



HAL
open science

Neurophysiologie de l'orientation visuelle du regard : Approches expérimentale, historique et épistémologique

Laurent Goffart

► To cite this version:

Laurent Goffart. Neurophysiologie de l'orientation visuelle du regard : Approches expérimentale, historique et épistémologique. 23èmes Rencontres Enseignants / Chercheurs (Histoire des sciences), Mickael Albre; Paola Cantu, Mar 2023, Aix-en-Provence, France. hal-04047461



HAL Id: hal-04047461



<https://amu.hal.science/hal-04047461v1>

Submitted on 27 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

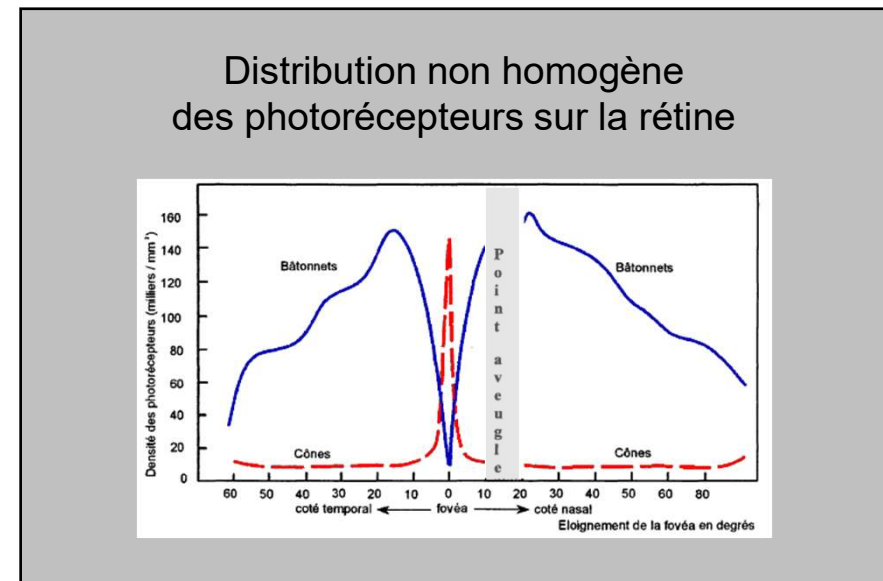
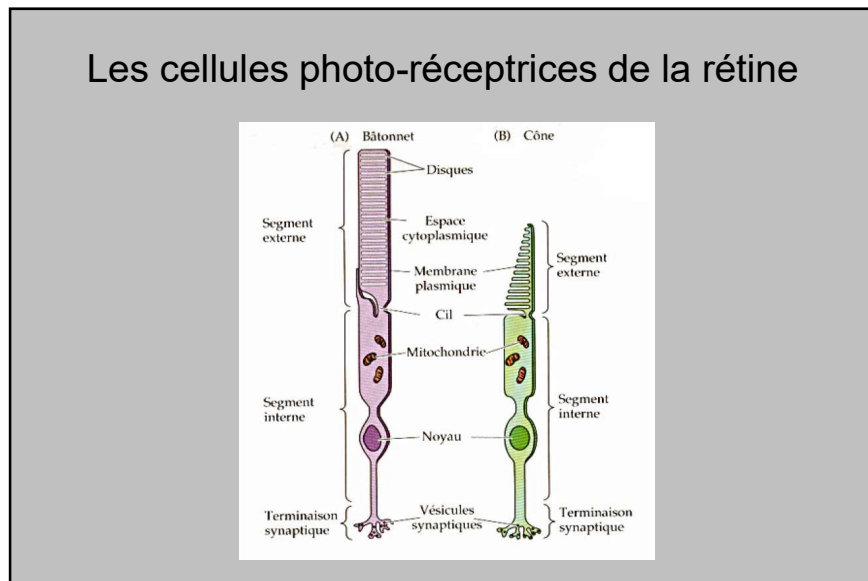
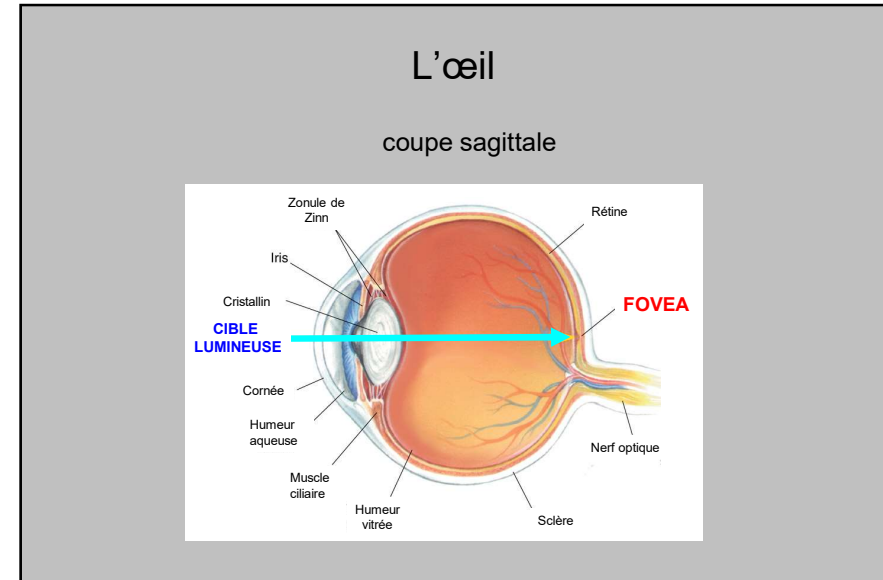


 23èmes Rencontres Enseignants / Chercheurs
 Aix-en-Provence
 24 mars 2023

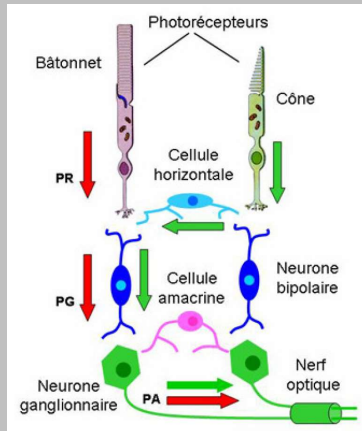
Neurophysiologie de l'orientation visuelle du regard :

Approches expérimentale, historique et épistémologique

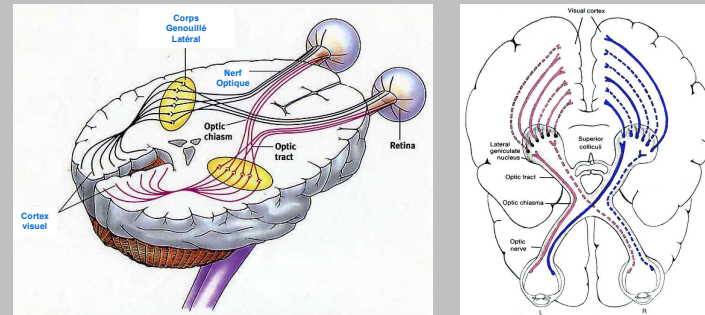
Laurent Goffart
 CNRS



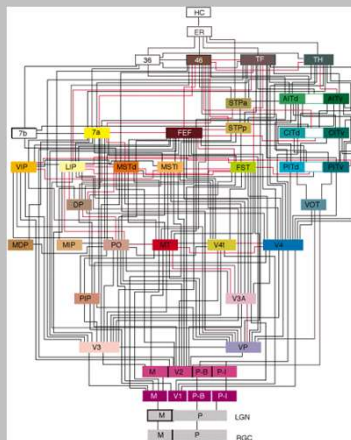
Organisation cellulaire de la rétine



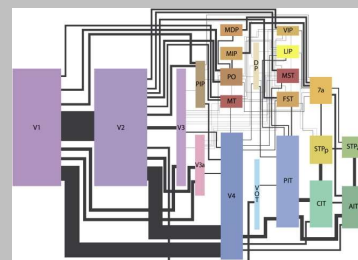
Voies visuelles principales (via corps genouillé latéral)



Divergence des signaux visuels

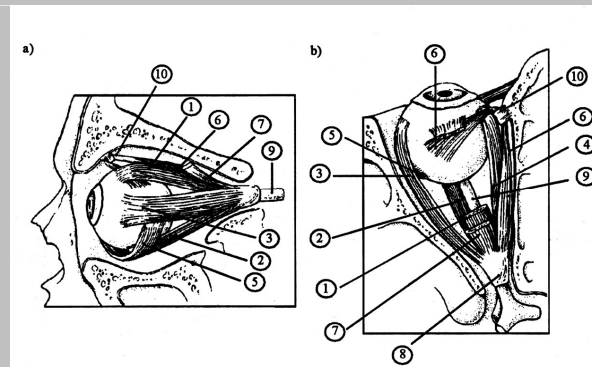


Felleman & Van Essen Cerebral Cortex 1991

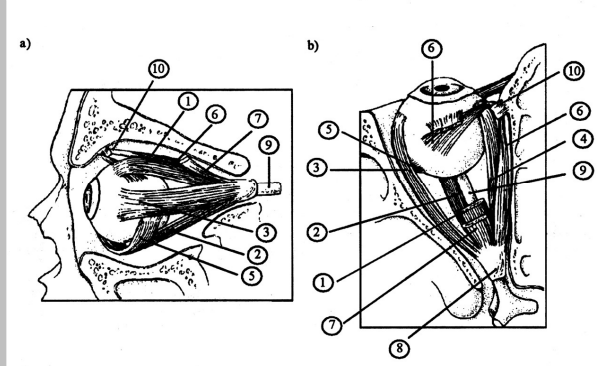


Wallisch & Movshon Neuron 2008

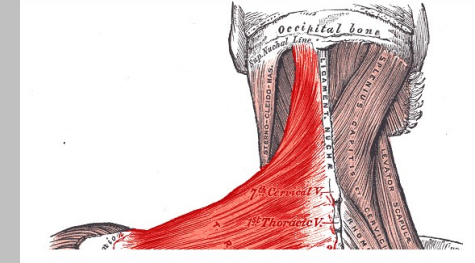
L'œil, ce n'est pas seulement une rétine



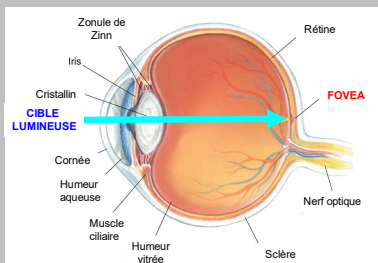
Projection de la cible sur la fovéa
 ⇔ contraction appropriée des muscles extraoculaires
 (direction du regard)



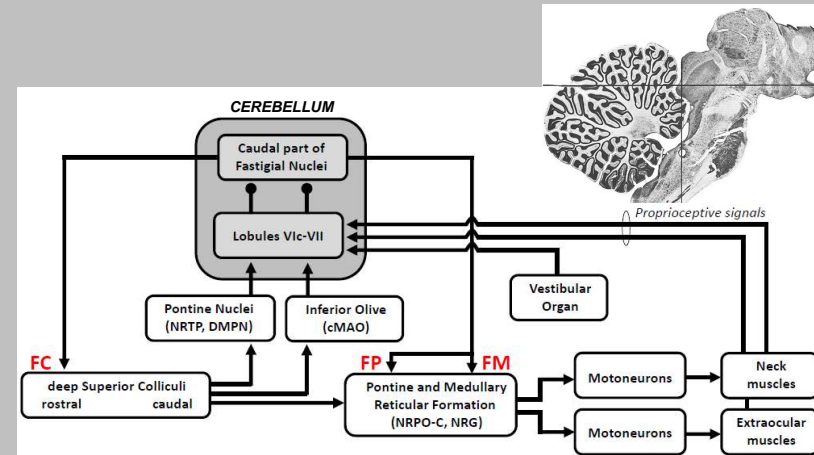
Projection de la cible sur la fovéa
 ⇔ contraction appropriée des muscles du cou
 (direction de la tête)



REGARDER UNE CIBLE =
 contracter une multitude de muscles



Contrôle de l'orientation des yeux et de la tête

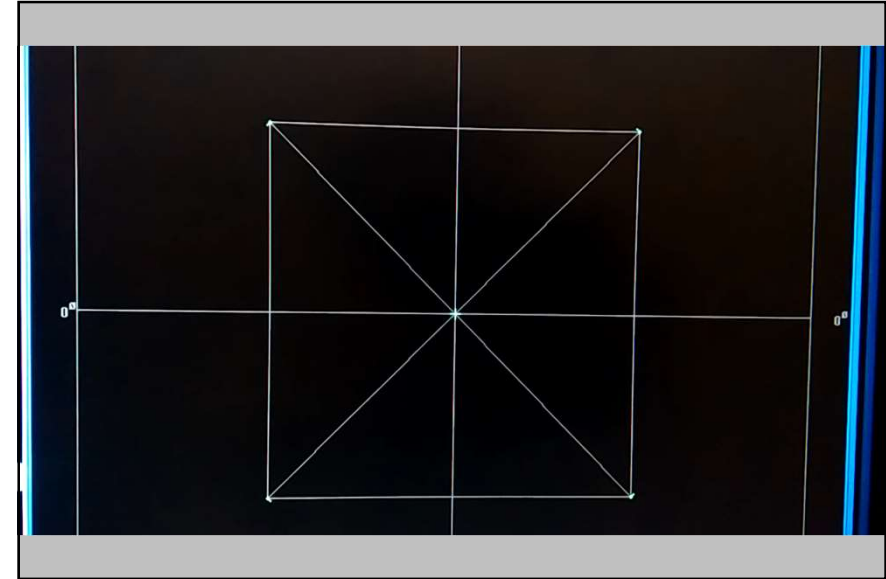
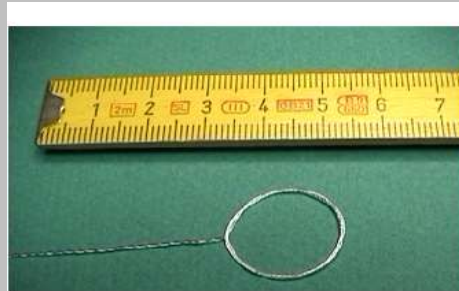


Enregistrement des mouvements oculaires

Induction électro-magnétique

Bobine sclérale

2 champs magnétiques : H et V

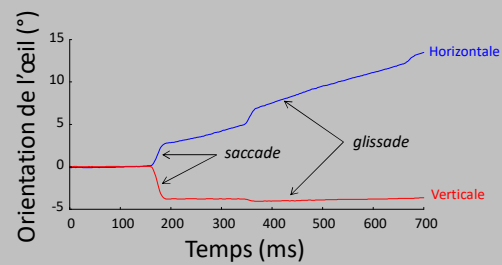


Deux types de mouvement oculaire en réponse au mouvement d'une cible

rapide : saccade

lent : glissade

mêmes muscles mais réseaux neuronaux en amont largement distincts

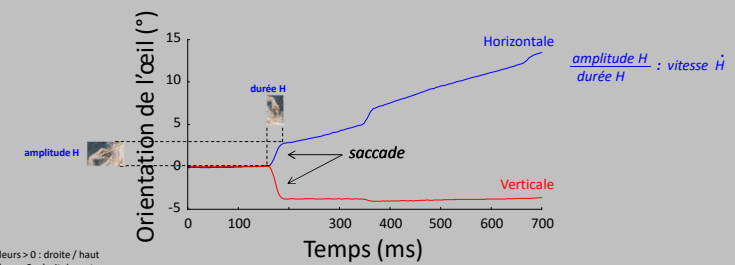


valeurs > 0 : droite / haut
valeur = 0 : droit devant
valeurs < 0 : gauche / bas

Deux types de mouvement oculaire en réponse au mouvement d'une cible

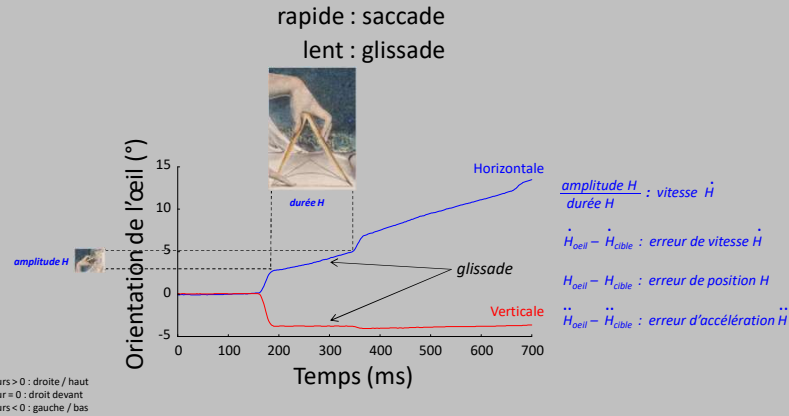
rapide : saccade

lent : glissade

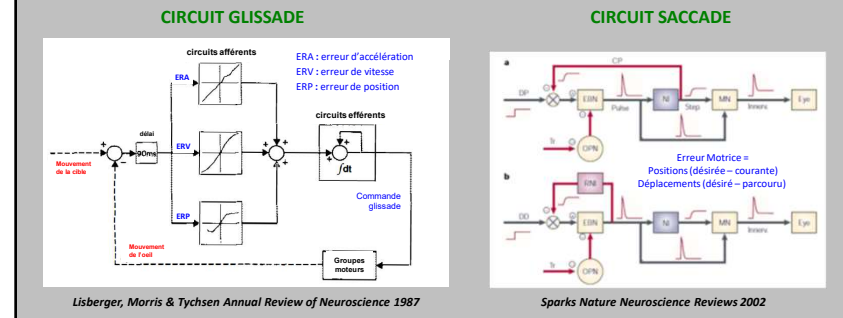


valeurs > 0 : droite / haut
valeur = 0 : droit devant
valeurs < 0 : gauche / bas

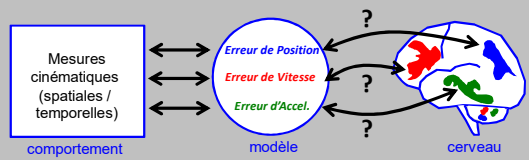
Deux types de mouvement oculaire en réponse au mouvement d'une cible



Grandeurs physiques et arithmétique dans le cerveau ?



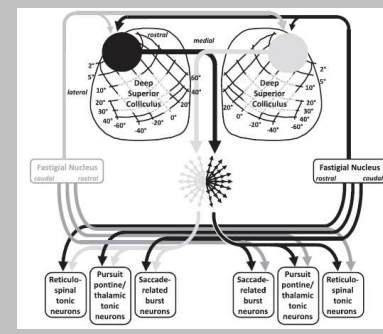
ISOMORPHISME CERVEAU - MODÈLE REMIS EN QUESTION



Le fait que l'on mesure et modélise le mouvement du globe oculaire (corps rigide) avec des notions cinématiques n'implique pas une équivalence dans le cerveau, i.e., que l'activité des neurones "encode" (c'est-à-dire *émette des signaux liés à*) l'amplitude, vitesse ou accélération du mouvement de l'œil, et leur différence avec ceux de la cible.

De remettre en question l'isomorphisme entre le discours neurophysiologique et le discours cybernétique (ou computationnel) ne mène pas à une impasse.

Nouvelle théorie



Pas de mouvement = équilibre
Mouvement = restauration d'équilibre

CHAPITRE 15
Laurent GOFFART¹

De la représentation cérébrale spatio-temporellement distribuée à la capture ici et maintenant d'un objet visuel en mouvement¹

L'avenir de la complexité et du désordre
J.-C.S. Levy & S. Ofman (Eds) pp 267-294,
2018 Editions matériologiques

REVIEW | The Role of Eye Movements in Perception, Cognition, and Action

Neurophysiology of visually guided eye movements: critical review and alternative viewpoint

© Laurent Goffart,^{1,2} Clara Bourreilly,¹ and Jean-Charles Quinton¹

¹Aix Marseille Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Neurosciences de la Timone, Marseille, France; ²Aix Marseille Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre Gilles Guérin-Georges, Aix-en-Provence, France; and ³Université Grenoble Alpes, Centre National de la Recherche Scientifique, Laboratoire Jean Kuntzmann, Grenoble, France

Journal of Neurophysiology vol. 120, pp 3234-3245, 2018

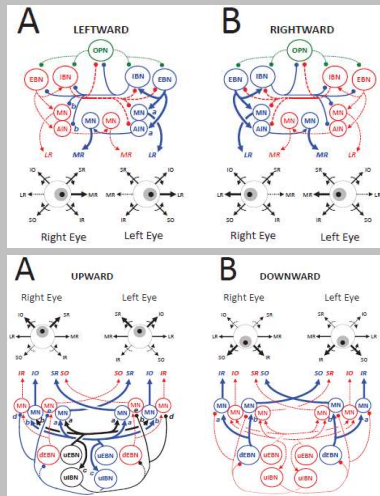
Kinematics and the neurophysiological study of visually-guided eye movements

Laurent Goffart^{1,2,3*}

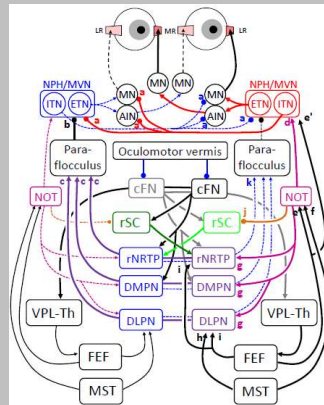
¹Aix Marseille University, CNRS, IRT, Institut de Neurosciences de la Timone, Marseille, France
²Aix Marseille University, CNRS, CIGES, Centre Gilles Guérin-Georges, Aix-en-Provence, France
³Corresponding author: Tel. +33 49122 8552, e-mail address: laurent.goffart@univ-amu.fr

Progress in Brain Research, vol. 249, 375-384, 2019

Réseaux pré moteurs et moteurs oculaires



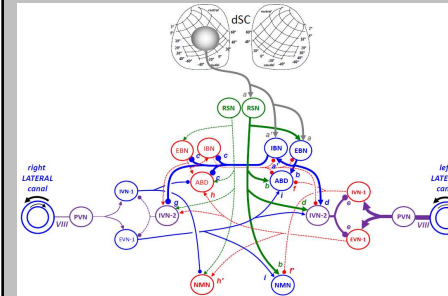
Poursuivre une cible mobile lente



Goffart, Quinet & Bourrelly *Encyclopedia Human Brain* soumis

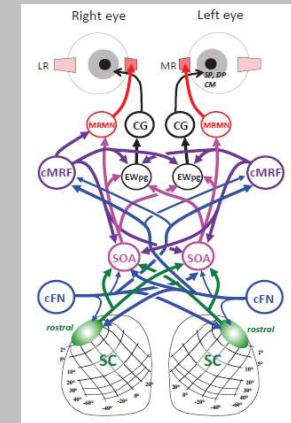
Réseaux pré moteurs et moteurs

Orienter les yeux et la tête vers la gauche



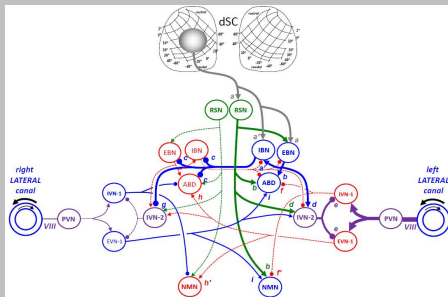
Goffart, Quinet & Bourrelly *Encyclopedia Human Brain* soumis

Regarder une cible qui se rapproche



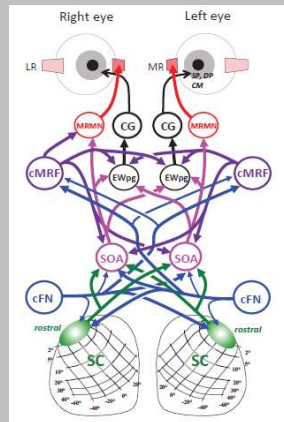
CE SAVOIR N'AURAIT PAS ETE ACQUIS SANS RECOURS A L'EXPERIMENTATION ANIMALE

Orienter les yeux et la tête vers la gauche

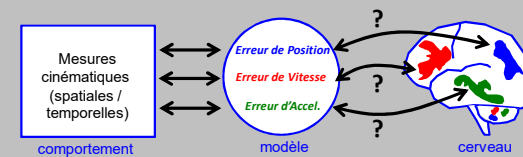


Goffart, Quinet & Bourrelly *Encyclopedia Human Brain* soumis

Regarder une cible qui se rapproche



ISOMORPHISME CERVEAU - MODÈLE REMIS EN QUESTION



Le fait que l'on mesure et modélise le mouvement du globe oculaire (corps rigide) avec des notions cinématiques n'implique pas une équivalence dans le cerveau, i.e., que l'activité des neurones "encode" (c'est-à-dire *émette des signaux liés à*) l'amplitude, vitesse ou accélération du mouvement de l'œil, et leur différence avec ceux de la cible.

De remettre en question l'isomorphisme entre le discours neurophysiologique et le discours cybernétique (ou computationnel) ne mène pas à une impasse.

Critique

Au cours des dernières décennies, une **confusion** s'est installée entre:

- les mesures de réponse d'un sujet (et leurs transformations numériques) et
- les processus physiologiques qui engendrent le phénomène mesuré.

Les limitations des mesures et les notions théoriques qui leur sont associées ont conduit à imaginer des options telles que celles d'un **codage dans le cerveau** de la durée, de la vitesse, de l'accélération, mais aussi de l'espace, du temps et des nombres ...

Des paramètres cinématiques seraient "encodés" dans l'activité des neurones. Lorsqu'ils émettent des potentiels d'action, **les neurones "parleraient" une langue** empreinte de notions de mécanique classique.

Or tout mouvement d'un segment du corps n'est que le **produit ultime mesuré**, le résultat de processus qui se déroulent dans le cerveau et qui convergent sur les groupes de neurones responsables des contractions musculaires. → *Est-ce que le gonflement de la brioche dans le four nous enseigne quelque chose sur le phénomène physique de la chaleur ?*

Un autre problème est qu'à la **structure totalement ordonnée** des nombres avec lesquels les orientations des yeux et de la tête sont quantifiés (mesures), on fait correspondre une structure radicalement différente, une **structure d'ordre partiel** (arborescente) d'éléments qui, dans le fonctionnement cérébral, sont spatialement distribués et se chevauchent temporellement.

Critique

Au cours des dernières décennies, une confusion s'est installée entre:

- les mesures de réponse d'un sujet (et leurs transformations numériques) et
- les processus physiologiques qui engendrent le phénomène mesuré.

Les limitations des mesures et les notions théoriques qui leur sont associées ont conduit à imaginer des options telles que celles d'un **codage dans le cerveau** de la durée, de la vitesse, de l'accélération, mais aussi **de l'espace, du temps et des nombres** ...

Des paramètres cinématiques seraient "encodés" dans l'activité des neurones. Lorsqu'ils émettent des potentiels d'action, les neurones "parleraient" une langue empreinte de notions de mécanique classique.

Or tout mouvement d'un segment du corps n'est que le produit ultime mesuré, le résultat de processus qui se déroulent dans le cerveau et qui convergent sur les groupes de neurones responsables des contractions musculaires. → *Est-ce que le gonflement de la brioche dans le four nous enseigne quelque chose sur le phénomène physique de la chaleur ?*

Un autre problème est qu'à la structure totalement ordonnée des nombres avec lesquels les orientations des yeux et de la tête sont quantifiés (mesures), on fait correspondre une structure radicalement différente, une structure d'ordre partiel (arborescente) d'éléments qui, dans le fonctionnement cérébral, sont spatialement distribués et se chevauchent temporellement.

Space and time in the brain

György Buzsáki* and Rodolfo Llinás

Science 2017

DE GRUYTER

Neuroforum 2022, 4:99

Review article

2022

Stefan Dowlasch, Andre Kaminiaz and Frank Bremner*

The visual representation of space in the primate brain

Space, time, and number in the brain

It might come as a surprise to consider space, time, and number together in a review on spatial perception. Yet, there is good reason to consider all three terms as being highly interwoven. Indeed, there is considerable evidence that space, time, and number are part of a toolkit that humans share with other non-human animals (Dehaene and Brannon, 2011). In all three domains, the nervous system must encode and compute quantities. The question arises if a common set of coding and computational mechanisms underlie quantity manipulations in all three domains? And if the different systems share similar or even the same brain circuitry? Actually, there is evidence that parietal cortex might be key to answer these questions (Buett and Walsh, 2009).

Eye movements affect spatial, temporal, and numerical perception

We have detailed above that eye movements induce characteristic misperceptions of space. One of these illusions was a *compression* of perceived space. If space, time, and number were treated similarly at the neural level, saccades should also modulate **temporal and numerical perception**. This is, indeed, what behavioral experiments have shown.

Compression of visual space before saccades

John Ross¹, M. Concetta Morrone² & David C. Burr^{1,3}

Nature 1997

Saccadic eye movements cause compression of time as well as space

M Concetta Morrone¹, John Ross² & David Burr^{1,3}

Nature Neuroscience 2005

Special Issue: Space, Time and Number

Saccades compress space, time and number

David C. Burr^{1,2,3}, John Ross², Paola Binda^{4,5} and M. Concetta Morrone^{6,7}

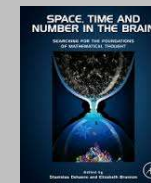
Trends in Cognitive Sciences 2010



1991



2003



2011



2014



2016

PROBLEME EPISTEMOLOGIQUE:

Beaucoup d'auteurs postulent l'existence d'éléments autres qu'anatomo-physiologiques. La notion d'espace est posée *a priori* plutôt que déduite ou alors reconnue inévitable.

Aucune expérimentation ne me permettra de réfuter ce genre de théorie car il est **impossible de démontrer que quelque chose n'existe pas**.

Désaccord majeur

Alain Berthoz (2005):

Les mathématiques sont "l'expression de lois et de mécanismes qui sont en opération dans le cerveau" ... "un langage du cerveau sur le cerveau lui-même, c'est-à-dire, puisque le cerveau fait partie du monde physique, [un langage] sur l'Univers et ses lois."

Helen De Cruz (2006):

"La philosophie des mathématiques n'a pas accordé beaucoup d'attention au **contexte biologique** des mathématiques, même s'il va de soi que **les mathématiciens sont des organismes biologiques** et qu'ils produisent des théories et des pratiques mathématiques **avec leur cerveau**."

Jean-Pierre Changeux (1989):

"Les mathématiques sont **dans le cerveau** du mathématicien, en particulier **dans sa mémoire** à long terme."

Stanislas Dehaene (2010):

"Les nombres, comme tous les objets mathématiques, sont des constructions mentales dont les racines plongent ... dans **l'adaptation du cerveau humain aux régularités de l'univers**."

Stanislas Dehaene (2012):

"Tous les cerveaux humains reçoivent en partage, **dès la naissance**, des représentations mentales sophistiquées, indépendantes du langage que l'on peut qualifier de «proto-mathématiques». Au cours de son évolution, notre cerveau a été doté de **représentations élémentaires de l'espace, du temps et du nombre**, que nous partageons avec de nombreuses autres espèces animales, et qui sont au **fondement de nos intuitions mathématiques**."

L'espace selon Henri Poincaré

Dans la préface de l'édition anglaise (1913) de *La science et l'hypothèse*, Henri Poincaré déclarait :

"Space is only **a word that we have believed a thing**".
"L'espace n'est qu'**un mot que nous avons cru une chose**"

Dans un ouvrage posthume (*Dernières pensées* 1913), on trouve:

"Les propriétés du temps ne sont donc que celles des horloges, comme **les propriétés de l'espace ne sont que celles des instruments de mesure**."
"Faire de la géométrie, c'est étudier les propriétés de nos instruments, c'est-à-dire du corps solide."

Manipuler un compas et une règle graduée ne suffit pas pour faire de la géométrie. Il faut le faire selon une procédure, **mesurer, lire** des valeurs et les **garder en mémoire**. Si l'on assimile l'œil à un théodolite et les valeurs mesurées aux flux intracérébraux d'activité visuo-motrice, alors il faut savoir que les activités ne sont pas stables, elles "dégénèrent", se désintègrent quelques centaines de millisecondes après la disparition de la cible. **La présence de la cible étant nécessaire et suffisante, le recours à la notion d'espace interne devient superflu.**

L'espace, résultat d'une abstraction

Emilie du Châtelet (1742)

"Quoique nous puissions considérer l'Etendue, sans faire attention aux déterminations des Etres qui la constituent, & que nous acquérons par ce moyen l'idée de l'Espace, cependant, comme l'Abstrait ne peut subsister sans un Concret, c'est-à-dire, sans un Etre réel et déterminé duquel on fait l'abstraction, il est certain qu'il n'y a d'Espace qu'en tant qu'il y a des choses réelles et coexistantes; & sans ces choses, il n'y aurait point d'Espace : cependant, l'Espace n'est pas les choses mêmes, c'est un Etre qu'on en a formé par abstraction, qui ne subsiste point hors des Choses, mais qui n'est pourtant pas la même chose que les sujets, dont on a fait cette abstraction ; car ces sujets renferment une infinité de choses qu'on a négligées en formant l'idée de l'Espace."

Les Nombres, résultats d'une abstraction

Emilie du Châtelet (1742)

"Ainsi, l'Espace est aux Etres réels, comme les Nombres aux choses nombrées, lesquelles choses deviennent semblables, & forment chacune une unité à l'égard du Nombre, parce qu'on fait abstraction des déterminations internes de ces choses, & qu'on ne les considère qu'en tant qu'elles peuvent faire une multitude, c'est-à-dire, plusieurs unités ; car sans une multitude de choses qu'on compte, il n'y aurait point de Nombres réels & existants, mais seulement des Nombres possibles."

Externalités cognitives et culture

La cognition ne se limite pas à l'individu, à son cerveau et son génome.

Comme le rappelle Sylvain Auroux (1998), il existe une multitude de "structures cognitives *externes* à l'individu ... qui dépendent d'instruments externes (livres, bibliothèques, instruments de calcul et d'observation, etc.) ainsi que de structures sociales de productions et de cumulation des connaissances (encyclopédies, sociétés savantes etc.)".

"La connaissance est un processus tout à la fois matériel, social et collectif, jamais limité, enfermé, préservé ou produit par des compétences individuelles qui n'en concernent que des moments et des fragments" .

De même pour Bill Barton (2008), "une partie de la raison pour laquelle les mathématiques sont comme elles sont, est que leur développement a été influencé par les *modes de pensée et d'expression préférés* des personnes impliquées. En particulier, les langues de ceux qui ont développé des idées mathématiques ont contribué à façonner les mathématiques qui ont émergé. Les mathématiques auraient pu prendre de nombreuses formes et les préférences des mathématiques conventionnelles et quasi universelles de nos écoles n'étaient pas inévitables; elles sont le résultat d'une *trajectoire historique* particulière qui comprend de nombreuses influences sociales, y compris la langue."

Conclusion

Si l'activité cérébrale consiste en des flux d'activité entretenus par des objets, présents ou remémorés, et que l'espace est ce qui reste après les avoir retirés, alors il ne reste plus que l'activité cérébrale spontanée. Mais rien ne nous autorise à nommer cette chose "espace" plutôt que "cerveau" ?

Pour le mathématicien Alain Connes, l'exploration mathématique mobilise "un «sens», irréductible à la vue, à l'ouïe et au toucher, qui lui permet de percevoir une *réalité tout aussi contraignante mais beaucoup plus stable que la réalité physique, car non localisée dans l'espace-temps*".

La diversité des objets mathématiques nous est accessible à tous - pas seulement à celles et ceux qui en auraient hérité une sensibilité plus forte - grâce aux *enseignements oraux* et à la *lecture* de documents dans lesquels sont enregistrés et préservés des discours (chemins conceptuels) permettant de les amener à l'esprit.

L'imagination nécessite le fonctionnement d'un cerveau qui rende capable d'écouter, de voir, de lire et de comprendre. L'idée que les mathématiques soient innées emprunte des raccourcis qui masquent la complexité du niveau où elles existent.