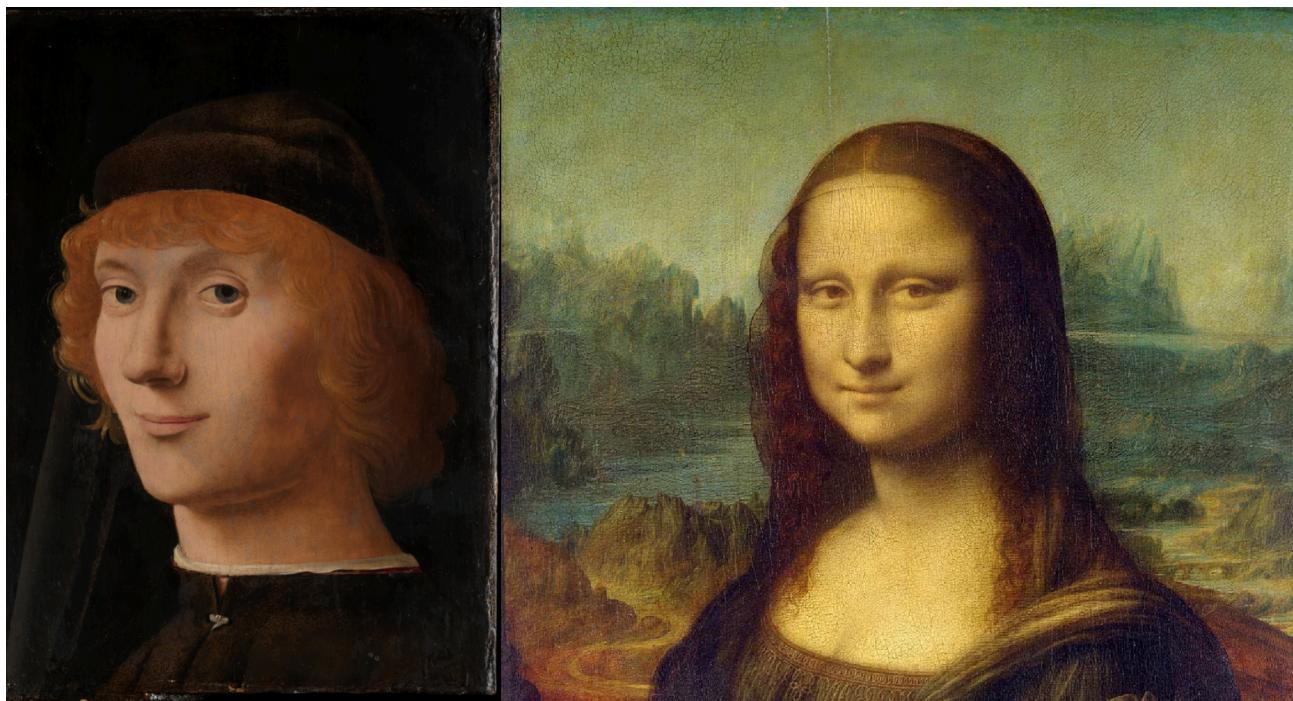


Cerveau qui devine, cerveau qui doute



À gauche : Antonello da Messina, *Portrait of a Young Man*, 1470. À droite : Leonardo Da Vinci, *Monna Lisa*, 1503 - 1517

INTRO

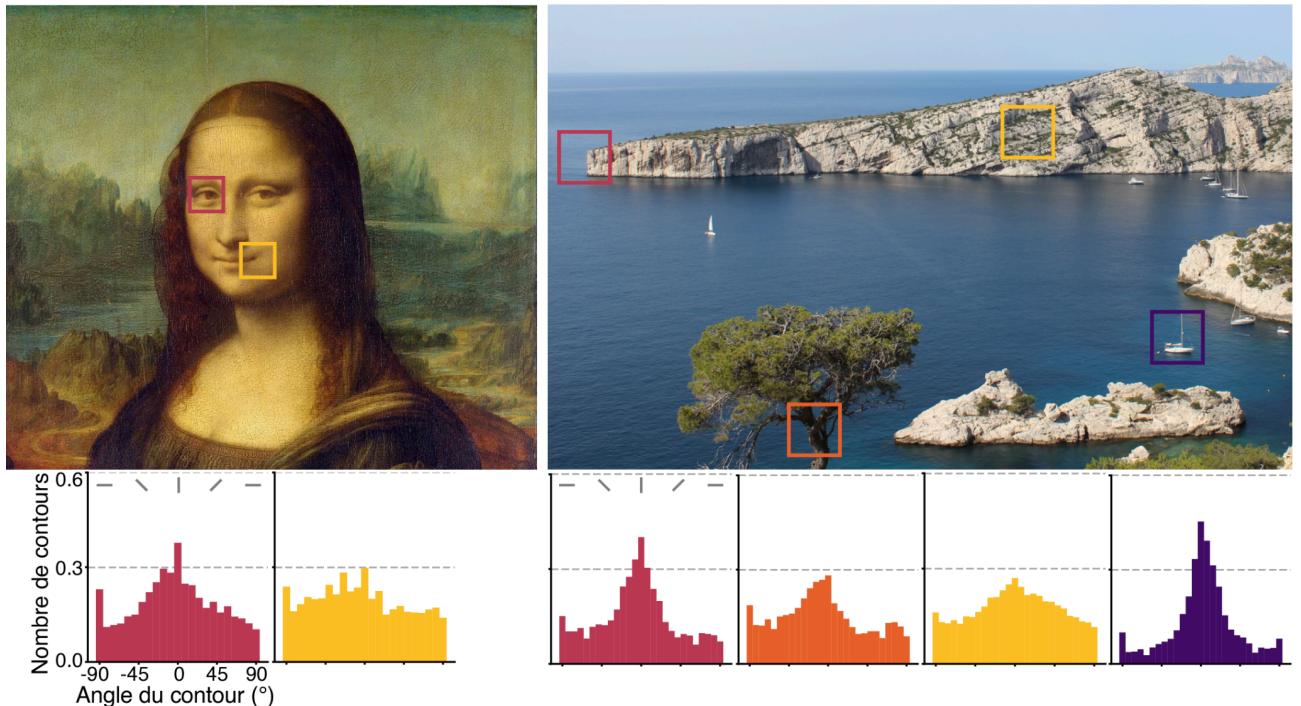
Si l'on vous demande lequel de ces deux portraits donne le rendu le plus fidèle de l'expression d'un visage, vous répondrez très probablement qu'il s'agit de l'iconique Monna Lisa. Toutefois, si on vous demande maintenant lequel de ces deux visages dévoile de manière la plus claire et précise son émotion, vous trouverez sans doute plus aisément de lire les pensées rieuses rendues dans le portrait d'*Antonello da Messina*. Il semble donc que même si vous percevez Monna Lisa plus "vivante", elle ne vous paraît pas plus compréhensible pour autant. Intrigant, n'est-ce pas ? Bien qu'il émane de ces deux personnages un même air de mystère, quelque chose confère à la Joconde une singularité envoutante.

À la lumière d'une analyse scientifique moderne, nous comprenons désormais mieux pourquoi le portrait de Monna Lisa paraît si authentique et si mystérieux. L'ambivalence légendaire de l'œuvre permet au regard de la fameuse Joconde de suivre le spectateur ainsi qu'à son sourire de paraître changer selon l'angle de vue. Da Vinci, fin observateur du monde qui l'entourait, a magistralement utilisé des techniques réalistes pour donner vie à une image qui, tout en étant statique, évoque une présence dynamique comparable à celles que nous rencontrons dans nos vies quotidiennes. L'ambiguïté visuelle induite par l'observation de la Joconde, un aspect central de son mystère, rappelle la manière dont la lumière du soleil se fraie un chemin à travers un feuillage dans une forêt, jouant subtilement avec les ombres pour créer une atmosphère à la fois vivante et énigmatique.

Cet énigmatique réalisme du portrait de Monna Lisa repose sur le talent de son créateur. Da Vinci était un maître incontesté du *sfumato*, une technique artistique ardue qui permet d'adoucir les contours dans une peinture, pour un effet plus naturel et réaliste. Il s'agit là d'un bel exemple de son génie pluridisciplinaire, car da Vinci, avec seulement les connaissances de son époque, semblait anticiper certaines avancées de la science moderne sur les images naturelles. En effet, nous savons désormais que notre cerveau est particulièrement efficace pour analyser sous toutes leurs coutures le monde visuel qui

nous entoure. Un système d'aires cérébrales traite notamment les informations en provenance de la rétine, en commençant par décomposer le monde qui nous entoure en petits éléments de contours, orientés et subtils, minutieusement reproduits dans le *sfumato* de la Joconde. Ces contours échafaudent en quelque sorte la charpente de notre perception visuelle, à partir de laquelle notre cerveau esquisse une image du monde lumineux qui nous entoure.

ANALYSE DES IMAGES NATURELLES



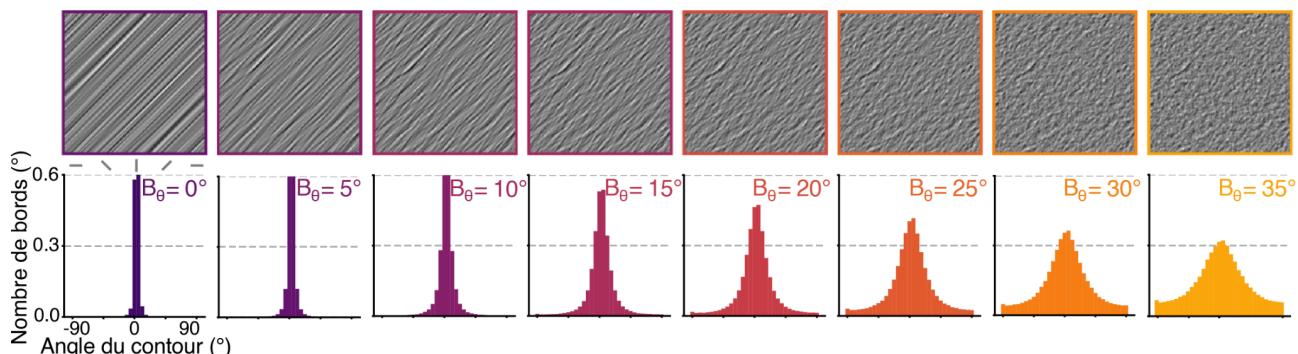
À gauche : décomposition de l'œil et du sourire de Monna Lisa en une série de contours orientés. À droite : même opération, pour une photographie des Calanques de Marseille.

Tout comme le sourire énigmatique de Monna Lisa, les images naturelles sont elles-mêmes imprégnées d'incertitude et de complexité. Prenons, par exemple, la différence flagrante entre les décompositions des orientations qui forment les contours d'un arbre et ceux qui dessinent un bateau telle qu'elle est représentée dans la figure ci-dessus. Les incertitudes différentes de ces contours mesurent des degrés d'ambiguïté fondamentalement distincts au sein d'une même image et illustrent parfaitement la variété inhérente à notre environnement visuel.

Dans un contexte moderne, ce constat prend toute son importance. Imaginez-vous être un piéton, en pleine ville, et vous apprêtant à traverser la rue à un passage sans feu. Vous fixez du regard le conducteur de la voiture la plus proche, et essayez de lire sur son visage ses intentions. Faut-il faire confiance à ses yeux qui vous ont fixés ? Ou bien prendre en compte l'incertitude de sa voiture qui a ralenti sans tout à fait freiner ? Faut-il attendre de la résolution de cette incertitude par un geste de sa main ? Autant de variables visuelles à considérer pour réduire l'incertitude quant au fait que le conducteur va s'arrêter, tout en espérant que l'air de ce dernier soit moins mystérieux que la Joconde.

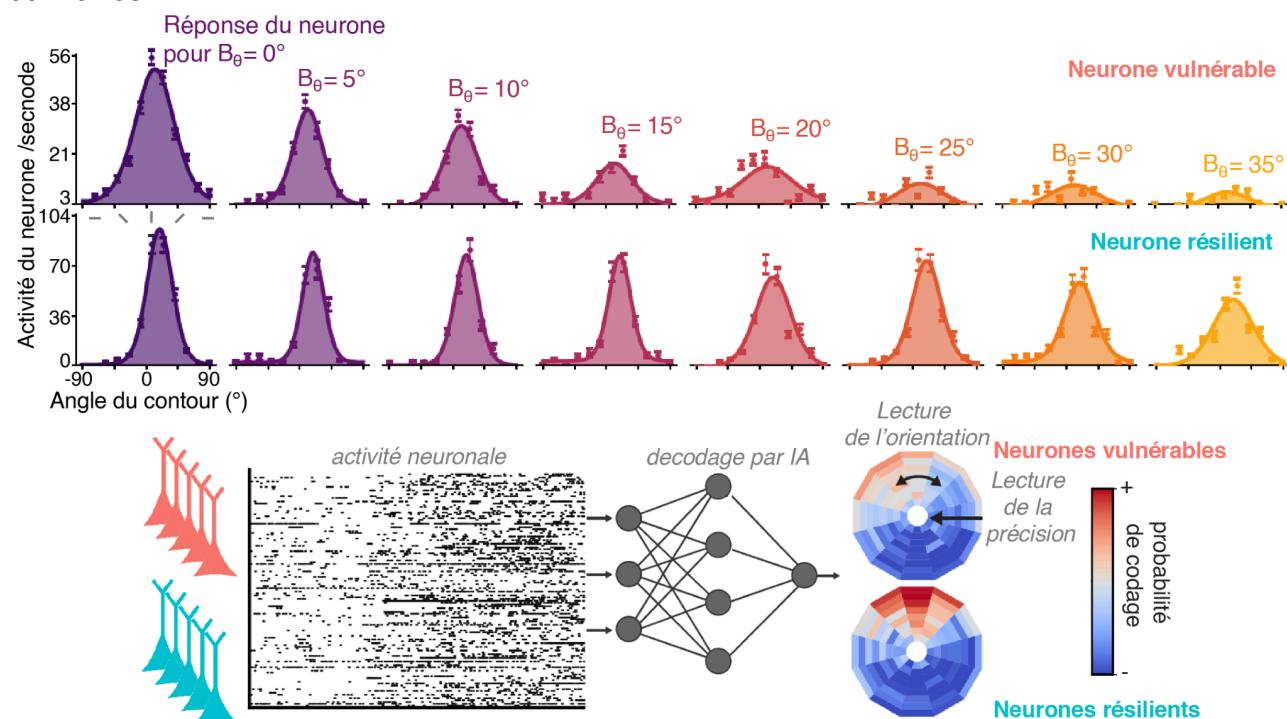
CERVEAU QUI DEVINE

Il ne fait donc aucun doute que l'incertitude est une question fondamentale en "psycho". Mais qu'en est-il du "cerveau" lui-même ? Une étude récente que nous avons menée à l'Institut des Neurosciences de la Timone (Aix-Marseille Université; CNRS) en collaboration avec l'Université de Montréal, apporte des éclaircissements sur ce sujet.



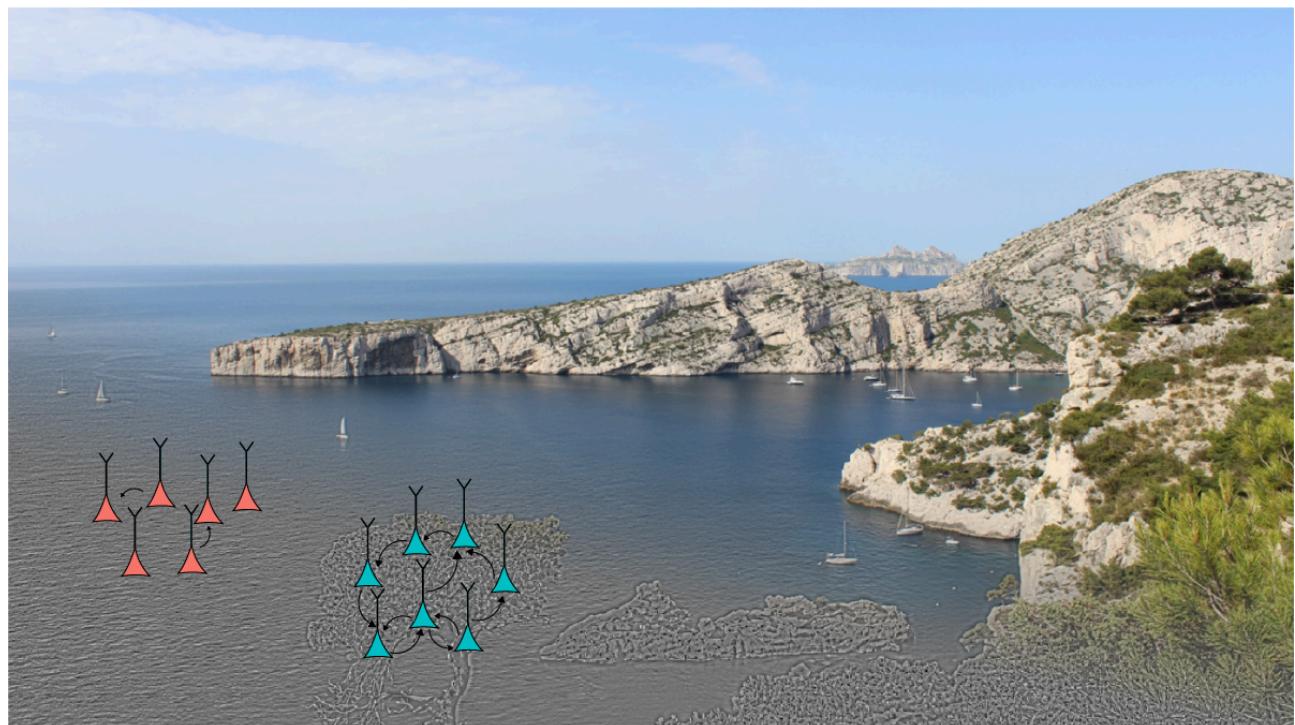
Dans notre recherche, nous avons utilisé une technique de génération d'images qui nous permet de créer des textures contrôlant différents degrés d'incertitude, allant d'une certitude absolue (les lignes parallèles à gauche) à l'ambiguïté du sfumato (la texture à droite).

En observant des neurones impliqués dans la vision, et en particulier dans la représentation de contours orientés, nous avons identifié que différents neurones n'ont pas tous la même sensibilité à l'incertitude. Par conséquent, il est possible de "lire" l'incertitude contenue dans une image, à partir de l'activité de populations neuronales. Cette "lecture", que nous avons faite grâce à l'Intelligence Artificielle, pourrait également être faite par le cerveau en utilisant ses réseaux neuronaux spécialisés. Ceci expliquerait pourquoi notre perception est si sensible à l'incertitude, et comment celle-ci pourrait nous aider à adapter nos comportements. Malgré le fait que ces neurones sensibles à l'incertitude ne représentent qu'un tiers de la population totale, ils jouent néanmoins un rôle crucial en fournissant à l'ensemble du système neuronal des données qui améliorent le traitement du signal, en y ajoutant une évaluation de sa probabilité et de son degré de confiance.



L'activité des neurones est sélective pour certaines orientations de contours, mais peut se révéler soit vulnérable, soit résiliente face à l'augmentation de l'incertitude. En utilisant l'intelligence artificielle, il est possible de déchiffrer le message neuronal, notamment celui qui encode l'incertitude des orientations dans les neurones résilients. La représentation en colonne montre comment l'IA décide l'orientation et l'incertitude d'une image, en représentant des coordonnées polaires (angle et rayon) pour représenter les différentes informations possibles.

Bien que cette découverte soit captivante, elle n'est guère surprenante. Le cerveau est en effet maître dans l'art de naviguer à travers un océan d'informations fragmentées et ambiguës pour forger, grâce à notre perception, une vision cohérente de la réalité. Nous réussissons avec aisance à reconstituer des images même lorsqu'elles sont partiellement voilées par des ombres ou des distorsions. Dans de rares cas, à l'instar du chef-d'œuvre de da Vinci, nous nous trouvons confrontés à un véritable labyrinthe d'ambiguïtés où plusieurs interprétations d'un stimulus sont possibles. Que privilégier alors ? Le sourire énigmatique de la Joconde ou son regard pénétrant qui semble nous suivre ? L'incertitude de ces indices est cruciale pour assembler les fragments de notre perception. Le cerveau, en ce sens, agit comme un sculpteur, modelant notre réalité à partir d'hypothèses fondées sur des probabilités, conformément à l'étyologie du terme "fiction" qui implique le modelage ou le façonnage. D'autant plus que ce processus est dynamique et incorpore diverses sources d'information (vision, proprioception, son, ...) pour parvenir à une perception unifiée. Cela s'applique même dans des situations complexes, comme le fait de distinguer plusieurs voix dans le brouhaha d'un dîner.



Vers les représentations statistiques jusqu'à une représentation neuronale : les neurones résilients (ici symbolisés en bleu), principalement connectés entre eux, s'opposent dans leurs modes d'interactions par rapport aux neurones vulnérables (en rouge), qui eux se connectent peu.

Ce paradigme a des répercussions importantes pour comprendre divers substrats neuropsychologiques. Des théories récentes confirmées par nos résultats suggèrent que les neurones communiquent entre eux pour échanger des informations sur l'incertitude d'une situation. Par exemple, des déséquilibres dans ce mécanisme d'intégration pourraient expliquer certaines conditions comme dans la schizophrénie, où la perception de la réalité peut être modifiée par une confiance réduite envers le monde externe, jugé trop incertain. Inversement, le traitement privilégié de l'information sensorielle observé dans le spectre des troubles autistiques pourrait être interprété par une balance différente entre un esprit certain de ses perceptions dans un monde toujours rempli d'incertitudes.

CERVEAU QUI DOUTE

Nos connaissances et nos incertitudes — qu'elles soient scientifiques, culturelles ou autres — façonnent notre vie et nos sociétés à bien des égards : elles influencent nos comportements d'achat, guident nos choix de vacances, et ont même un impact sur notre appréhension d'enjeux aussi globaux que le changement climatique. Dans ce dernier domaine, chacun de nous joue un rôle, souvent sans en prendre pleinement conscience. Reconnaître les limites de notre savoir et admettre que nous ne détenons pas toutes les réponses permet de mieux maîtriser les éléments du puzzle décisionnel dans lequel nous nous engageons quotidiennement. Ainsi, prendre conscience des mécanismes de notre cognition, qui s'appuie sur des approximations et des incertitudes plutôt que sur une logique rigide, peut nous aider à faire des choix de société plus éclairés et plus humains. Notre monde est de plus en plus influencé par des algorithmes d'intelligence artificielle qui renforcent nos biais cognitifs et cloisonnent nos opinions en des bulles imperméables à l'incertitude. Le passage de l'*Homo Sapiens*, convaincu de ses certitudes, à un *Homo Dubitans*, doué d'un doute rationnel qui reflète son intelligence naturelle, apparaît non seulement souhaitable, mais nécessaire pour faire face aux défis futurs de l'humanité réconciliée avec le vivant.