



*Soutenance de thèse doctorale de Philosophie
Aix-en-Provence
14 décembre 2022*



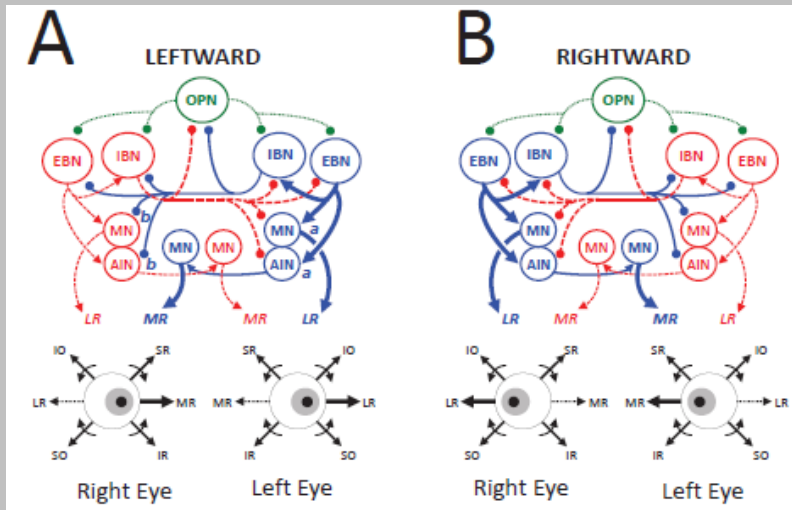
Le cerveau en trompe l'œil des sciences cognitives: Critique du plongement dans le fonctionnement cérébral de notions qui lui sont étrangères

Laurent Goffart

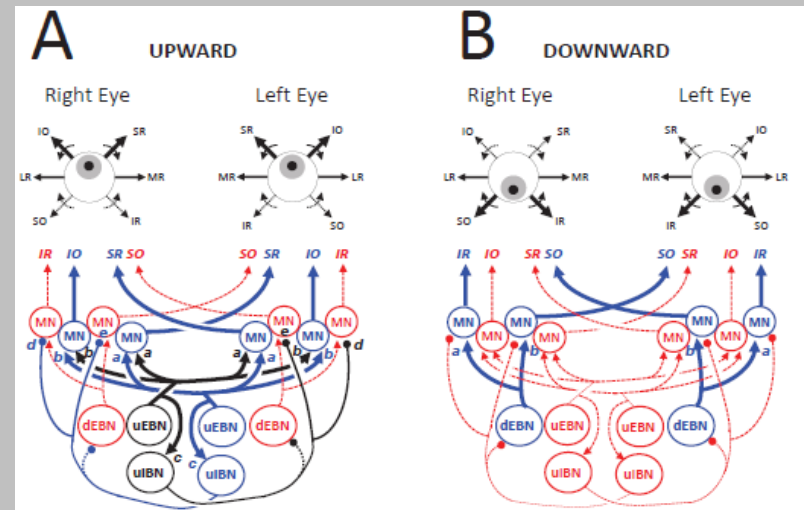
La thèse de doctorat de Philosophie que vous évaluez est le fruit d'une réflexion critique permanente, entretenue et amplifiée par l'exercice de mon métier de neurophysiologiste primatologue.

A partir des expérimentations que mes collègues, prédécesseurs et contemporains, et moi-même avons menées chez le singe macaque, ma mission a été de caractériser la neurophysiologie de l'orientation visuelle du regard, c'est-à-dire d'identifier les chaînes de relation causale par lesquelles l'apparition d'un objet dans le champ visuel conduit à tourner les yeux et la tête vers l'endroit où il se trouve, même lorsqu'il bouge.

Saccades horizontales



Saccades verticales



Une multitude de raisons ont motivé le développement de cette thèse (> 8 années):

- personnelles
- civiques
- socio-économiques
- scientifiques
- philosophiques

Je ne vais pas toutes les exposer → principales raisons philosophiques et scientifiques.

Georges Canguilhem (1904-1995) à propos des relations entre la Science et la Philosophie.

<https://youtube.com/clip/UgkxY2nMzyhNzgPCe8jkoLTpNeIJmxNjhdMC>

<https://www.youtube.com/watch?v=SKBNSabxhUA&list=PPSV>

@ 15:50

Alain Badiou : *La Science a-t-elle besoin de la Philosophie ?*

Georges Canguilhem : *La Science n'a pas besoin de LA philosophie si par LA philosophie, vous entendez ce que vous et moi, ce que les philosophes en général, peuvent sécréter, pour cette raison qui maintenant ne peut être contestée par personne, c'est que, c'est la Science qui fait elle-même la Philosophie dont elle a besoin. Dans la mesure où la Science est un projet vers la Vérité, elle fait elle-même la critique de ses fondements. Et c'est finalement elle qui surmonte ses propres difficultés, les difficultés qui ont pu paraître à certaines époques, du fait de ce qu'on appelait des crises de fondement, des difficultés qui ont pu paraître des antinomies de caractère logique. Et bien ce sont les Mathématiques, par exemple, qui ont résolu elles-mêmes les antinomies de la théorie des ensembles. C'est la Physique aujourd'hui qui essaie de résoudre sur son propre terrain, la question philosophiquement si mal posée de l'indéterminisme. Par conséquent, les sciences ne peuvent pas se passer de philosophie, si par philosophie d'une science, on entend la réflexion critique qui accompagne son développement et son progrès. ...*

Raisons philosophiques

Désaccord majeur avec les déclarations de mes représentants académiques et une communauté considérable (majoritaire) de "suiveurs".

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

Une thèse de Philosophie est donc le seul moyen que j'ai trouvé pour ***exprimer mon désaccord et détailler mes objections***

METHODE : en bénéficiant des éclairages des philosophes et des historiens pour la lecture des textes anciens, parfois très difficiles à comprendre.

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*."

Raisons socio-scientifiques

Même quand elle n'est pas pilotée ou ordonnée par divers commanditaires (financiers, politiques, technologiques, médicaux etc.), quand elle est fondamentale et qu'elle est animée par un souci de **vérité** et d'**exactitude**, la recherche scientifique est soumise à des **contraintes sociales externes**; elle n'est pas complètement autonome

Elle peut emmener le (la) chercheur(e) vers une synthèse, vers une compréhension telle, qu'elle le (la) contraint, pour des raisons de **rigueur** et de **cohérence** (**contraintes internes**), à s'opposer à la conception défendue par une communauté d'autres chercheurs.

Pour des raisons diverses (scientifique, politique voire idéologique), cette communauté extérieure peut rassembler un très grand nombre d'individus et, comme dans d'autres phénomènes sociaux humains, il peut se produire que celui (celle) qui se permet de **dépasser les frontières** du monde que la communauté s'est autorisée d'explorer, soit ostracisé(e) voire banni(e). De façon plus sournoise, il (elle) peut aussi être qualifié(e) de farfelu(e) ou de mentalement dérangé(e).

Nous savons tous que le **périmètre du monde exploré** est limité par les méthodes employées.

→ Les développements technologiques permettent de faire sauter certains verrous

Mais on oublie qu'il est délimité aussi par des conventions langagières, des habitudes de penser.

*"Les limites de **mon langage** signifient les limites de **mon univers**" (Ludwig Wittgenstein, 1921).*

Raisons scientifiques

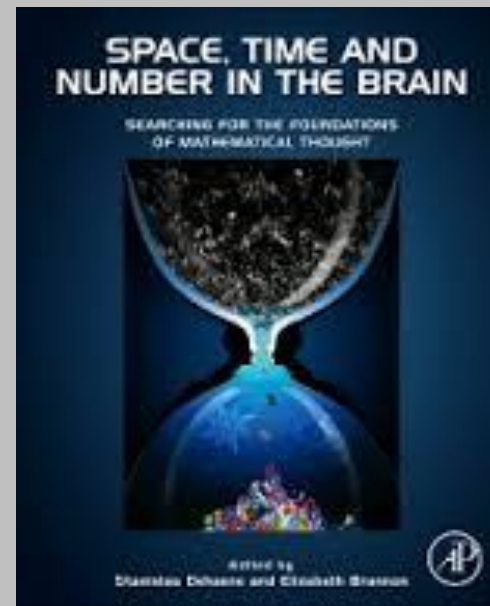
Au cours des dernières décennies, une **confusion** s'est installée dans le domaine des sciences du cerveau entre:

- les mesures (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 l'espace, du temps, des nombres, de la durée, de la vitesse, de l'accélération ...



2003



2011

Raisons scientifiques

Au cours des dernières décennies, une **confusion** s'est installée dans le domaine des sciences du cerveau entre:

- les mesures (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 l'espace, du temps, des nombres, de la durée, de la vitesse, de l'accélération ...

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.

Pourtant, 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.

Raisons scientifiques

Prenons le cas d'un spot lumineux dans le champ visuel. Aux extrémités du nerf optique, l'excitation rétinienne déclenche un flux d'activité qui se manifeste dans le cerveau comme une sorte d'**explosion arborescente**. L'activité évoquée se propage spatialement distribuée dans de multiples foyers temporellement plus ou moins persistants.

A mesure que l'activité se propage et rejoint les groupes de cellules à l'origine des nerfs moteurs qui innervent les muscles extra-oculaires, cette explosion se transforme en une sorte de **compression** (connectivité convergente) dont seule la durée compte.

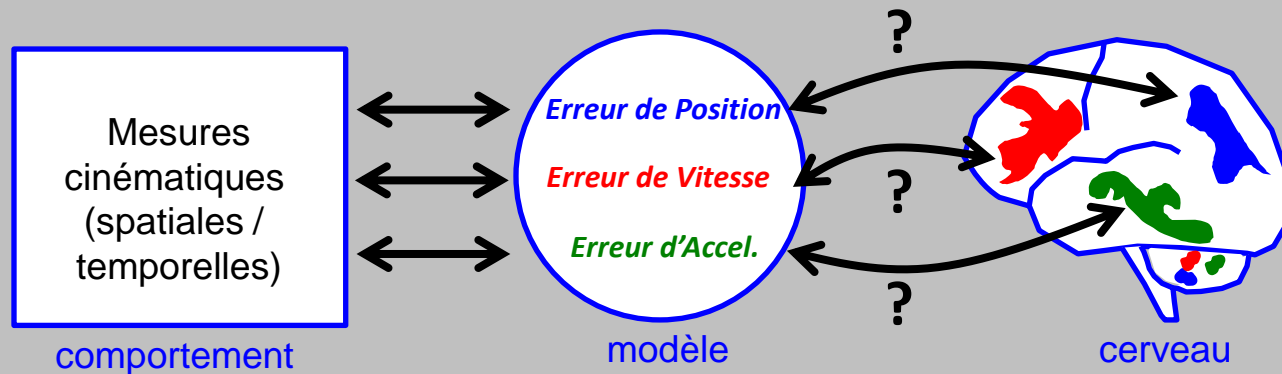
Alors que la trajectoire d'un corps **rigide** (œil ou objet) dans le monde physique peut être mathématiquement décrite comme une courbe sans épaisseur, son corrélat cérébral est "spatialement" et "temporellement" différent : il est **diffusif et élastique**.

De plus, le milieu cérébral n'est **ni permanent ni inerte** ; il est plastique et changeant.

Par exemple, la capacité à suivre une cible en mouvement ("ici et maintenant"), à synchroniser le mouvement des yeux avec le mouvement de la cible n'est pas spontanée ("innée"); elle nécessite une phase d'apprentissage au cours de laquelle le fonctionnement cérébral se modifie (augmentation des ressources, modification des délais de transmission).

Quantités physiques et arithmétique dans le cerveau ?

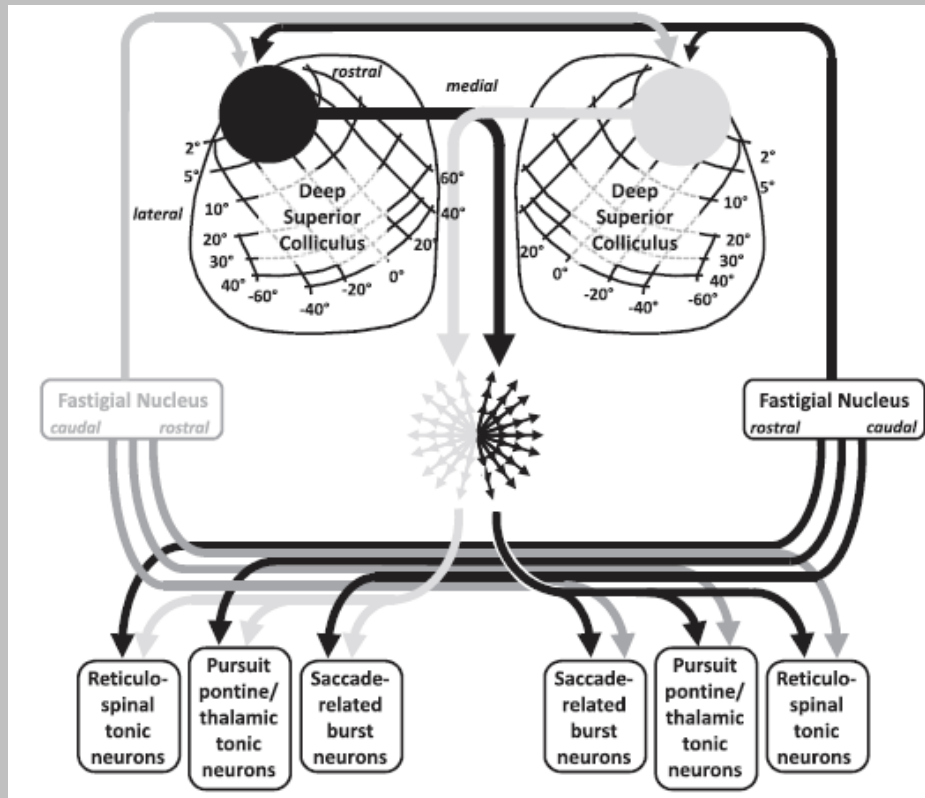
ISOMORPHISME CERVEAU - MODÈLE REMIS EN QUESTION



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 cerveau (discours neurophysiologique) et le modèle (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 mouvement²

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



J Neurophysiol 120: 3234–3245, 2018.
 First published October 31, 2018; doi:10.1152/jn.00402.2018.

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 Bourrelly,¹ and Jean-Charles Quinton³

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 Gaston Granger, 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,*}

¹Aix Marseille University, CNRS, INT, Institut de Neurosciences de la Timone, Marseille, France

²Aix Marseille University, CNRS, CGGG, Centre Gilles Gaston Granger, Aix-en-Provence, France

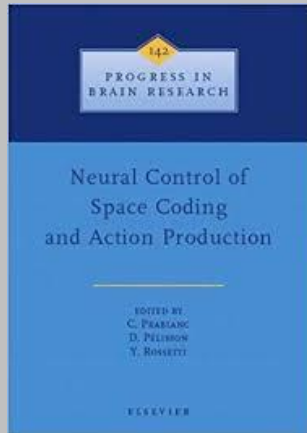
*Corresponding author: Tel. +33 491324052, e-mail address: laurent.goffart@univ-amu.fr

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

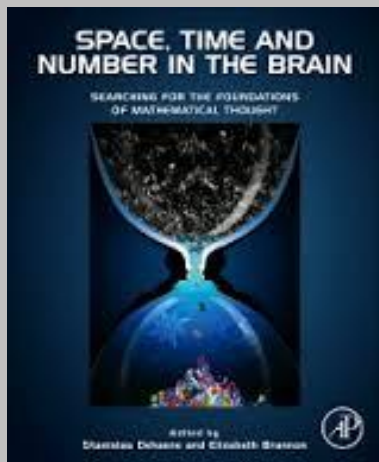
Au sujet du codage de l'espace et des nombres dans le cerveau,
comment fait-on pour objecter l'idée que
ces choses prendraient naissance dans le cerveau ?

Au sujet des nombres → voir la discussion

Au sujet du codage de l'espace dans le cerveau, Quelle(s) alternative(s) offrir aux sciences cognitives ?



2003



2011

DE GRUYTER

Neuroforum 2022; aop

Review article

2022

Stefan Dowiasch, Andre Kaminiarz and Frank Bremmer*

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 (Buetti 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.

SPACE-TIME REPRESENTATION IN THE BRAIN. THE CEREBELLUM AS A PREDICTIVE SPACE-TIME METRIC TENSOR

A. PELLIONISZ and R. LLINÁS

Department of Physiology and Biophysics, New York University Medical Center,
550 First Avenue, New York, NY 10016, U.S.A.

Neuroscience 1982

Understanding of brain function is often limited by the tacit acceptance of concepts known to be basically inappropriate. An example is the tenet that the brain, in its internal workings, utilizes space-time reference frames similar to those used in classical mechanics.

However, the utilization of separate systems of coordinates for space and time hinges upon the concept of simultaneity. Since within the brain there is no 'instantaneous' simultaneity agent comparable to the light, the classical usage of separate space and time coordinates is inapplicable in the case of describing the inner workings of the CNS.

La compréhension de la fonction cérébrale est souvent limitée par l'acceptation tacite de concepts connus pour être fondamentalement inappropriés. Un exemple est le principe selon lequel le cerveau, dans son fonctionnement interne, utilise des cadres de référence spatio-temporels similaires à ceux utilisés en mécanique classique.

Or l'utilisation de systèmes de coordonnées séparés pour l'espace et le temps repose sur le concept de simultanéité. Puisque dans le cerveau il n'y a pas agent de simultanéité instantanée comparable à la lumière, l'utilisation classique de coordonnées séparées de type espace et temps est inapplicable à la description du fonctionnement interne du SNC.

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 to be a thing**".

"L'espace n'est qu'**un mot que nous avons cru être 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 "dégènèrent", se désintègrent quelques centaines de millisecondes après la disparition de la cible (cf. David Sparks). **La présence de la cible étant nécessaire et suffisante, le recours à la notion d'espace 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 acquerions 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 referment 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."

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 alors qu'est-ce qui autorise à nommer cette chose "espace" ?

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 "chemins conceptuels" permettant de les amener à l'esprit.

L'effort d'imagination nécessite le fonctionnement d'un cerveau 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.

Un programme de recherches en perspective

Pour de multiples raisons (professionnelles, expérimentations sans quasiment de soutien humain, pandémie covid-19, limite de 6 ans etc.), le document de thèse est loin d'être celui que je projetais de vous soumettre. Mais **l'esprit y est**.

Je vais le compléter en ajoutant les conceptions développées par d'autres auteurs que je n'ai pas mentionnés (Emilie du Châtelet etc.), mais aussi celles plus récentes défendues par L. Vygotski, J. Piaget, J. Paillard, K. Devlin, O. Keller etc.

Je veux également intégrer les **études historiques et ethnologiques** car elles sont **invisibles** dans les publications de synthèse que j'ai rencontrées en neurosciences.

Mes réflexions épistémologiques seront publiées pour démontrer l'importance des **autres sciences humaines** (histoire, philosophie, linguistique, anthropologie, ethnologie, sociologie etc.) pour l'avancement des sciences cognitives.

Enfin, pour ne pas me couper de ma communauté, je projette de procéder à une **analyse détaillée** des centaines de publications qui "cérébralisent" la "cognition numérique", ou la notion d'algorithmes. Les preuves qu'elles prétendent apporter sont souvent incomplètes et peu convaincantes pour le neurophysiologiste.

REMERCIEMENTS

Gabriella CROCCO
Igor LY

Giuseppe DI LIBERTI
Pascal TARANTO

Julie HUMEAU
Sylvie PONS

Michel LE DU
Thierry ROLLAND

Philippe ABGRALL
Marie ANGLADE
Éric AUDUREAU
Julien BERNARD
Gabriella CROCCO
Isabelle KOCH
Igor LY
Baptiste MORIZOT

les doctorants du
CEPERC et du CGGG

