## Modèles cognitifs de l'attention visuelle

#### C. Touzet

claude.touzet@univ-provence.fr

Laboratoire de Neurosciences Intégratives et Adaptatives (LNIA) UMR6149 CNRS-Université de Provence, Marseille

#### Résumé

Le Monde réel est cohérent et continu. Il présente de fait des régularités - une structuration - que chacun de nous perçoit. Lorsque la perception est visuelle alors le traitement de l'information est appelé la vision. C'est un processif cognitif au sens où le cortex est impliqué et qu'il permet des traitements hors de portée des autres animaux, tels que la lecture par exemple. La structure neuronale du cortex est connue, mais les liens qui unissent le cortex au Monde réel font débat. La Théorie neuronale de la Cognition explique comment les phénomènes observés d'attentions endogène et exogène sont produits. En résumé, le cortex est constitué de multiples cartes corticales organisées au sein de hiérarchies, chaque carte corticale jouant le rôle d'un filtre de nouveauté, passant au niveau hiérarchique suivant (« bottom-up ») les événements imprévus : c'est l'attention exogène. Des connexions neuronales « top-down » suffisamment nombreuses permettent la mise en place d'une véritable pré activation de l'ensemble de la hiérarchie en fonction du but identifié à un niveau quelconque de la hiérarchie : c'est l'attention endogène. Notons en guise de conclusion que ce modèle cognitif de l'attention visuel est généralisable à l'ensemble des processus cognitifs, et donc propose une explication de ce que nous sommes.

### Sommaire

Le Monde réel

Le cortex

Théorie neuronale de la Cognition

**Apprentissage** 

Comportement motivé

Attention endogène

Attention exogène

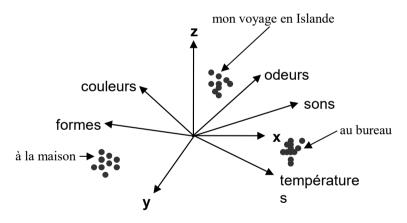
#### Le Monde réel

#### Constats:

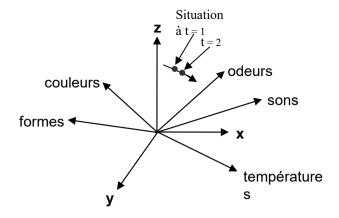
Continu

Cohérent

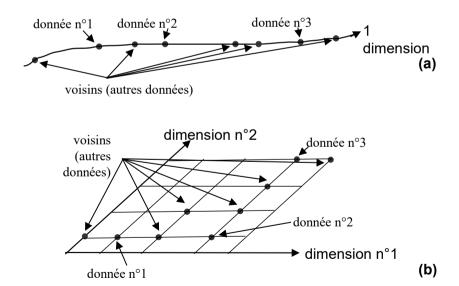
Multi-dimensionel



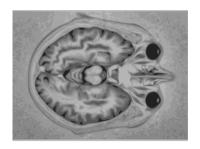
Chacun de nous vit certaines situations et pas d'autres. Ces situations ne sont pas réparties de manière homogène, mais regroupées dans certaines régions de l'Espace multidimensionnel. Ces régions définissent notre Environnement personnel et rien d'autre n'existe.



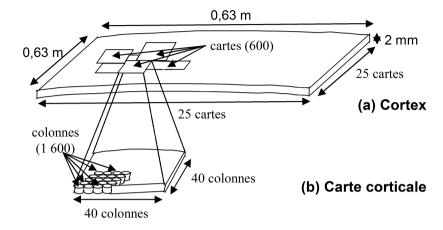
Chaque situation que nous vivons est un point dans un espace multidimensionnel. Le Monde est continu : entre deux instants successifs (t=1 et t=2), la situation change peu. Il est donc possible de discerner des trajectoires qui sont des successions de situations.



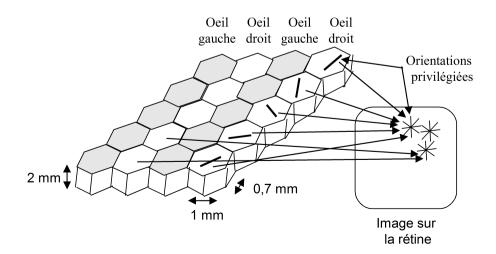
Pour estimer les distances dans un Espace multi-dimensionnel, nous pouvons utiliser le nombre de données (situations) qui séparent deux données particulières. Dans le cas d'un espace de dimension 1 (1-D), la donnée n°2 est plus proche de la n°1 que la n°3. Dans le cas d'un espace de dimension 2 (2-D), la distance qui sépare le n°1 et le n°2 est de 2, celle qui sépare le n°1 et le n°3 est de 5, celle qui sépare le n°2 et le n°3 de 3.



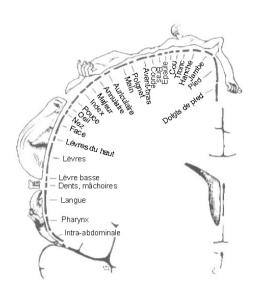
Le cortex (4 000 cm²) est replié sur luimême pour tenir dans la boite crânienne (IRM). Brain MRI Vector representation, Nevit Dilmen, 2006, licence Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0. (Wikipedia).



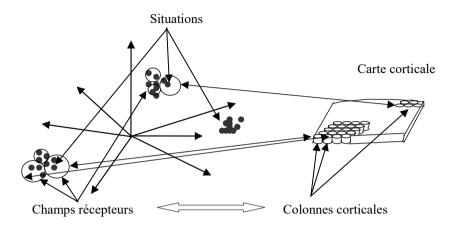
- (a) Le cortex est organisé en centaines de cartes corticales.
- (b) Chaque carte corticale contient plus d'un millier de colonnes corticales, chacune comprenant un millier de micro-colonnes.



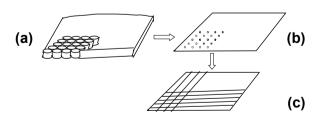
Carte corticale codant les orientations spatiales des stimuli (pluriel de stimulus) présentés sur la rétine. Chaque colonne corticale s'excite principalement pour un contraste dans une orientation précise, en un point précis de la rétine. Sur l'image rétinienne, nous avons dessiné les stimuli pour 3 localisations. Deux de ces localisations génèrent des activations sur des colonnes du morceau de carte dessiné ici. Notez l'alternance œil droit-œil gauche sur la carte. La localisation sur la rétine de la zone d'intérêt est identique entre deux colonnes voisines, même si elles appartiennent à des yeux différents.



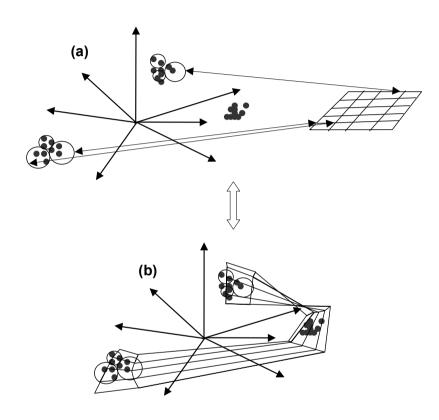
L'Homoncule (de Penfield) est la carte corticale représentant notre corps. Les tactiles informations construisent l'Homoncule sensoriel (hémisphère gauche), tandis que les informations envovées muscles construisent aux l'Homoncule moteur (hémisphère droit). D'après W. Penfield, T. Rasmussen, The cerebral cortex of man, Macmillan, 1950, pp. 214-215.



Une carte auto-organisatrice est une projection d'un Espace multidimensionnel qui respecte fréquence et voisinage. Ce qui est fréquent dans l'Espace est mieux représenté sur la carte que ce qui ne l'est pas. Ce qui est voisin dans l'Espace est voisin sur la carte. A chaque colonne de la carte est associée une région de l'Espace. Cette région est le « champ récepteur » de la colonne.

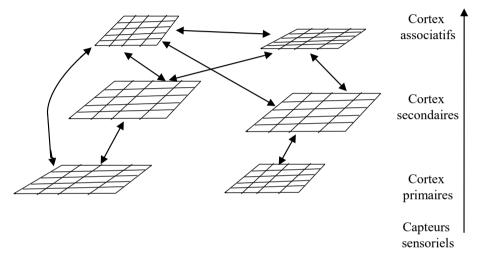


Une carte corticale avec ses colonnes (a) peut être représentée par un point au centre de chaque colonne (b). Cependant, il est plus utile de « visualiser » le voisinage de chaque colonne. Les lignes verticales et horizontales en (c) donnent le voisinage. A chaque intersection, il y a une colonne. Chaque colonne a 4 colonnes voisines (sauf sur les bords : 3 voisines, et dans les coins : 2 voisines). De plus, comme les comportements des micro-colonnes d'une colonne sont similaires, nous ne dirons plus « colonne », mais « neurone » (ce neurone en représente environ 110 000).

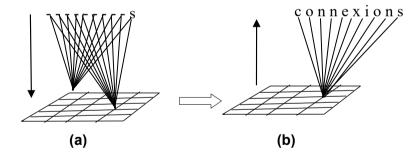


- (a) Chaque neurone est associé à un champ récepteur (représenté par un cercle) dans l'Espace multi-dimensionnel. Les champs récepteurs voisins sont associés à des neurones voisins.
- (b) Lorsque l'on place les directement neurones au de leur champ centre récepteur et que l'on trace les voisinages, alors l'observateur a l'impression de voir la carte se tordre dans l'Espace multidimensionnel. Il s'agit d'une vue de l'esprit. Le cortex ne change pas de forme – mais il est utile de se rendre compte comment la carte s'organise pour représenter les données avec le minimum d'erreur.

« Si deux neurones A et B interconnectés sont actifs dans une même fenêtre temporelle, alors la force des connexions entre A et B, et aussi entre B et A, est renforcée ». (Loi de Hebb)

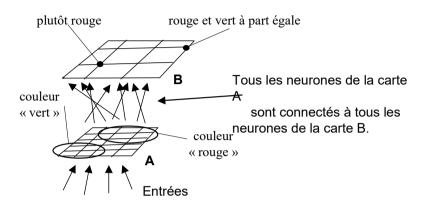


Le cortex est constitué de multiples cartes auto-organisatrices interconnectées. Les cartes les plus proches des capteurs sensoriels sont organisées avant les autres. Elles constituent les cortex primaires (vision, audition, tact, etc.). Elles alimentent des cartes appartenant aux cortex secondaires, puis les cortex associatifs. Il y a de très nombreuses connexions directes et réciproques.

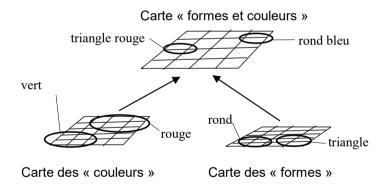


La carte auto-organisatrice est une mémoire associative. Pour obtenir une réponse, il faut fournir une partie de cette réponse. (a) Si la réponse cherchée est le mot de 10 lettres le plus fréquent de ce livre se terminant par la lettre « s », la question est une activation de la  $10^{\text{ème}}$  connexion avec la lettre « s ». Cette activation est envoyée à tous les neurones de la carte. (b) Il suffit alors de décoder les connexions du neurone gagnant vers les entrées pour connaître le mot recherché.

### Théorie neuronale de la Cognition

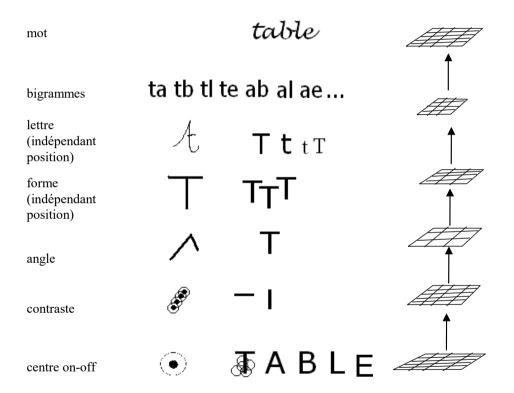


Deux cartes auto-organisatrices (l'une après l'autre) permettent d'extraire des relations complexes entre les données. Ici, B extrait des proportions d'activation entre diverses zones de la carte A.



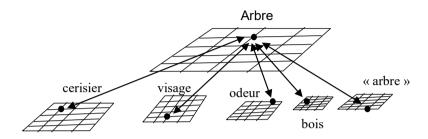
Trois cartes auto-organisatrices permettent la fusion de données. Il suffit que les données traitées par chacune des deux premières cartes appartiennent à des modalités différentes (par exemple, la forme et la couleur), et qu'elles alimentent la troisième carte. C'est cette dernière carte qui réalise la fusion de données.

## Théorie neuronale de la Cognition



Six niveaux de cartes auto-organisatrices sont nécessaires pour passer de l'image sur la rétine à la reconnaissance orthographique d'un mot (le 1<sup>er</sup> niveau est réalisé par l'œil), d'après Dehaene

## Théorie neuronale de la Cognition

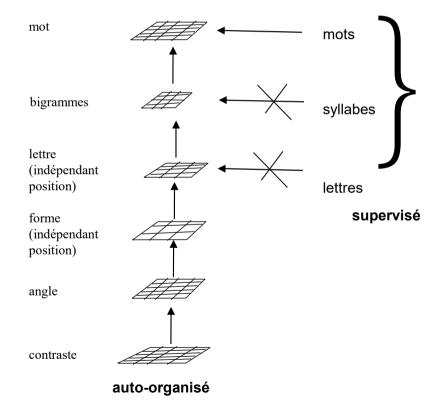


*Un « concept » implique l'activation de multiples neurones au sein de plusieurs cartes.* 

Ordre dans l'organisation

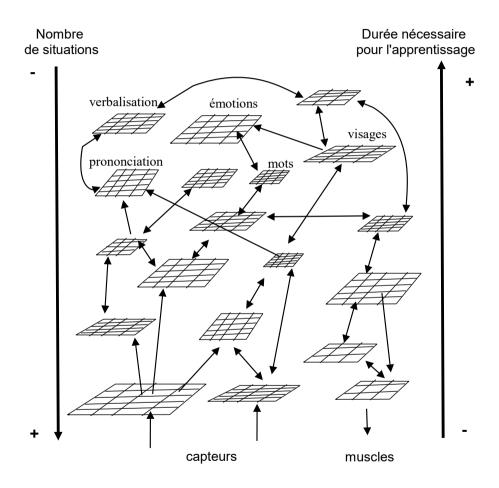
Certitude

Méditation



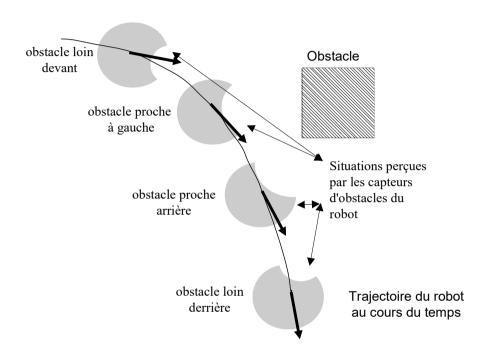
La méthode d'apprentissage de la lecture dite « globale » fait disparaître deux étapes supervisées. L'acquisition de la lecture devient alors pratiquement impossible à l'apprenti lecteur.

## Apprentissage



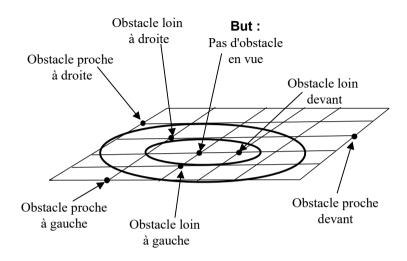
Il y a un ordre et un timing précis dans l'organisation des cartes auto-organisatrices. Les cartes s'organisent en fonction des régularités qu'elles perçoivent dans les données reçues. Certaines cartes doivent s'organiser avant un âge limite (7 ans pour les cartes liées au langage et à la socialisation).

## Comportement motivé

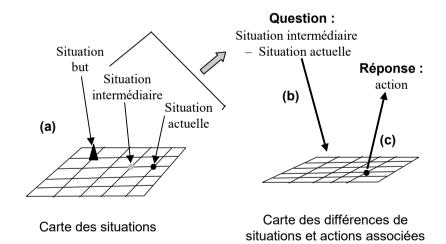


Comportement d'évitement d'obstacles construit à partir d'un but à atteindre « aucun d'obstacle en vue ». Le robot arrive face à l'obstacle, ses capteurs le perçoivent. Il tourne et évite l'obstacle. En grisé, les distances mesurées par les capteurs du robot vis à vis des obstacles éventuels.

#### Comportement motivé

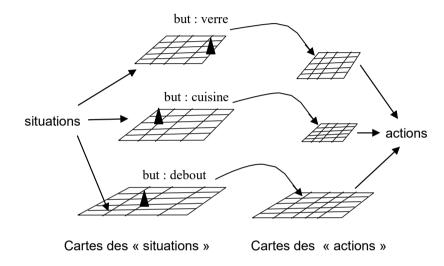


Le voisinage conservé par la carte garantit que les situations voisines sont voisines sur la carte. Il est donc toujours possible de trouver une situation voisine de la situation actuelle qui soit plus proche de la situation « but ».



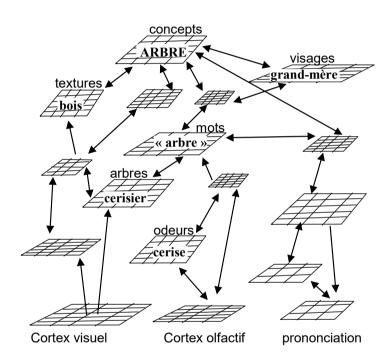
- (a) Le but et la situation actuelle définissent la situation intermédiaire désirée.
- (b) La variation entre la situation désirée et la situation courante permet de sélectionner un neurone qui code pour l'action correspondante (c).

# Comportement motivé



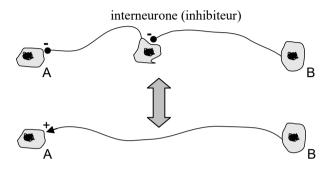
Un comportement complexe : une somme de comportements élémentaires.

# Attention endogène

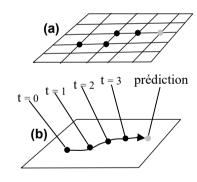


La vue d'un arbre active le concept « Arbre », qui active alors l'ensemble des éléments liés à ce concept.

## Attention endogène

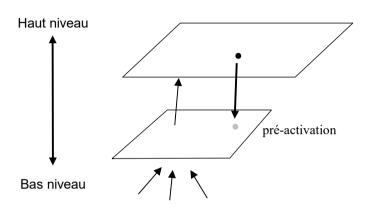


Activation réciproque du neurone B sur A. Ces deux schémas sont équivalents (une flèche représente une synapse excitatrice, un rond une synapse inhibitrice).

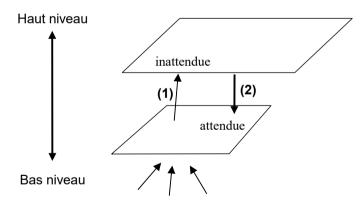


Prédiction de l'évolution de la situation courante. (a) et (b) représentent la même carte, mais dorénavant nous ne dessinerons plus les voisinages.

# Attention exogène

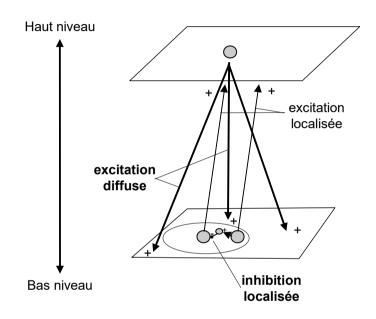


Attention générée par les connexions réciproques : il y a préactivation des neurones associés à l'activation de plus haut niveau.



Attention exogène (1) et attention endogène (2). En (1) il y a transfert vers les niveaux supérieurs des événements inattendus et arrêt de la transmission pour les événements prévisibles. En (2) il y a facilitation de l'activation de neurones de niveau inférieur appartenant à des événements prévus (attendus) à des niveaux supérieurs.

## Synergie des attentions endogène et exogène



Modélisation neuronale des processus attentionnels. Les excitations montantes sont plus localisées et plus fortes que celles en provenance des connexions réciproques (plus diffuses). Les connexions sur une même carte sont inhibitrices et localisées.

#### Références

C. Touzet, "Modeling and Simulation of Elementary Robot Behaviors using Associative Memories", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol 3 n° 2, June 2006.

Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends Cogn Sci*, 9(7), 335-341.

M. Silver and S. Kastner (2009) – Topographic maps in human frontal and parietal cortex, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 13, No. 11, 488-495.

Donald Hebb, *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*, Wiley, 1949.

Teuvo Kohonen, Self-Organizing Maps, Springer Series in Information Sciences, Vol. 30, 2001. Third Ed., 501 pages. ISBN 3-540-67921-9, ISSN 0720-678X

D. Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, Freeman, May 1995. ISBN 978-0-7167-6009-2. Disponible sur le Web à l'adresse : http://hubel.med.harvard.edu/book/ch5.pdf

W. Penfield, T. Rasmussen, *The cerebral cortex of man*, Macmillan, 1950.

J. Paillard - (1987) L'ordinateur et le cerveau : un contraste saisissant, *Bulletin de l'AFCET, INTERFACES*, 57, pp 4-9.

C. Touzet, Conscience, Intelligence, Libre-Arbitre? Les réponses de la Théorie neuronale de la Cognition, Editions la Machotte, 2010, 156 pages, ISBN: 978-2-919411-00-9. (www.machotte.fr)