

Le jeu du cerveau et du hasard

This manuscript ([permalink](#)) was automatically generated from [laurentperrinet/2021_theconversation_hasard@08f8ae2](#) on June 18, 2021.

Authors

- **Laurent U Perrinet** · <https://laurentperrinet.github.io/>
ID [0000-0002-9536-010X](#) · [laurentperrinet](#) · [laurentperrinet](#)

Institut de Neurosciences de la Timone, CNRS / Aix-Marseille Université · Funded by ANR project "Horizontal-V1" N°ANR-17-CE37-0006.; ANR project "AgileNeuroBot" N°ANR-20-CE23-0021.

Dans la pièce de théâtre la plus célèbre de Marivaux "[Le jeu de l'amour et du hasard](#)", en jouant à inverser le rôle des personnages, le hasard est invité à guider leurs destins. De la même façon, notre cerveau est confronté dans la vie quotidienne à des incertitudes liées par exemple à une vision bruitée ou à des ambiguïtés dans la perception des objets visuels, telle que dans les illusions visuelles. Au point qu'on peut attribuer à un esprit malin le fait que la tartine tombe du côté de la confiture ou alors que la fiche du câble USB soit toujours dans le sens inverse. Le hasard s'invite ainsi comme un personnage à part entière, et on peut s'interroger du rôle que celui-ci peut jouer dans le fonctionnement de notre cerveau.

Les loteries jouent avec notre cerveau

Entre paris sportifs, jeux en ligne, carte à gratter et loterie multimillionnaire, les jeux de hasard ont toujours pris une part importante dans nos vies. Ceux-ci peuvent vite devenir addictifs et révèlent de façon étonnante la dépendance entre le hasard et des mécanismes ancestraux du fonctionnement de notre cerveau. Par exemple, nous sommes prêts dans une loterie à jouer un peu d'argent pour en gagner beaucoup, même si l'on sait pertinemment que comme il est très rare de gagner, on est assuré de perdre à presque tous les coups ! Pourquoi alors nous abandonner à ce plaisir paradoxal ? En théorie, les règles sont préétablies et avec le hasard comme seul arbitre, on peut prédire les gains à long terme et certains jeux sont plus justes que d'autres. On trouve parfois au détour d'un journal une rubrique qui conseille sur des stratégies à adopter pour maximiser ses chances de gagner. Les stratégies varient mais on peut donner quelques exemples. Pour la loterie nationale par exemple on peut trouver des guides qui répertorient les derniers numéros sortis du mois. On conseille alors par exemple de jouer à nouveau un numéro qui vient d'être tiré plusieurs fois. En suivant une "loi des séries" ce serait le signe que ces numéros sont plus "actifs" et donc doivent être joués de préférence.

Avec un minimum de recul, on peut se rendre compte que ces stratégies n'ont aucun fondement. Pour cet exemple particulier, tout est mis en œuvre à la loterie nationale pour que le tirage des boules un jour donné soit complètement indépendant de celui qui est fait le jour suivant. Même s'il est arrivé récemment qu'une loterie en Afrique du Sud donne la série des nombres consécutifs 5, 6, 7, 8 et 9, on peut justifier mathématiquement que de telles séries peuvent bien apparaître et qu'elles s'expliquent entièrement par une série de coïncidences. C'est extrêmement rare, mais d'un autre côté nécessaire car tous les tirages sont possibles, y compris les plus surprenants. Le fait qu'on les trouve surprenants révèle un biais cognitif sur notre perception du hasard, trace de croyances souvent inconscientes et qui ne correspondent pas forcément aux mécanismes mathématiques qui régissent loteries et autres "bandits manchots". De façon opportuniste, on en déduit que l'on peut effectivement tirer une stratégie de gain, une sorte de martingale infallible. Il suffit en effet simplement de connaître ces biais cognitifs et de jouer... l'inverse ! Dans le loto par exemple, beaucoup jouent leur date de naissance. On peut en déduire que sur les 49 numéros possibles, il vaut mieux jouer un nombre supérieur à 31. Comme on sait que les nombres tombent *a priori* avec la même fréquence, pour une même

probabilité de réussite, les personnes qui suivent ce biais cognitif ne les joueront pas: Par conséquent, on aura moins de gagnants et en suivant notre stratégie on peut espérer se partager un gain plus important.

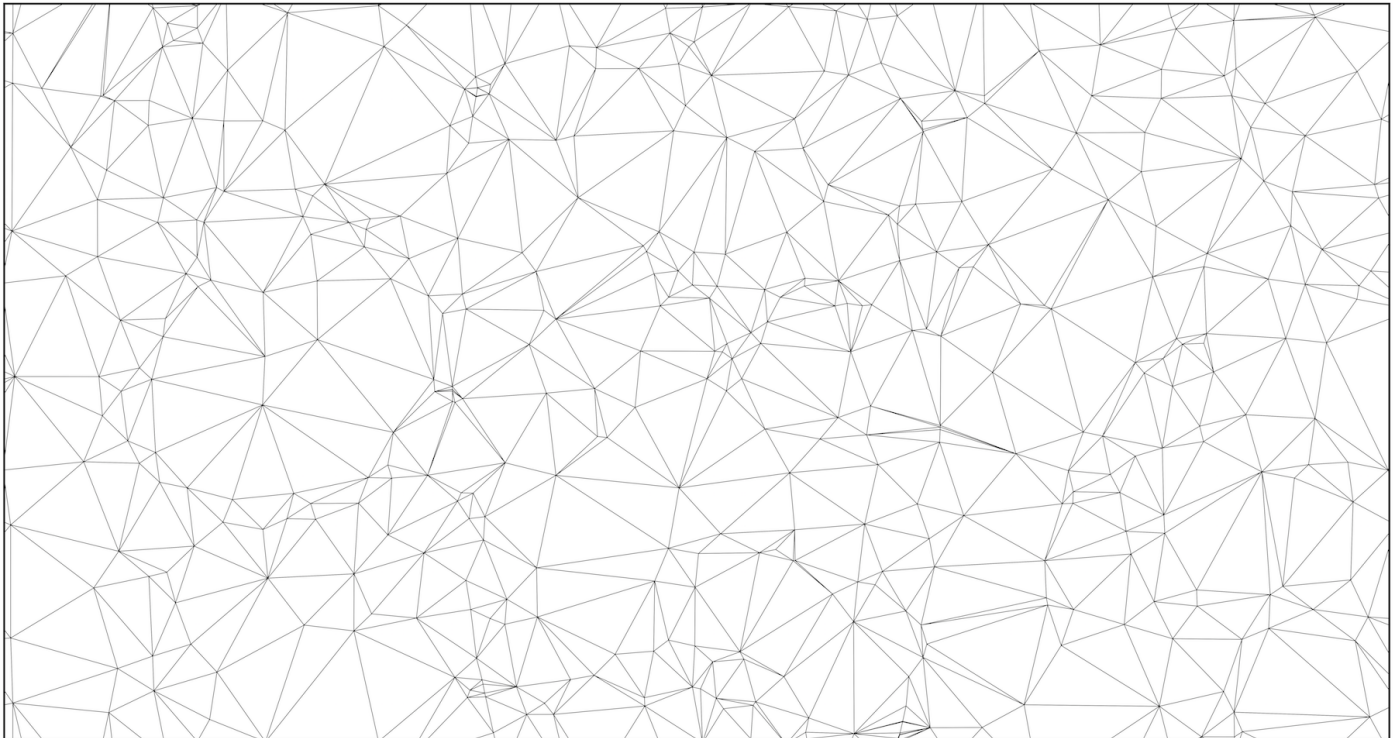


Figure 1: Notre cerveau crée des formes dans le bruit. Dans cet oeuvre d'Etienne Rey, "Trames", des points sont générés aléatoirement et reliés par triangulation, c'est-à-dire de telle façon que les segments reliant les points ne se croisent pas. Notre oeil interprète les coïncidences et regroupements pour y retrouver des structures qui pourraient être interprétées: formes régulières, volumes, alignements - même si le hasard est total.

Ainsi, comme le définissait le mathématicien Henri Poincaré ["le hasard n'est que la mesure de notre ignorance"](#) pour signifier que celui-ci peut suivre des lois et que pour chaque forme de hasard on peut s'atteler à le quantifier, par exemple en déterminant des fréquences d'occurrence. De la même façon, notre cerveau joue le rôle d'un statisticien qui avec ses propres règles dompte le hasard pour prendre des décisions pour le meilleur ou pour le pire. En donnant un exemple de stratégie de jeu, nous avons ici montré qu'on peut dans une loterie exploiter une forme d'ignorance (le biais cognitif) pour maximiser son gain. De manière générale, le système le plus informé aura plus de chance de gagner. Et ce facteur a donc sûrement opéré au cours de l'évolution pour sélectionner les meilleures stratégies d'intégration des informations que l'on peut extraire du hasard.

Construire des croyances

Dans le jeu de loto, nous avons en quelque sorte mesuré le hasard, en établissant des fréquences d'occurrence d'événements. Ainsi, on peut observer à partir d'un grand nombre d'observations qu'une boule a bien une chance sur 49 d'être sélectionnée. Depuis le calcul de ces propriétés, on va ainsi pouvoir étendre notre connaissance du hasard en établissant des croyances sur les paris futurs. Ces stratégies peuvent être étendues à des situations qui dépassent le cadre d'un simple jeu de hasard combinatoire et s'appliquer à la complexité de la vie réelle. Par exemple, comment adaptons-nous notre comportement quand le monde autour de nous change ? La situation sanitaire actuelle montre de façon criante à quel point notre environnement peut brutalement basculer d'un état à un autre, illustrant tragiquement la volatilité à laquelle nous pouvons être confrontés. Pour comprendre cette notion de volatilité, prenons le cas d'un médecin qui, parmi les patients qu'il reçoit, diagnostique d'habitude un cas de grippe sur dix. Soudain, il reçoit 5 patients sur 10 qui sont testés positivement. S'agit-il d'une coïncidence liée à la loi des séries ou peut-on maintenant être sûr d'être en présence

d'un basculement vers un épisode de grippe ? Les événements actuels prouvent qu'il n'est pas facile de prendre une décision rationnelle en période d'incertitude, et notamment de savoir quand réagir.

Heureusement, des solutions mathématiques existent qui suggèrent que notre comportement peut combiner de façon optimale les informations explorées récemment et celles exploitées dans le passé. Dans notre laboratoire, nous avons récemment montré que le cerveau répond aux changements de l'environnement sensoriel de la même façon que ce modèle mathématique optimal [1]. Pour cela, nous avons manipulé au cours du temps un biais de probabilité, celui de la direction du mouvement d'une cible visuelle sur un écran, c'est-à-dire, si la cible avait plus tendance à aller à gauche ou à droite. En introduisant des changements brusques dans ce biais de probabilité, cette expérience a permis de manipuler la volatilité de l'environnement de façon quantifiée et contrôlée. Les résultats théoriques et expérimentaux prouvent que dans cette situation réaliste où le contexte change à des moments aléatoires tout au long de l'expérience, le système nerveux peut s'adapter de façon adaptative, au fil des essais, et notamment, mieux et plus rapidement qu'un modèle classique comme la moyenne flottante (voir Figure 2). Les expériences montrent en particulier que cette adaptation s'opère au niveau sensorimoteur précoce, par des mouvements oculaires d'anticipation, mais aussi à un niveau cognitif plus élevé, par la prédiction explicite de la direction au prochain essai qui est produite par les observateurs. Ces expériences suggèrent que les humains (et de futurs systèmes artificiels) peuvent utiliser des stratégies d'adaptation beaucoup plus riches qu'on ne le supposait auparavant pour optimiser dynamiquement l'équilibre entre exploitation et exploration. Elles permettent aussi de mieux comprendre comment chaque humain s'adapte à des environnements changeants, par exemple pour porter des jugements ou planifier des réponses basées sur des informations variables dans le temps, une illustration de la richesse de nos différences inter-individuelles.

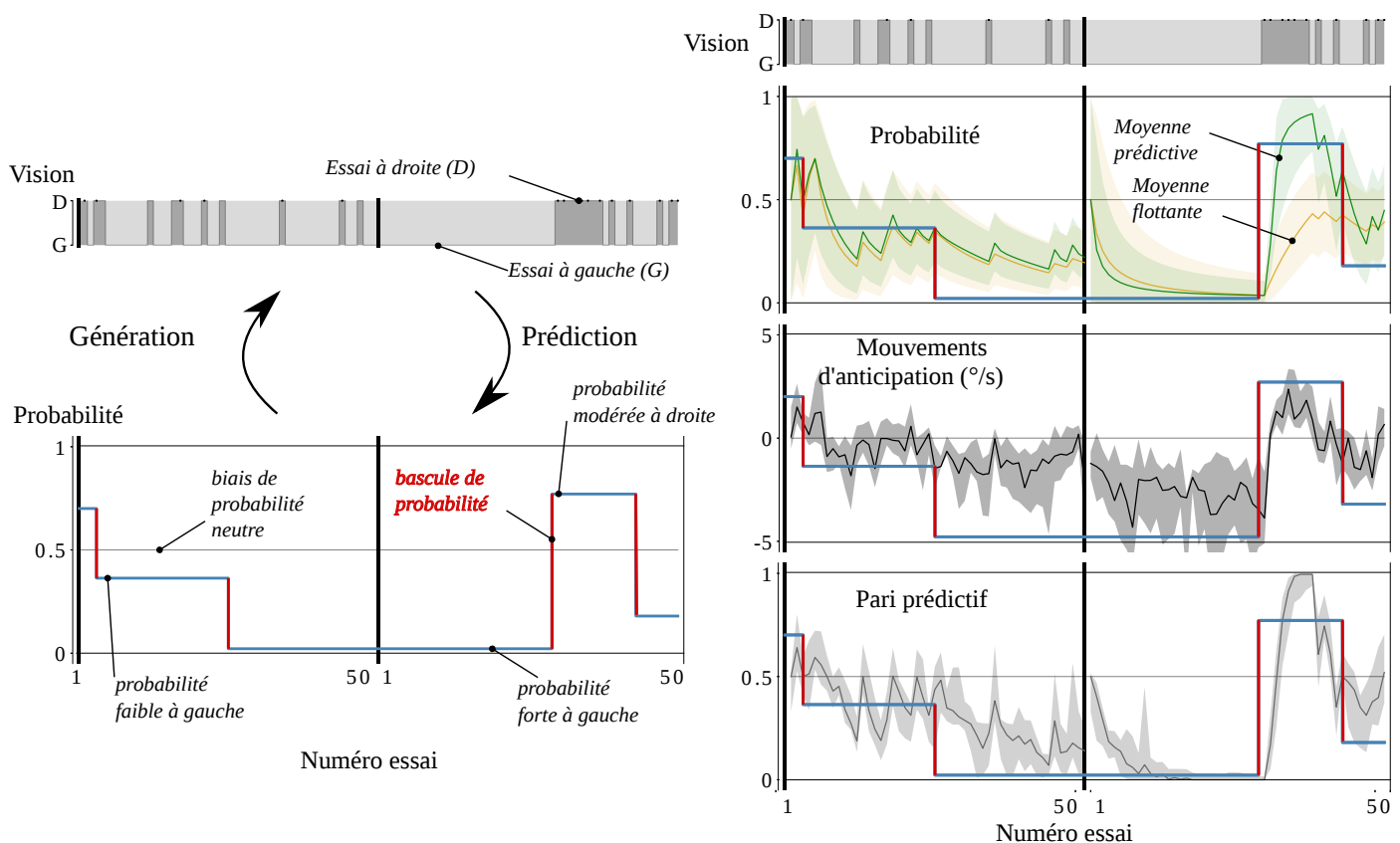


Figure 2: La réponse du cerveau aux changements de l'environnement sensoriel. La génération du mouvement d'une cible visuelle sur un écran est ici contrôlée par un biais de probabilité de la direction. Ce biais évolue lui-même au cours de l'expérience par des sauts abrupts. Ces bascules font changer de façon aléatoire le biais parmi les différents degrés de probabilité (par exemple de fortement plus probable à gauche à modérément probable à droite). À chaque essai, le biais permet alors de générer une réalisation, soit un mouvement à gauche (G) ou bien à droite (D). La cible se déplace dans des blocs de 50 essais (1 à 50) et ces réalisations sont les seules à être observées, l'évolution du biais et en particulier des bascules restant cachée à l'observateur. Par rapport à la moyenne flottante qui est classiquement

utilisée, on peut démontrer l'existence d'un modèle mathématique comme une moyenne prédictive qui permet de mieux suivre la dynamique du biais de probabilité. Grâce à ces expériences psychophysiques, on peut mettre en évidence que les observateurs suivent préférentiellement la moyenne prédictive, plutôt que la moyenne flottante, aussi bien dans des jugements explicites (pari prédictif) que, de façon plus surprenante, dans les mouvements d'anticipation des yeux qui sont effectués sans que les observateurs n'en aient conscience.

L'étude des différentes stratégies révélées dans ces comportements d'exploitation et d'exploration peuvent être un marqueur pour détecter des pathologies neuronales. En effet, la population humaine révèle une grande diversité de profils cognitifs et il est ardu de définir de façon monolithique un standard neuro-typique. En faisant un lien entre cerveau et hasard, nous pouvons exploiter cette connaissance fondamentale pour mieux comprendre cette diversité. Parmi le spectre du répertoire des comportements humains, les comportements schizophrènes se manifestent en particulier par des délusions et une certaine impulsivité. Ceci est illustré par une expérience simple: Imaginons une urne opaque qui contient 100 billes bleu et rouge dans une proportion non équilibrée: soit 90 rouges et 10 bleues ou bien 10 rouges et 90 bleues. Le but du jeu est de tirer une conclusion pour savoir quelle est la couleur majoritaire tout en prélevant le moins de billes. On observe que face à ce problème dans lequel le hasard de tirage joue le rôle principal, les patients avec des comportements schizophrènes donnent en moyenne une conclusion avant la population moyenne. Ce résultat suggère donc que ces patients ont plus tendance à croire à leurs propres hypothèses par rapport à des contrôles. Un comportement opposé semble être en jeu dans le spectre autistique suggérant des mécanismes similaires mais antagonistes. Plus précisément, il semble que le traitement du hasard est contrôlé par l'anatomie fine du cerveau et du réseau de neurones qui le définit. Entre exploitation et exploration, tout est affaire d'équilibre!

Du hasard à des croyances

Pour aller plus loin que de simples statistiques sur des fréquences d'occurrence d'événements comme celles rencontrées dans la loterie, le cerveau semble manipuler des croyances complexes sur son environnement. Mais dans ce contexte, qu'est qu'une croyance?

Une contribution majeure d'[Antoine-Augustin Cournot](#) est d'avoir démystifié une origine du hasard qui permet de mieux comprendre cette notion. Économiste, il étudiait durant le XIX^e siècle des processus d'établissement de monopoles économiques. S'interrogeant sur les aléas perturbant ses données, il fit cette proposition simple. Si au lieu d'être un processus externe comme peut l'être la gravité, n'est-ce pas l'ignorance de l'observateur qui crée cette impression de hasard ? Au début d'un jeu de mikado, les tiges en bois suivent des trajectoires bien déterministes, mais c'est l'imprécision sur les conditions initiales qui rend la position finale imprédictible. Dans cette perspective, le hasard émerge de processus bien déterministes mais qui interagissent indépendamment.

Au lieu d'être passif vis-à-vis du hasard, notre cerveau a évolué pour mesurer le degré de cette ignorance, et ainsi pouvoir intégrer des croyances en fonction de leurs précisions. Toutefois, les mécanismes qui sont en jeu sont encore mal connus et bien éloignés de l'analogie que l'on peut faire entre intelligence biologique et l'intelligence artificielle, celle que l'on construit dans les automates ou robots, ou encore plus récemment avec les ordinateurs ou l'apprentissage "profond". De plus, en attendant l'avènement d'une nouvelle génération d'ordinateurs quantiques, les ordinateurs classiques sont actuellement déterministes par construction et il n'y a pas de place pour le hasard. À l'opposé, notre cerveau utilise le hasard, de telle sorte que des découvertes scientifiques peuvent être dues au hasard, ce qu'on appelle la "sérendipité".

Au niveau théorique, une branche entière des mathématiques, la théorie des probabilités, considère les différentes manières de mesurer un croyance. Par exemple, une mesure physique comme la luminance d'une scène visuelle est donnée par sa valeur moyenne mais aussi par sa dispersion autour de cette valeur moyenne. Cela permet en particulier d'affiner les algorithmes classiques

d'intelligence artificielle car cela permet d'intégrer plusieurs croyances de sources différentes, et surtout avec des précisions différentes. Est-ce qu'une telle théorie pourrait être à l'œuvre dans le cerveau ?

Un processus dynamique

Récemment, et nous avons pu directement interroger cette hypothèse dans des expériences de neurophysiologie [2]. Nous nous sommes concentrés sur le cortex visuel primaire qui représente préférentiellement des orientations dans les images visuelles, comme il a été mis en évidence en montrant des réseaux réguliers de lignes géométriques parallèles [3]. En complément de ces expériences fondatrices, nous avons synthétisé des stimulations visuelles dans laquelle nous manipulons explicitement la précision de cette orientation (voir Figure 3). Ainsi nous ajoutons aux images une nouvelle dimension qui représente le fait qu'un objet visuel peut être plus ou moins orienté.

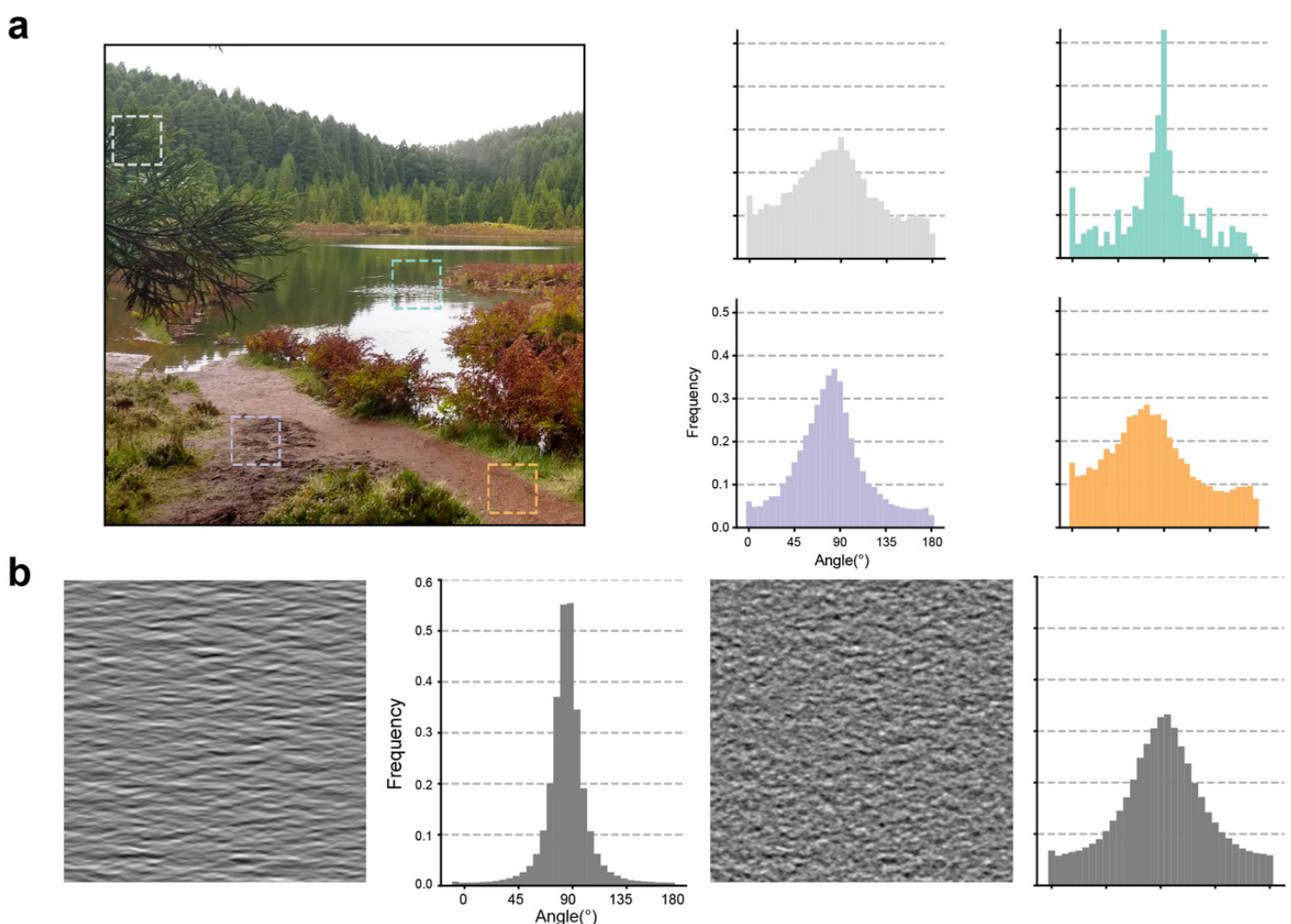


Figure 3: L'orientation et sa précision dans une image naturelle. Différentes zones de cette image naturelle (© Hugo Ladret) peuvent correspondre à différentes orientations préférées, comme indiqué dans les histogrammes regroupant le pourcentage d'occurrence des différents angles détectés dans chaque zone. Une autre caractéristique importante est la précision de cette information qui est soit large pour des textures (la terre, le feuillage) ou plus précise (les reflets dans l'eau). On peut reproduire cette richesse en utilisant des images synthétiques de textures avec une précision plus ou moins fine (à gauche) ou large (à droite).

Cette nouvelle dimension permet par exemple de distinguer ce qui est dessiné par le contour net d'un objet visuel par rapport à la texture d'un objet pour laquelle la précision est plus large. Nos expériences ont révélé que si on réplique bien les expériences classiques et que l'on a bien affaire à une représentation de l'orientation dans le cortex visuel primaire, on observe aussi une représentation de la précision dans l'activité de la population neurale. Nous avons été surpris

d'observer que les neurones de cette aire corticale communiquent entre eux en fonction de cette valeur de précision. Pour comprendre ce mécanisme dynamique, on peut ainsi imaginer que comme un peintre ajustant une touche de peinture sur son œuvre, la représentation de notre environnement visuel se construit progressivement, en fonction des informations qui arrivent dans les aires visuelles. Ces informations sont en toute logique intégrées avec des poids qui sont modulés par la précision de chaque élément de l'image. De nouvelles expériences sont nécessaires pour mieux comprendre ces mécanismes et notamment pour savoir comment nous arrivons à les intégrer dynamiquement dans le flux incessant d'informations auxquelles notre système sensoriel est confronté.

De l'utilité du hasard

Pour conclure, nous avons invoqué le hasard pour mieux comprendre le cerveau. Même s'il peut être une source de confusion, c'est un mécanisme face auquel le cerveau ne reste pas passif, et il constitue une notion centrale pour donner du sens aux mécanismes complexes qui ont lieu dans le cerveau.

Ainsi, une meilleure connaissance du hasard permet l'intégration optimale des "bits" d'information distribués dans notre cerveau, conduisant vers une conscience unifiée du monde qui nous environne. À ce titre, il semble prometteur de rajouter ces connaissances aux futurs algorithmes d'intelligence artificiels. En écho à la comédie de Marivaux, espérons que le hasard permettra d'unir neurosciences et informatique pour mieux comprendre l'intelligence.

References

1. Humans adapt their anticipatory eye movements to the volatility of visual motion properties

Chloé Pasturel, Anna Montagnini, Laurent Udo Perrinet

PLOS Computational Biology (2020-04-13) <https://doi.org/gjppqzz>

DOI: [10.1371/journal.pcbi.1007438](https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007438) · PMID: [32282790](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32282790/) · PMCID: [PMC7179935](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC7179935/)

2. Dynamical processing of orientation precision in the primary visual cortex

Hugo J. Ladret, Nelson Cortes, Lamyae Ikan, Frédéric Chavane, Christian Casanova, Laurent U. Perrinet

Cold Spring Harbor Laboratory (2021-05-28) <https://doi.org/gjppqzx>

DOI: [10.1101/2021.03.30.437692](https://doi.org/10.1101/2021.03.30.437692)

3. Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex

D. H. Hubel, T. N. Wiesel

The Journal of Physiology (1959-10-01) <https://doi.org/gcjp95>

DOI: [10.1113/jphysiol.1959.sp006308](https://doi.org/10.1113/jphysiol.1959.sp006308) · PMID: [14403679](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14403679/) · PMCID: [PMC1363130](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC1363130/)