


Le jeu du cerveau et du hasard

This manuscript ([permalink](#)) was automatically generated from [laurentperrinet/2021_theconversation_hasard@6b608c7](#) on April 12, 2021.

Authors

- **Laurent U Perrinet** · <https://laurentperrinet.github.io/>
 [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.

Abstract

Dans la pièce de théâtre la plus célèbre de Marivaux "[Le jeu de l'amour et du hasard](#)", on invite le hasard à guider le destin des personnages, s'invitant ainsi comme un personnage à part entière. De la même façon, on ne peut s'empêcher dans la vie quotidienne d'attribuer à un esprit malin le fait que la tartine tombe du côté de la confiture ou alors que la prise USB n'est pas dans le bon sens que le cable. Est-ce que le hasard est d'une nature différente du reste des processus qui gouvernent les lois de la Nature ? Est-ce que le hasard joue un rôle jusque dans le fonctionnement de notre cerveau?

Les jeux de loterie

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 hasard et mécanismes ancestraux du fonctionnement de notre cerveau. En effet, nous sommes prêts dans une loterie à risquer de perdre un peu pour gagner beaucoup alors qu'on sait pertinemment que si 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. Ainsi, 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 oeuvre à la loterie nationale pour que le tirage des boules un jour donné soit complètement indépendant de celui qui est fait le jour suivant. On peut aussi montrer mathématiquement que de telles séries peuvent bien apparaître et qu'elle s'explique entièrement par une série de coïncidences. Il est arrivé récemment qu'une loterie en Afrique du Sud donne la série des nombres consécutifs de cinq à neuf! C'est extrêmement rare, mais d'un autre côté nécessaire car tous les tirages sont possibles, y compris les plus surprenants ! Ces stratégies de jeu relèvent plus des biais que l'on dit cognitifs. En effet ils révèlent des croyances souvent inconscientes et qui ne correspondent pas forcément aux mécanismes mathématiques qui régissent loteries et autres "bandits manchots". Ainsi dans la loterie classique pour laquelle on tire 6 numéros parmi 49, la fréquence de tirage d'un numero donné à la première boule est d'une sur 49. Paradoxalement on en déduit que l'on peut effectivement tirer une stratégie de gain, une sorte de martingale infaillible. Il suffit en effet simplement de connaître les biais cognitifs et de jouer... l'inverse ! Dans le loto par exemple, beaucoup jouent leur date de naissance. On peut en déduire qu'il vaut mieux jouer un nombre supérieur à 31. Comme on sait que les nombres tombent avec la même fréquence, pour une même probabilité de réussite on aura moins de gagnants et donc on se partagera un gain plus important.

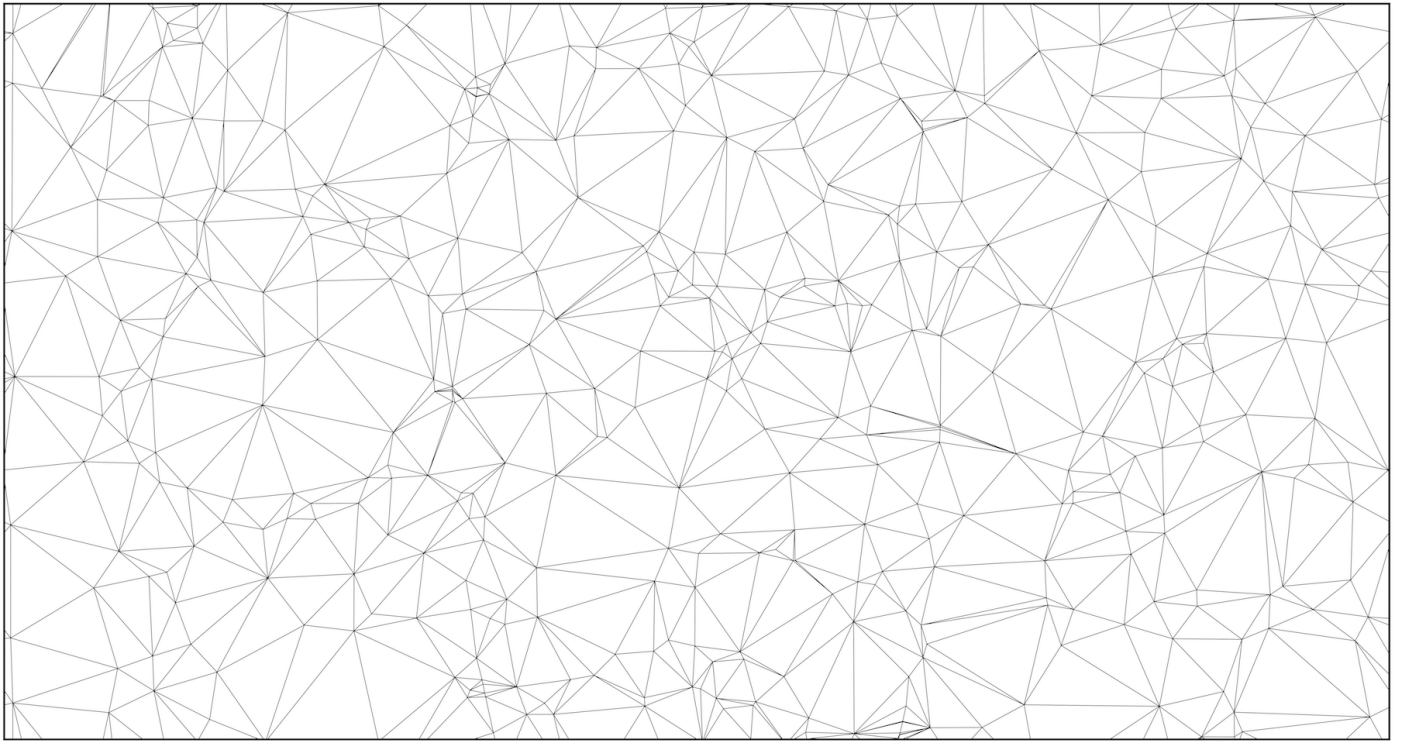


Figure 1: Notre cerveau crée des formes dans le bruit. Dans cet oeuvre d'Etienne Rey, "Trames", des points sont générés aléatoirement et reliés suivant une triangulation. Notre oeil interprète les coïncidences et regroupements pour y retrouver des structures qui pourraient être interprétées: formes régulières, 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 l'on peut 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 prend des décisions pour le meilleur pour le pire. Nous avons ici montré qu'on peut dans une loterie exploiter une forme d'ignorance pour maximiser son gain. Ainsi, le système le plus informé a plus de chance de gagner - une telle pression a donc sûrement opéré au cours de l'évolution pour sélectionner les meilleures stratégies d'intégration des informations tirées du hasard.

Construire des croyances

Dans le jeu de loto, nous avons en quelque sorte mesuré le hasard, en établissant des fréquences d'occurrences d'événements. Ainsi, on peut établir que le tirage d'une boule a une chance sur 49 d'arriver. Depuis le calcul de ces propriétés, on va ainsi pouvoir étendre notre connaissance du hasard en établissant des croyances sur les paris futurs. On peut par exemple dire qu'il y a une croyance de 18/49 que la boule tombe sur un chiffre supérieur à 31. Ce genre de paris peut être étendu à des situations qui dépassent le cadre de simple jeu de hasard et qui s'applique à la complexité de la vie réelle. Notamment quand le tirage ne sont pas indépendants mais peut changer en fonction du contexte.

En effet, comment adaptons-nous notre comportement quand le monde autour de nous change ? La situation sanitaire actuelle montre 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 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.

Cependant, 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 [1]. Pour cela, nous avons manipulé au cours du temps le biais de probabilité 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 les biais de probabilités, cette expérience permet 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 une évaluation explicite de la direction au prochain essai. 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. Elles permettent 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.

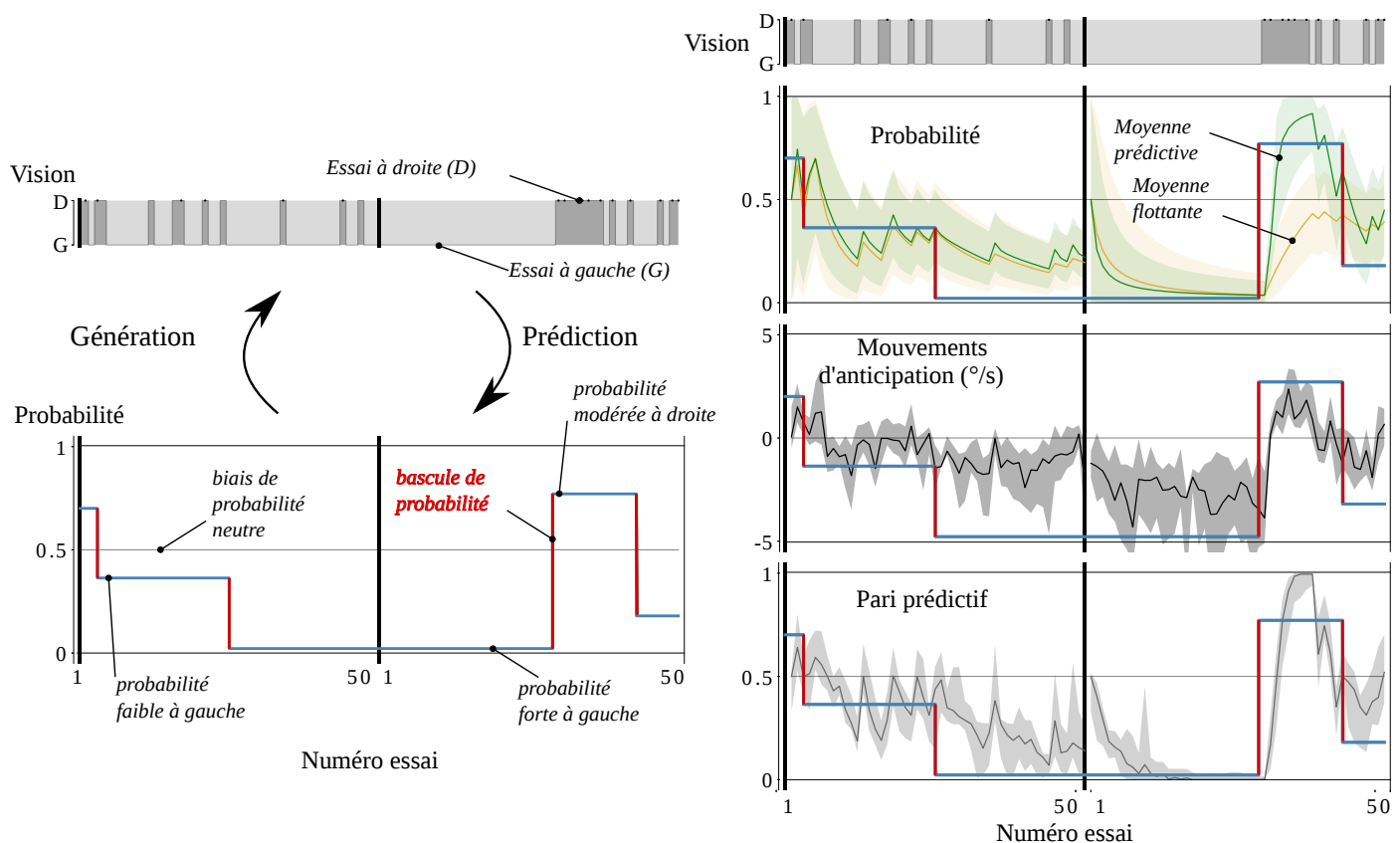


Figure 2: La réponse du cerveau aux changements de l'environnement sensoriel. La génération du mouvement d'une cible visuelle sur un écran est ici contrôlée par un biais de probabilité de la direction. Ce biais évolue lui-même au cours de l'expérience par des sauts abrupts. Ces bascules font changer 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 ait conscience.

L'étude de différentes stratégies qui sont révélées par ce genre de comportements d'exploitation et d'exploration peuvent être un marqueur pour détecter des pathologies neuronales. En effet, la population humaine révèle une grande diversité des profils cognitifs et il est ardue de définir un standard neuro-typique unique. En faisant ainsi un lien entre cerveau et hasard, nous pouvons maintenant exploiter cette connaissance fondamentale pour mieux comprendre cette diversité. Dans tout le spectre du répertoire des comportements humains les comportements schizophrènes se manifestent en particulier par des délusions et une certaine impulsivité. Ce comportement est illustré par une expérience simple: Prenons une urne opaque qui contient 100 billes bleu et rouge dans une proportion non équilibrée par exemple 90 rouges et 10 bleus ou 10 rouges et 90 plus. Le but du jeu est de tirer une conclusion pour savoir quelle est la couleur majoritaire en prélevant le moins de billes possible. 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. Tout est affaire d'équilibre!

Un processus dynamique

Bien plus que de simples statistiques sur des fréquences d'occurrence d'événements, le cerveau semble donc manipuler des croyances complexes sur son environnement présent et futur. Mais en pratique, les mécanismes qui sont en jeu sont encore mal connus et bien éloignés de l'analogie que l'on a pu faire entre intelligence et automates ou robots, ou encore plus récemment avec les ordinateurs et ce que l'on appelle l'intelligence artificielle.

D'un côté, un ordinateur est par construction déterministe et il n'y a pas de place pour le hasard. De l'autre, les découvertes scientifiques peuvent être dûes au hasard - ce qu'on appelle la sérendipité et on va jusqu'à attribuer au hasard une personnalité. On jure contre ce qui a fait que la tartine tombe du côté de la confiture ou que la prise USB est systématiquement dans le mauvais sens. Une contribution d'Antoine Augustin Cournot et d'avoir démystifié cette origine du hasard. Économiste, ils étudiait à la fin du XIXe siècle des processus d'établissement de monopoles économique. S'interrogeant sur les aléas qui perturbent les courbes économétriques qu'ils étudiait, il fit cette proposition simple. Le hasard n'est pas un processus autonome, mais il émerge de processus bien déterministes mais qui interagissent indépendamment. Dans cette vision, le hasard n'existe pas mais c'est l'ignorance sur l'origine des sources qui crée le hasard, résonnant ainsi de façon singulière avec la définition donnée par Henri Poincaré. Une branche entière des mathématiques étudie ces probabilités et permet de construire des algorithmes qui étendent les algorithmes classiques d'intelligence artificielle en incluant cette mesure de la précision des croyances aux différents niveaux du traitement de l'information. Est-ce que ce genre de théorie est à l'œuvre dans le cerveau ?

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 parallèles. En contraste avec 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 une nouvelle dimension qui représente le fait qu'un objet visuel peut être plus ou moins orienté.

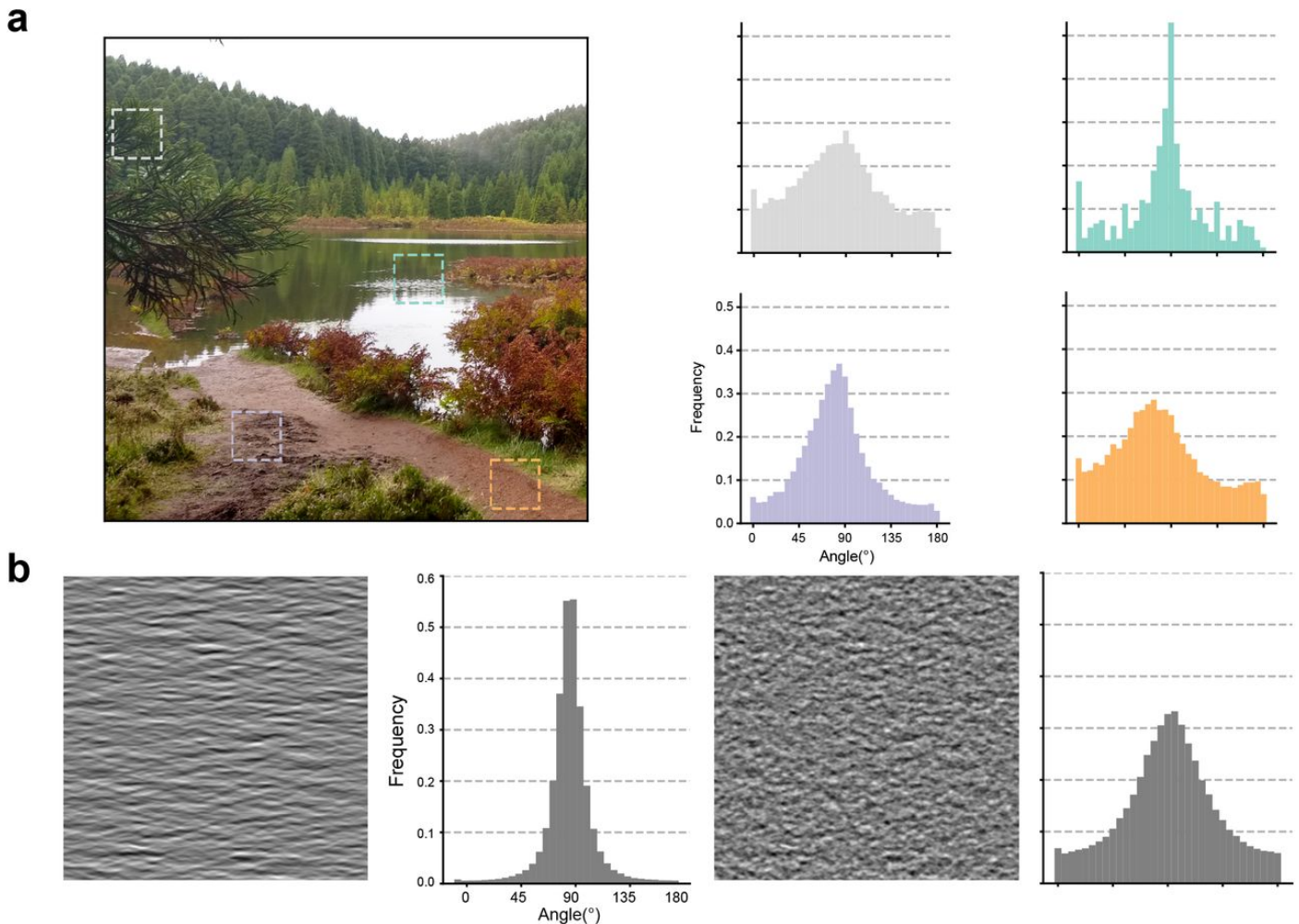


Figure 3: L'orientation et sa précision dans une image naturelle. Différentes zones de cette image naturelle (© Hugo Ladret) peuvent correspondre à différentes orientations préférées, comme indiqué dans les histogrammes regroupant les pourcentage d'énergie pour différents angles en fonction des différentes zones. 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 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. 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 proportionnels à 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 si on peut en déduire que le hasard n'existe pas comme un processus physique dans la Nature, il constitue une notion essentielle pour donner du sens à des mécanismes complexes qui ont lieu dans le cerveau. Ainsi, il donne des poids différents à différentes croyances et semble être une composante essentielle

de l'intégration de ces "bits" d'information dans notre cerveau. Il sera essentiel de rajouter ces connaissances neuro-scientifiques aux futurs algorithmes d'intelligence artificiels. En echo à la comédie de Marivaux, espérons que le hasard permettra d'allier biologie 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 (2021-03-30) <https://doi.org/gjppqzx>

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