




Séminaire
Des « arts de penser » les mathématiques :
Introduction et études de cas en ethnomathématique
Drs E. Vandendriessche, S. Desrosiers & M. Chemillier (org.)
EHESS, Campus Condorcet, Aubervilliers
13 mai 2024



Cérébralisation de la cinématique et du nombre : objections

laurent.goffart@cns.fr

diaporama accessible sur
<https://cv.hal.science/laurent-goffart>

Confusion dans les neurosciences cognitives

Au cours des dernières décennies, une confusion s'est installée dans les neurosciences cognitives entre

- les **mesures** quantitatives (valeurs numériques et transformations),
- les **processus physiologiques** qui engendrent le phénomène mesuré et
- certaines notions générales appartenant à notre langage (**concepts**).

L'association de ces notions générales aux mesures ont conduit des auteurs à imaginer dans le cerveau un **codage** de l'espace, du temps, des nombres, de la durée d'un mouvement, de sa vitesse, de son accélération, de la géométrie et de l'arithmétique.



2011



2019



2004



2000



2007

Le paradigme de la motricité oculaire

Dans l'étude des processus cérébraux mobilisés lors des mouvements d'orientation du regard vers une cible visuelle, certains auteurs ont proposé que les paramètres cinématiques seraient « codés » dans l'activité des cellules neuronales. Pendant qu'ils émettent des potentiels d'action, **les neurones « parleraient une langue »** traduisible avec les notions de la mécanique classique.

Pourtant, les mouvements étudiés (rotation des globes oculaires et de la tête) sont la mesure de leur changement d'orientation physique, lequel est provoqué par un changement de contraction des muscles (extra-oculaires et nucaux), changement musculaire qui lui-même est sous le contrôle de plusieurs groupes de neurones à l'origine des nerfs moteurs, lesquels neurones moteurs sont influencés par de multiples processus parallèles dans le cerveau.

Une mise en correspondance est faite entre la série totalement ordonnée des valeurs numériques (mesures de position) et une structure radicalement différente : une structure **diffuente** puis **confluente**, dont les éléments sont spatialement distribués et dont les activités se chevauchent temporellement.

Entre les nerfs optiques et les nerfs moteurs

Cas d'un spot lumineux dans le champ visuel

Aux extrémités des deux nerfs optiques, une excitation rétinienne ponctuelle déclenche des flux d'activité qui, dans le cerveau, se manifestent comme une sorte d'**explosion arborescente (diffuente)**. L'activité se propage, distribuée dans de multiples foyers et plus ou moins persistante.

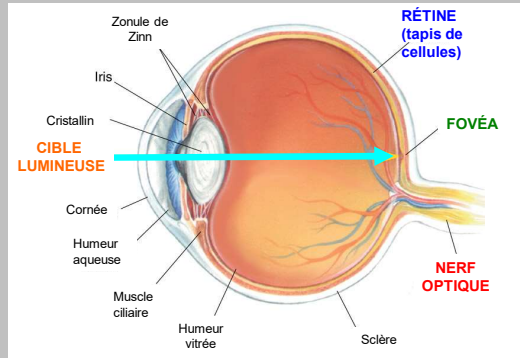
A mesure que l'activité se propage et rejoint les groupes de cellules à l'origine des nerfs moteurs (innervation des muscles extra-oculaires et nucaux), cette **explosion** se transforme en une sorte de **compression (confluence)** dont :

- la durée va déterminer la durée du mouvement et
- le recrutement de nouveaux groupes neuro-musculaires son ampleur : $\Delta(\text{yeux+tête}) > \Delta(\text{yeux})$.

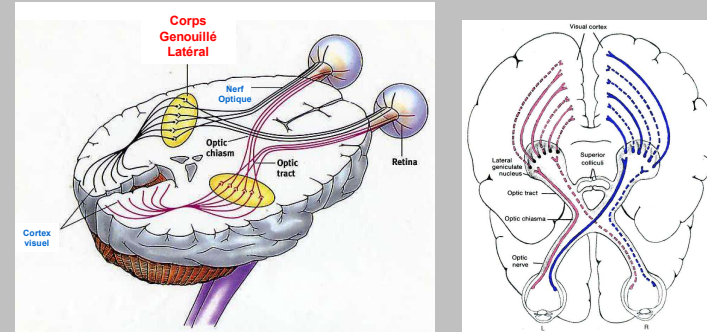
Alors que la trajectoire d'un corps **rigide** (œil ou objet) dans le monde physique peut être mathématiquement décrite comme une courbe sans épaisseur, son corrélat cérébral est spatialement et temporellement différent : il est **épais, expansif et élastique**.

L'œil

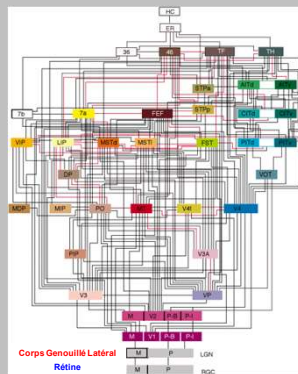
coupe sagittale



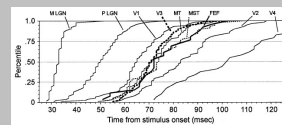
Au bout du nerf optique



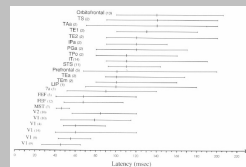
Explosion des signaux visuels: diffuence spatiale et temporelle



Felleman & Van Essen *Cerebral Cortex* 1991

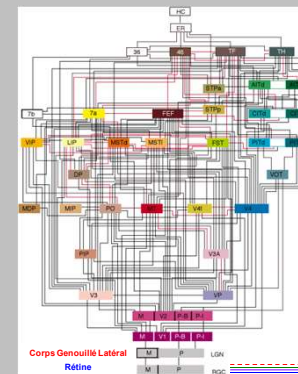


Schmolesky et al. *J Neurophysiol* 1998

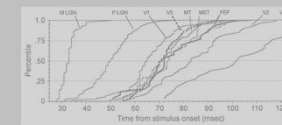


Nowak & Bullier *Cerebral cortex: extrastriate cortex in primates* 1997

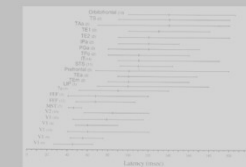
Explosion des signaux visuels: diffuence spatiale et temporelle



Felleman & Van Essen *Cerebral Cortex* 1991



Schmolesky et al. *J Neurophysiol* 1998



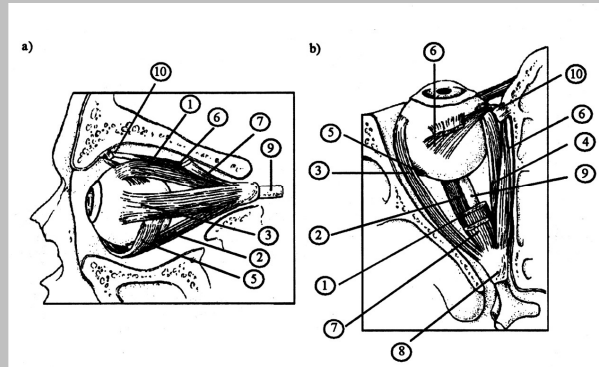
Nowak & Bullier *Cerebral cortex: extrastriate cortex in primates* 1997



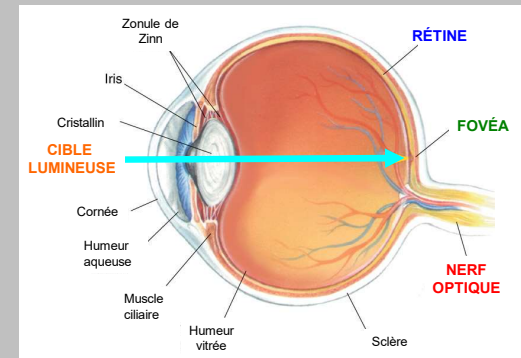
Schéma incomplet :

- Colliculus Supérieur
- Noyau du Tractus Optique
- Pulvinar
- etc.

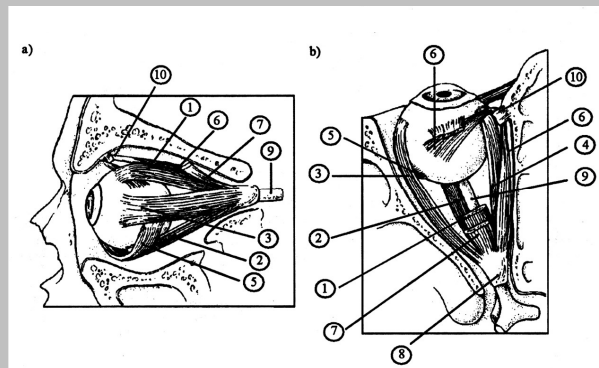
L'œil n'est pas seulement une rétine



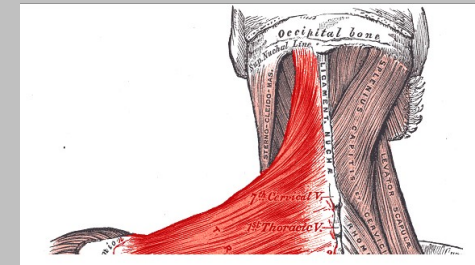
Projection de la cible sur la fovéa (fovéation)



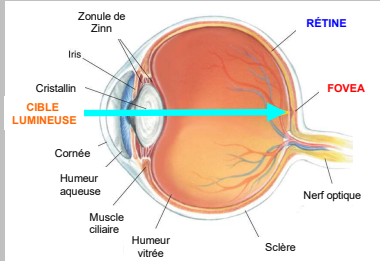
Projection de la cible sur la fovéa (fovéation)
SI & SSI contraction appropriée des muscles extraoculaires
 (direction du regard)



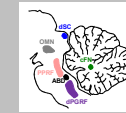
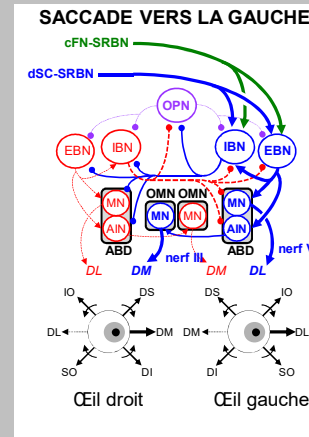
Projection de la cible sur la fovéa (fovéation)
SI & SSI contraction appropriée des muscles nucaux
 (direction de la tête)



REGARDER UNE CIBLE (fovéation) = contracter une multitude de muscles

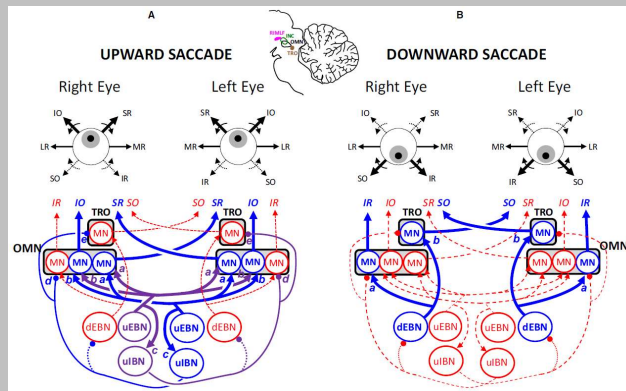


Confluence à l'origine des nerfs moteurs oculaires



modifié de Goffart, Quinet & Bourrelly *Encyclopedia of the Human Brain* 2024

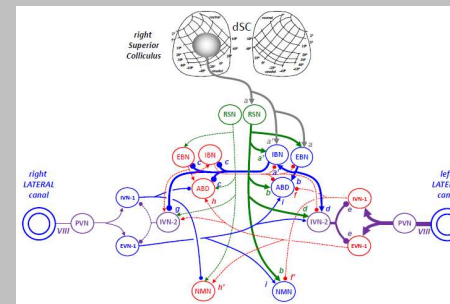
Confluence



Goffart, Quinet & Bourrelly *Encyclopedia of the Human Brain* 2024

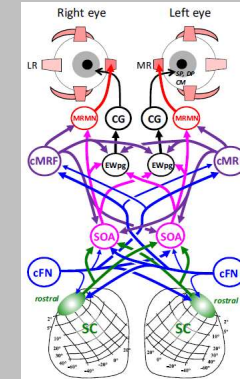
Confluence

Orienter les yeux et la tête vers la gauche



Goffart, Quinet & Bourrelly *Encyclopedia of the Human Brain* 2024

Regarder une cible qui se rapproche



! Ce n'a été acquis
 ni par la **PSYCHOLOGIE**,
 ni par l'**IMAGERIE CÉRÉBRALE**,
 ni par la **MODÉLISATION COMPUTATIONNELLE**
 mais par la **NEUROPHYSIOLOGIE**, l'**EXPÉRIMENTATION ANIMALE**
 en association avec **LA NEUROLOGIE CLINIQUE**
!

Orienter les yeux et la tête vers la gauche

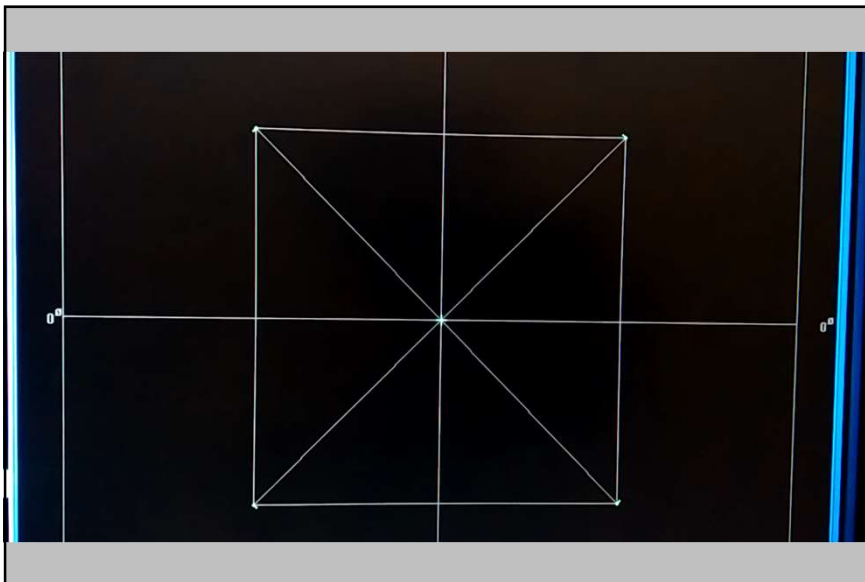
Goffart, Quinet & Bourrelly *Encyclopedia of the Human Brain* 2024

Regarder une cible qui se rapproche

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

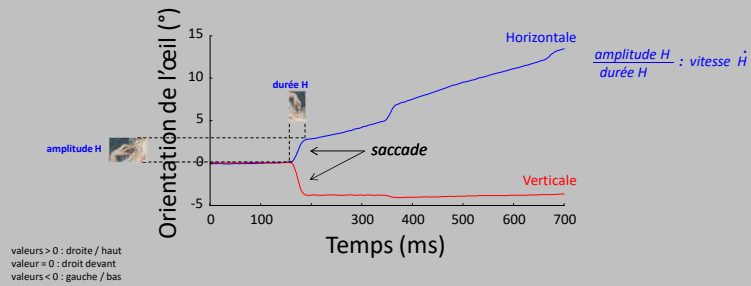
rapide : saccade
 lent : glissade

mêmes muscles impliqués 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

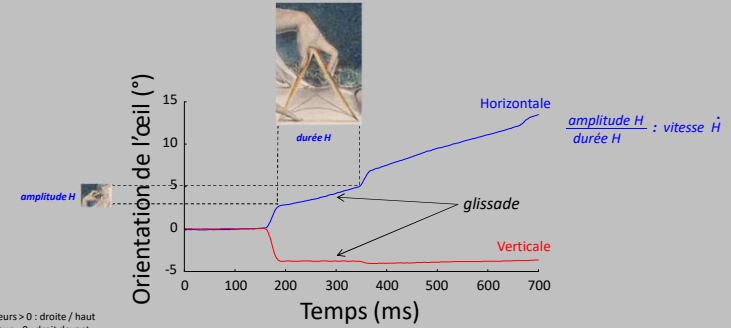
rapide : saccade
lent : glissade



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

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

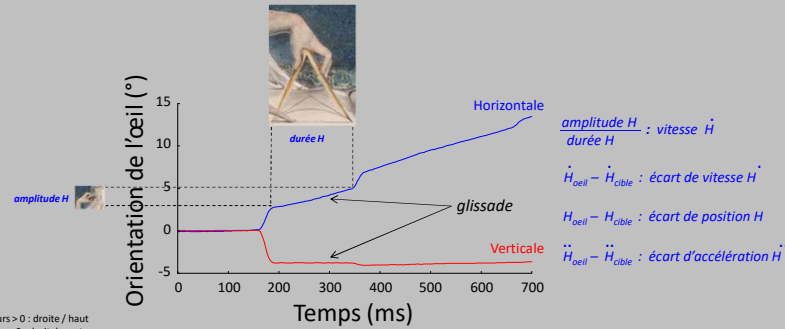
rapide : saccade
lent : glissade



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

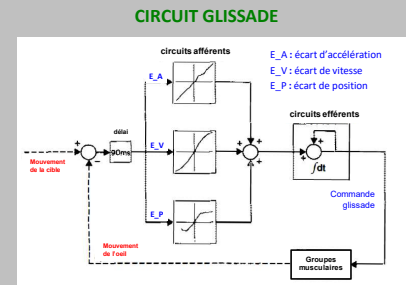
Deux types de mouvement oculaire en réponse au mouvement d'une cible

rapide : saccade
lent : glissade

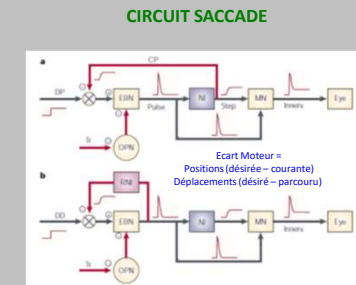


valeurs > 0 : droite / haut
valeur = 0 : droit devant
valeurs < 0 : gauche / bas

Grandeurs cinématiques et arithmétique dans le cerveau ?



Lisberger, Morris & Tychsen Annual Review of Neuroscience 1987



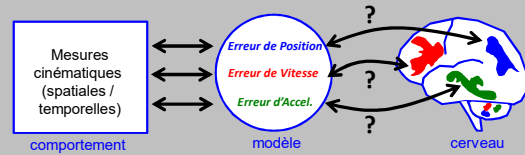
Sparks Nature Neuroscience Reviews 2002



Grandeurs cinématiques et arithmétique dans le cerveau?

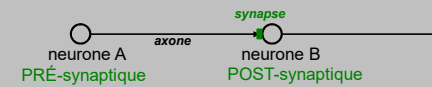
ISOMORPHISME CERVEAU - MODÈLE

REMIS EN QUESTION

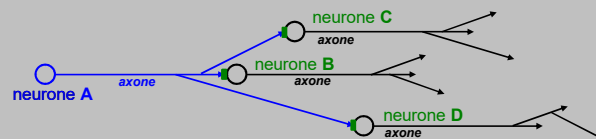


Mesurer et modéliser le mouvement du globe oculaire (corps rigide) avec des notions cinématiques **n'implique pas** nécessairement une équivalence dans le cerveau, à savoir que l'activité des neurones "code" (c'est-à-dire qu'ils **émettent des signaux correspondant à**) l'amplitude, la vitesse ou l'accélération du mouvement de l'œil, et leur différence avec celles de la cible.

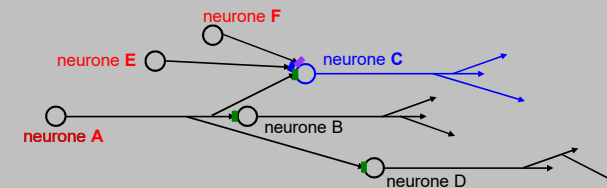
La synapse



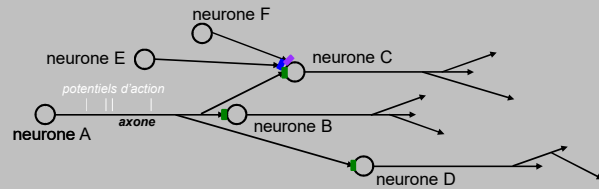
Chaque neurone (A) contacte plusieurs neurones POST-synaptiques (B, C et D)



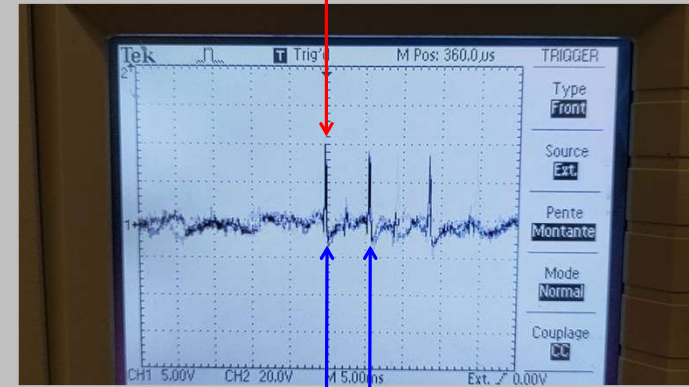
Chaque neurone (C) est contacté par plusieurs neurones PRÉ-synaptiques (A, E et F)



Les neurones émettent des potentiels d'action qui se propagent de long de l'axone



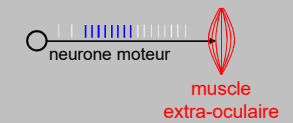
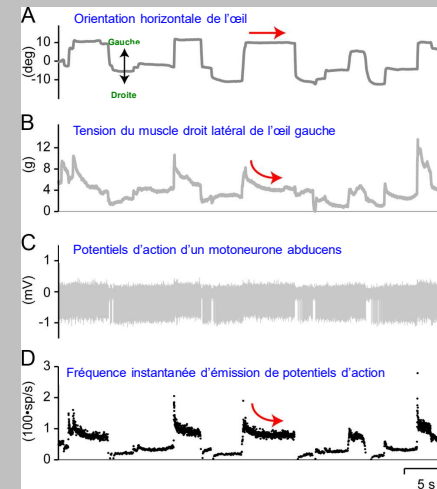
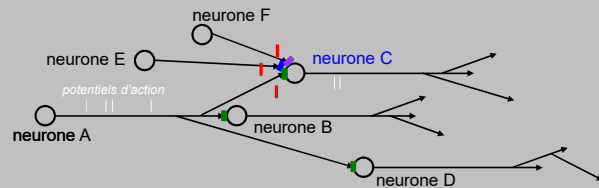
potentiel d'action 1 milliseconde (1/1000 seconde)



6 millisecondes → fréquence instantanée = 166
→ 166 potentiels d'action par seconde

La probabilité qu'un neurone (C) émette un potentiel d'action dépend de la quasi-simultanéité des potentiels PRE-synaptiques (lorsque l'influence est excitatrice).

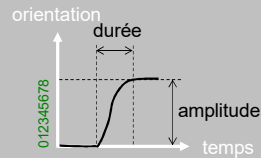
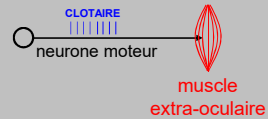
Il existe aussi des influences inhibitrices qui réduisent la sensibilité du neurone POST-synaptique aux excitations PRE-synaptiques.



Davis-Lopez de Carrizosa et al. *Journal of Neuroscience* 2011

Continuum entre les valeurs numériques Pas de continuum entre les potentiels d'action

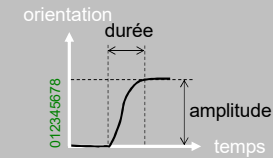
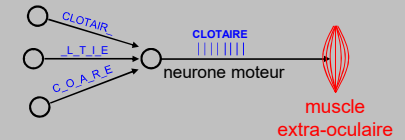
Quasiment rien entre deux potentiels d'action successifs (entre L et O par ex.),
une multitude de valeurs entre deux mesures de position.



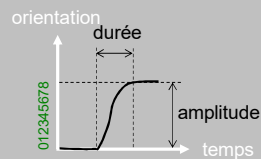
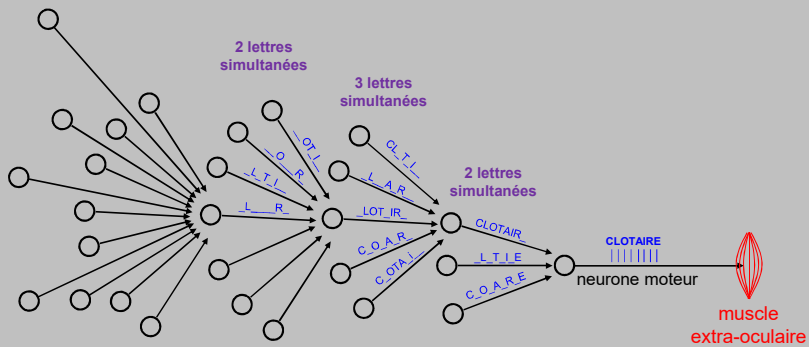
La séquence de potentiels d'action est la cause de la contraction musculaire, laquelle entraîne la saccade oculaire dont on mesure l'amplitude, la vitesse, etc.

Continuum entre les valeurs numériques Pas de continuum entre les potentiels d'action

2 lettres simultanées



La séquence de potentiels d'action est la cause de la contraction musculaire, laquelle entraîne la saccade oculaire dont on mesure l'amplitude, la vitesse, etc.

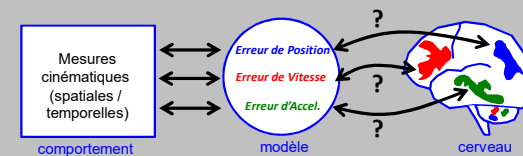


La séquence de potentiels d'action est la cause de la contraction musculaire, laquelle entraîne la saccade oculaire dont on mesure l'amplitude, la vitesse, etc.



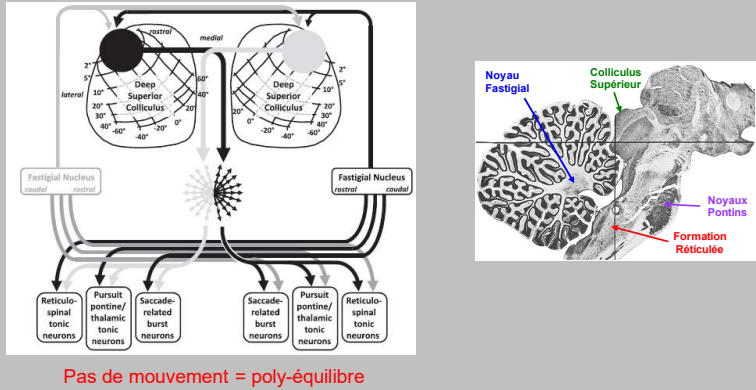
Grandeurs cinématiques et arithmétique dans le cerveau?

ISOMORPHISME CERVEAU - MODÈLE REMIS EN QUESTION



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

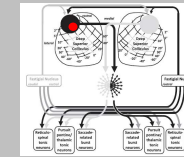
Poly-équilibre



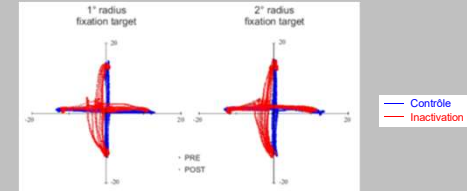
Direction du regard: un poly-équilibre

Inactivation unilatérale et réversible du *colliculus supérieur rostral* chez le macaque

Goffart, Hafed & Krauzlis
Journal of Neuroscience
2012



CIBLE STATIQUE

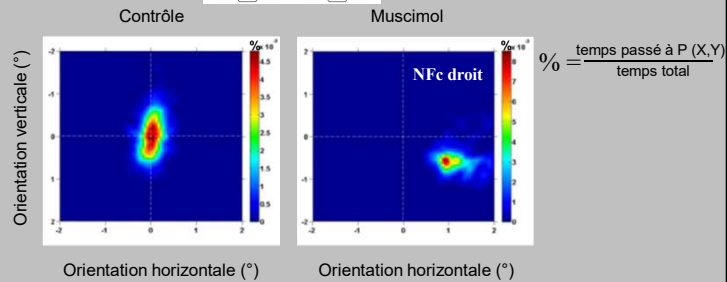
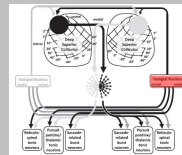


Décalage de fixation
Précision des saccades vers cibles périphériques

Direction du regard: un poly-équilibre

Inactivation unilatérale et réversible du *noyau fastigial caudal* chez le macaque

Guerrasio, Quinet, Büttner & Goffart
Journal of Neurophysiology
2010



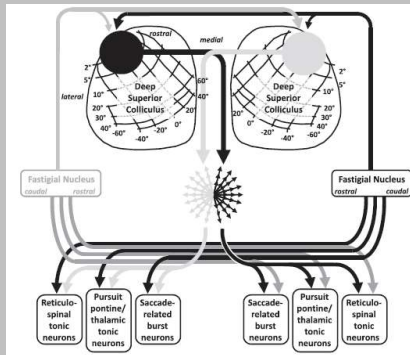
Direction de la tête: un poly-équilibre

Inactivation unilatérale et réversible du *noyau fastigial caudal* chez le chat

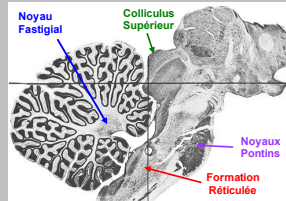


Goffart & Pélisson
Journal of Neurophysiology
1998

Poly-équilibres et restauration



Pas de mouvement = poly-équilibres
Mouvement = restauration du poly-équilibre



Cerveau et mathématiques

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."

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."

Thèse de l'épistémologie évolutionniste

Franz Wuketits (1984):

"Par un processus d'adaptation, les systèmes vivants accumulent de plus en plus d'informations sur leur environnement et représentent ainsi la structure de l'environnement dans lequel ils vivent, meilleure est la représentation de l'environnement, meilleures sont les chances de survie".

Il y a "une relation isomorphe entre les motifs de la nature les motifs de la cognition."

Konrad Lorenz (1941):

"Considérée comme une hypothèse de travail ou comme un organe fonctionnel, la forme de pensée de quantification numérique est et reste l'un des appareils les plus miraculeux que la nature ait jamais créés."

Herbert Spencer (1872):

"Les rapports d'espace ont été les mêmes, non seulement pour tous les hommes, pour tous les primates et tous les ordres de mammifères dont nous descendons, mais aussi pour tous les ordres d'êtres moins élevés. Ces rapports d'espace constants sont exprimés dans des structures nerveuses définies, congénitalement constituées pour agir d'une manière déterminée, et incapables d'agir d'une manière différente."

Cerveau et mathématiques

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."

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):

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.**"

"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."

Culture et mathématiques

En réduisant l'esprit au **cerveau**, le développement intellectuel à la "**maturation**" **cérébrale**, beaucoup auteurs ont confondu le **fonctionnement cérébral** d'un individu et l'**évolution historique et collective** d'un **discours** scientifique mémorisé dans des livres (stockés dans des bibliothèques) et obéissant à une logique booléenne. Rien ne nous autorise à imaginer que le fonctionnement cérébral soit soumis à de pareilles contraintes.

Fernand Doridot & Marco Panza 2004b

"les hommes (et les femmes) qui ... parviennent à constituer des objets abstraits, et constituent de ce fait des théories mathématiques, sont ... **des hommes (et des femmes) au pluriel**, des hommes (et des femmes) **concrets** agissant dans des conditions historiquement déterminées, et non pas des sortes d'excroissances d'un « sujet cognitif »".

Fernand Doridot & Marco Panza 2004a

"La constitution d'une théorie mathématique est un fait historique ... elle est l'affaire de quelques mathématiciens travaillant en conditions déterminées plutôt que la réalisation d'un processus cognitif propre à l'espèce. Et si, ... il en est ainsi, alors **seule l'histoire peut rendre compte de cette constitution et l'expliquer** ... La constitution d'une théorie mathématique nous semble difficilement concevable autrement que comme un processus historique, tout au moins historiquement situé et déterminé"

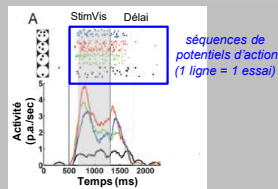
Sylvain Auroux (1998)

Des structures cognitives sont externes à l'individu. Elles "**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**"

Neuronal population coding of continuous and discrete quantity in the primate posterior parietal cortex

Oana Tudusciuc and Andreas Nieder*

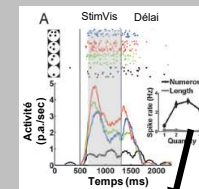
PNAS 2007



Neuronal population coding of continuous and discrete quantity in the primate posterior parietal cortex

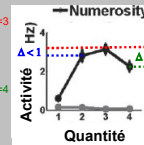
Oana Tudusciuc and Andreas Nieder*

PNAS 2007



Entre Q=2 et Q=3
 $\Delta(2,3) < 1$ pa/s
 0,1 pa/100 ms
 0,6 pa/600 ms

Entre Q=3 et Q=4
 $\Delta(3,4) < 2$ pa/s
 0,2 pa/100 ms
 1,2 pa/600 ms



Parmi la multitude de potentiels d'action qu'ils reçoivent d'autres neurones pendant 600 millisecondes, comment les neurones POST-synaptiques font-ils pour "distinguer" le potentiel d'action supplémentaire émis par ce neurone et permettent au singe de produire une réponse différente selon qu'il y a 2, 3 ou 4 stimuli dans le champ visuel ?

Neuronal population coding of continuous and discrete quantity in the primate posterior parietal cortex

Oana Tudusciuc and Andreas Nieder*
PNAS 2007

Entre Q=2 et Q=3
 $\Delta(2,3) < 1$ pa/s
0,1 pa/100 ms
1,2 pa/600 ms

Entre Q=3 et Q=4
 $\Delta(3,4) < 2$ pa/s
0,2 pa/100 ms
1,2 pa/600 ms

Parmi la multitude de potentiels d'action qu'ils reçoivent d'autres neurones pendant 600 millisecondes, comment les neurones POST-synaptiques font-ils pour "distinguer" les 1-3 potentiels d'action supplémentaires émis par ce neurone et permettent au singe de produire une réponse différente selon qu'il y a 2, 3 ou 4 stimuli dans le champ visuel ?

Entre Q=2 et Q=3
 $\Delta(2,3) = 2$ pa/s
0,2 pa/100 ms
1,2 pa/600 ms

Entre Q=3 et Q=4
 $\Delta(3,4) = 4$ pa/s
0,4 pa/100 ms
2,4 pa/600 ms

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
ELSEVIER
Neural constraints on human number concepts
Andreas Nieder
2020
Current Opinion in Neurobiology

Comment une activité qui ne dépasse pas 6 p.a./s peut-elle atteindre une moyenne de 11 p.a./s ?

Parmi la multitude de potentiels d'action qu'ils reçoivent d'autres neurones pendant 600 millisecondes, comment les neurones POST-synaptiques font-ils pour "distinguer" les 3-4 potentiels d'action émis par ce neurone et permette au sujet de produire une réponse différente selon qu'il y a 1, 2, 3, 4 ou 5 stimuli dans le champ visuel ?

Entre Q=1 et Q=3
 $\Delta(1,3) = 7$ pa/s
0,7 pa / 100 ms
3-4 pa / 500 ms

Entre Q=3 et Q=4
 $\Delta(3,4) = 4$ pa/s
0,4 pa/100 ms
2,4 pa/600 ms

OPEN ACCESS Freely available online
PLOS BIOLOGY

Monotonic Coding of Numerosity in Macaque Lateral Intraparietal Area

2007

Jamie D. Roitman^{1*}, Elizabeth M. Brannon^{2,3}, Michael L. Platt^{1,3}

¹ Department of Neurobiology, Duke University, Durham, North Carolina, United States of America, ² Department of Psychology and Neuroscience, Duke University, Durham, North Carolina, United States of America, ³ Center for Cognitive Neuroscience, Duke University, Durham, North Carolina, United States of America

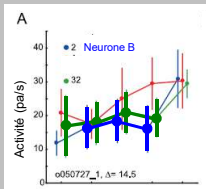
Aire LIP

neurones "accumulateurs" neurones "décumulateurs"

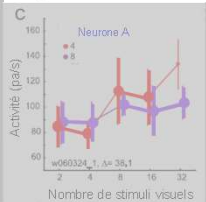
Roitman, Brannon & Platt PLOS Biol 2007



Comment les neurones **POST-synaptiques** font-ils pour "distinguer" si 4, 8 ou 16 stimuli ont été présentés dans le champ de réponse de ce neurone "comptable"?



A :
Pendant la tâche 32, les neurones POST-synaptiques ne reçoivent pas de signal leur permettant de "distinguer" si 2-4-8 ou 16 stimuli furent présentés dans le champ de réponse du neurone enregistré.
Pendant la tâche 2, ils ne reçoivent pas de signal leur permettant de "distinguer" si 4, 8 ou 16 stimuli furent présentés



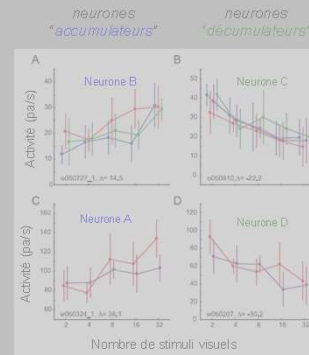
C :
Pendant la tâche 8, les neurones POST-synaptiques ne reçoivent pas de signal leur permettant de "distinguer" si 8-16 ou 32 stimuli furent présentés dans le champ de réponse du neurone enregistré. Ils ne reçoivent pas non plus de signal leur permettant de "distinguer" si 2 ou 4 stimuli furent présentés.
Pendant la tâche 4, ils ne reçoivent pas de signal leur permettant de "distinguer" si 8 versus 16 (ou 2 vs 4) stimuli furent présentés.

Comment les neurones **POST-synaptiques** font-ils pour "distinguer" si 8, 16 ou 32 stimuli ont été présentés dans le champ de réponse de ce neurone "comptable"?
 Comment font-ils pour "distinguer" si 2 ou 4 stimuli ont été présentés?



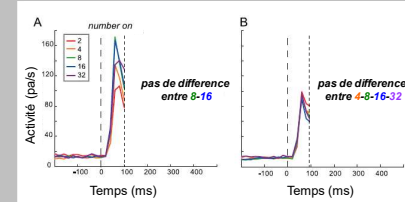
Roitman, Brannon & Platt *PLOS Biol* 2007

Aire LIP

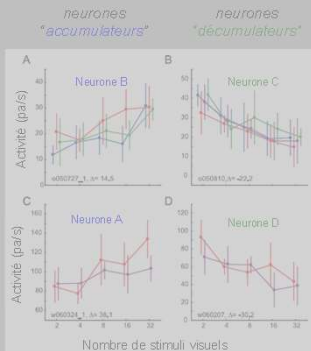


Roitman, Brannon & Platt *PLOS Biol* 2007

Population de 14 neurones "accumulateurs" Population de 17 neurones "décompteurs"

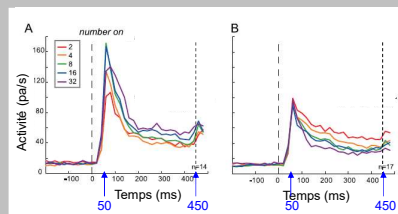


Aire LIP



Roitman, Brannon & Platt *PLOS Biol* 2007

Population de 14 neurones "accumulateurs" Population de 17 neurones "décompteurs"



Il faut attendre 400 ms pour discerner les courbes

Les neurones POST-synaptiques ne reçoivent des signaux distincts que si ils accumulent le nombre de potentiels d'action des neurones de LIP pendant 400 ms
à condition que les potentiels d'action qu'ils reçoivent d'autres neurones ne viennent pas brouiller l'intégration.

Comment les neurones **POST-synaptiques** "distinguent-ils" les potentiels d'action émis par les neurones "comptables" (LIP) de ceux émis par une multitude d'autres neurones afférents ?



Corrélation \neq relation causale

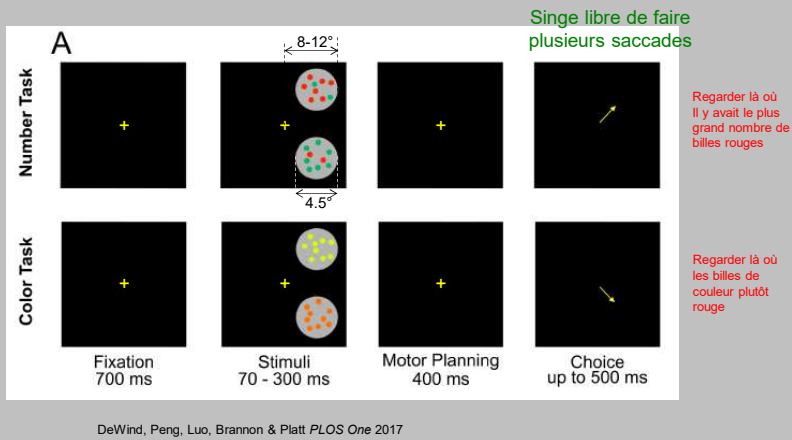
Une corrélation entre: la cadence d'émission des potentiels d'action et un événement externe (nombre d'éléments dans le champ visuel) n'implique pas que les potentiels d'action contribuent à la réponse comportementale.

Pharmacological inactivation does not support a unique causal role for intraparietal sulcus in the discrimination of visual number

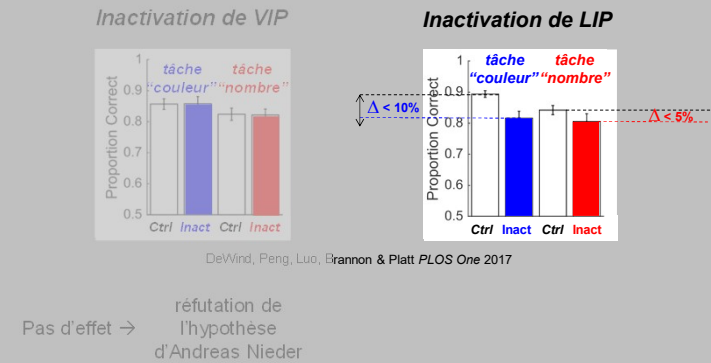
Nicholas K. DeWind¹*, Jiyun Peng², Andrew Luo³, Elizabeth M. Brannon¹, Michael L. Platt^{1,4,5}

PLOS One 2017

Tâches de discrimination



LIP participe-t-elle à la "comptabilité" visuelle ?



Logique fallacieuse

Selon DeWind, Peng, Luo, Brannon & Platt (2017),
SI les aires LIP et VIP sont spécialisées dans le traitement du nombre d'items visuels,
ALORS l'inactivation de l'une ou de l'autre de ces aires devrait provoquer un plus grand déficit dans une tâche de distinction numérique que dans une tâche de distinction de couleurs.
→ Nous avons vu que ce n'est pas le cas

Au lieu de rejeter leur prémisses, i.e., au lieu de conclure que les aires LIP et VIP ne jouent aucun rôle dans l'estimation du nombre d'items visuels, ils enchainent sur une autre inférence :

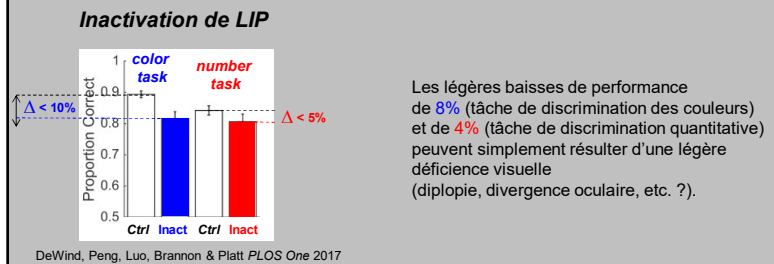
SI l'inactivation entraîne des déficits similaires dans les deux tâches (numérique et couleurs)
ALORS le traitement numérique dans ces aires LIP et VIP n'est que la signature d'un circuit à usage général pour la comparaison ordinaire, l'attention visuelle ou la prise de décision perceptive



Surenchère cognitive :

- comparaison ordinaire,
- attention visuelle
- prise de décision perceptive

Explication plus simple



Journal of Neurophysiology 1995

Neurons in Monkey Parietal Area LIP Are Tuned for Eye-Movement Parameters in Three-Dimensional Space

JAMES W. GNADT AND LAWRENCE E. MAYS
Department of Neurobiology and Behavior, State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, New York 11794; and Department of Physiological Optics, School of Optometry, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, Alabama 35294

Journal of Neurophysiology 1995

Conclusion

L'implication du cortex pariétal dans une "cognition" numérique ne repose sur aucune preuve neurophysiologique chez le singe macaque.

Les études d'imagerie cérébrale chez l'Homme ne disent rien de l'activité des neurones. Le signal IRMf-BOLD témoigne d'une activité PRE-synaptique et pas de l'émission de potentiels d'action (Lippert et al. *Magnetic Resonance Imaging* 2010). Plus d'activité PRE-synaptique ne signifie pas plus de potentiels d'action (à cause des afférences inhibitrices).

Au cours des dernières décennies, une confusion s'est installée dans les sciences du cerveau entre

- certains concepts
- 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 étaient un peu trop hâtivement associées ont conduit quelques auteurs et surtout une multitude de suiveurs à soutenir des thèses nativistes et évolutionnistes, comme celles d'un codage dans le cerveau de l'espace, du temps, des nombres, de la géométrie et de l'arithmétique.

Les neurosciences ont négligé le fait qu'une multitude de structures cognitives sont externes à l'individu, à savoir les "instruments externes (livres, bibliothèques, instruments de calcul et d'observation...) et les structures sociales de productions et de cumulation des connaissances (encyclopédies, sociétés savantes etc.)" (Sylvain Aurox 1998).

"Les mathématiques sont une œuvre d'art collective qui tirent leur objectivité des interactions sociales." (Rav 1988)

"Le siège de la rationalité scientifique n'est pas le scientifique individuel mais la communauté scientifique" (Solomon 1996)

Merci de votre attention



Pour plus d'informations : <https://cv.hal.science/laurent-goffart>

Diaporama

Cérébralisation de la notion d'espace
Critique des thèses nativistes ...

<https://cnrs.hal.science/>
tel-04070171