



**POP'
SCIENCES**
Université de Lyon

**POP'SCIENCES
MAG #15 - ÉTÉ 2025**

EN QUÊTE DE L'INTELLIGENCE

1 MAGAZINE + 1 PORTAIL WEB POUR PARTAGER LES SAVOIRS
popsciences.universite-lyon.fr

CONCEPT

Intelligence(s) :
un mot, mille visages

VIVANT

Plongée dans le foisonnement des
intelligences animales

COGNITION

Agir sur le monde : aux sources
de la décision

ARTIFICIEL

Que nous fait l'IA ?

HORS NORMES

Mieux reconnaître la diversité
de pensée

ÉDITO

L'exploration du cerveau humain a récemment connu des développements considérables permettant, en particulier grâce aux sciences cognitives et aux neurosciences, une meilleure compréhension des mécanismes et des formes de l'intelligence. Ces travaux mettent en lumière la grande diversité de cette aptitude, dont l'éthologie a aussi démontré qu'elle était partagée par l'ensemble du règne animal.

Ce numéro nous fait voyager à travers les continents de l'intelligence : comment, au fil du temps, a-t-on tenté de la définir, ou au moins d'en saisir les grandes formes d'expression ? De quels types d'évaluation est-elle l'objet ? Quels mécanismes se cachent derrière l'une de ses expressions qu'est la décision ? Quel rôle jouent les émotions dans notre intelligence ? Comment les scientifiques s'attachent-ils à reconnaître différentes manières de penser pour mieux les accompagner ? Quelles similitudes et quelles différences entre les capacités cognitives de l'espèce humaine et des animaux ? Quels sont les enjeux du développement des usages de l'intelligence artificielle dans de nombreux domaines d'activité ?

La diversité des approches proposées (mathématiques, psychologie, philosophie, éthologie, biologie, neurosciences...), notamment par les chercheurs des laboratoires et établissements de la ComUE Université de Lyon, nous aide à répondre à ces interrogations et à appréhender, de manière accessible, la complexité de ces phénomènes. Elle contribue à une conception ouverte de l'intelligence, sous ses différentes formes et dans ses dimensions individuelles et collectives.

Je vous souhaite une très bonne lecture de ce *Pop'Sciences Mag* !

Nathalie Dompnier

Présidente de la ComUE Université de Lyon

Ce numéro a été réalisé grâce à la contribution de scientifiques issus des établissements et instituts suivants :

Université Claude Bernard Lyon 1, Université Lumière Lyon 2, Université Jean Moulin Lyon 3, École normale supérieure de Lyon (ENS de Lyon), Université Jean Monnet Saint-Étienne, Université Clermont Auvergne, Université de Bourgogne, Université de Toulouse, Institut catholique de Lyon (UCLy), Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), Hôpital Femme Mère Enfant (Hospices civils de Lyon).

SOMMAIRE



02

EN UN CLIN D'ŒIL
**L'INTELLIGENCE, UNE
AFFAIRE DE...**



04

CONCEPT
**INTELLIGENCE(S) : UN MOT,
MILLE VISAGES**



10

COGNITION
**AGIR SUR LE MONDE : AUX
SOURCES DE LA DÉCISION**



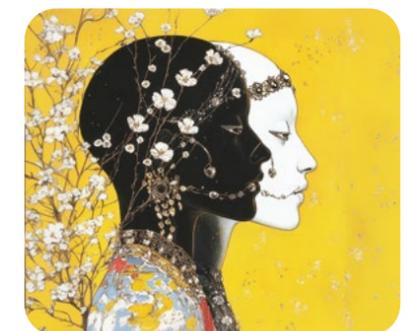
16

HORS NORMES
**MIEUX RECONNAÎTRE LA
DIVERSITÉ DE PENSÉE**



24

VIVANT
**PLONGÉE DANS LE
FOISONNEMENT DES
INTELLIGENCES ANIMALES**



32

ARTIFICIEL
QUE NOUS FAIT L'IA ?

L'INTELLIGENCE, UNE AFFAIRE DE...

L'intelligence est multiple, diverse, plurielle. Elle s'exprime à travers des aptitudes qui s'entrecroisent et se rencontrent. Animaux, humains, végétaux ou systèmes artificiels, ces facultés sont parfois possédées par certains, quelquefois par tous. Embarquez pour une escapade dans les capacités de l'intelligence.

Sources :

Houdé, O., *L'intelligence, Que sais-je ?* / Humensis (2021).
Lhéréte, H., (dir.), *Qu'est-ce que l'intelligence ?*, Sciences Humaines Éditions (2024).



CONSCIENCE

Faculté de connaître, percevoir, se représenter son existence et celle du monde extérieur. Et au-delà, capacité réflexive de juger, analyser ce qui se passe en nous et hors de nous : une véritable exploration mentale!



ÉMOTION

Si l'intelligence est un moteur, l'émotion en est le carburant : celui qui donne l'élan pour entreprendre le grand voyage et affronter les avaries. Elle guide les décisions, oriente les comportements, révèle la sensibilité et le besoin d'équilibre intérieur de chacun.



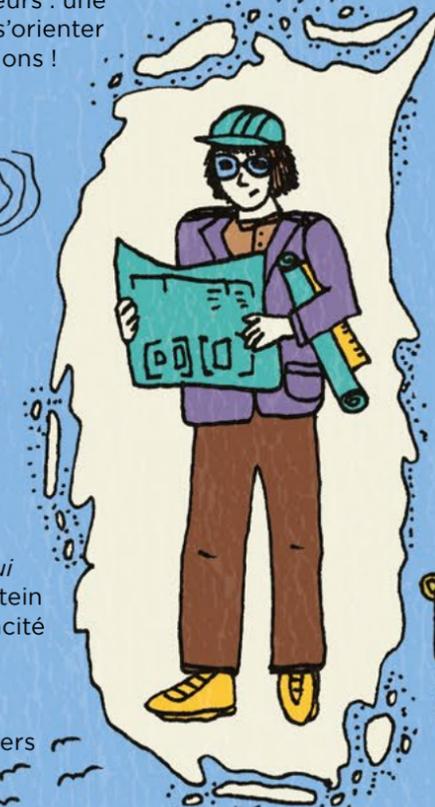
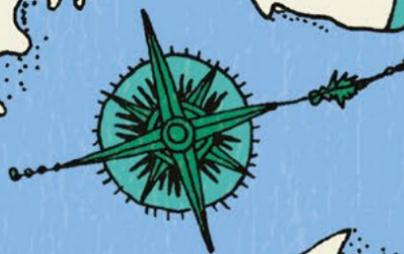
APPRENTISSAGE

Sous l'influence de l'environnement ou de l'expérience, les êtres et artefacts peuvent suivre un cheminement pour mémoriser, intégrer des comportements, des actions. Long ou court, ce périple entraîne alors des modifications dans leurs agissements futurs.



DÉCISION

Vigie de l'intelligence, cette fonction cognitive essentielle permet de faire sans cesse des choix, petits ou grands, après mûre réflexion ou avec la rapidité de l'éclair, en tenant compte de multiples facteurs : une précieuse boussole pour s'orienter entre les récifs de ses actions !



RAISON

Gouvernail de toute embarcation intellectuelle, elle est indissociable de son promoteur, le philosophe René Descartes (1596-1650), pour lequel elle incarne « la puissance de bien juger et de distinguer le vrai d'avec le faux ». Mais à bord, les autres capacités sont précieuses pour l'aider à réussir la traversée.



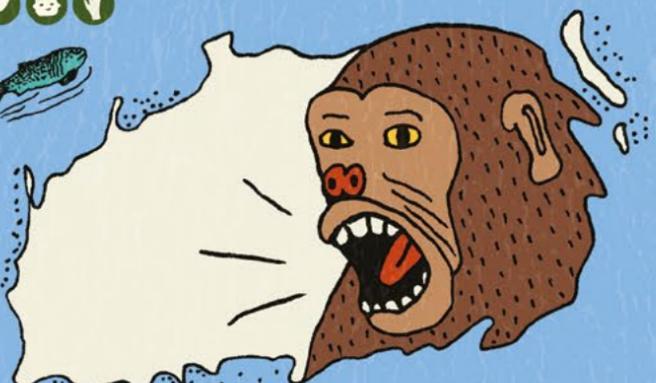
MÉMOIRE

Mère de toute connaissance, cette capacité est un carnet de bord intime, permettant de consigner les expériences, souvenirs, savoir-faire. Fruit d'un apprentissage permanent, elle est indispensable pour interagir avec l'environnement et passer à l'action.



ADAPTATION

Escale sur l'île de l'adaptation : on s'accorde aux coutumes locales ! Face à un fait, une action, un état, un organisme peut être capable de s'ajuster à des conditions extérieures à lui-même, mais aussi internes. Objectif : lui permettre d'améliorer sa situation à venir et de durer dans le temps.



COMMUNICATION

Entrer en contact avec l'autre. Par le langage, ou non, aptitude à établir une relation avec un être distinct pour échanger, pour exprimer une intention, une émotion, un état ; mais aussi, pour agir sur lui, le convaincre, le séduire, l'influencer.



CRÉATIVITÉ

«La créativité, c'est l'intelligence qui s'amuse » : le physicien Albert Einstein (1879-1955) définit ainsi cette capacité d'invention, d'astuce, de curiosité pour trouver une idée, résoudre un problème, faire advenir ce qui n'a jamais été et mener l'imagination vers de nouvelles destinations.



Capacités présentes chez :

- les humains
- les animaux
- les végétaux
- les systèmes artificiels
- En discussion au sein de la communauté scientifique

INTELLIGENCE(S) : UN MOT, MILLE VISAGES

Par Marie Privé, journaliste.

De l'intellect des philosophes à la mesure du QI, de l'adaptation à la créativité, l'intelligence n'a cessé de changer de visage au fil des siècles. Derrière ce mot aux contours flous se cachent des choix culturels, des visions du monde... et parfois, des mécanismes d'exclusion.

Chacun pense la connaître... jusqu'à ce qu'il faille la définir. L'intelligence, cette capacité que l'on associe tantôt à la logique, tantôt à la créativité ou à l'adaptabilité, est omniprésente dans nos discours, mais étonnamment insaisissable. Est-ce une qualité innée ? Une performance mesurable ? Une aptitude à résoudre des problèmes, à comprendre autrui, à composer avec l'imprévu ? Le mot, en apparence familier, cache une constellation de sens. Selon les époques, les cultures, les disciplines, il a été défini, redéfini, contesté, élargi.

Un concept qui a traversé les siècles

En remontant le fil de son histoire, l'intelligence apparaît comme une notion étonnamment récente - ou du moins, comme un mot longtemps périphérique dans la pensée savante. « Dans la tradition philosophique, on parle bien plus volontiers de raison, de pensée, de jugement ou d'esprit. Le mot "intelligence", lui, ne prend vraiment d'importance qu'à partir du 20^e siècle », souligne Jean-Michel Roy, professeur de philosophie et sciences cognitives à l'École normale supérieure de Lyon. Chez Aristote (4^e siècle av. J.-C.), le *noûs* (l'intellect)¹ désigne une faculté de connaissance supérieure, tournée vers

l'essence des choses. Chez Descartes (17^e siècle), la raison est une lumière naturelle de l'âme, commune à tous les hommes, mais inégalement bien utilisée. L'intelligence, en tant que telle, n'est encore ni un objet scientifique, ni une réalité mesurable.

Il faut attendre le tournant des 19^e-20^e siècles pour que cette notion s'impose dans les milieux scientifiques. C'est l'époque de la psychologie expérimentale, de l'émergence des sciences de l'éducation, des premières tentatives pour quantifier les performances mentales. Le nom d'Alfred Binet (1857-1911), psychologue français, marque une étape clé : chargé de repérer les enfants en difficulté scolaire, il élabore une échelle destinée à « mesurer l'intelligence » - ou plutôt, à situer un enfant par rapport à une moyenne d'âge². « Les premières mesures de l'intelligence ne naissent pas d'un pur intérêt théorique, mais d'un objectif pratique, institutionnel, rappelle Mathieu Guillermin, enseignant-chercheur en éthique des technologies à l'Institut catholique de Lyon (UCLy). On veut trier, classer, diagnostiquer. C'est là que l'intelligence devient une donnée. » Cette bascule est fondamentale : pour la première fois, on tente d'objectiver une capacité mentale complexe, en la traduisant en score. Le projet de Binet est pourtant nuancé : il insiste sur la plasticité de l'intelligence et met en

1 > Aristote, *De l'âme (De Anima)*, Livre III (vers 350 avant J.-C.).

2 > Binet, A., *L'étude expérimentale de l'intelligence* (1903).

04
CONCEPT



À VOIR -> P. 02

L'intelligence, une affaire de...

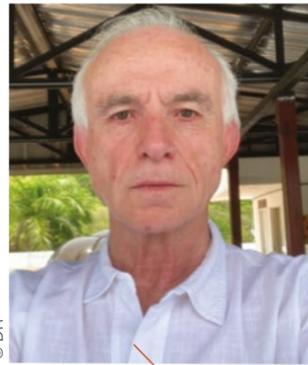
3 > Dreyfus, H. L., *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence* (1972).

4 > Searle, J. R., *Minds, Brains, and Programs, Behavioral and Brain Sciences* (1980).

garde contre les usages abusifs de son échelle. Mais son outil ouvre la voie à une logique de mesure, qui ne cessera de se consolider au fil des décennies.

Dans les années 1930, le psychologue David Wechsler perfectionne ces tests en intégrant de nouvelles dimensions - mémoire, compréhension verbale, raisonnement non verbal, vitesse de traitement... Il pose les bases du quotient intellectuel moderne, standardisé, normé, reproductible. Les échelles qu'il conçoit (WAIS pour les adultes, WIPPS et WISC pour les enfants) sont encore aujourd'hui les plus utilisées au monde. « *Il a compris l'importance d'évaluer différents axes : mémoire, attention, compréhension verbale, rapidité*, indique Anne-Lyse Demarchi, psychologue clinicienne, enseignante à l'Université Lumière Lyon 2. *Cela permet de brosser un tableau général des compétences intellectuelles.* » Mais dès lors, un débat s'installe. Peut-on vraiment résumer l'intelligence à une série d'épreuves ? Ne risque-t-on pas de confondre la capacité à réussir un test avec l'intelligence elle-même ? Dans les milieux philosophiques, ces questions trouvent un écho critique. « *Le modèle qui s'impose au 20^e siècle est très intellectualiste*, explique Jean-Michel Roy. *C'est-à-dire que l'on pense l'intelligence sur le modèle du raisonnement logique, formel, calculable. Or cette conception, héritée du cartésianisme, reflète une vision bien spécifique de l'intelligence, propre à une époque et une culture.* »

C'est dans ce contexte que s'élève la voix de penseurs comme le philosophe Gilbert Ryle, qui dans les années 1940 remet en cause l'idée que penser consisterait à manipuler des symboles abstraits. Il défend au contraire une intelligence en acte, ancrée dans les usages et les habitudes. Plus tard, les philosophes Hubert Dreyfus³ et John Searle⁴ poursuivent cette critique, en montrant que l'intelligence humaine n'est pas transposable sur le modèle informatique : elle repose sur l'expérience vécue, l'intuition, la compréhension implicite. Ces critiques ne visent pas à abolir la notion d'intelligence, mais à en élargir le périmètre. Elles invitent à sortir d'une vision purement logico-déductive,



© DF

« Le modèle qui s'impose au 20^e siècle est très intellectualiste. C'est-à-dire que l'on pense l'intelligence sur le modèle du raisonnement logique, formel, calculable. »

Jean-Michel Roy

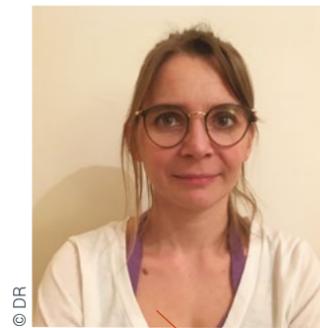
Professeur des universités
en philosophie et sciences cognitives
à l'École normale supérieure de Lyon.

pour reconnaître que l'intelligence peut aussi être motrice, relationnelle, contextuelle. Une remise en cause féconde, qui ouvre la voie aux approches contemporaines et aux débats qui les accompagnent.

L'intelligence... ou les intelligences ?

Définir l'intelligence est déjà un défi. Mais croire qu'elle se résume à une seule forme, valable en tout temps et en tout lieu, c'est passer à côté de sa complexité. Car derrière ce mot se cache une variété de conceptions, issues de traditions scientifiques et philosophiques parfois complémentaires, souvent concurrentes. « *Dans les sciences cognitives contemporaines, on observe une sorte de pluralisation des modèles, mais aussi une réticence croissante à parler d'"intelligence" au singulier* », explique Jean-Michel Roy. Le terme est devenu trop flou pour décrire **des capacités aussi diverses que mémoire, logique, créativité ou adaptabilité sociale.** Cette pluralité n'est pas nouvelle. Depuis le début du 20^e siècle, plusieurs chercheurs ont tenté de décomposer l'intelligence en

« facteurs » ou « aptitudes », parfois organisés de manière hiérarchique (comme dans le modèle de Cattell-Horn-Carroll⁵), parfois présentés comme indépendants (comme dans la théorie des intelligences multiples de Howard Gardner⁶). Dans les deux cas, l'intelligence devient un faisceau de compétences, variables selon les individus et les contextes. Ce glissement suscite des résistances : certains y voient une dérive relativiste, ou une perte de rigueur. D'autres y lisent au contraire une reconnaissance salutaire de la diversité humaine. « *Le mot intelligence est trop polysémique pour vraiment éclairer ce qu'on cherche à désigner*, estime Jean-Michel Roy. *Ce qui intéresse les philosophes, ce sont des capacités concrètes : juger, comprendre, raisonner... Le terme global, lui, finit souvent par masquer les nuances plutôt que les révéler.* » Mathieu Guillermin va plus loin : « *L'intelligence n'est pas un phénomène naturel qu'on pourrait mesurer comme on mesurerait une pression ou une température. C'est une catégorie culturelle, construite socialement, historiquement, symboliquement.* » En d'autres termes : on ne découvre pas l'intelligence, on la fabrique - et ce que l'on choisit d'appeler ainsi dépend toujours de ce que l'on valorise.



© DF

« Personnellement, je n'utilise presque jamais le mot intelligence. Je parle plutôt de compétences intellectuelles. »

Anne-Lyse Demarchi

Psychologue clinicienne et enseignante à
l'Université Lumière Lyon 2.

Or, ces valeurs évoluent. Pendant longtemps, on a valorisé la rigueur logique, l'efficacité, la rapidité. « *Aujourd'hui, dans un monde marqué par l'incertitude, la complexité, le changement rapide*, observe Mathieu Guillermin, *d'autres formes d'intelligence remontent à la surface : intelligence émotionnelle, pensée critique, capacité à coopérer, à improviser, à naviguer dans des environnements mouvants.* » Elles reflètent ainsi de nouvelles priorités : plus relationnelles, plus adaptatives.

Ce déplacement s'opère aussi dans la pratique. « *Personnellement, je n'utilise presque jamais le mot intelligence*, confie Anne-Lyse Demarchi. *Je parle plutôt de compétences intellectuelles.* » Dans une démarche clinique, ce sont les profils cognitifs, les forces et les fragilités de chacun qui priment sur un score global. Mais même dans ces approches plus nuancées, la question persiste : quelles dimensions choisit-on de mesurer ? Et pourquoi celles-là ?

Définir pour mieux classer ?

Pourquoi s'acharne-t-on à vouloir définir l'intelligence, malgré sa complexité, sa variabilité, son ancrage culturel ? Parce que ce mot, derrière sa façade scientifique, est profondément politique. Il classe, il trie, il distribue des rôles, des statuts, des places. « *L'intelligence a souvent servi à justifier des hiérarchies*, rappelle Jean-Michel Roy. *Hiérarchies entre individus, entre cultures, entre types de savoirs. C'est un concept qui a été très instrumentalisé.* » Dès ses origines, la mesure de l'intelligence a accompagné des dispositifs de tri : orientation scolaire, dépistage de la « débilite », sélection militaire ou professionnelle... Aujourd'hui encore, les tests sont utilisés pour établir des diagnostics, attribuer des aménagements scolaires, justifier une prise en charge, ou guider une décision judiciaire. « *Les outils d'évaluation reflètent une certaine idée de la normalité, souvent fondée sur des échantillons très standardisés, peu représentatifs de la diversité des profils* », souligne Anna-Rita Galiano, enseignante-chercheuse en psychologie du développement

5 > Le modèle de Cattell-Horn-Carroll (CHC) est une théorie qui décrit l'intelligence et les capacités cognitives humaines sous forme d'une structure hiérarchique, dans laquelle des facteurs étroits prédisent des facteurs cognitifs plus larges, qui eux-mêmes prédisent le facteur général d'intelligence, élément commun à tous les tests d'intelligence.

6 > Howard Gardner, psychologue du développement, propose, en 1983, la Théorie des intelligences multiples, identifiant huit formes d'intelligence distinctes : linguistique, logico-mathématique, spatiale, musicale, corporelle-kinesthésique, interpersonnelle, intrapersonnelle et naturaliste. Cette théorie élargit la conception traditionnelle de l'intelligence en reconnaissant une diversité de compétences humaines.



À LIRE → P. 17

Mieux reconnaître
la diversité de
pensée

à l'Université Lumière Lyon 2, spécialiste des situations de handicap. Le problème, c'est que ces normes sont rarement interrogées. On les applique comme des références objectives, alors qu'elles sont historiquement et culturellement situées. « *Chaque tentative de définition de l'intelligence s'inscrit dans un cadre social, symbolique, parfois idéologique, insiste Mathieu Guillermin. Ce n'est pas un fait que l'on observe, c'est une idée que l'on construit. Et cette construction a des effets concrets.* » Par exemple, dans le champ du handicap, l'accès à certains droits dépend encore du seuil de QI. « **Sans norme adaptée, certains profils sont mal évalués, voire exclus de dispositifs d'accompagnement** », déplore Anna-Rita Galiano. La question de l'intelligence devient ici une barrière ou un levier, selon les cas. Mais pour elle, le véritable enjeu réside moins dans l'outil que dans la formation de ceux qui l'utilisent : « *La psychométrie repose sur des principes solides, mais encore faut-il que les professionnels soient correctement formés à l'interprétation des résultats. Trop souvent, ces évaluations sont menées sans une*



« Les outils d'évaluation reflètent une certaine idée de la normalité, souvent fondée sur des échantillons très standardisés, peu représentatifs de la diversité des profils. »

Anna-Rita Galiano

Professeure à l'Université Lumière Lyon 2 en psychologie du handicap, directrice de l'unité de recherche Développement individu processus handicap éducation.



« Mesurer l'intelligence, c'est toujours choisir ce que l'on considère comme important. Et ce choix en dit long sur notre société. »

Mathieu Guillermin

Docteur en physique et philosophie, enseignant-chercheur à l'Institut catholique de Lyon, membre de l'unité de recherche CONFLUENCE : Sciences et Humanités.

réelle maîtrise des fondements théoriques. » Dans ces conditions, un test peut devenir aussi bien un outil de justice... qu'un facteur d'exclusion.

Mais la critique dépasse le cadre technique. Elle interroge nos choix collectifs : que valorise-t-on quand on parle d'intelligence ? La logique ? La mémoire ? L'efficacité ? L'adaptabilité ? La créativité ? La capacité à comprendre autrui ? « *Mesurer l'intelligence, c'est toujours choisir ce que l'on considère comme important, rappelle Mathieu Guillermin. Et ce choix en dit long sur notre société.* » Dans un monde où l'évaluation est partout, où la performance est un mot-clé, la question de l'intelligence agit comme un révélateur. Elle nous force à regarder ce que nous considérons comme désirable, utile, digne d'être reconnu. « *L'intelligence, telle qu'on la mesure, reflète nos priorités culturelles, nos angles morts... et parfois nos injustices* », conclut-il. Impossible à cerner tout à fait, l'intelligence glisse entre les disciplines, les cultures, les mots. Elle est une construction mouvante, modelée par les contextes, les époques, les regards. Peut-être faut-il cesser de vouloir la définir... et apprendre à mieux la questionner.



MESURER L'INTELLIGENCE : POUR QUOI FAIRE ?

Qu'ont en commun un enfant qui peine à suivre en classe, un adulte en reconversion, ou une personne en situation de handicap sensoriel ? Tous, à un moment donné, peuvent être concernés par une évaluation de leur « intelligence ». Mais que mesure-t-on vraiment dans ces tests ? Et à quelles fins ?

Les outils les plus connus, comme les échelles de Wechsler (WAIS, WISC...), sont utilisés depuis plusieurs décennies par les psychologues. « *Ces tests évaluent différents aspects : compréhension verbale, mémoire de travail, raisonnement perceptif, vitesse de traitement...*, explique Anne-Lyse Demarchi. *On parle aujourd'hui davantage d'indices que de quotient global.* » Un changement significatif : on tend de plus en plus à remplacer le QI « total » par une cartographie des compétences cognitives, plus fine et plus nuancée.

Ce que les tests disent (et taisent)

Mais ces outils ont leurs limites. D'abord techniques : « *Les tests standardisés sont construits à partir de normes définies sur des populations cibles, rappelle Anna-Rita Galiano. Le problème n'est donc pas le test en lui-même, mais son utilisation hors de son cadre d'étalonnage, ou sans réelle formation aux fondements théoriques de la psychométrie*¹. » Dans certains cas - par exemple en présence d'un handicap sensoriel -, le format non modifiable des épreuves peut compliquer la passation, voire exclure certains profils si l'outil est mal appliqué. Deuxième limite : l'interprétation. « *Les cliniciens n'utilisent pas ces tests pour obtenir un chiffre, mais pour comprendre un profil, précise Anne-Lyse Demarchi. Ce qui nous intéresse, c'est la façon dont la personne aborde les épreuves, les stratégies qu'elle mobilise, les incohérences éventuelles.* » Un même score peut refléter des réalités très différentes selon l'histoire, le contexte ou les troubles associés.

Enfin, la question du cadre d'usage revient souvent : réalisés dans un cadre libéral, ces tests coûtent cher et prennent du temps ; en institution, les professionnels sont trop souvent débordés. « *Passer un bilan complet demande environ trois heures, sans compter l'analyse, explique Anne-Lyse Demarchi. Et dans les institutions, même lorsqu'un psychologue est présent, il est souvent mobilisé sur des suivis psychiques, pas spécifiquement sur la passation de tests. Les ressources humaines sont donc rarement suffisantes pour mener des évaluations approfondies.* » Les usages s'en trouvent restreints... et les résultats parfois surinterprétés. Et pourtant, la demande reste forte : pour poser un diagnostic (déficience intellectuelle, haut potentiel...), obtenir un accompagnement scolaire ou social, éclairer une décision judiciaire, ou simplement comprendre une difficulté d'apprentissage. « *Quand je faisais des expertises psychologiques pour la Cour d'appel, il arrivait qu'on me demande si la personne avait les capacités intellectuelles pour se remettre en question, pour comprendre la gravité de ses actes ou pour se réinsérer dans la société, raconte Anne-Lyse Demarchi. Là, la notion d'intelligence prend un poids très concret.* » Mais face à cette multiplicité des usages, faut-il continuer à chercher à tout prix à « mesurer » l'intelligence ? Peut-être vaudrait-il mieux parler d'évaluer des compétences, de repérer des besoins, ou d'accompagner des singularités.

1 > La psychométrie est la science des mesures pratiquées en psychologie (incluant les modalités de validation et d'élaboration de ces mesures). Elle s'applique à tous les champs de la psychologie et à des domaines connexes (comme la recherche en comportement du consommateur).



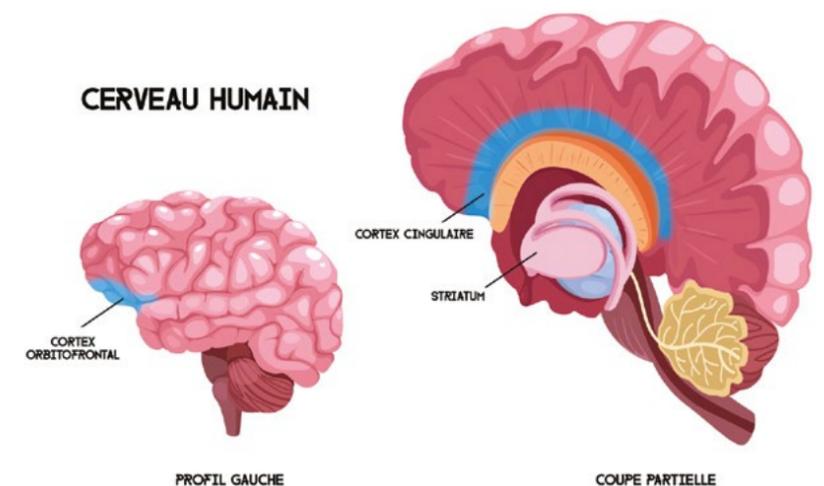
AGIR SUR LE MONDE : AUX SOURCES DE LA DÉCISION

Par Caroline Depecker, journaliste.

Considérée comme une fonction cognitive de haut niveau, au même titre que le langage ou l'attention, la prise de décision permet à l'individu d'agir et de s'adapter à son environnement. Elle est étudiée chez les singes afin de mieux comprendre les troubles qui peuvent toucher les humains.

Plutôt fromage ou dessert ? Cet été, c'est plutôt la montagne ou la mer ? Nous sommes sans arrêt confrontés à des choix : ils peuvent être anecdotiques, comme décider de la fin de son repas, ou plus fondamentaux comme opter pour un choix de carrière. Toutes ces décisions ont lieu grâce à l'activation de zones privilégiées de notre cerveau, de façon plus ou moins complexe selon la portée de l'action engagée. « *On discerne plusieurs types de décisions. Certaines, sans que nous y réfléchissions vraiment, comme le fait d'appuyer sur la pédale de frein lorsque le feu passe au rouge, ont des conséquences à très court terme (vous vous arrêtez),* explique Rémi Gervais, neurobiologiste et professeur émérite à l'Université Claude Bernard Lyon 1. *D'autres sont associées à des impacts à échéance moyenne. D'autres, encore, sont porteuses de conséquences qui engagent l'avenir de l'individu et mobilisent sa capacité cérébrale à voyager dans le temps, dans le futur et dans le passé. Choisir un nouveau lieu de vie en est une illustration.* » Mais inévitablement, le processus décisionnel commence ainsi : notre cerveau fait l'inventaire des choix qui s'offrent à lui.

Pour y arriver, deux zones cérébrales s'activent de concert. Il s'agit du cortex orbitofrontal, situé juste sous le front, derrière les yeux, et d'une structure localisée plus en profondeur et au centre du cerveau, le striatum ventral. L'activation conjointe de ces deux régions constitue le « système d'évaluation » du cerveau : celui-ci examine les alternatives possibles de la décision à prendre et leur attribue une valeur en fonction de leurs conséquences positives ou négatives imaginables. Et ce, grâce aux informations qui affluent vers lui à tout instant. ❶



Les zones-clés du cerveau activées lors du processus de prise de décisions.



À LIRE
→ P. 15

Les émotions ont leur raison que la raison ne peut ignorer

» « Les prises de décision dépendent du contexte qui prévaut au moment où elles sont faites, explique Emmanuel Procyk, chercheur en neurobiologie à l'Institut Cellule Souche et Cerveau (SBRI) de Lyon. Elles sont conditionnées par notre état interne, ainsi que par l'environnement dans lequel nous sommes immergés. »

Le cerveau : un objet prédictif

Prenons l'exemple du menu. Déjeunant au restaurant, vous hésitez sur le dessert. Allez-vous choisir l'éclair au chocolat ou bien la salade de fruits ? Le premier semble plus gourmand, le second est a priori meilleur pour la santé. Parmi les informations intégrées par le système d'évaluation cérébral, certaines auront trait aux expériences passées, stockées dans la mémoire : le goût développé au fil de la vie pour les deux types de dessert et l'attente que l'on peut en avoir. Des signaux périphériques, en provenance du corps, renseigneront sur la capacité de ce dernier à ingérer les aliments en question. Ici, il s'agit surtout des perceptions liées à l'état du système digestif. La position



© DR

« Les prises de décision dépendent du contexte qui prévaut au moment où elles sont faites. »

Emmanuel Procyk

Chercheur en neurobiologie à l'Institut Cellule Souche et Cerveau (SBRI) de Lyon.

du dessert en fin de repas est importante : alors que beaucoup de mets salés ont été consommés jusque-là, la sensation de satiété pour le sucré n'a pas été atteinte. « On peut aussi imaginer une information liée au contexte du restaurant, précise Emmanuel Procyk. Si dans ce lieu, le chef est justement connu pour la qualité de ses éclairs. » Enfin, la présence de convives autour de la table n'est pas anodine. Le plaisir de partager la pâtisserie avec un ami pourrait constituer un argument de poids faisant pencher la balance du côté de l'éclair. Prendre des décisions requiert, en effet, l'éclairage de notre système émotionnel.

Le processus décisionnel demande un peu de temps. Si l'on n'a pas de problème spécifique à résoudre, « notre système d'évaluation a besoin de quelques secondes tout au plus pour agréger suffisamment d'informations et délibérer, commente le scientifique du SBRI. Cette délibération intervient lorsqu'une des notes associées à l'évaluation d'un choix dépasse une valeur seuil. » Imaginons le calcul de notre système d'évaluation. Grâce à lui, deux choix A et B obtiennent les notes (arbitraires) de 4 et 7. Ces notes pourront évoluer. Notre système d'évaluation a une valeur seuil - valeur limite -, qui est alors de 10. Ainsi, dès que A ou B obtient une note supérieure à 10, alors c'est ce choix-là qui est fait. À ce moment-là. Car on le saisit aisément : en tant que résultats de calcul associant de nombreux paramètres, les valeurs décisionnelles sont susceptibles de varier, ce qui permet à nos décisions d'évoluer. De la sorte, nous pouvons réviser nos jugements chaque fois que nous sommes confrontés aux conséquences de nos choix. Ou corriger nos actions lorsque nous désirons atteindre un but précis. Dans le cadre de la théorie de l'apprentissage par renforcement, la description du cerveau est essentielle. Réalisée par les neuroscientifiques, elle le représente comme un objet physique réalisant en permanence des prédictions sur le monde qui l'entoure. »



DÉCIDER, UNE QUESTION AUSSI DE REGRETS

« Choisir, c'est renoncer ». Cette expression d'André Gide¹ évoque le dilemme qui s'offre à tous lorsque le fait d'arrêter une décision signifie laisser de côté les autres possibles. Et si on faisait le mauvais le choix ?

Éprouvé après coup, le regret nous en informe. « À la différence de la déception ressentie parce qu'un résultat se situe simplement en dessous de nos espérances, le regret est issu de la comparaison entre ce dernier et une meilleure alternative qu'on aurait pu choisir », explique Angela Sirigu, neuroscientifique à l'Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod (ISC-MJ). Qui n'a jamais regretté d'avoir choisi la mauvaise file en attendant à la caisse d'un supermarché ?

Ce raisonnement dit « contrefactuel » est d'ailleurs l'un des mécanismes mis en œuvre lors de la phase prédécisionnelle, c'est-à-dire lorsque le cerveau attribue aux différentes options de décision une valeur subjective. Celles-ci sont évaluées aussi en fonction des regrets qu'elles peuvent engendrer. C'est ce qu'a montré la chercheuse lors de travaux pionniers réalisés il y a une vingtaine d'années. En ayant recours à un petit jeu d'argent conditionné par des prises de décision², Angela Sirigu et son équipe ont observé que les gens favorisaient les choix leur permettant de minimiser, une fois ceux-ci faits, l'apparition de regrets éventuels causés par l'annonce d'un meilleur gain ou d'une moindre perte en cas de choix autre. Or, cette stratégie n'était pas observée chez des patients présentant une lésion du cortex orbitofrontal et que la connaissance d'un résultat pécuniaire plus favorable laissait indifférents. Grâce à la neuroimagerie, la scientifique a pu confirmer, ensuite, l'implication du cortex orbitofrontal, et de l'amygdale, dans l'anticipation des regrets lors de la prise de décision.

« Le regret est une émotion complexe parfaitement intégrée au processus décisionnel et qui permet à l'individu de se sentir responsable de ses choix, une capacité dont la société a besoin pour s'organiser, commente Angela Sirigu. Peut-être est-ce pour cela que tant de gens n'aiment pas choisir ? » Au sein de la communauté scientifique, certains chercheurs défendent l'idée que cette émotion existe aussi chez d'autres animaux, notamment chez la souris et les macaques. Rien de vraiment convaincant n'aurait été publié jusqu'à présent, pour la neuroscientifique, qui investit encore la question, mais chez d'autres espèces.



© DR

« Le regret est une émotion complexe parfaitement intégrée au processus décisionnel et qui permet à l'individu de se sentir responsable de ses choix. »

Angela Sirigu

Neuroscientifique à l'Institut des sciences cognitives Marc Jeannerod.

1 > Gide, A., Les Nourritures terrestres (1897).

2 > Camille, N., et al., The involvement of the orbitofrontal cortex in the experience of regret, Science, 304 (2004).

1 > Les neurones dopaminergiques permettent de développer la motivation et d'engendrer des comportements adaptés en fonction de l'état physiologique de l'individu face aux changements de l'environnement.

2 > Hunt, L. T., et al., Formalizing planning and information search in naturalistic decision-making, *Nature Neurosciences*, 24 (2024).

3 > Beneyton, K., Les animaux aussi apprennent de leurs erreurs, *Cortex Mag* (2021).

4 > Stoll, F. M., Fontanier, V., Procyk, E., Specific frontal neural dynamics contribute to decisions to check, *Nature Communications*, 7 (2016).

› Les animaux apprennent aussi de leurs erreurs

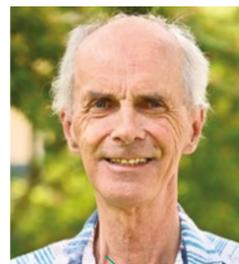
Après avoir opéré un choix, le cerveau est ainsi dans l'attente d'un résultat conforme à ce qui a été prédit. Souvent, tout va bien. Mais que se passe-t-il dans le cas contraire ? « *Qu'elle soit positive ou négative, l'erreur de prédiction est codée par le système dopaminergique¹ qui, en association avec les régions cérébrales évoquées auparavant, procède aux corrections, note Emmanuel Procyk. Et génère de nouvelles prédictions.* » Ainsi, le joueur de tennis peut-il améliorer son service grâce à l'entraînement. Lorsque dans les mêmes conditions de terrain, il contrôle son geste et le répète, chaque écart à l'objectif (par exemple, que la balle franchisse le filet et atteigne le coin opposé du fond de court adverse) délivre une information qui permet au cerveau de prendre de nouvelles décisions (modifier légèrement le geste), envoyer la commande du mouvement jusqu'à ce que celui-ci soit parfait.

L'apprentissage par essais-erreurs n'est pas propre à l'espèce humaine. Les animaux y recourent tout autant pour prendre une décision parfois synonyme de question de vie ou de mort dans le monde sauvage. L'étude de cette fonction cognitive chez les primates non humains, dont les structures cérébrales sont voisines des nôtres, est, ainsi, un axe de recherche privilégié du chercheur lyonnais. Dans une récente revue² d'articles, à laquelle lui et son équipe ont contribué, on apprend que les singes sont capables de recourir à des stratégies d'apprentissage très sophistiquées³ s'ils doivent résoudre des problèmes complexes, c'est-à-dire lorsqu'ils font face à un nombre de choix possibles infini.

Des patients atteints du trouble de vérification

Dans la continuité de ces travaux sur les primates, un type de décision spécifique est exploré au SBRI : celui qui implique de vérifier l'état de l'environnement. On sait que

l'accomplissement de ce type de tâche est perturbé chez les patients atteints du trouble de vérification, un cas particulier de trouble obsessionnel compulsif. Il se manifeste par la peur obsédante d'avoir commis une erreur ou d'avoir été inattentif. Il a des répercussions importantes sur le quotidien des personnes qui peuvent, par exemple, se lever plusieurs fois par nuit pour vérifier qu'une porte est fermée. Dans les locaux du SBRI, on observe comment les singes mettent en place ce processus de vérification en les entraînant à réaliser une tâche cognitive motivée par l'obtention d'une récompense. Dans l'un des projets de recherche mené par le laboratoire, les primates sont entraînés à réaliser une série de tests de mémoire. Leur motivation en cas de réussite : pour chacun des essais, un peu de jus de pomme. En outre, ils ont la possibilité d'obtenir un bonus de jus après un certain nombre de réussites. Pour savoir s'ils s'approchent du bonus sucré, les singes peuvent vérifier le nombre de tests restant à exécuter à l'aide d'une jauge. « *Nous avons pu observer chez eux que l'étape de vérification activait une population de neurones appartenant au cortex cingulaire moyen⁴, une sous-région du cortex frontal* », commente Emmanuel Procyk. Pourrait-on réduire le trouble de vérification en modulant l'activité de ces neurones cingulaires ? C'est en tous les cas l'idée avec laquelle les travaux sont poursuivis au SBRI.



© Vincent Noclin

« **Jusqu'aux années 1990, seuls les chercheurs en psychologie s'intéressaient aux émotions humaines.** »

Rémi Gervais

Neurobiologiste et professeur émérite à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

LES ÉMOTIONS ONT LEUR RAISON QUE LA RAISON NE PEUT IGNORER

Il est rare que nos décisions soient purement rationnelles. Elles s'accompagnent de ressentis affectifs subtils qui, positifs ou négatifs, colorent les choix possibles.

L'erreur est humaine et tout le monde y a droit. Même Descartes. Connue comme le père du rationalisme moderne pour avoir affirmé qu'il faut user de raison pour connaître, ce mathématicien et philosophe du 17^e siècle séparait par ailleurs la pensée, siège de l'âme, du corps, réceptacle des sensations et des émotions. Un raisonnement juste se devait de privilégier la première au détriment du second. Cette approche duale a été remise en question en profondeur, en 1994, par le neuroscientifique Antonio Damasio à travers son essai *L'erreur de Descartes : la raison des émotions*.

« *Jusqu'aux années 1990, seuls les chercheurs en psychologie s'intéressaient aux émotions humaines, explique Rémi Gervais. Les neurobiologistes, quant à eux, ne savaient pas très bien avec quels outils les mesurer. Antonio Damasio a levé cet écueil en développant le cadre expérimental adéquat* », et a montré, *a contrario* de Descartes, que les émotions sont essentielles pour prendre des décisions.

Les travaux développés par le neuropsychologue montrent que, lorsque nous faisons un choix, celui-ci s'accompagne de réactions corporelles. Par exemple, une accélération du rythme cardiaque en cas de stress ou des nausées si nous avons consommé de l'alcool plus que souhaité. Ces sensations corporelles sont associées à des émotions perçues comme positives ou négatives. Ces états émotionnels sont, ensuite, mémorisés dans un réseau incluant le cortex orbitofrontal, c'est ce qu'Antonio Damasio appelle les « marqueurs somatiques¹ ». Chaque situation vécue se voit ainsi attribuer une étiquette qui définit sa valeur émotionnelle. Lorsque nous sommes confrontés à un événement similaire ultérieur, ces marqueurs somatiques se réactivent et sont pris en compte par l'individu lors de ses prises de décision.

Des émotions utiles pour gagner au casino

L'hypothèse des marqueurs somatiques a été étudiée au laboratoire à l'aide de la tâche dite « du casino ». Grâce à ce jeu, on évalue la capacité des individus à anticiper les conséquences de leurs décisions alors que celles-ci engendrent des gains et des pertes pour les participants amenés à choisir entre des options risquées ou sûres. Les chercheurs ont pu comparer des volontaires en bonne santé à des patients atteints de lésions du cortex orbitofrontal. Verdict : les personnes bien portantes manifestent des réactions émotionnelles anticipées, comme l'augmentation du rythme cardiaque ou une légère sudation, qui les aident à écarter les choix risqués et à privilégier ceux qui sont bénéfiques à long terme. Mais chez les personnes lésées, aucun signe d'alerte émotionnelle ni prudence : leurs décisions, impulsives, favorisent les gains immédiats au détriment de pertes futures. Au final, ils s'en sortent moins bien que les autres.

On dit souvent que la peur est mauvaise conseillère, mais en réalité, « *cette émotion est en toile de fond de chacune de nos décisions et heureusement qu'elle est là, commente Rémi Gervais. C'est elle qui vous incite à appuyer de façon instinctive sur la pédale de frein pour éviter la survenue d'un accident au feu rouge* ».

Quand l'émotion est envahissante ou lorsque nous sommes anxieux, l'histoire est toute autre, par contre, car l'amygdale, une petite structure en forme d'amande, est alors en sursis. Et vient interférer dans le processus décisionnel qui s'en trouve fortement perturbé !

1 > Qui se rapportent au corps.



16
HORS NORMES

MIEUX RECONNAÎTRE LA DIVERSITÉ DE PENSÉE

Par Clémentine Vignon, journaliste.

HPI, TDI, TSA, TDAH, troubles Dys... Derrière ces termes familiers se cachent des réalités encore largement méconnues. Les scientifiques s'attachent à mieux comprendre le fonctionnement de ces différents profils cognitifs pour les accompagner et créer les conditions favorables au développement de leurs capacités. Du chemin reste toutefois à parcourir pour que l'école et la société soient réellement inclusives et accueillent toutes les personnes neuroatypiques.

Il existe probablement autant de manières de penser que d'êtres humains. Mais certaines particularités, comme le haut potentiel intellectuel (HPI), ou troubles, comme ceux du neurodéveloppement (TND), peuvent exacerber ces différences. Ces personnes, dont le fonctionnement cérébral sort de la norme, sont dites neuroatypiques ou neurodivergentes – des termes qui ont fait leur apparition dans les années 1990 sous l'impulsion de mouvements de défense des droits des personnes autistes.

Les TND, qui concernent une personne sur six¹, regroupent les troubles Dys², du spectre autistique (TSA), du développement intellectuel (TDI), et le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Il n'est pas rare qu'ils s'entrecroisent : plus de 50 % des personnes nées avec un trouble du neurodéveloppement ont un second TND associé.

Reconnus comme des handicaps, les TND bénéficient toutefois d'un nouveau regard, plus inclusif. Ainsi, le concept de

neurodiversité a émergé dans la société ces vingt dernières années pour désigner la diversité dans les fonctionnements cognitifs des humains. Ce mouvement, qui imprègne aussi de plus en plus le monde médical et scientifique, vise à considérer cette diversité de profils cognitifs comme naturelle et bénéfique pour la société plutôt que comme des anomalies à corriger.

« La neurodiversité permet d'inclure les troubles du neurodéveloppement, mais aussi d'autres types de neuroatypies comme le haut potentiel », explique Olivier Revol, pédopsychiatre à l'hôpital Femme Mère Enfant de Lyon. Elle rassemble les différentes façons de penser, de communiquer et d'apprendre, et va bien au-delà de la notion d'intelligence à proprement parler.

Le test d'intelligence, un indicateur parmi d'autres

Parce qu'ils touchent le fonctionnement cognitif, les troubles du neurodéveloppement sont souvent confondus avec des troubles de l'intelligence. Or, hormis dans le trouble

1 > Prévalence des troubles du neurodéveloppement dans la population : troubles du spectre autistique (1 à 2 %), troubles Dys (8 %), TDAH (6 % des enfants, 3 % des adultes), trouble du développement intellectuel (1 %).
Source : Stratégie nationale 2023-2027 pour les troubles du neurodéveloppement : autisme, Dys, TDAH, TDI.

2 > Désignent les troubles spécifiques des apprentissages, comme la dyslexie, la dysorthographe ou la dyscalculie.



À LIRE

→ P. 09

Mesurer l'intelligence : pour quoi faire ?

3 > Le QI moyen est compris entre 85 et 115.

4 > La mémoire de travail est une mémoire à court terme : c'est la capacité à retenir une information temporairement à l'esprit (comme un numéro de téléphone) et à la manipuler mentalement.

5 > Le raisonnement perceptif reflète la capacité d'un individu à interpréter, organiser et réfléchir à partir d'informations visuelles.

6 > Nusbaum, F., et al., Hemispheric Differences in White Matter Microstructure between two profiles of children with high intelligence quotient vs. Controls: A Tract-Based Spatial Statistics Study, *Frontiers in Neuroscience*, 11 : 173 (2017).

du développement intellectuel, l'intelligence n'est pas affectée dans les TND, au contraire. Pour poser un diagnostic, les médecins ont justement besoin de constater chez l'enfant ou l'adolescent un décalage entre des bonnes performances aux **tests d'intelligence** et des difficultés rencontrées dans les interactions sociales ou dans les apprentissages. « *On pourra orienter le diagnostic vers un trouble Dys si un enfant a des difficultés à apprendre à lire ou à écrire alors qu'il a une intelligence normale et qu'il n'a pas de trouble sensoriel, ni psychologique* », illustre Olivier Revol. Les compétences intellectuelles peuvent, en outre, être sous-estimées dans les troubles du neurodéveloppement : un manque d'attention chez les enfants TDAH, une lenteur dans la lecture ou l'écriture chez les Dys, ou un blocage social lié au passage du test en lui-même chez les autistes peuvent infléchir les résultats. « *N'oublions pas qu'un test d'intelligence est une photo de ce que l'enfant veut bien nous montrer à un moment donné* », explique Olivier Revol.

Particularités du haut potentiel

La définition du haut potentiel intellectuel, en revanche, est étroitement liée à l'intelligence. Il se distingue par un QI global supérieur ou égal à 130³. Pour Olivier Revol, le repérage du haut potentiel, qui concerne un peu plus de 2 % de la population, est bien plus fin que l'évaluation de cet unique marqueur. « *Je ne donne jamais aux parents ou aux enfants le chiffre global du QI, mais je leur dis qu'il s'est construit avec des points forts et des points faibles* », indique le pédopsychiatre. Une vision plus juste, quand on sait que les tests d'intelligence évaluent des capacités très diverses telles que la mémoire de travail⁴, la vitesse de traitement, la compréhension verbale ou encore le raisonnement perceptif⁵. Par ailleurs, d'autres indices que les résultats aux tests permettent de l'aiguiller vers un haut potentiel : une anxiété excessive, une sensibilité et une empathie accrues, des difficultés d'apprentissage, des réponses



© DR

« Je ne donne jamais aux parents ou aux enfants le chiffre global du QI. »

Olivier Revol

Pédopsychiatre à l'hôpital Femme Mère Enfant de Lyon.

intuitives, des troubles du sommeil ou encore une extrême aversion à l'injustice. « *C'est bien sûr l'intensité et la coexistence de ces symptômes, mis en regard du QI, qui doivent orienter vers un profil haut potentiel* », précise Olivier Revol.

Ces particularités résulteraient d'une façon différente de traiter les informations. En 2017, Olivier Revol a participé à une étude en IRM menée au centre d'imagerie (CERMEP) des Hospices civils de Lyon⁶. Celle-ci a montré une connectivité cérébrale plus importante chez les enfants à haut potentiel, au sein d'un même hémisphère mais aussi entre les deux hémisphères, qui aurait pour effet d'augmenter la vitesse de transmission des messages nerveux. « *Les hauts potentiels ont une pensée qui va plus vite, des idées qui en entraînent d'autres. Mais le revers de la médaille, pour certains, c'est qu'ils n'apprennent pas à apprendre, ne développent pas le sens de l'effort, et ne réussissent pas aussi bien à l'école qu'ils le pourraient* », indique Olivier Revol. Dans la majorité des cas, cependant, être haut potentiel est un atout pour réussir sa scolarité. De ce fait, beaucoup de hauts potentiels s'ignorent.

Entraîner la perception visuelle chez les Dys

La scolarité peut s'avérer plus compliquée pour les enfants nés avec des troubles du neurodéveloppement, qui ont besoin d'aménagements pédagogiques prenant en compte leurs particularités. À Lyon, le centre iMIND, l'un des cinq centres d'excellence sur les troubles du neurodéveloppement en France, regroupe des équipes de recherche dont l'ambition est de faire évoluer les connaissances sur les TND afin d'adapter les environnements, l'école en première ligne.

Laure Pisella, chercheuse au Centre de recherche en neurosciences de Lyon (CRNL), s'intéresse tout particulièrement aux troubles de la perception visuo-spatiale chez les enfants Dys. La moitié des dyslexiques présenterait une fragilité dans le neurovisuel, rapporte la chercheuse. Concrètement, cela se traduit par une plus grande difficulté à discriminer les différents éléments de l'environnement et à traiter les stimuli visuels qui leur parviennent de toute part.

Dans le cadre du projet de recherche LudiSymboles, son équipe a fait passer en 2019 des tests de recherche visuelle à 145 enfants âgés de 3 ans scolarisés en première année de maternelle. « *Réalisés sur tablette, ces tests consistaient à trouver le plus rapidement possible un rond noir parmi des symboles graphiques* », décrit la chercheuse. Cinq ans plus tard, en 2024, elle a évalué les capacités de lecture chez ces mêmes enfants, alors en CE2. Les résultats préliminaires montrent une corrélation significative entre les scores obtenus aux tests visuels en maternelle et l'efficacité de la lecture en CE2. « *Bien sûr, cela n'explique pas tout, car la lecture est multifactorielle* », tempère la chercheuse. Cependant, le repérage précoce de ces troubles visuo-attentionnels pourrait inciter à revoir la stratégie pédagogique chez ces enfants-là, en privilégiant le développement de leurs compétences neurovisuelles avant même



© DR

« On a déjà montré chez les enfants dyslexiques de 8 à 12 ans le bénéfice de certains entraînements liés à la lecture. »

Laure Pisella

Chercheuse au Centre de recherche en neurosciences de Lyon.

qu'ils apprennent à lire. Et ainsi augmenter leurs chances de réussir à l'école. « *On a déjà montré chez les enfants dyslexiques de 8 à 12 ans le bénéfice de certains entraînements liés à la lecture, comme la reconnaissance de lettres parmi des symboles. Cela aurait encore plus d'effet de les proposer à titre préventif, car les écarts se creusent avec l'âge* », précise Laure Pisella. De tels outils d'entraînement seront bientôt proposés par la société lyonnaise Vialy aux orthoptistes – des professionnels de santé spécialisés dans le diagnostic et la prise en charge 



Dans le cadre du projet LudiSymboles, des enfants sont invités à trouver un rond noir parmi des symboles : une méthode pour identifier des troubles visuo-attentionnels. © AtoutDys

7 > Un premier jeu pédagogique pour développer les compétences visuelles et spatiales des élèves de la petite section au CP est déjà disponible sur graphisymbole.com.

8 > Dispositifs de scolarisation destinés aux élèves en situation de handicap mis en place à partir du 1^{er} septembre 2015 en école, collège et lycée.

9 > Rapport de la Cour des Comptes du 16 septembre 2024 : L'inclusion scolaire des élèves en situation de handicap.



À LIRE
-> P. 22

Ha'chœur : hymne à la neurodiversité

des troubles neurovisuels – ainsi qu'aux familles et enseignants, sous forme de jeux pédagogiques⁷.

L'enjeu : ne pas perdre d'élèves en cours de route. Le risque de décrochage scolaire est particulièrement important chez les enfants neuroatypiques. C'est pour répondre à cette problématique que la loi Handicap de 2005 a fait de « L'école pour tous » une priorité. Elle a notamment permis le déploiement de dispositifs de scolarisation adaptés, tels que les unités localisées pour l'inclusion scolaire (Ulis)⁸, au sein d'établissements scolaires ordinaires. Malgré tout, le bilan reste mitigé, vingt ans plus tard.

L'inclusion par la sensibilisation

Certes, les effectifs des élèves en situation de handicap accueillis en milieu scolaire ordinaire ont triplé entre 2006 et 2022 en France⁹. Mais derrière ces chiffres éloquentes se cachent des parcours souvent très complexes pour les enfants et leurs familles. L'inadéquation de l'environnement scolaire ainsi que l'absence de supports pédagogiques adaptés restent des points



© DR

« Le concept de l'école pour tous est intéressant, mais celle-ci n'est pas encore prête à accueillir tout le monde. »

Anna-Rita Galiano

Professeure à l'Université Lumière Lyon 2 en psychologie du handicap, directrice de l'unité de recherche Développement individu processus handicap éducation.

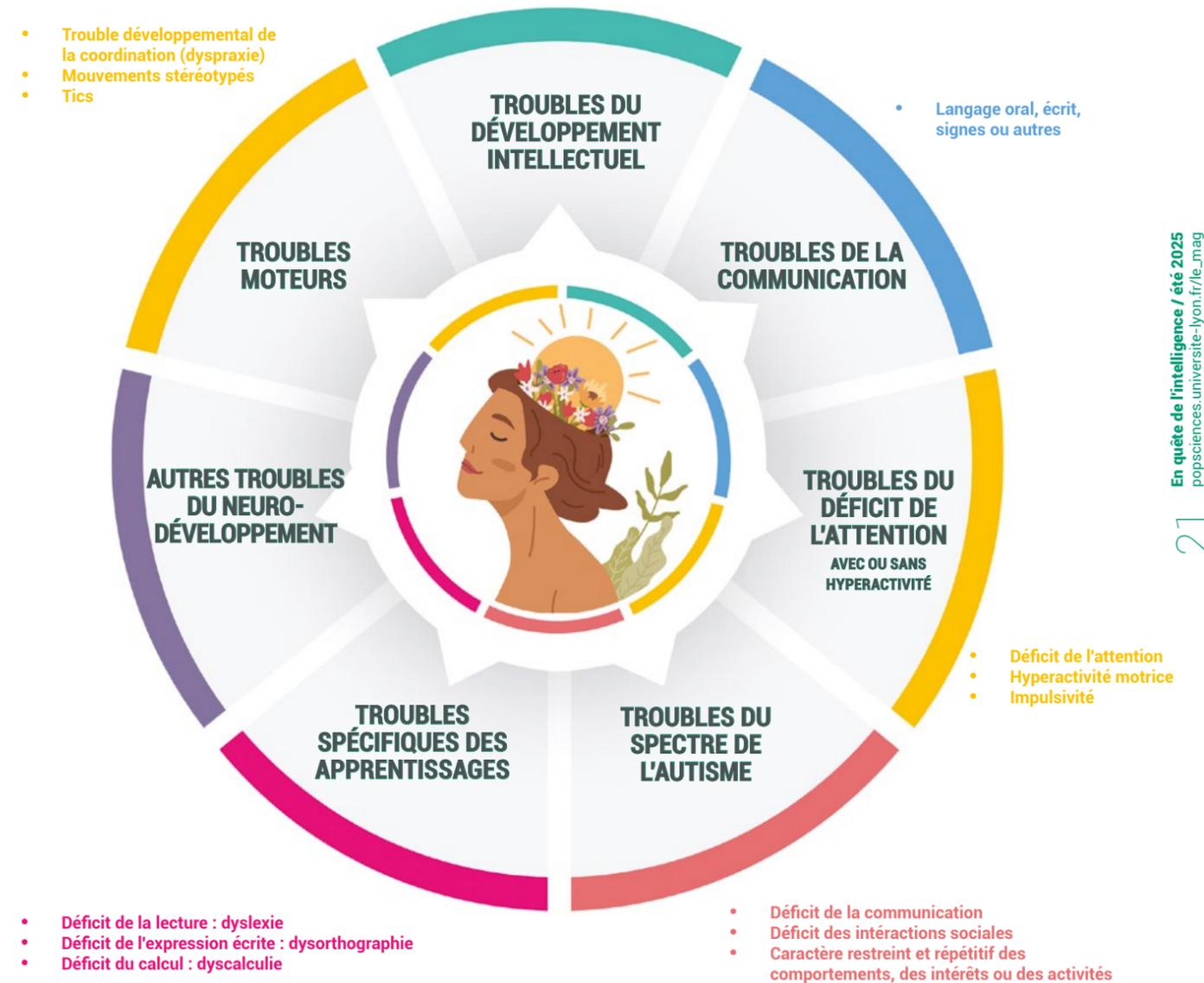
de blocage. « *Le concept de l'école pour tous est intéressant, mais celle-ci n'est pas encore prête à accueillir tout le monde. Chez certains enfants, l'environnement scolaire peut même devenir source de maltraitance* », indique Anna Rita Galiano, professeure de psychologie du handicap à l'Université Lumière Lyon 2. L'accueil à tout prix peut ainsi s'avérer contre-productif pour les enfants qui présentent un décalage trop important dans les apprentissages ou ont de grosses difficultés dans les interactions sociales.

Aussi, l'inclusion doit également se penser en dehors de l'école. **Elle peut notamment éclore à travers les loisirs, les activités extrascolaires, les passions.** « *Aujourd'hui, la société évolue et reconnaît des expressions de l'intelligence autres que la mémoire ou le langage. Je pense notamment aux artistes, danseurs ou chanteurs* », rapporte Anna Rita Galiano.

La sensibilisation de l'opinion publique est également indispensable pour parvenir à une société plus inclusive. À Lyon, un projet de grande ampleur se prépare, porté par l'association AtoutDys et impliquant des professionnels de santé, de l'éducation et de la recherche. L'ambition est de créer à l'horizon 2028 un lieu ressource, *La maison des Dys pour tous*, qui hébergera notamment une grande exposition sur le cerveau et son développement dans toute sa diversité. Celle-ci est actuellement en phase de construction, en partenariat avec des chercheurs du CRNL, du centre iMIND et de l'Université Grenoble Alpes. « *La création d'un tel lieu sera aussi l'opportunité, pour nous chercheurs, de diffuser nos résultats, de communiquer sur nos projets pour recruter des participants et de mettre en œuvre des projets de recherche participative* », se réjouit Laure Pisella, qui fait partie du comité scientifique de l'exposition.

Étendard de la neurodiversité, *La maison des Dys pour tous* constituera un point d'accueil pour comprendre la diversité des manières de penser et de percevoir le monde, et engager la société dans une démarche plus inclusive.

LES TROUBLES DU NEURODÉVELOPPEMENT



La présence et l'intensité des symptômes sont variables selon les individus. D'après la classification DSM 5 (cinquième et plus récente édition, publiée en 2013, du *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* de l'Association américaine de psychiatrie)

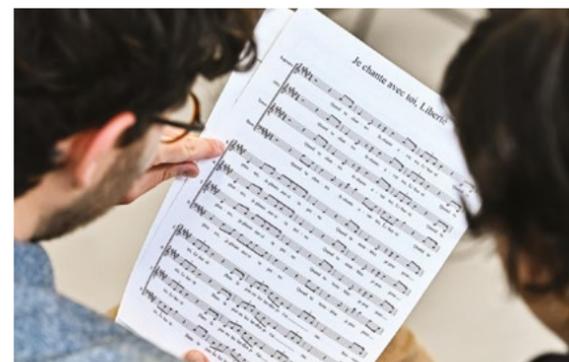
LE HA'CHOEUR : HYMNE À LA NEURODIVERSITÉ

Le Ha'chœur est un chœur neurodivers¹ composé d'adolescents autistes, de soignants et de choristes amateurs. Il est né en 2021 sous l'impulsion d'un service du Centre hospitalier Le Vinatier spécialisé dans le neurodéveloppement de l'enfant et de l'adolescent, en partenariat avec le chœur lyonnais des Phonies Polies. L'objectif : donner accès à une pratique culturelle et artistique aux adolescents du service, dans un environnement accueillant propice à leur épanouissement. Immersion en images au sein d'une répétition. Pour le son, rendez-vous aux concerts !



UN CADRE POUR PLUS DE LIBERTÉS : Les répétitions suivent toujours le même déroulé. Après un tour de présentation, Maude Georges propose un échauffement corporel puis vocal. Vient, ensuite, l'heure de travailler les morceaux. « Cette structure canalise beaucoup les jeunes, explique Nicolas Petit, orthophoniste et docteur en sciences cognitives au Vinatier, à l'origine du projet. En créant de la prédictibilité, on leur permet également d'être plus disponibles pour tout ce qui se passe en-dehors du cadre. » Les adolescents ont, en effet, besoin de s'exprimer à travers des temps plus informels, au cours des répétitions.

RÉPÉTITIONS : Les répétitions du Ha'chœur ont lieu tous les mercredis après-midi à la Maison de la Guillotière (Lyon 7^e). Face à l'enthousiasme général, cette initiative qui devait être ponctuelle s'est pérennisée. « C'est déjà la quatrième saison, et nous continuerons tant qu'il y aura de la motivation ! », affirme Maude Georges, la cheffe de chœur.



CHOIX DES MORCEAUX : Le répertoire musical est varié. « J'ai envie de leur faire découvrir différentes esthétiques et époques », explique Maude Georges. Des canons de la renaissance, des extraits d'opéra, des pièces contemporaines, il y en a pour tous les goûts. « Parfois les morceaux sont un peu compliqués, mais on s'adapte ! », témoigne William, 13 ans.



PASSION PARTAGÉE : Maude Georges met toute sa passion au service du Ha'chœur, qui lui apporte en retour une vraie bouffée d'oxygène. « C'est un chœur où l'on crée beaucoup ensemble, de nombreuses propositions émergent de manière spontanée et apportent de la fraîcheur à l'interprétation. » Elle constate avec joie que certains adolescents se sont vraiment appropriés le chant choral et se sentent désormais complètement dans leur élément. « C'est devenu leur pratique, leur culture, ça leur appartient », indique la cheffe de chœur. Pour certains, il s'agit de la toute première activité de loisir qu'ils pratiquent en autonomie, sans leurs parents.



PLAISIR AVANT TOUT : Certains jeunes comme Elfie (à gauche) font partie du chœur depuis ses débuts. « J'ai découvert le chant avec Maude, je m'amuse bien ici », raconte l'adolescente. Des entretiens réalisés auprès des jeunes ont mis en évidence une satisfaction unanime et un sentiment de forte connexion sociale au sein du groupe. « Bien que l'objectif de ce projet soit avant tout artistique, les bénéfices thérapeutiques sont importants », rapporte Nicolas Petit, qui entend maintenant les formaliser dans le cadre d'un programme de recherche.



INTERGÉNÉRATIONNEL : Plus qu'un chœur neurodivers, le Ha'chœur est un chœur intergénérationnel. Pour Michel (à gauche), c'est l'occasion de se remettre au chant, une activité qu'il n'avait pas pratiquée depuis plus de 60 ans... « Mais aussi de ne pas rester qu'entre octogénaires ! »



LUMIÈRE SUR LA NEURODIVERSITÉ : À la chorale, soignants et jeunes sont sur un pied d'égalité. « Les adolescents ont autant de choses à apporter que nous, voire plus », souligne Nicolas Petit (à droite). Cette expérience l'incite à réfléchir sur sa posture de soignant. « Pour aider les gens, la médecine a traditionnellement tendance à essayer de corriger les différences, reconnaît Nicolas. Ce chœur est un bon exemple de ce que l'on peut mettre en place pour enrichir nos pratiques cliniques et les aligner avec le mouvement de la neurodiversité. » Cette réflexion a fait l'objet d'un article scientifique publié en 2024².

1 > Le terme neurodivers renvoie au concept de neurodiversité qui désigne la diversité dans le fonctionnement cognitif des humains.
2 > Petit, N., Jurek, L., Choir as a Metaphor for Neurodiversity, JAACAP (2024).

Photographies © Vincent Noclin



PLONGÉE DANS LE FOISONNEMENT DES INTELLIGENCES ANIMALES

Par Grégory Fléchet, journaliste.

Longtemps réduits à l'état de simples automates par la pensée cartésienne, les animaux sont désormais considérés comme des êtres sensibles dont les capacités de réflexion rivalisent parfois avec celles de notre propre espèce. Des primates aux insectes sociaux en passant par les corvidés et les céphalopodes, les prouesses cognitives des organismes vivants ne cessent de nous surprendre à mesure que progresse la recherche scientifique sur le comportement animal.

Jusqu'à l'aube du 20^e siècle, l'intelligence est demeurée un attribut que notre espèce se refusait d'accorder aux autres représentants du règne animal. Depuis lors, l'accumulation des découvertes dans le champ de l'éthologie, discipline qui étudie le comportement des animaux, a fait voler en éclat ce cloisonnement entre humains et non-humains. « *Notre communauté scientifique s'accorde désormais sur le fait qu'il existe, non pas une, mais plusieurs formes d'intelligence animale, celles-ci pouvant être aussi bien de nature coopérative, innovante, émotionnelle, que culturelle* », indique Florence Levréro, professeure en éthologie et bioacoustique dans l'Équipe de neuro-éthologie sensorielle, à l'Université Jean Monnet Saint-Étienne. Comme en témoignent ses propres recherches sur les grands singes, les capacités cognitives d'une espèce sont, par ailleurs, largement façonnées par l'environnement dans lequel l'animal évolue. Ainsi, pour les bonobos vivant à



© Jérôme Abou

« Il existe, non pas une, mais plusieurs formes d'intelligence animale, celles-ci pouvant être aussi bien de nature coopérative, innovante, émotionnelle, que culturelle. »

Florence Levréro

Professeure en éthologie et bioacoustique à l'Université Jean Monnet Saint-Étienne et chercheuse au sein de l'Équipe de neuro-éthologie sensorielle du Centre de recherche en neurosciences de Lyon.

1 > Développé par un psychologue américain dans les années 1970, ce test consiste à placer un animal devant un miroir et observer ses réactions pour vérifier s'il a conscience de lui-même.



Chez les bonobos, chaque individu possède une signature vocale qui lui est propre.

l'état sauvage dans les forêts équatoriales de la République démocratique du Congo, la cohésion et la coordination des déplacements au sein du groupe reposent principalement sur la communication vocale, particulièrement efficace à longue distance. « En milieu naturel, les membres d'un même groupe se perdant régulièrement de vue en raison de la densité du couvert forestier, les vocalisations permettent alors de maintenir les liens sociaux », explique Florence Levréro. Par ailleurs, contrairement aux macaques et aux babouins dont les vocalisations sont très stéréotypées, le registre vocal des bonobos, tout comme celui des chimpanzés, présente de subtiles variations. Chez ces deux espèces, il existe, en effet, toute une gamme de tonalités et de modulations que même l'oreille aguerrie des spécialistes en bioacoustique ne parvient pas à distinguer.

La subtilité des vocalisations révélée par l'IA

« En nous aidant de l'intelligence artificielle pour analyser plus finement un corpus d'enregistrements sonores de bonobos, nous cherchons à relier les subtiles variations acoustiques d'une même vocalisation à différents contextes de la vie sociale de ces primates tels que des contacts amicaux,

la perception d'un danger ou un conflit entre congénères », détaille l'éthologue stéphanoise. Grâce à cette même méthode d'analyse basée sur l'apprentissage automatique, Florence Levréro et son équipe ont également mis en évidence une signature vocale propre à chaque individu. En poursuivant leurs investigations sur un plus grand jeu de données acoustiques, les chercheurs espèrent révéler la complexité, encore très largement sous-estimée, du répertoire vocal de ces grands singes.

Cette diversité de vocalises est loin d'être restreinte à cette famille de primates. Chercheuse en éthologie au Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (LAPSCO) de Clermont-Ferrand et spécialiste des corvidés, Valérie Dufour s'intéresse tout particulièrement aux colonies de corbeaux freux. « Une colonie de cette espèce pouvant compter des milliers d'individus appartenant eux-mêmes à des dizaines de groupes sociaux distincts, chaque oiseau doit non seulement être en mesure de signaler son identité à l'ensemble de la colonie, mais doit aussi préciser à quel groupe il appartient », explique la scientifique du LAPSCO. Les chercheurs ont notamment constaté que les mâles possédaient un répertoire d'une vingtaine de cris propre à chaque individu.

À l'instar de la communication verbale ou de la conscience de soi, attestée par le fameux test du miroir¹, la théorie de l'esprit constitue un autre trait cognitif qu'on a longtemps cru réservé à l'homme. Cette expression ne se réfère pas à une quelconque théorie scientifique, mais désigne la capacité d'un individu à pouvoir accéder à l'état de connaissance d'autres personnes au travers des émotions qu'elles expriment. Ces dernières années, plusieurs études ont montré que d'autres espèces étaient dotées de cette compétence. Outre la plupart des grands singes et le chien domestique, l'aptitude à prêter aux autres des états mentaux a été observée chez les corvidés (corbeaux, corneilles, pie, geai, etc.).

Les corbeaux façonnent leurs propres outils

Notoirement connus pour pratiquer la cache de nourriture, ces oiseaux se livrent aussi à l'espionnage de leurs semblables pour tenter d'identifier leurs cachettes. « Une corneille ou un grand corbeau, qui se sait observé par un congénère voleur, brouille les pistes lorsqu'il cache sa nourriture. Par ce comportement, les corvidés démontrent qu'ils peuvent comprendre le point de vue des autres afin d'agir en conséquence », précise Valérie Dufour.

Tout comme l'homme et d'autres primates, les corvidés interagissent également avec leur environnement physique à l'aide d'outils qu'ils manipulent pour accéder à une source de nourriture. Le corbeau calédonien est même capable de fabriquer ses propres instruments, de petits crochets en l'occurrence, qu'il façonne à partir de tiges de feuilles pour harponner des larves d'insectes dissimulées sous l'écorce des arbres. Dans le cadre d'expériences menées en laboratoire, cette espèce a prouvé qu'elle savait accomplir en un temps record et sans entraînement préalable des tâches complexes impliquant jusqu'à huit étapes



« Une corneille ou un grand corbeau, qui se sait observé par un congénère voleur, brouille les pistes lorsqu'il cache sa nourriture. »

Valérie Dufour

Chercheuse en éthologie au Laboratoire de psychologie sociale et cognitive de Clermont-Ferrand.



Les corbeaux freux mâles possèdent, eux aussi, un répertoire de cris propres à chaque individu.

successives. « Réaliser ce genre de prouesses témoigne d'un sens aigu de l'observation et d'une capacité d'apprentissage rapide, deux aptitudes cognitives que le réagencement permanent de l'organisation sociale² des corvidés a sans doute favorisées », souligne Valérie Dufour.

Si la propension à interagir constamment avec ses semblables constitue sans nul doute un gage d'intelligence, le poulpe nous prouve que cette qualité est loin d'être indispensable. Livré à lui-même dès la naissance, ce céphalopode au tempérament solitaire est pourtant doté de remarquables capacités cognitives. « Parmi toutes les espèces animales qui peuplent le milieu marin, les céphalopodes sont les seuls qui manipulent des objets avec dextérité. Et grâce aux ventouses qui tapissent la face interne de leurs bras, ils peuvent littéralement "goûter" ces mêmes objets par le toucher », détaille Ludovic Dickel, professeur d'éthologie à l'Université de Caen Normandie qui étudie le comportement de ces animaux au sein du laboratoire EthoS - Éthologie animale et humaine.

Le cerveau à la fois centralisé et périphérique du poulpe

Proches parents des escargots et des huitres, les céphalopodes sont toutefois bien mieux dotés sur le plan cérébral. Avec

2 > Chez la corneille noire, par exemple, cette organisation évolue au fil du temps. Les juvéniles de cette espèce se regroupent en bandes de dizaines d'individus. Une fois adulte, la corneille noire vit ensuite en couples territoriaux stables et sédentaires. Au début de l'hiver, ces couples rejoignent de grands rassemblements pouvant compter plusieurs milliers de corvidés de différentes espèces.

3 > Cellules de pigmentation présentes dans l'épiderme superficiel de certains animaux à sang froid (céphalopodes, amphibiens, reptiles...) capables d'induire des variations de couleur, notamment sous l'effet de contractions musculaires.



© DR

Les céphalopodes (ici une pieuvre commune) peuvent "goûter" les objets par le toucher grâce à leurs ventouses.

un système nerveux constitué de 300 à 500 millions de neurones, contre à peine 900 000 pour un escargot, poulpes et seiches disposent d'une architecture cérébrale bien plus sophistiquée que n'importe quel autre invertébré. Mais plus que par la taille de leur cerveau, qui équivaut à celui d'une souris, les céphalopodes se démarquent par l'organisation à la fois centralisée et périphérique de celui-ci : un cerveau principal situé entre les deux yeux communique en permanence avec huit cerveaux plus petits logés à la base de chacun de leurs huit bras. C'est d'ailleurs cet agencement si particulier qui confère à ces organismes vivants leur exceptionnelle agilité motrice et sensorielle.

Les céphalopodes excellent également dans l'art du camouflage. « Leur corps et leurs bras n'étant pas circonscrits à un squelette, ils sont en mesure de le modeler à leur guise pour prendre l'apparence d'une algue ou d'un rocher et passer ainsi inaperçus, illustre Ludovic Dickel. En activant leurs chromatophores³, ils peuvent, en outre,

reproduire la couleur et la texture de n'importe quel type de support. » Chez les seiches, ces variations chromatiques reposant sur la polarisation de la lumière, que ces animaux sont les seuls à percevoir, servent aussi à communiquer entre congénères sans que de potentiels prédateurs s'en aperçoivent. Les motifs colorés arborés par ces animaux pourraient également refléter leur état émotionnel selon de récents travaux menés par l'équipe de Ludovic Dickel. « Lorsqu'une seiche placée dans un aquarium est confrontée à une situation positive, la possibilité d'accéder à de la nourriture en l'occurrence, nous avons pu constater qu'elle présentait des motifs colorés particuliers. Si la source de nourriture proposée est une crevette, proie que le céphalopode apprécie tout particulièrement, ces mêmes motifs vont s'exprimer avec plus d'intensité. » En présence de congénères, la seiche serait même capable de réfréner cette émotion positive que constitue le changement de coloration afin de ne pas révéler la présence de cette proie appétissante aux autres céphalopodes.

« [Le corps et le bras des céphalopodes] n'étant pas circonscrits à un squelette, ils sont en mesure de le modeler à leur guise pour prendre l'apparence d'une algue ou d'un rocher et passer ainsi inaperçus. »

Ludovic Dickel

Professeur d'éthologie à l'Université de Caen Normandie et au sein du laboratoire EthoS - Éthologie animale et humaine.

L'abeille domestique apprend à danser

Ressentir des émotions ou résoudre des problèmes complexes n'est pas qu'une affaire de gros cerveau. Les insectes sociaux, (abeilles, guêpes, bourdons, fourmis, termites...) en sont la parfaite illustration.

Dotée d'un cerveau pas plus grand qu'un grain de semoule, l'abeille domestique est pourtant capable de compter, saisir les concepts de similitude et de différence ou d'apprendre des tâches complexes en observant les autres abeilles. « On a longtemps pensé que la danse, que ces insectes exécutent pour indiquer à leurs congénères la localisation d'une source de nourriture, était innée. Or, une étude a récemment montré que ce sont les ouvrières les plus âgées de la ruche qui apprennent à danser aux plus jeunes, un peu comme si ces dernières allaient à l'école », développe Mathieu Lihoreau, directeur de recherche CNRS au Centre de biologie intégrative de Toulouse. Ce scientifique étudie plus particulièrement le comportement des insectes pollinisateurs dans des conditions expérimentales proches de leur milieu naturel. Il a ainsi pu observer qu'un bourdon était capable d'apprendre à optimiser son trajet pour visiter les fleurs d'un champ : passant de 2 km à 300 m en quatre heures. « Le fait qu'il faille plusieurs heures et de nombreuses tentatives à un bourdon pour établir cette route optimale prouve que cet insecte ne dispose pas d'une carte cognitive dans son cerveau pour accomplir cette tâche, souligne Mathieu Lihoreau. Comme les autres hyménoptères⁴ sociaux, cet insecte doit vraisemblablement recourir à des stratégies moins sophistiquées telles que la mémorisation de points de repères stratégiques au cours de ses vols successifs. »

Qu'ils vivent au sein de colonies plus ou moins complexes, comme l'abeille domestique et les bourdons, ou adoptent un mode de vie solitaire comme les milliers d'espèces d'abeilles sauvages qui peuplent



© DR

« Ce sont les [abeilles] ouvrières les plus âgées de la ruche qui apprennent à danser aux plus jeunes, un peu comme si ces dernières allaient à l'école. »

Mathieu Lihoreau

Directeur de recherche CNRS au Centre de biologie intégrative de Toulouse.

nos campagnes, les hyménoptères ont tous en commun de disposer d'un cerveau ultra-optimisé concentrant un million de neurones dans un volume d'à peine 1 mm³. Cette miniaturisation à l'extrême pourrait toutefois constituer le talon d'Achille de ces espèces, comme le redoute Mathieu Lihoreau : « Certains de nos travaux ont montré qu'une seule exposition à une très faible concentration de substances toxiques telles que le mercure ou l'arsenic suffisait à altérer les capacités intellectuelles des abeilles. » Or, si nous ne parvenons pas à préserver les aptitudes cognitives exceptionnelles de ces insectes pollinisateurs, dont dépend la reproduction d'un grand nombre de plantes essentielles à notre alimentation, c'est notre propre santé que nous risquons de mettre en péril.

Bibliographie

- Lihoreau, M., *La planète des insectes*, Éditions Tana (2025).
- Dickel, L., *La vie privée du poulpe*, Éditions humenSciences (2022).
- Marmion, J.-F., (dir.), *Psychologie des animaux*, Sciences Humaines Éditions (2022).
- Lenne, C., *Dans la peau d'un arbre*, Belin éditeur (2021).
- Hernaix, Q., *Du comportement végétal à l'intelligence des plantes ?* Éditions Quæ (2020).

4 > Grand groupe d'insectes possédant deux paires d'ailes membraneuses auquel appartiennent notamment, les abeilles, les fourmis, les bourdons et les guêpes.



À LIRE
-> P. 15

Les émotions ont leur raison que la raison ne peut ignorer

1 > Philosophe de la Grèce antique né en 384 av. J.-C et mort en 322 av. J.-C., Aristote est notamment connu pour avoir établi les premiers fondements de la philosophie de la nature, discipline regroupant la physique et la biologie

L'INTELLIGENCE VÉGÉTALE, UN SUJET SENSIBLE

De récentes avancées dans le domaine de la biologie végétale témoignent des étonnantes facultés sensorielles des plantes. De là à en faire des êtres intelligents, il n'y a peut-être qu'un pas que les scientifiques se refusent toutefois à franchir.

Les arbres nous surpassent dans bien des domaines. Capables de s'enraciner dans les déserts les plus arides de la planète, certains spécimens nous toisent depuis 5 000 ans tandis que d'autres parviennent à survivre aux incendies ou à l'explosion d'une bombe atomique. Pour autant, peut-on parler d'intelligence du monde végétal ? « Si faire preuve d'intelligence consiste à se maintenir sur Terre durant des centaines de millions d'années, les arbres peuvent sans doute prétendre à un tel statut », suggère avec une pointe de provocation Catherine Lenne, enseignante-chercheuse en botanique au laboratoire de Physique et physiologie intégrative de l'arbre en environnement fluctuant (PIAF) de Clermont-Ferrand. Sur le plan physiologique, le principal obstacle à cette reconnaissance demeure l'absence d'un système nerveux périphérique dédié à la transmission d'informations et d'un cerveau permettant de les analyser. Alors que la communauté des sciences du vivant n'envisage pas, pour l'heure, d'élever les végétaux au rang d'êtres intelligents, la question de leur sensibilité fait davantage consensus. Ces dernières années, les découvertes remettant en cause la vision aristotélicienne¹ des plantes, selon laquelle elles ne seraient que de simples formes de vie passives, se sont en effet multipliées.

Les arbres s'adaptent à la force du vent

S'inscrivant dans cette démarche, les travaux du laboratoire PIAF visent notamment à comprendre comment les espèces végétales parviennent à percevoir le monde qui les entoure. « Des expériences menées sur de jeunes peupliers ont montré qu'ils étaient capables de ressentir la force du vent, illustre Catherine Lenne. Confrontée au vent, cette espèce réduit sa croissance en hauteur et augmente son diamètre tout en développant plus de racines pour améliorer son ancrage dans le sol. » Cette réaction adaptative découle de la faculté de l'arbre à « ressentir » les conditions environnementales (vent, lumière, humidité...) à partir de capteurs disséminés dans l'ensemble de son organisme. « Un peu à la manière de notre sens du toucher, toutes les capacités sensorielles des végétaux s'expriment de façon diffuse », résume Catherine Lenne. Toutes les plantes sont, en outre, dotées du sens de la proprioception qui leur permet de percevoir la forme de leur corps dans l'espace. C'est notamment grâce à cette faculté que les arbres parviennent à réajuster en permanence la courbure de leur tronc.



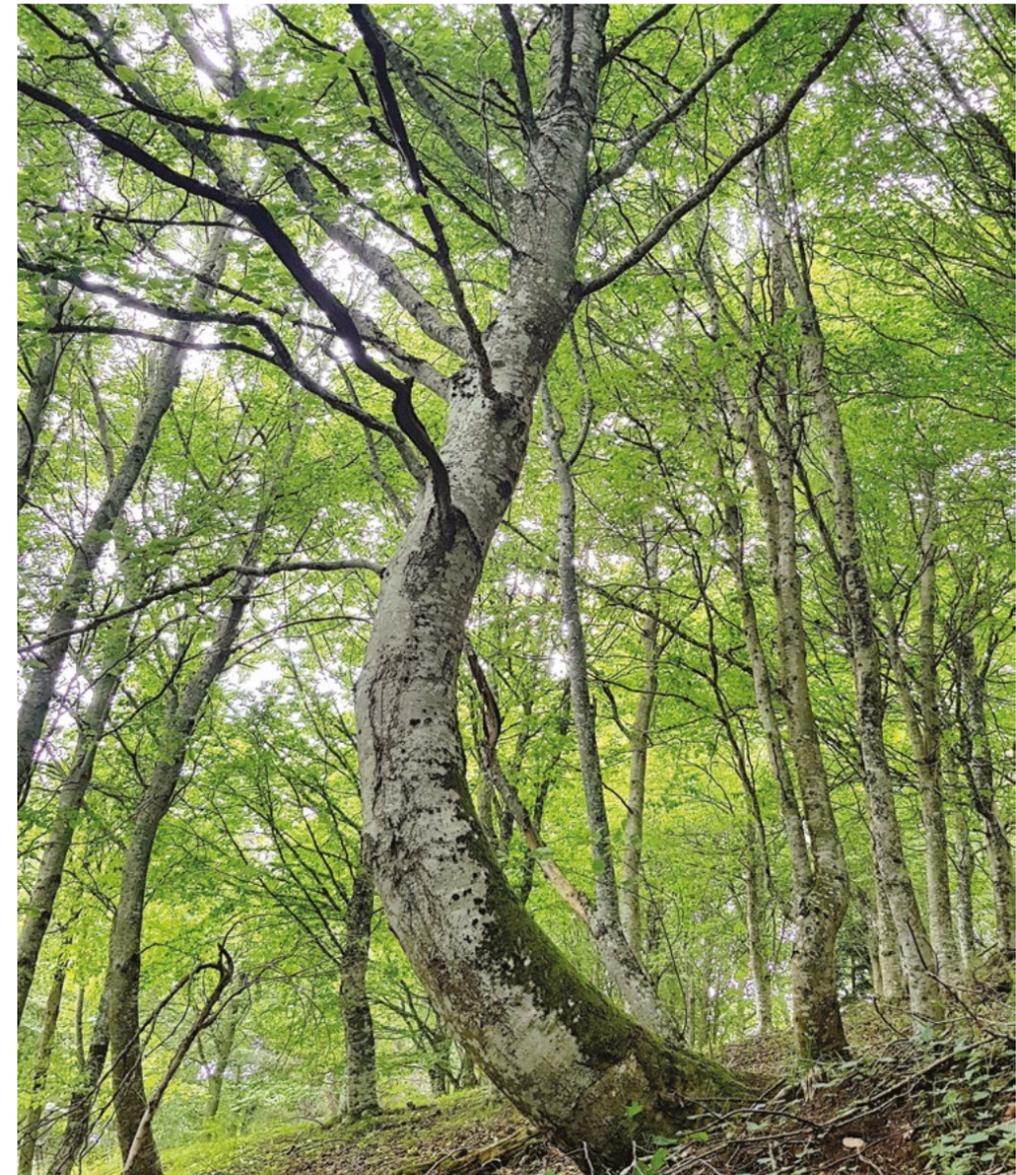
© DR

« [Le peuplier] réduit sa croissance en hauteur et augmente son diamètre tout en développant plus de racines pour améliorer son ancrage dans le sol. »

Catherine Lenne

Enseignante-chercheuse en botanique au laboratoire de Physique et physiologie intégrative de l'arbre en environnement fluctuant de Clermont-Ferrand.

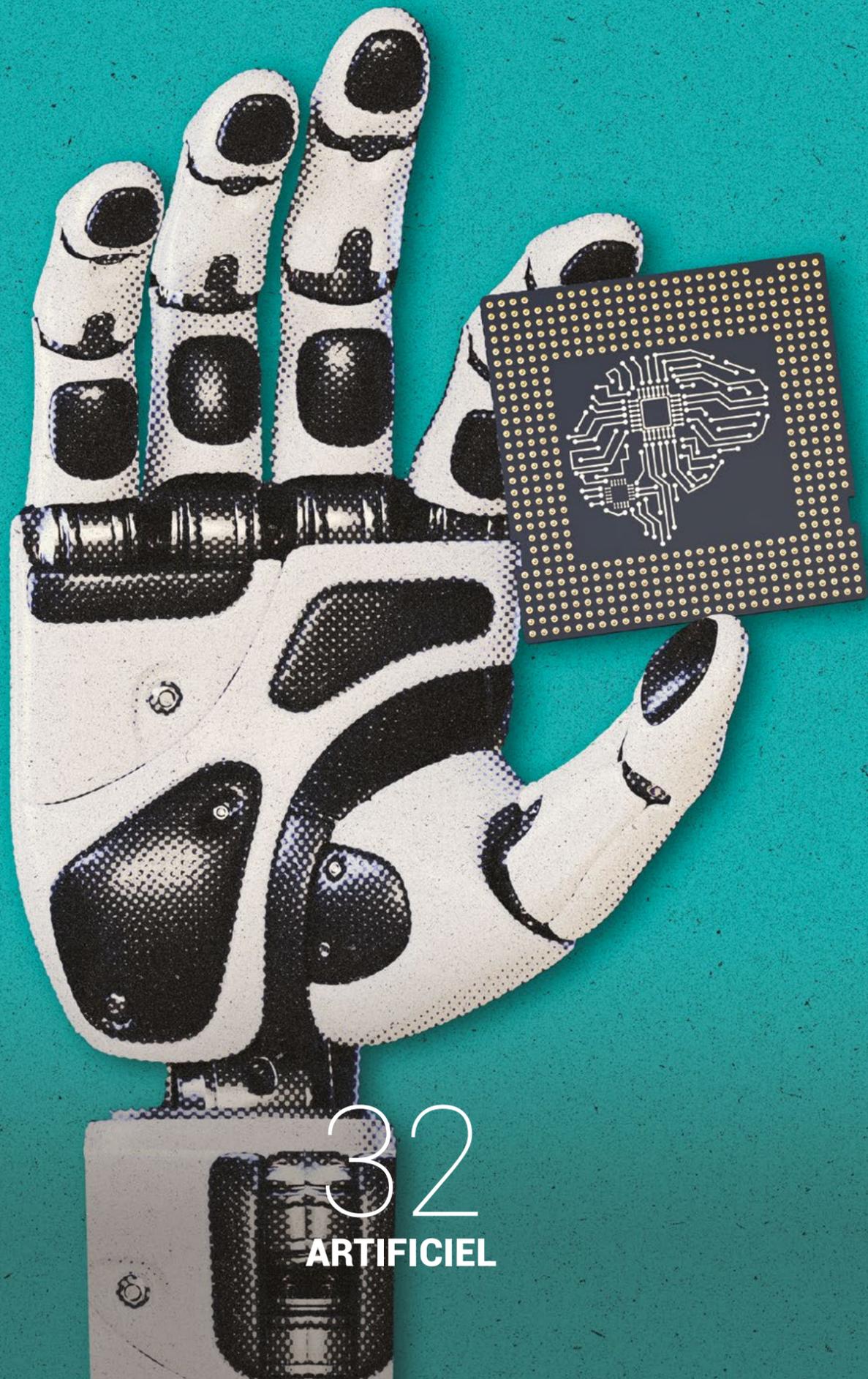
Depuis quelques années, on sait, par ailleurs, que les plantes émettent des ultrasons en cas de stress hydrique ou de blessure. D'autres travaux de bioacoustique végétale ont montré que certaines espèces étaient réceptives aux stimuli sonores. Chez l'arabette des dames, le bruit de mastication d'une chenille, qui se délecte habituellement de cette plante, déclenche la production de substances toxiques dans ses feuilles². Soumise à des vibrations sonores similaires à la fréquence des battements d'ailes d'une abeille, l'onagre des plages augmente, pour sa part, la production de nectar de ses fleurs³. En matière de sensibilité, les végétaux n'ont assurément pas fini de nous surprendre.



Hêtre ayant rectifié l'axe de son tronc. © Catherine Lenne

2 > Appel, H., et al., Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing, *Oecologia* (2014).

3 > Veits, M., et al., Flowers respond to pollinator sound within minutes by increasing nectar sugar concentration, *Ecology Letters* (2019).



32
ARTIFICIEL

QUE NOUS FAIT L'IA ?

Par Ludovic Viévard, rédacteur.

Des satellites aux téléphones portables, l'intelligence artificielle a investi nos objets techniques au point de devenir un compagnon du quotidien. Elle partage nos vies, mais pour quelles conséquences ? Comprendre et anticiper les mutations portées par l'IA est devenu un enjeu majeur et urgent, dont la société tout entière doit se saisir.

Quelle soit réellement intelligente ou qu'elle en simule les effets, l'IA n'est plus une promesse, mais une réalité. En quelques années seulement, elle s'est répandue dans une multitude d'applications, à l'impact quotidien, y compris pour le grand public. Or, le développement de ce puissant outil n'est pas sans conséquences, même s'il est parfois difficile d'en lire les effets secondaires, ceux qui nous reconfigurent en profondeur. Alors que nous fait l'IA ? Quels effets a-t-elle sur nos façons d'être humain et de faire société ? Quelles réflexions devons-nous conduire pour en conserver la maîtrise et limiter les risques ?

Vers l'infini et au-delà !

La promesse de l'IA est immense et ses bénéfices sont déjà tangibles. Fondateur, le mythe de Babel explique comment la démesure des hommes, engagés dans la construction d'une tour dont le sommet toucherait le ciel, leur a valu pour punition divine de ne plus se comprendre entre eux. Mais l'IA générative pourrait bien mettre un terme à cette malédiction empêchant la communication. Deep-L, Chat GPT, Google Translate... ces applications effritent la barrière des langues. Hibiki, l'IA développée en France par Kyutai, un laboratoire de Xavier Niel, permet même une traduction vocalisée simultanée !

Autre exemple, dans le champ de la santé, où l'IA se rend progressivement indispensable pour la gestion des flux de patients, l'analyse de leur dossier, la personnalisation des soins et même le diagnostic¹. Une étude sur le dépistage du cancer² du sein montre qu'elle améliore la lecture des mammographies et ainsi le taux de détection du cancer qui passe de 0,70 % à 0,82 % et réduit les taux de faux positifs de 2,39 % à 1,63 % ! Langues, santé, mais aussi finance, transports, logistique, énergie, e-commerce, culture... les IA sont partout, avec des gains de temps et d'efficacité importants.

Des outils qui nous contraignent

Ces algorithmes qui nous secondent dans notre vie quotidienne ne sont, cependant, pas sans conséquences, variables selon les IA et leurs applications. L'une d'elles, prévient Mathieu Guillermin, docteur en physique et philosophie, enseignant-chercheur à l'Institut catholique de Lyon, c'est l'effet de sidération que peuvent produire les algorithmes de recommandation. Cet effet nous rend passifs, comme captifs de contenus qu'une IA sélectionne en fonction de ce qu'elle connaît de nous (amis, précédentes lectures ou achats, etc.). Il peut renforcer nos paresse intellectuelles et favoriser la propagation de fausses informations (*fake news*). « L'efficacité des algorithmes »

1 > État des lieux de l'intelligence artificielle (IA) en santé en France, Ministère de la Santé (2025).

2 > Andreas, D., et al., Early Indicators of the Impact of Using AI in Mammography Screening for Breast Cancer, *Radiology*, 311 : 3 (2024).

3 > Bouchenak, S., Apprendre à plusieurs endroits en même temps pour ne pas révéler ses secrets : vers une IA plus vertueuse, *The Conversation* (2024).

4 > Confidentialité et mitigation du biais dans l'apprentissage fédéré pour la santé numérique, projet mené par LIRIS, LIFO, HCL et MEERSENS.

5 > Porté par l'ENS de Lyon, le cluster ALLyS regroupe une quinzaine d'établissements de recherche et d'enseignement supérieur du site de Lyon et Saint-Étienne et une trentaine d'entreprises pour former un pôle d'excellence européen sur l'IA.

de recommandation des réseaux sociaux menace notre capacité à disposer d'un fond d'informations commun à partir duquel nous projeter dans une dimension politique, précise le chercheur. C'est plus pernicieux que le mensonge car, contrairement au mensonge, il s'agit de dire que le vrai n'a pas de valeur. »

Ce brouillage entre vrai et vraisemblable est d'autant plus fort que les IA fonctionnent à partir de jeux de données dont la constitution peut contenir des biais. Des algorithmes ont déjà produit des résultats sexistes ou racistes, comme l'explique Sara Bouchenak, professeure d'informatique à l'INSA Lyon et chercheuse au Liris, dans *The Conversation*³. À propos d'une IA de recrutement d'une grande entreprise de logistique, elle précise : « parce que les femmes travaillant dans [ce] secteur sont statistiquement peu nombreuses, l'IA qui en résulte rejette tout simplement les candidatures féminines ». Et d'en appeler à un travail rigoureux, pour éviter ces biais dans la constitution des données, voire d'en tenir compte afin de corriger les déséquilibres sociaux. Ces efforts pour une IA éthique sont au cœur du projet de recherche consacré aux



© DR

« Le soin est fait d'une relation qui ne se laisse pas réduire à de l'information brute. »

Jean-Philippe Pierron

Professeur de philosophie à l'Université de Bourgogne, co-directeur de la chaire Valeurs du soin de l'Université Jean Moulin Lyon 3.

données de santé, ANR CITADEL⁴, coordonné par Sara Bouchenak, ou du cluster ALLyS⁵, porté par Aurélien Garivier, professeur de mathématiques à l'École normale supérieure de Lyon.

Vers un effritement de l'empathie ?

Si l'IA est un puissant outil pour l'analyse des données de santé, « le soin est fait d'une relation qui ne se laisse pas réduire à de l'information brute », prévient Jean-Philippe Pierron, professeur de philosophie à l'Université de Bourgogne et co-directeur de la chaire Valeurs du soin de l'Université Jean Moulin Lyon 3. Or, médecins et infirmiers voient leur métier évoluer vers des tâches consistant à renseigner les données de santé des patients pour qu'elles soient traitées par des algorithmes qui, en retour, fourniront diagnostics et prescriptions personnalisés. « Attention à ne pas transformer les soignants en "travailleurs du clic", dont le temps consacré à nourrir les données des IA sera pris sur celui de la relation au malade ». Car ces outils ont tendance à survaloriser l'analytique au détriment des dimensions affective, interprétative et incarnée de l'intelligence humaine. D'un côté « la vigilance, une forme caricaturée de l'attention que l'IA traite parfaitement à partir des data », et de l'autre, « l'attention qui se définit par la disponibilité à l'autre et la qualité de la présence à l'autre ». Tout l'enjeu sera alors d'articuler ces deux « régimes de présence, un travail éthique et politique de balance à faire entre l'un et l'autre », conclut Jean-Philippe Pierron. Car la place de l'IA n'est que celle que nous lui donnons. Aujourd'hui, elle dépend de choix industriels, économiques et politiques. Or, ces choix interrogent la société en profondeur, raison pour laquelle c'est tout le corps social qui est appelé à se prononcer.

Organiser la réflexion collective

On le voit, il y a un réel enjeu à discuter des impacts de l'IA, qu'ils soient individuels ou sociétaux. Sommes-nous, par exemple, prêts à accepter un désapprentissage, ou *deskilling* ? Dans un texte de 2022⁵, Wendy Mackay, qui dirige le groupe de recherche en interaction humain-machine à l'Inria de Paris-Saclay, définissait ce *deskilling*, comme « le processus par lequel les compétences d'un humain sont rendues désuètes, voire perdues, lorsqu'un élément de technologie peut accomplir la tâche



© DR

« Les bouleversements technologiques sont une chance de remettre l'accent sur les questions de fond. »

Mathieu Guillermin

Docteur en physique et philosophie, enseignant-chercheur à l'Institut catholique de Lyon, membre de l'unité de recherche CONFLUENCE : Sciences et Humanités.

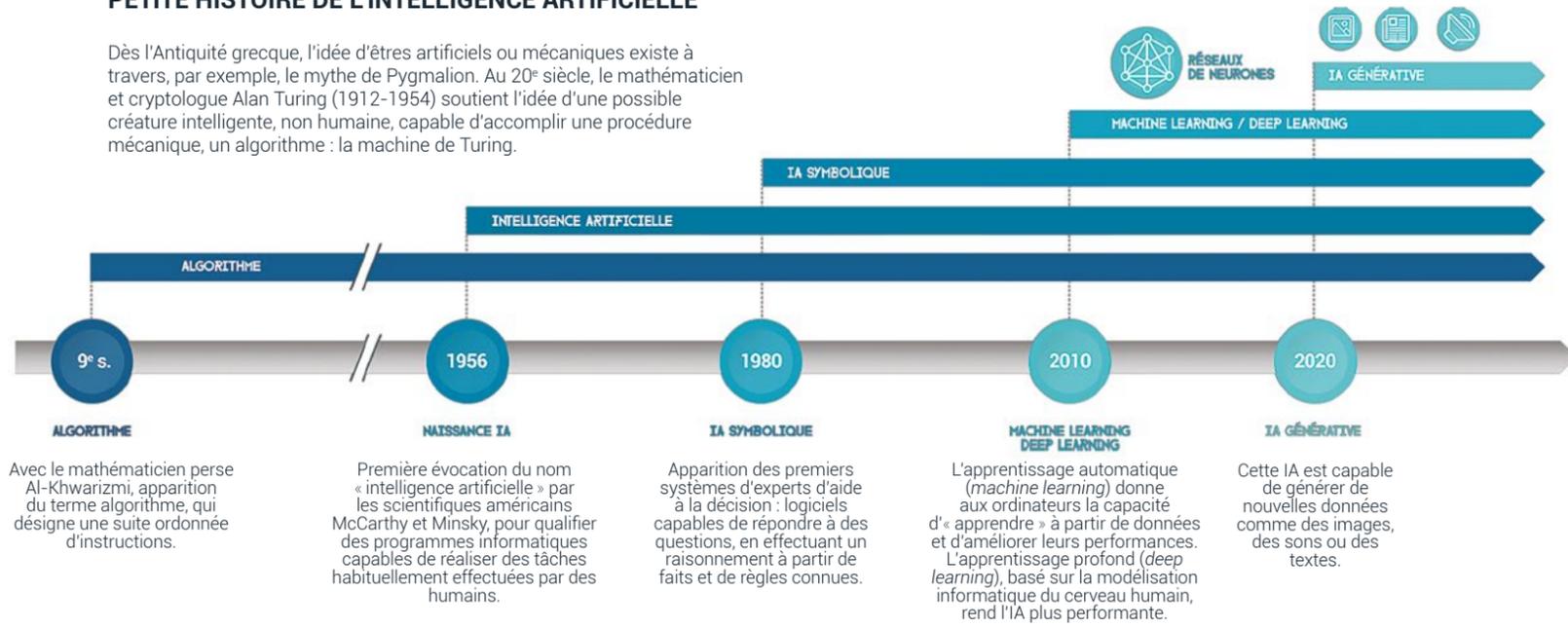
pour lui ». Pourquoi apprendre une langue, à rédiger un résumé ou même à lire, si des IA peuvent le faire pour nous ? Quel sens redonner à nos apprentissages ? Penser les IA, c'est penser notre condition humaine.

Pour Mathieu Guillermin, « les bouleversements technologiques sont une chance de remettre l'accent sur les questions de fond. Par exemple, l'apparition de Chat GPT interroge tout le monde sur le "Pourquoi j'écris", et par extension, le "Pourquoi j'apprends". Pour les étudiants notamment, il existe aujourd'hui une vraie possibilité de déléguer de nombreux travaux à l'IA et d'obtenir sans effort un résultat convaincant ». Que veut dire être humain au temps de l'IA et des neurosciences ? C'est l'interrogation qui est au cœur du projet de recherche qu'il coordonne : un Nouvel Humanisme au temps des Neurosciences et de l'Intelligence Artificielle (NHNAI). Alimenté par une expertise académique pluridisciplinaire et internationale, NHNAI structure, dans 9 pays, des échanges ouverts à tous, en présentiel et via « CartoDÉBAT ». Cette plateforme en ligne permet d'organiser une réflexion citoyenne collective pour interpeler le politique. C'est, en effet, à lui de légiférer pour borner le souhaitable

6 > Rowe-Pirra, W., Repenser l'interaction entre l'humain et la machine, *Collège de France* (2022).

PETITE HISTOIRE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Dès l'Antiquité grecque, l'idée d'êtres artificiels ou mécaniques existe à travers, par exemple, le mythe de Pygmalion. Au 20^e siècle, le mathématicien et cryptologue Alan Turing (1912-1954) soutient l'idée d'une possible créature intelligente, non humaine, capable d'accomplir une procédure mécanique, un algorithme : la machine de Turing.



7 > Depecker, C., Synchronisation et chaos : deux qualités de notre cerveau inégalées par l'IA, *Cortex Mag* (2024).

› dans l'immense champ des possibles ouverts par l'IA et de limiter les appétits privés et industriels.

Et demain ?

Ce qu'accomplissent les IA est chaque jour plus impressionnant. Des chercheurs lyonnais, dont Matteo di Volo, professeur junior de neurosciences à l'Université Claude Bernard Lyon 1, travaillent sur des réseaux de neurones artificiels plus proches de notre propre cerveau. L'objectif ? « Une IA biologique plus puissante et plus fonctionnelle », explique-t-il dans *Cortex Mag*7.

Déjà, les IA agents se multiplient. Bien qu'encore limitées, ces IA promettent d'exécuter des tâches concrètes pour notre compte, comme rédiger et envoyer un mail, réserver un billet de

train, etc. Une action spécifique, certes, mais désormais effective dans le monde physique. Le pas d'après ? L'IA générale (IAG), capable de réaliser, elle, l'ensemble des tâches intellectuelles que nous pouvons accomplir, et sur lesquelles planchent les grandes entreprises de la tech.

Quand ces outils arriveront à maturité, ils transformeront d'autant encore les relations homme – IA et, par extension, ce que nous sommes et nos organisations sociales. S'il est si important d'en avoir conscience c'est que, prévient Aurélien Garivier, « le risque est que l'écart s'amplifie entre les gens qui maîtrisent ces technologies et conservent un regard critique et les utilisateurs qui ont encore moins besoin qu'avant d'apprendre ce que réalisent ces outils et en deviennent dépendants ».

CARTODÉBAT : OUTILLER LE DIALOGUE CITOYEN

En 2023, le projet NHNAI propose une cartographie des enjeux sociétaux de l'IA – fruit d'ateliers en présentiel. Cette représentation des thèmes centraux (démocratie, environnement, santé, éducation...) et leur connexion est alors soumise à un débat en ligne. Mais l'originalité de CartoDÉBAT est de structurer les échanges en utilisant : « oui mais », « oui et », « pas compris ». Ainsi se construit progressivement une réflexion réellement collaborative, large et approfondie sur les enjeux éthiques de l'IA.



© Interface CartoDÉBAT

L'IA, UNE INTELLIGENCE SANS ESPRIT



© DR

« Malgré leurs impressionnantes réussites, plus on comprend le fonctionnement des IA et moins elles surprennent. »

Aurélien Garivier

Professeur de mathématiques à l'École normale supérieure de Lyon, membre de l'unité de Mathématiques pures et appliquées, associé au Laboratoire de l'informatique du parallélisme.

L'IA – ou plutôt les IA, car toutes n'ont pas le même fonctionnement ni le même usage – sont au cœur d'une question récurrente : celle de leur intelligence réelle. Ce numéro de *Pop'Sciences Mag* a montré qu'il y a diverses façons de comprendre l'intelligence. Il en va de même ici. Si être intelligent, c'est s'adapter et résoudre des problèmes complexes, alors certaines IA peuvent être considérées comme telles. Avec leurs réseaux de neurones artificiels – dont la conception remonte aux années 1940 –, elles peuvent accomplir des opérations de base (classifier, comparer, classer, etc.) et ainsi « reproduire des comportements liés aux humains, tels que le raisonnement, la planification et la créativité8 », selon la définition du Parlement européen. Bien que les résultats soient parfois spectaculaires, notamment dans la génération de texte et d'image ou par les capacités d'apprentissage, Aurélien Garivier, professeur de mathématiques à l'École normale supérieure de Lyon, explique que « là où l'on voit d'abord de l'intelligence, parce qu'on n'a pas l'habitude de voir une tâche faite par autre chose qu'un humain, il ne se trouve souvent qu'un traitement informatique finalement, pas si complexe, ni si mystérieux que ça. Malgré leurs impressionnantes réussites, plus on comprend le fonctionnement des IA et moins elles surprennent ». L'IA ne renverrait qu'à une définition restreinte de l'intelligence, contrairement à celle qui l'enracine dans une expérience sensible, vécue par un être qui n'est pas seulement en relation au monde mais doué d'une conscience de lui-même. L'IA serait alors « une intelligence sans esprit », pour reprendre une expression du neuroscientifique Antonio Damasio, juste capable d'imiter nos facultés de raisonnement ou de créativité.

Bibliographie

- Comment l'intelligence artificielle va changer nos vies, *CNRS Le Journal* (2018).
- Nowakowski, S., *L'essentiel de l'intelligence artificielle*, Studyrama (2024).
- Cappé, O., Marc, C., *Tout comprendre (ou presque) sur l'intelligence artificielle*, CNRS Éditions (2025).
- Comment l'IA redéfinit notre compréhension du monde, *France Culture* (2025).

8 > Intelligence artificielle : définition et utilisation, site internet du Parlement européen, consulté en avril 2025.

IA ET CRÉATIVITÉ : UNE (PRESQUE) INTERVIEW DE FLAVIEN CHERVET

Avertissement : Cette (presque) interview est une expérience réalisée avec Flavien Chervet, analyste en Intelligence Artificielle (IA). Ensemble, nous avons souhaité voir ce que produiraient deux IA se répondant. Les questions ont donc été générées par nous, via Chat GPT. Pour les réponses, Chat GPT s'est basé sur le livre de Flavien Chervet, *Hypercréation* (Les éditions Nullius in Verba, 2023), qui synthétise ses recherches. Ce test a nécessité une intermédiation humaine, qui ne se voit pas dans le résultat que nous livrons. Il a, en effet, fallu rédiger des « prompts », soit des indications aux deux IA. À chaque fois, c'est donc bien une personne qui organise le processus, fixe le contexte, le thème, le niveau de langue, etc. Enfin, tout un travail de relecture et de validation a été nécessaire. Bilan de l'expérience ? Flavien Chervet, le vrai, livre son sentiment à la fin de l'entretien.



© Flavien Chervet

Flavien, comment définiriez-vous la créativité de l'IA aujourd'hui et en quoi diffère-t-elle de la créativité humaine ?

La créativité, c'est l'inattendu, la surprise. Une œuvre qui ne surprend pas n'est pas créative. Or, l'IA a déjà démontré sa capacité à nous étonner. Quand AlphaGo a joué son célèbre 37^e coup, personne ne l'avait vu venir, pas même ses créateurs. C'était un geste inédit, qualifié de « créatif » par les experts eux-mêmes. Mais la créativité ne se résume pas à l'originalité. Elle est aussi profondément liée à l'expression d'une singularité, d'un regard sur le monde. L'humain, en créant, révèle une part de lui-même, de son histoire, de sa sensibilité. Une IA peut générer des images, composer de la musique ou écrire des textes, mais elle ne le fait pas à partir d'une expérience vécue ou d'un désir intime. Cela dit, l'IA évolue. Si aujourd'hui, elle est souvent un outil qui amplifie notre créativité, demain, avec les systèmes [que j'appelle] « C-Borgs », capables d'apprentissage et d'autonomie décisionnelle, elle pourrait devenir une force créative à part entière. La question n'est pas de savoir si l'IA sera créative, mais à quel moment nous serons prêts à le reconnaître.

En quoi les outils d'IA transforment-ils le processus créatif, notamment dans les arts et le design ?

Les outils d'IA révolutionnent la création en la rendant plus accessible, plus rapide et parfois même plus surprenante. Dans les arts visuels, les algorithmes de *text-to-image* permettent à chacun de générer des œuvres sans savoir dessiner, en se concentrant sur l'intention et l'esthétique plutôt que sur la technique. Cela marque le « sacre de l'amateur », où la créativité devient plus démocratique. Dans le design, ces outils transforment la manière dont les créateurs travaillent. Plutôt que de partir de zéro, ils peuvent expérimenter rapidement avec des styles, des compositions et des idées générées par l'IA. Le rôle du designer évolue : il devient un chef d'orchestre, sélectionnant et affinant les propositions algorithmiques.

Cette évolution rappelle l'histoire de la photographie : elle n'a pas remplacé la peinture, mais a changé son rôle et élargi le champ des possibles. De même, l'IA ne remplace pas les artistes, mais leur offre une nouvelle matière à explorer. L'important reste la vision de l'auteur et son intention, qui donnent du sens à la création.

Réaction de Flavien Chervet

Instructive expérience ! Au départ, les réponses obtenues de mon IA étaient superficielles, éloignées de ma pensée. Étonnamment, en posant moi-même les mêmes questions, les réponses étaient excellentes, parfois même troublantes de précision. En fait, dans le premier temps du test, trois questions étaient regroupées en un seul prompt qui limitait chaque réponse à 200 caractères, obligeant l'IA à trop synthétiser... Jusqu'à perdre le sens de mes propos. Finalement, en réduisant à deux questions et en donnant davantage d'espace à l'IA, la qualité s'est améliorée, même si le résultat reste encore bien en-dessous de celui obtenu lorsqu'on ne pose aucune limite de texte à l'IA.



© Flavien Chervet

Image créée par Flavien Chervet avec Midjourney.



À VOIR
→ WEB

Les coulisses de
« La (presque)
interview »



OURS

DIRECTION DE LA PUBLICATION : **Nathalie Dompnier**, Présidente de la ComUE Université de Lyon

DIRECTION DE LA RÉDACTION : **Isabelle Bonardi**, Directrice Culture, Sciences et Société - Pop'Sciences - Université de Lyon

COMITÉ DE RÉDACTION

RÉDACTION EN CHEF : **Samantha Dizier** et **Anne Guinot-Delemarle** (Pop'Sciences - Université de Lyon)

RÉDACTEURS ET JOURNALISTES : **Caroline Depecker**, **Grégory Fléchet**, **Marie Privé**, **Ludovic Viévard**, **Clémentine Vignon**

DIRECTION ARTISTIQUE : **Antoine Ligier** (Agence Visée.A) **Magdalena Nin Ott** et **Vincent Noclin**

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES ET ILLUSTRATIONS : © **Visée.A**, © **Vincent Noclin**, © **Flor Labanca**, remerciements à **Martin O'Neill** (Concept p.04)

MAQUETTE ORIGINALE : **Cultivescence**

SECRÉTARIAT DE RÉDACTION : **Samantha Dizier**, **Anne Guinot-Delemarle**, **Patricia Lamy** (Pop'Sciences - Université de Lyon)

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Anna Rita Galiano, professeure à l'Université Lumière Lyon 2 en psychologie du handicap, directrice de l'unité de recherche Développement individu processus handicap éducation (Université Lumière Lyon 2).

Aurélien Garivier, professeur à l'École normale supérieure de Lyon (ENS de Lyon), membre de l'unité de Mathématiques pures et appliquées (ENS de Lyon, CNRS), associé au Laboratoire de l'informatique du parallélisme (CNRS, ENS de Lyon, Inria, Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lyon).

Rémi Gervais, neurobiologiste et professeur émérite à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

Mathieu Guillermin, docteur en physique et philosophie, enseignant-chercheur à l'Institut catholique de Lyon, membre de l'unité de recherche CONFLUENCE : Sciences et Humanités.

Florence Levréro, professeure en éthologie et bioacoustique à l'Université Jean Monnet Saint-Étienne et chercheuse au sein de l'Équipe de neuro-éthologie sensorielle du Centre de recherche en neurosciences de Lyon (CNRS, Inserm, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Jean Monnet Saint-Étienne).

ONT ÉGALEMENT CONTRIBUÉ À LA RÉALISATION DE CE NUMÉRO :

Flavien Chervet, conférencier, auteur et directeur innovation de IRIIG ; **Ludovic Dickel**, professeur d'éthologie à l'Université de Caen Normandie et au sein du laboratoire EthoS - Éthologie animale et humaine (CNRS, Université de Rennes, Université de Caen Normandie) ; **Anne-Lyse Demarchi**, psychologue clinicienne et enseignante à l'Université Lumière Lyon 2 ; **Valérie Dufour**, chercheuse en éthologie au Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (Université Clermont Auvergne, CNRS) ; **Maude Georges**, cheffe de chœur du Ha'chœur ; **Catherine Lenne**, enseignante-chercheuse en botanique au laboratoire de Physique et physiologie intégrative de l'arbre en environnement fluctuant (Université Clermont Auvergne, INRAE) ; **Mathieu Lihoreau**, directeur de recherche CNRS au Centre de biologie intégrative de Toulouse (Université de Toulouse, CNRS) ; **Nicolas Petit**, orthophoniste et docteur en sciences cognitives au Centre hospitalier Le Vinatier ; **Jean-Philippe Pierron**, professeur de philosophie à l'Université de Bourgogne et co-directeur de la chaire Valeurs du soin de l'Université Jean Moulin Lyon 3 ; **Laure Pisella**, chercheuse au Centre de recherche en neurosciences de Lyon (CNRS, Inserm, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Jean Monnet Saint-Étienne) ; **Emmanuel Procyk**, chercheur en neurobiologie à l'Institut de recherches sur le cerveau et les cellules souches de Lyon (Université Claude Bernard Lyon 1, Inserm) ; **Olivier Revol**, pédopsychiatre à l'hôpital Femme Mère Enfant de Lyon ; **Jean-Michel Roy**, professeur des universités en philosophie et sciences cognitives à l'ENS de Lyon ; **Angela Sirigu**, neuroscientifique à l'Institut des sciences cognitives Marc Jeannerod (Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS) ; **William, Pascale, Michel et Elfie**, membres du Ha'chœur.

PARTENAIRES POP'SCIENCES MAG



Ce numéro est imprimé sur du papier recyclé non blanchi.

ISSN : 2680-5987 – Parution : juillet 2025 – Dépôt légal : septembre 2019
Pop'Sciences est une marque déposée

POP'SCIENCES MAG

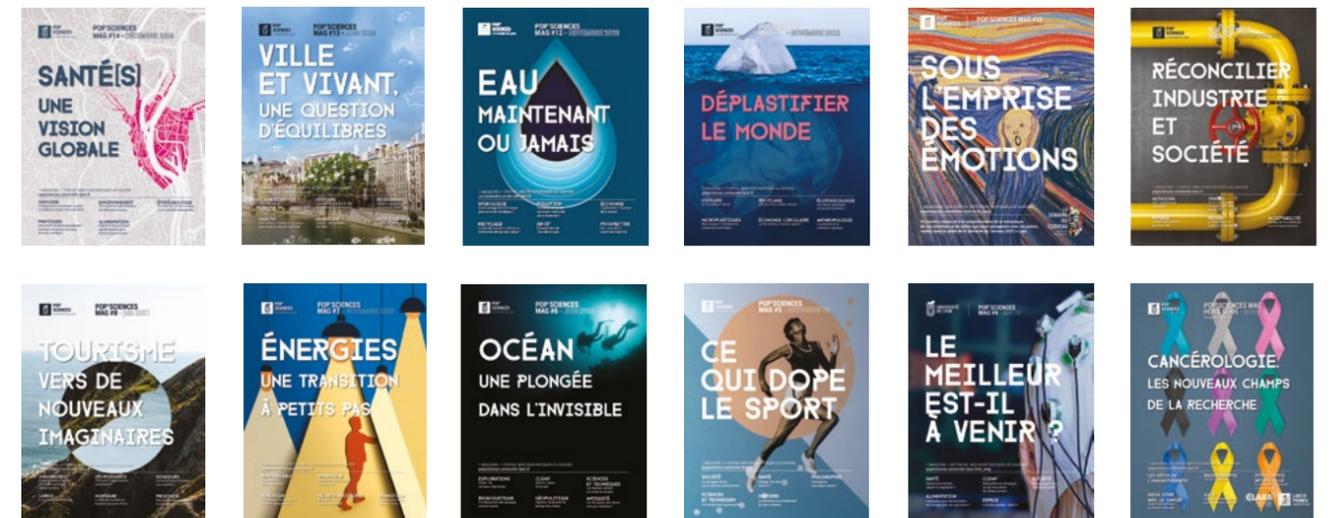
Édité par la ComUE Université de Lyon depuis 2018, Pop'Sciences Mag propose, deux fois par an, de décrypter un enjeu de société d'actualité par le croisement des regards de différents scientifiques et experts.

→ Des contenus originaux et accessibles : enquêtes, interviews, reportages, qui donnent la parole aux scientifiques de différentes disciplines des établissements d'enseignement supérieur et de recherche de Lyon et Saint-Étienne, avec la collaboration d'acteurs du territoire (collectivités, associations, entreprises, établissements culturels...).

→ Un outil de connaissance, de culture personnelle et de formation qui permet de découvrir la richesse de la recherche lyonnaise et stéphanoise.

→ Un magazine disponible gratuitement sur deux supports : numérique et papier.

LES DERNIERS POP'SCIENCES MAG PARUS : COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION !



Pour contacter la rédaction, s'abonner au magazine, recevoir un exemplaire gratuit :

popsciences@universite-lyon.fr

LE POP'SCIENCES MAG EST UNE PUBLICATION :



L'Université de Lyon est une Communauté d'universités et établissements (ComUE) qui rassemble 10 membres et 25 associés, et qui porte la coordination territoriale du site académique Lyon Saint-Étienne.



**POP'
SCIENCES**
Université de Lyon

RETROUVEZ TOUTE L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE DE LA COMUE UNIVERSITÉ DE LYON SUR LE PORTAIL NUMÉRIQUE POP'SCIENCES !

popsciences.universite-lyon.fr

- P** comme **Partager les savoirs**
- O** comme **Ouvrir les campus**
- P** comme **Produire de la connaissance avec et pour les citoyens**

Avec Pop'Sciences, la ComUE Université de Lyon donne la possibilité à tous ceux qui ont soif de savoirs ou à tous les curieux de sciences de s'informer, de rencontrer des scientifiques et de se questionner sur des sujets divers qui nous permettent de mieux comprendre le monde qui nous entoure.

Via son site internet, Pop'Sciences met en avant les différents rendez-vous autour des sciences, accessibles à tous, organisés à Lyon et aux alentours et donne accès à une banque de ressources multimédias sur de nombreux thèmes et grands sujets de société.

