

Introduction aux méthodes des sciences cognitives : l'exemple de la prise de décision

Dans une tâche de rotation mentale, le temps de décision est :

- Indépendant du fait que la rotation ait lieu en 2D ou en 3D
- Proportionnel à l'angle de rotation qui sépare les deux figures comparées

L'électro- et la magnétoencéphalographie permettent de mesurer :

- L'activité cérébrale à l'échelle de la milliseconde
- Les courants électriques dans les neurones sous-jacents

L'IRM est une méthode versatile qui permet de mesurer des choses aussi diverses que :

- L'anatomie du cerveau à l'échelle de moins d'un millimètre
- L'état d'activité du cortex et des régions sous-corticales
- L'organisation des connexions cérébrales
- La concentration des molécules telles que le glucose ou le lithium

L'IRM fonctionnelle mesure :

- Le signal BOLD lié au débit sanguin cérébral
- Indirectement l'activité neuronale avec un délai de quelques secondes

Les éléments les plus importants de la théorie de la détection du signal sont :

- Le cerveau reçoit des données bruitées
- Les données suivent des distributions internes dont la variance définit la précision des réponses.
- Le sujet applique aux données un critère de décision fixe, dont la position définit le biais de réponse.

Les opérations mentales s'effectuent dans un temps :

- Variable selon la difficulté de la décision à prendre
- Plutôt lent, il faut quelques centaines de millisecondes pour prendre une décision

Les singes et les humains prennent leurs décisions sensorielles :

- De façon très semblable par accumulation d'évidence
- Sur une base probabiliste en choisissant la réponse la plus probable étant données les entrées sensorielles

Les trois niveaux d'analyse d'une opération mentale, selon David Marr, sont :

- Computation, Algorithm and Implementation

Lors d'une prise de décision simple, par exemple lorsque nous devons décider lequel des deux nombres est le plus grand, la variabilité des temps de réponse s'explique ainsi :

- Le cerveau accumule des informations bruitées jusqu'à atteindre un seuil
- Chaque décision correspond à une marche aléatoire

Qui a dit « La psychologie est la science de la vie mentale ? »

- Le philosophe et psychologue William James

Le rôle des statistiques dans la perception, la prise de décision et l'apprentissage

Qu'appelle-t-on « goulot d'étranglement central » en psychologie cognitive ?

- Une étape de la prise de décision pendant laquelle nous ne pouvons faire qu'une seule chose à la fois
- Une étape de traitement de l'information qui s'exécute de façon sérielle

Pendant une prise de décision sensorielle, seule une étape contribue massivement à la variabilité des temps de réponse :

- L'étape de décision de la réponse à exécuter

De nombreuses illusions visuelles peuvent s'expliquer par

- L'hypothèse que le cerveau calcule la probabilité de toutes les interprétations et choisit la plus vraisemblable
- La théorie de l'inférence bayésienne

Si x sont les données disponibles, et θ l'hypothèse considérée, la règle de Bayes s'écrit

- $p(\theta|x)$ est proportionnelle à $p(x|\theta)p(\theta)$

Dans le cadre bayésien, si x sont les données disponibles, et θ les différentes hypothèses considérées,

- $p(\theta|x)$ est la distribution de probabilité a posteriori de θ sachant x
- $p(x|\theta)$ est la vraisemblance de chaque hypothèse θ
- $p(\theta)$ est la distribution de probabilité a priori de chaque hypothèse θ

Lorsque le cerveau intègre deux indices probabilistes, par exemple un indice visuel et un indice tactile sur la taille d'un objet perçu, la théorie bayésienne prédit que...

- Ce que nous percevons correspond à une moyenne pondérée des valeurs suggérées par chaque indice
- Le cerveau pondère les observations en fonction la fiabilité de chaque indice, qui est l'inverse de la variance
- La fiabilité finale est la somme des fiabilités de chaque indice

Le célèbre « rasoir d'Ockham » peut être formulé de plusieurs manières :

- Choisissons toujours l'hypothèse qui a la plus grande probabilité a posteriori, calculée selon la règle de Bayes
- Toutes choses égales par ailleurs, les explications simples doivent être privilégiées aux plus complexes
- Dans un raisonnement scientifique, il ne faut pas multiplier les hypothèses plus que nécessaire

A quel âge a-t-on démontré que les enfants commencent à raisonner avec les probabilités :

- Vers douze mois dans l'expérience de Teglas et al. (2007)

Quel(s) type(s) de raisonnement bayésien sont accessibles aux enfants de moins d'un an ?

- Un raisonnement hiérarchique : en voyant des tirages, ils parviennent parfois à déduire si c'est une personne qui effectue le tirage, et quelle est son intention
- Un raisonnement « en marche avant » : voyant une urne, ils en déduisent la probabilité qu'un objet en soit tiré
- Un raisonnement « en marche arrière » : voyant plusieurs tirages, ils en déduisent le contenu probable d'une urne

Dans l'apprentissage des mots, on pense que, dès les premiers mois de vie, les enfants utilisent des inférences probabilistes pour

- Calculer la probabilité d'une transition entre deux syllabes données
- Calculer la probabilité que ce mot soit un nom propre, un nom commun, ou un terme générique tel qu'un nom de catégorie
- Calculer la probabilité qu'une série de syllabes constitue un mot de la langue à apprendre

L'analyse contemporaine du problème de la conscience

René Descartes était à la fois...

- Un scientifique à l'origine d'avancées importantes en mathématique et en physique
- Un des premiers à tenter de comprendre comment le cerveau pouvait produire les sensations, les mouvements, la mémoire...
- Un philosophe dualiste, qui estimait que l'âme et le corps étaient formés de substances bien distinctes

Comme l'avait déjà imaginé Hermann von Helmholtz, et comme le supposent les modèles contemporains du « cerveau Bayésien », le traitement inconscient...

- Considère en parallèle de multiples interprétations possibles de la scène visuelle.
- Permet au cerveau de réaliser des inférences statistiques sophistiquées

Parmi les paradigmes expérimentaux suivants, lesquels permettent de manipuler le degré de conscience d'une image visuelle ?

- Le clignement de l'attention
- La rivalité binoculaire
- Le masquage

Quel est le statut de l'introspection dans les recherches actuelles sur la conscience ?

- Un moyen important de vérifier, par le rapport verbal, si un participant a pris conscience d'une information ou pas
- Une méthode certes subjective, mais qui définit le phénomène même que l'on souhaite étudier

Au cours des étapes successives de traitement d'un stimulus visuel...

- Seule la partie la plus tardive (au-delà de 300 millisecondes) corrèle avec la prise de conscience
- Les premières 250 millisecondes environ s'exécutent même en l'absence de toute conscience du stimulus

Chez le singe, la perception consciente est directement corrélée avec les décharges neuronales dans...

- Le cortex préfrontal

Pouvez-vous choisir, parmi les propriétés suivantes, lesquels sont associées à l'espace de travail neuronal global :

- Activité spontanée incessante qui génère le flux de conscience
- Embrasement non-linéaire en réponse à des stimuli extérieurs
- Impossibilité d'exécuter plusieurs opérations mentales en même temps

Hypothèses plausibles pour des opérations conscientes, et que le cerveau ne peut pas effectuer inconsciemment

- Réfléchir pendant plusieurs secondes
- Superviser et surveiller les opérations mentales, repérer les erreurs

La négativité liée à l'erreur (Error-related negativity ou ERN) ...

- Survient quelques dizaines de millisecondes seulement après une mauvaise réponse
- Provient probablement du cortex cingulaire antérieur

Le décodage multivarié des signaux EEG et MEG permet de

- Déterminer à quel moment un code cortical s'active dans le cerveau
- Décoder plusieurs codes distincts en même temps, et l'ordre dans lequel ils sont calculés

Mécanismes cérébraux des opérations mathématiques

Si de nombreuses espèces animales possèdent un « sens du nombre », c'est parce que

- Au cours de leur évolution, il leur était utile d'évaluer le nombre de congénères
- Au cours de leur évolution, il leur était utile d'évaluer la quantité de nourriture

Dès quelques jours de vie, les bébés humains sont capables de

- Comprendre la correspondance entre un nombre de sons et un nombre d'objets visuels
- Discriminer des nombres, du moment qu'ils soient suffisamment différents

Dans le cortex préfrontal du singe macaque, on trouve des neurones...

- Accordés à un nombre approximatif d'objets visuels
- Dont la sensibilité au nombre devient de moins en moins précise à mesure que le nombre devient grand
- Dont les courbes d'accord sont gaussiennes sur une échelle logarithmique

La méthode de décodage multivarié, appliquée à l'IRM, consiste à

- Décoder une variable psychologique (par exemple le nombre) à partir de la topographie de l'activité cérébrale

Quelles sont les conséquences de l'effet de distance dans la comparaison des nombres ?

- Plus les nombres sont proches, plus il est difficile de décider lequel est le plus grand
- L'activité du cortex pariétal augmente à mesure que les nombres se rapprochent
- Le temps de réponse augmente à mesure que la distance entre les nombres diminue

Même des personnes sans aucune éducation peuvent

- Décider lequel de deux nombres est le plus grand, même sans savoir les nommer
- Placer des nombres sur une ligne en fonction de leur grandeur

Quand un mathématicien réfléchit à une question de mathématique...

- L'activité du cerveau est similaire, qu'il s'agisse d'analyse, d'algèbre, de topologie ou de géométrie
- Le cortex pariétal s'active tout au long de la période de réflexion
- Il existe plusieurs régions du cerveau qui s'activent à chaque fois que l'on pense à un nombre

Les régions du cerveau qui s'activent pendant la réflexion mathématique, chez les grands mathématiciens, s'activent aussi pour

- Les unités de mesure comme kilomètre, et d'autres mots comme "double", "maximum", ou "diamètre"
- Les nombres et les calculs élémentaires comme $2+2$

Une lésion du cerveau peut entraîner...

- Une acalculie chez l'adulte, c'est-à-dire une incapacité de calculer chez une personne qui, auparavant, savait le faire
- Une dyscalculie chez l'enfant, c'est-à-dire une difficulté à apprendre les nombres et l'arithmétique

Mécanismes cérébraux de l'acquisition de la lecture

Lecture et langage parlé :

- La vitesse de traitement de l'information est la même pour la lecture et le langage parlé.
- Néanmoins des points d'entrée distincts, des zones de traitements différentes.
- Zone occipitale de la vision pour la lecture écrite, zone beaucoup plus centrale pour le langage parlé, avec un vaste réseau commun pour langage écrit et parlé.
- L'apprentissage de la lecture modifie également les aires auditives : la conscience des phonèmes émerge avec l'apprentissage de la lecture. E.G. incapacité de disséquer les mots avant d'apprendre à lire.

Propriétés remarquables :

- Invariance pour la position, la taille et la casse
- Amplification de différences petites mais pertinentes i.e. deux et doux
- Sensibilité à l'agencement i.e. reflet et trèfle – pas d'effet d'amorçage. On considère vraiment le mot comme une chaîne de lettres et non un ensemble de lettres.
- Régularités orthographiques supériorité lexicale dans certains cas

Aire de la lecture :

- L'Homme recycle l'aire de reconnaissance visuelle (qui est primitive, commune et acquise depuis des milliers d'années) pour l'apprentissage de la lecture.
- Quand on apprend à lire on réorganise ses aires cérébrales. En observant notre capacité à reconnaître les visages on est capable de prédire notre reconnaissance des chaînes de lettres.
- Déplacement des compétences entre reconnaissance des chaînes de lettres et reconnaissance des visages.
- Mieux les enfants savent lire et plus la zone de reconnaissance de visage se déplace on observe donc une compétition mais elle n'est pas directe.

Apprentissage de la lecture à l'âge adulte :

- L'apprentissage à l'âge adulte est plus difficile car il reste moins de zones non spécialisées.
- Développement lent de la spécialisation et non focalisée sur une zone du cerveau

Spécialisation des régions cérébrales :

- L'apprentissage de la lecture se fait par l'agrandissement d'une région qui n'est pas très spécialisée dans le cortex visuel.
- Au départ certaines régions ne sont pas très spécialisées mais selon le parcours d'apprentissage de la lecture ces zones se spécialisent en reconnaissance de visage ou en reconnaissance de chaînes de lettres.
- Phénomène de recyclage neuronal : des enfants écrivent en miroir. Cette aire du cerveau se reconvertit pour l'apprentissage des mathématiques.

Les grands principes de l'apprentissage

Plasticité et stabilité des circuits cérébraux

- Le cerveau est organisé dès la naissance. Tous les grands faisceaux de connexions semblent en place et de nombreux réseaux spécialisés sont déjà en activité.
- Le bébé possède des noyaux de connaissance pour les nombres, l'espace, les objets, les personnes.
- Les cartes visuelles peuvent se réorganiser mais de manière limitée.

Qu'est-ce que la plasticité cérébrale ?

- Elle a lieu au niveau des points de contact, les synapses : elles peuvent se rétracter, se développer pour renforcer telle ou telle connexion
- Plusieurs millions de synapses se créent chaque seconde chez l'enfant ; un enfant de deux ans a le double de synapses qu'un adulte
- Les arborisations dendritiques et axonales vont se développer sur le plus long terme
- Les synapses utiles sont conservées et se multiplient, tandis que les autres sont éliminées
- Les neurones s'entourent progressivement d'un véritable filet qui empêche de nouvelles synapses de se former

Algorithme d'apprentissage

- Il dispose d'un jeu d'hypothèses hiérarchiques, qu'il projette sur le monde extérieur
- Il sélectionne ces hypothèses ou schémas mentaux en fonction de leur plausibilité au vu des expériences qu'il fait et dont il compile les statistiques

Pilier d'apprentissage

- L'attention : filtre sélectif qui détermine ce que nous percevons
- L'engagement actif : curiosité et motivation
- Le retour sur erreur : importance de se tester et se corriger « Rendre les conditions d'apprentissage plus difficiles, ce qui oblige les étudiants à un surcroît d'engagement et d'effort cognitif conduit souvent à une meilleure rétention » (Zaromb, Karpicke, Roediger)
- La consolidation : automatisation (transfert du conscient au non-conscient) + sommeil

Le contrôle exécutif : l'ensemble des processus permettant de traiter les informations

- La sélection des représentation perceptives, des actions et des opérations pertinentes
- La détection et la correction des erreurs
- L'entraînement du contrôle exécutif : musique, entraînement au contrôle moteur