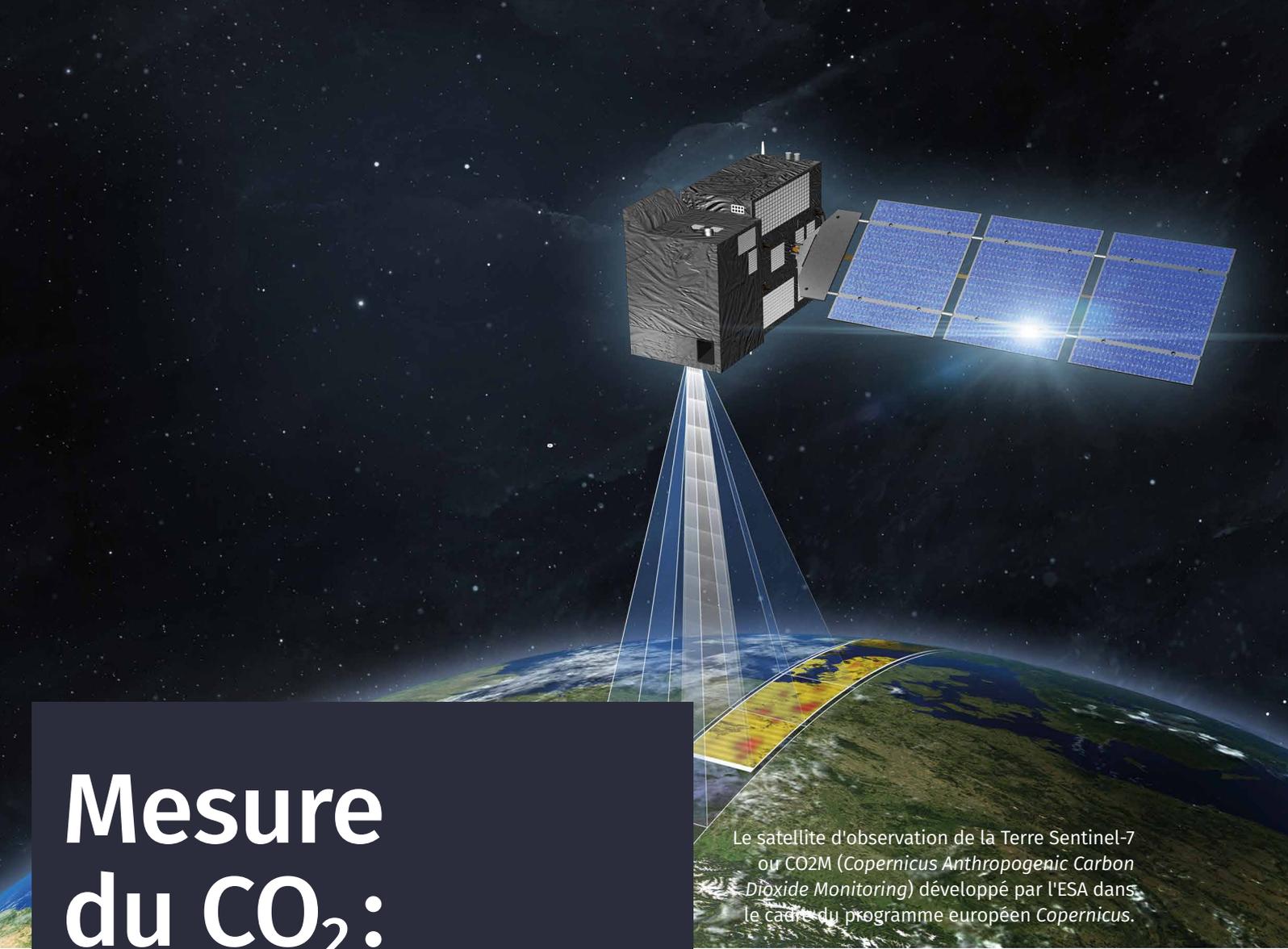
1 On pense souvent que Jupiter joue un rôle protecteur pour notre planète mais une étude montre que, dans d'autres systèmes planétaires, les géantes ont tendance à expulser les planètes plus petites de la zone habitable. 2 En parallèle, il y a trop peu de planètes avec une taille entre 1,5 et 2 fois la Terre: en fait, certaines «sous-Neptunes» sont si chaudes que leur atmosphère part et elles deviennent... des «super-Terres». 3 Enfin, les modèles de formation planétaire peinent à expliquer LHS 3154b, une planète trop massive (13 fois la Terre) par rapport à son étoile, une naine ultrafroide (9 fois moins massive que le Soleil).

CRÉDITS: PENN STATE UNIV - VUE D'ARTISTE



L'échantillon ramené par mission OSIRIS-Rex a plus que rempli son objectif rien qu'avec la matière sur l'entrée du container donc pas l'échantillon principal ! La capsule contenant ce dernier, par contre, refuse toujours de s'ouvrir, mais on l'a pesée: finalement, on tournerait autour de 170g collectés... Les premières analyses indiquent aussi des choses étonnantes, comme une couche brillante en surface de certains grains, composée de magnésium, sodium et phosphates - un mélange inédit. Des composés organiques ont aussi été repérés.

CRÉDITS: OSIRIS-REX



Mesure du CO₂: n'est-il pas trop tard ?

Aussi surprenant que cela puisse paraître, seules 4 missions spatiales ont déjà été lancées dans le but de mesurer les émissions de CO₂ à l'échelle de la planète - hors projets chinois pour lesquels l'accès aux données est limité. Pourtant, au regard de l'urgence climatique, la connaissance des sources et des puits d'émission de dioxyde de carbone est indispensable. Malgré plusieurs reports, 3 missions sont enfin sur les rails: *MicroCarb*, *CO2M* et *GOSAT-GW*. À temps ?

TEXTE: FLEUR OLAGNIER • FLEUR.OLAGNIER@GMAIL.COM

PHOTOS: OHB (P.60), © CNES, OLIVIER SATTLER (P.61), NASA (P.61), NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN (P.62)

Le satellite d'observation de la Terre Sentinel-7 ou CO2M (*Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring*) développé par l'ESA dans le cadre du programme européen Copernicus.

Les émissions de dioxyde de carbone... Dans le contexte du changement climatique, ce point noir surgit tellement souvent dans les médias qu'on en viendrait presque à s'en désintéresser. Pourtant, en ce début 2024, l'enjeu de réduction des émissions de gaz à effet de serre n'a jamais été aussi fondamental. Selon une étude des scientifiques du *Global Carbon Project*, le dépassement du seuil de + 1,5 °C de la température à l'échelle du globe est «inévitable». Il pourrait se produire d'ici seulement 7 ans, 2023 ayant été une année record avec plus de 40 milliards de tonnes de dioxyde de carbone ajoutées dans l'atmosphère.

Or, dans le cadre de la lutte contre ce réchauffement, mesurer avec précision les sources et les puits de dioxyde de carbone, de méthane ou encore de dioxyde d'azote paraît indispensable. Si l'on considère plus précisément le CO₂ - principal gaz à effet de serre émis par les activités humaines - malgré l'urgence de la situation et les sonnettes d'alarmes tirées depuis plusieurs dizaines d'années déjà par les scientifiques, on ne connaît pas aujourd'hui les quantités absorbées ou émises dans certaines régions du globe, par manque de stations de mesures terrestres.

Quatre missions seulement

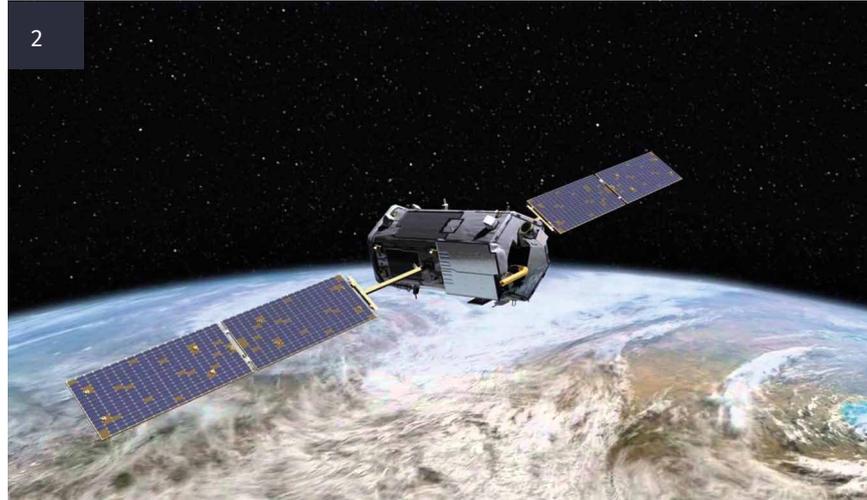
Côté missions satellitaires, les instruments ne sont pas légion. Le projet pionnier en la matière date de 1996. Le satellite japonais ADEOS-I embarquait un moniteur interférométrique pour l'étude des gaz à effet de serre: IMG. Cependant, le panneau solaire a été endommagé et la mission stoppée moins d'un an après son lancement. Développés à la suite de la signature du protocole de Kyoto **(1)**, les satellites GOSAT-1 et GOSAT-2, japonais également, ont décollé respectivement en 2009 et 2018. GOSAT-1 a été le premier satellite à effectuer des mesures systématiques des concentrations de dioxyde de carbone (et de méthane) depuis l'espace sur plusieurs milliers de points de l'atmosphère terrestre. En 2014, la Nasa a lancé le satellite OCO-2, qui relève encore aujourd'hui la distribution géographique des sources de dioxyde de carbone et des puits de carbone naturels à une échelle régionale.

Ces 3 missions ont permis d'améliorer la compréhension du cycle du carbone, ainsi que des processus naturels et des activités humaines qui contribuent à modifier l'abondance et la distribution géographique des gaz à effet de serre. Mais 4 satellites (3 si l'on oublie IMG), ce n'est pas suffisant. À l'heure actuelle, on ne sait toujours pas si les principaux puits de carbone de notre planète sont les forêts tropicales ou les océans. On ne sait pas non plus exactement combien de tonnes de CO₂ sont émises par chaque grande ville, la végétation et les mers. Ni comment toutes ces valeurs évoluent au fil des saisons... C'est là que MicroCarb, CO2M et GOSAT-GW entrent en scène.

Repoussé plusieurs fois depuis 2020, le lancement de MicroCarb par le *Centre national d'études spatiales français (Cnes)* devrait avoir lieu en 2025. Ce microsattellite permettra de cartographier la totalité des sources et des puits de CO₂ à l'échelle planétaire. Des informations cruciales pour comprendre les origines et les impacts du changement climatique.

Première européenne

Actuellement en intégration chez *Thales Alenia Space* à Harwell (Royaume-Uni), le satellite analysera les rayons du Soleil après leur réflexion par la surface terrestre et leur remontée au travers de l'atmosphère grâce à un spectromètre à réseau. Ainsi, MicroCarb pourra extraire la concentration atmosphérique en CO₂ sur l'ensemble du globe avec une précision de l'ordre de 1 molécule par million de molécules d'air (1 ppm) ! Et sur un pixel de base rectangulaire de 4,5 km par 9 km. Le petit



satellite d'études des flux de CO₂ sera le premier engin européen du genre.

On peut toutefois se demander pourquoi un tel instrument n'a pas été développé plus tôt. «*Il fallait que la communauté scientifique convainque les politiques pour obtenir les financements, éclaire Martine De Mazière, chercheuse et directrice ad interim de l'Institut Royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique. Mais surtout, il fallait attendre que la technologie soit mature car détecter les principales sources de CO₂ demande une précision extrême. Puisqu'il y a des émissions de dioxyde de carbone partout à la surface du globe, il faut une mesure d'une grande finesse pour distinguer les endroits où ces émissions sont plus importantes. Et cette opération est encore plus difficile à réaliser depuis l'espace.*»

Par ailleurs, MicroCarb ouvre la voie à la mission CO2M de l'Agence spatiale européenne (Esa). Prévu dans le cadre du programme *Copernicus* de l'Union Européenne, le lancement de 2 satellites CO2M aussi appelés *Sentinel-7* devrait avoir lieu en 2026. Chaque satellite emportera un spectromètre fonctionnant dans le proche infrarouge et l'infrarouge court afin de mesurer la quantité de dioxyde de carbone produite par les activités humaines. Toutefois, contrairement à MicroCarb, ces engins ne mesureront la quantité de CO₂

1. *MicroCarb* est une future mission spatiale de l'agence spatiale française (Cnes).

2. L'*Orbiting Carbon Observatory (OCO)* est un satellite de télédétection de la NASA. Après la perte du 1^{er} exemplaire en 2009, le second, baptisé OCO-2, a été placé en orbite avec succès en 2014.

⁽¹⁾ Accord international entré en vigueur en 2005 et visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.



GOSAT-GW est le successeur des satellites GOSAT-1 et GOSAT-2 de l'agence spatiale japonaise (JAXA), lancés en 2009 et 2018.

présent dans l'atmosphère avec une fréquence hebdomadaire qu'au-dessus de la latitude 40°, et non par sur la totalité du globe. La précision attendue est de l'ordre de 0,7 ppm pour une résolution spatiale de 2 km par 2 km.

En outre, le Japon, toujours très impliqué dans la mesure des émissions de gaz à effet de serre, a prévu de remplacer ses 2 satellites GOSAT-1 et GOSAT-2 par GOSAT-GW, dès 2024. La particularité de cette mission est de s'intéresser non pas seulement à la mesure des gaz à effet de serre, mais également de coupler des données avec une analyse du cycle de l'eau. Un spectromètre infrarouge à haute résolution surveillera les concentrations moyennes mensuelles de gaz à effet de serre dans l'ensemble de l'atmosphère comme le dioxyde carbone et le méthane. Parallèlement, un second instrument de type radiomètre micro-onde se focalisera sur le rayonnement émis naturellement par les terres et les océans pour déterminer les variations dans le cycle de l'eau.

«L'augmentation de la température globale de la planète de 1,5°C est inévitable. Mais si l'on ne fait rien, c'est une hausse globale de 2 °C ou 3 °C qui nous attend, prévient Martine De Mazière. Pour moi il n'est pas trop tard, il n'est jamais trop tard. On peut encore éviter le pire. Il faut prendre des actions efficaces et pour cela on a besoin de savoir précisément où sont les grandes sources de CO₂. Plus on attend, plus le CO₂ s'accumule dans l'atmosphère car ce gaz y a une durée de vie d'environ 100 ans. Il faut agir vite.» **A**

MAIS ENCORE...

SpaceX a lancé 5 fois sa plus grosse fusée opérationnelle en 2023

La société d'Elon Musk a organisé fin décembre un vol de son plus gros lanceur lourd opérationnel *Falcon Heavy*. C'était le cinquième de l'année 2023. Un record. SpaceX a cette fois-ci envoyé dans la haute atmosphère l'avion spatial X-37B, un véhicule dont le développement est supervisé par l'armée de l'air et la force spatiale des États-Unis. Comme d'habitude, les 2 boosters latéraux réutilisables, qui ont déjà volé 4 fois, sont rentrés automatiquement sur Terre. Le décollage n'a pas été diffusé sur *YouTube* mais sur *X* (ex-Twitter), réseau social dirigé par le patron de SpaceX Elon Musk depuis 2022. Selon l'agence de presse *Bloomberg*, la société SpaceX, dont la valeur était jusqu'à il y a peu inconnue, serait aujourd'hui valorisée à pas moins de 175 milliards de dollars.

Une start-up devient le premier acteur privé consacré à la gestion du trafic spatial

La jeune pousse canadienne *Northstar* développe une constellation de satellites pour fournir des services de surveillance de l'espace et de gestion du trafic spatial. C'est la toute première entreprise privée à surveiller depuis l'espace l'ensemble des orbites à proximité de la Terre. L'objectif est de compléter, et d'améliorer dans certains cas, les données fournies par les États et les agences spatiales. «Les orbites proches de la Terre représentent environ 300 billions de km³ de volume à surveiller ! a commenté Stewart Bain, CEO de NorthStar. La surveillance depuis l'espace permet une couverture active in situ, corrige les lacunes des observations au sol et augmente la précision et la rapidité associées au suivi des objets dans l'espace.» D'après une récente étude de la Commission européenne, l'espace est tellement chargé en débris que chaque nouveau satellite a de 5% à 8% de chances d'être détruit par un impact avec l'un d'entre eux.

Votre nom sur une sonde d'exploration de Jupiter ?

La sonde *Europa Clipper* de la Nasa sera lancée vers le système jovien en octobre 2024. Elle devrait débiter ses premiers survols rapprochés d'Europe, l'une des 4 lunes de Jupiter, à son arrivée en 2030. L'objectif sera de repérer des indications de la présence d'une forme de vie dans l'océan d'eau liquide qu'Europe abrite sous sa banquise. Mais en attendant de pareilles découvertes, la Nasa a lancé la campagne *Message in a Bottle* pour permettre à chacun de graver son nom et son prénom sur des puces électroniques à bord de la sonde. En décembre dernier, plus de 1,7 million de personnes avaient déjà choisi de participer. La liste de prénoms sera accompagnée d'un texte écrit par la poétesse américaine Ada Limón. «Le poème relie les 2 mondes aquatiques: la Terre, aspirant à tendre la main et à comprendre ce qui rend un monde habitable, et Europe, qui attend avec des secrets encore à explorer», a précisé la Nasa.

AGENDA

Le magazine scientifique

• PARTOUT EN WALLONIE DU 18 AU 24/03

Printemps des Sciences «Terres rares»

Rendez-vous annuel de la culture scientifique et technologique, le Printemps des Sciences fédère les différents acteurs de l'enseignement supérieur, de la recherche mais aussi du monde associatif et culturel. Cette semaine dédiée à la découverte et à l'expérimentation est coordonnée par le réseau Sciences.be et prend place sur l'ensemble du territoire de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Chaque année, le Printemps des Sciences propose ainsi un programme riche et diversifié qui s'adresse tant au public scolaire (de la 3^e maternelle à la 6^e secondaire) qu'au grand public. De nombreuses activités (ateliers, laboratoires, expériences, démonstrations publiques, spectacles, projections, conférences...) sont proposées et animées gratuitement par des enseignantes, des chercheur·es et des étudiant·es issu·es des universités et des hautes écoles, ainsi que par leurs partenaires (musées, associations, ...). Cette année, les Terres rares, sont mises à l'honneur ! En effet, la géologie retrace l'histoire de la Terre et les matériaux extraits du sol sont à la base de chaque objet et service dont nous disposons et présents dans chaque aspect de notre vie quotidienne. Soyez rassurés, nul besoin d'être féru de physique quantique ou de génie génétique pour avoir le goût des sciences. Filles, garçons, jeunes de tous horizons, le Printemps des Sciences est là pour éveiller la curiosité et la sensibilité de chacun·e. En y participant, les élèves et les enseignant·es auront l'opportunité de rencontrer des personnalités stimulantes, de réaliser des expériences originales, d'observer des phénomènes surprenants... De quoi susciter leur émerveillement et donner l'envie de contribuer à un monde meilleur !

<https://bit.ly/3OZF8lq>

• BRUXELLES DU 18 AU 24/03

Festival du Film Scientifique

Cet événement annuel est organisé par des étudiant·es faisant partie de l'ASBL Cercle des Sciences de l'ULB et ce depuis 2011. L'objectif de ce Festival est de sensibiliser le monde à de nombreuses thématiques scientifiques, celles-ci allant de la physique à la géographie, tout en passant par la psychologie et la technologie. Les projections ont lieu en journée et en soirée, à la fois pour les écoles primaires et secondaires et le public. Les documentaires sont également souvent accompagnés d'intervenant·es pouvant fournir des explications complémentaires et répondre aux questions des spectateur·trice·s.

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

MY SPACE JOB Euro Space Center

Vous n'approcherez jamais l'espace ? Pas sûr... Explorez l'univers des carrières spatiales avec *My Space Job*, votre nouvelle destination en ligne pour tout savoir sur les emplois du secteur spatial. Cette initiative, spécialement conçue pour motiver les jeunes à partir de 12 ans, illumine le chemin vers des carrières passionnantes dans l'espace. Grâce à une histoire captivante et l'expertise de véritables professionnels du domaine, plongez-vous dans une expérience immersive à la découverte de métiers extraordinaires. Rendez-vous sur www.myspacejob.be

ATHENA 365 Janvier-Février 2024

Tiré à 22 250 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

Distribution en Belgique uniquement.

Rejoignez-nous également sur

<https://athena-magazine.be>

<https://athena.wallonie.be>

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

db Group.be
Boulevard Paepsem, 11A à 1070 Bruxelles

ISSN 0772-4683 (P) • 2736-5875 (N)

COLLABORATEURS

Jean-Michel Debry, Paul Depovere, Henri Dupuis, Julie Fiard, Thibault Grandjean, Philippe Lambert, Clémentine Laurens, Julie Luong, Laetitia Mespouille, Yaël Nazé, Fleur Olangier, Jacqueline Remits

DESSINATEURS

Alsy, Peter Elliott, Olivier Saive, Vince

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT

Jean-François HEUSE
Inspecteur général

ÉDITEUR RESPONSABLE

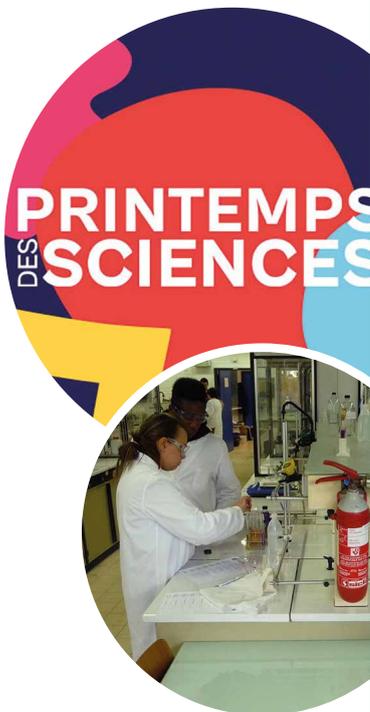
Lionel BONJEAN
Directeur général

COUVERTURE

Première
Crédit: © lbinova - stock.adobe.com

Quatrième
Crédit: © Natureeey91 - stock.adobe.com

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



FESTIVAL DU FILM SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TREIZIÈME ÉDITION



CLIC





Visitez nos sites

<https://athena-magazine.be>
<https://athena.wallonie.be>
<https://recherche.wallonie.be>

Rejoignez-nous sur

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



Formulaire
d'abonnement
(gratuit)