

# CERVEAU COGNITION TEMPS



COLLÈGE  
DE FRANCE  
— 1530 —



**Virginie van Wassenhove**

Exec. Dir. NeuroSpin MEG  
CEA.I<sup>2</sup>BM.DSV. NeuroSpin

Group Leader, Brain Dynamics  
INSERM U992 Cognitive Neuroimaging Unit

objectifs

1. Le « temps » en neurosciences cognitives.

## objectifs

1. Le « temps » en neurosciences cognitives.
2. Mesures de la dynamique cérébrale (et donc, mentale).

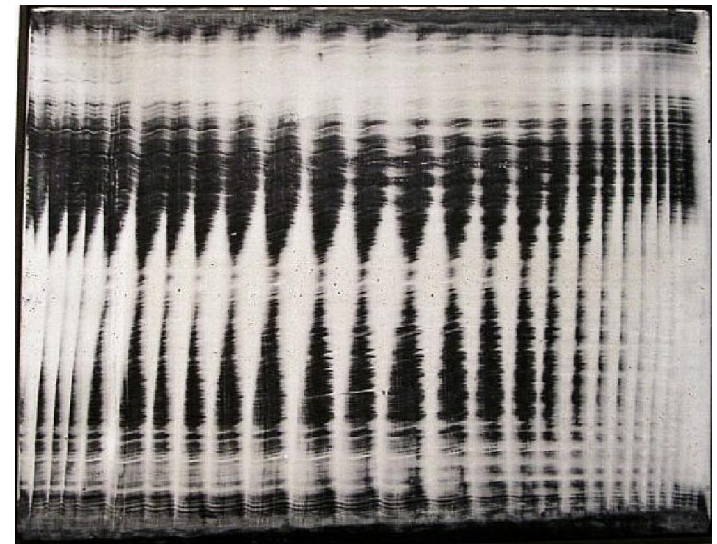
## objectifs

1. Le « temps » en neurosciences cognitives.
2. Mesures de la dynamique cérébrale (et donc, mentale).
3. Deux approches différentes:
  - **logistique temporelle neuronale**: quels systèmes de traitement temporel de l'information?  
*-> contenu de la représentation mentale = X*
  - **opérations pour un contenu mental du temps**: quelles opérations spécifiques pour la représentation mentale du temps?  
*-> contenu de la représentation mentale = temps*

## objectifs

1. Le « temps » en neurosciences cognitives.
2. Mesures de la dynamique cérébrale (et donc, mentale).
3. Deux approches différentes:
  - logistique temporelle neuronale
  - opérations pour un contenu mental du temps
4. Hypothèse : le cerveau Humain (s')abstrait du temps

- Le temps
- Outils des neurosciences cognitives
- Données empiriques et modèles
- Hypothèse de travail



Mack Heinz (1958) Dynamic structure

# The Mammalian Circadian Timing System: Organization and Coordination of Central and Peripheral Clocks

Charna Dibner,<sup>1</sup> Ueli Schibler,<sup>2</sup> and Urs Albrecht<sup>3</sup>

Annu. Rev. Physiol. 2010. 72:517-49

## horloges biologiques

cerveau mammifère  
(rat; coupe sagittale)

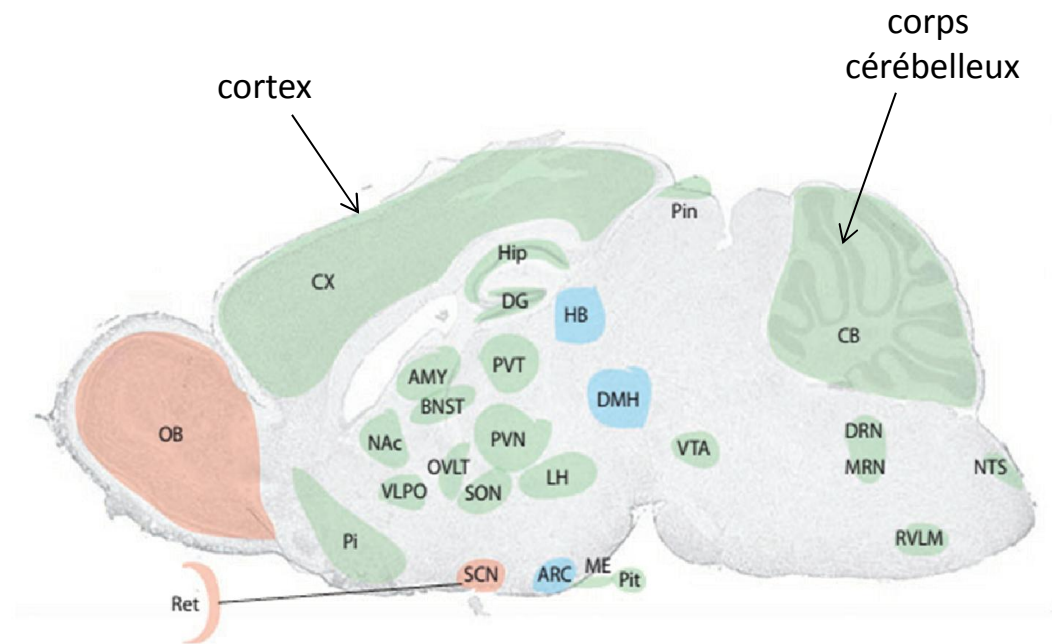


Figure 2

**oscillateurs autonomes**  
(bulbe olfactif + noyau SupraChiasmatique)

**oscillateurs semi-autonomes**

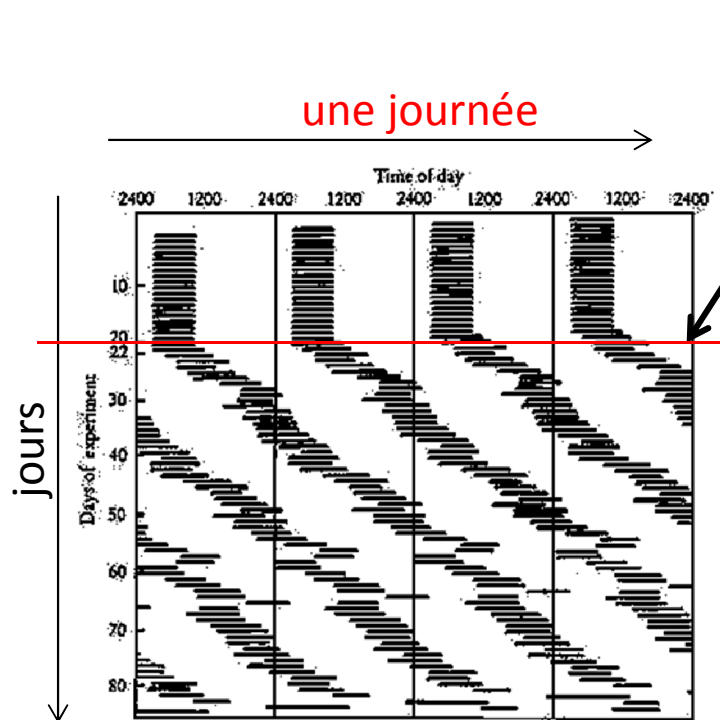
**oscillateurs esclaves**

The Mammalian Circadian  
Timing System: Organization  
and Coordination of Central  
and Peripheral Clocks

Charna Dibner,<sup>1</sup> Ueli Schibler,<sup>2</sup> and Urs Albrecht<sup>3</sup>

Annu. Rev. Physiol. 2010. 72:517-49

chronobiologie  
**horloges biologiques**  
cerveau mammifère (ici, rat)



perturbation



Figure 2

**oscillateurs autonomes**  
(bulbe olfactif + noyau SupraChiasmatic)

**oscillateurs semi-autonomes**

**oscillateurs esclaves**



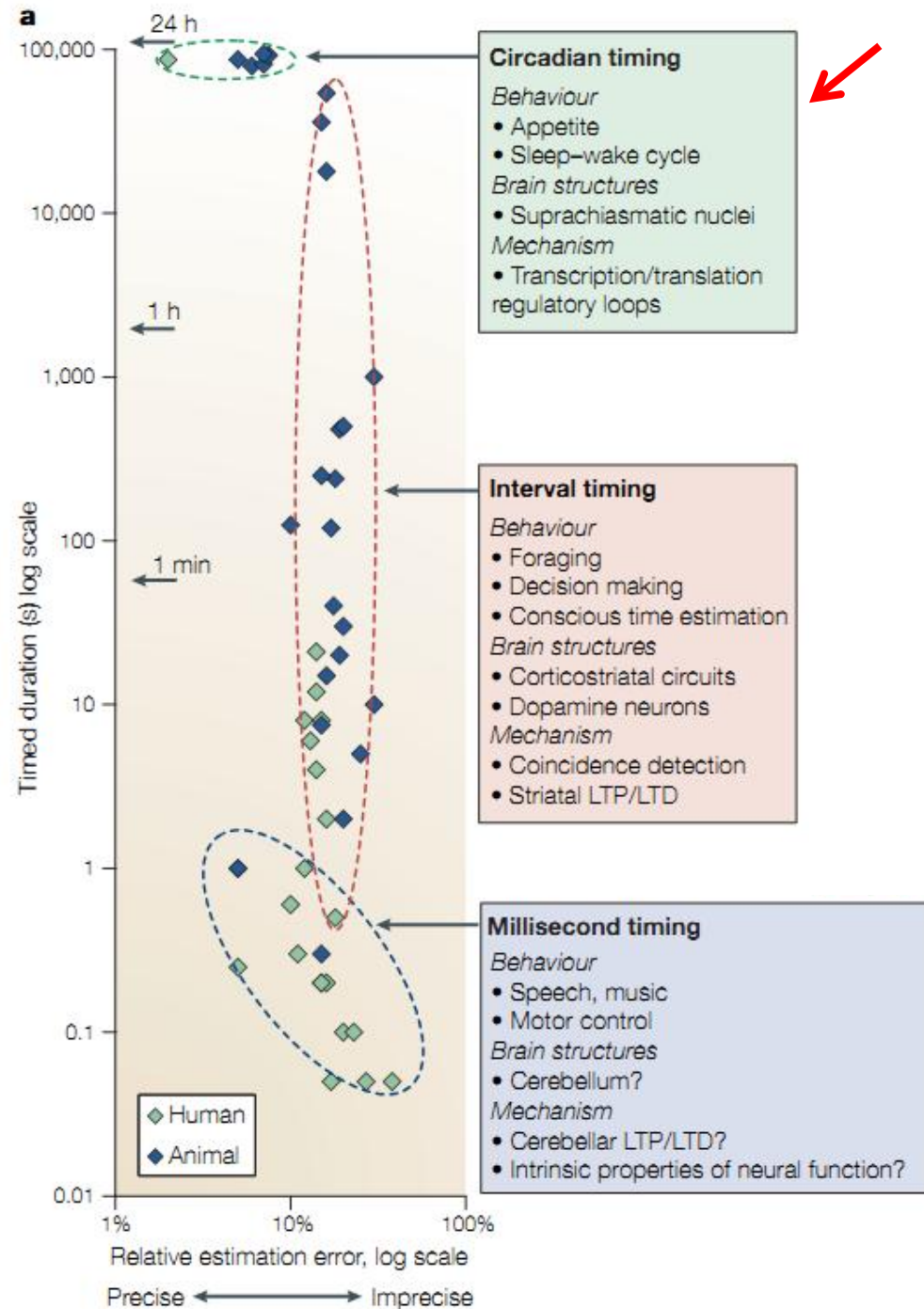
# TAXONOMIE .

échelles de temps pertinentes à l'organisme

## WHAT MAKES US TICK? FUNCTIONAL AND NEURAL MECHANISMS OF INTERVAL TIMING

Catalin V. Buhusi and Warren H. Meck

NATURE REVIEWS | **NEUROSCIENCE**  
VOLUME 6 | OCTOBER 2005 |



## TEMPS ABSTRAIT

projection mentale

représentations linguistiques / conceptuelles

## CIRCADIEN (> heures)

durée

## INTERVALLES (> centaines de millisecondes, minutes)

orientation dans le temps

expectation temporelle

durée

## MILLISECONDES

orientation temporelle

expectation temporelle

durée

rythme

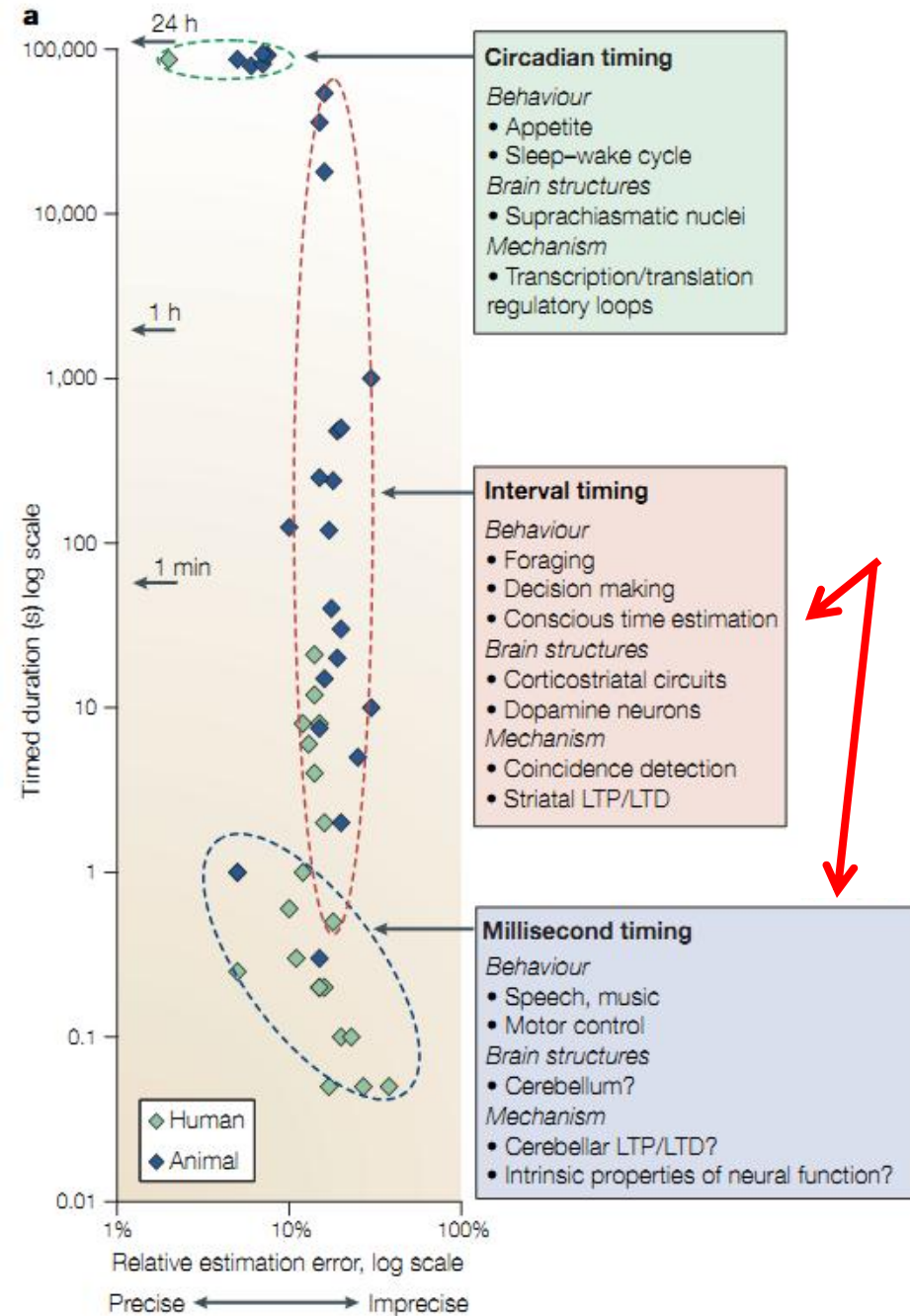
simultanéité

ordre temporel

fusion [...]

## MICROSECONDES

localization spatiale





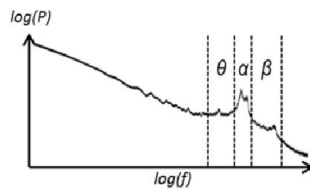
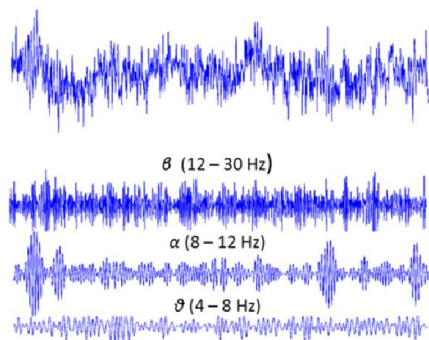
physique

**OBSERVATEUR**

*physicien, neuroscientifique, psychologue*

neuronal

psychologique

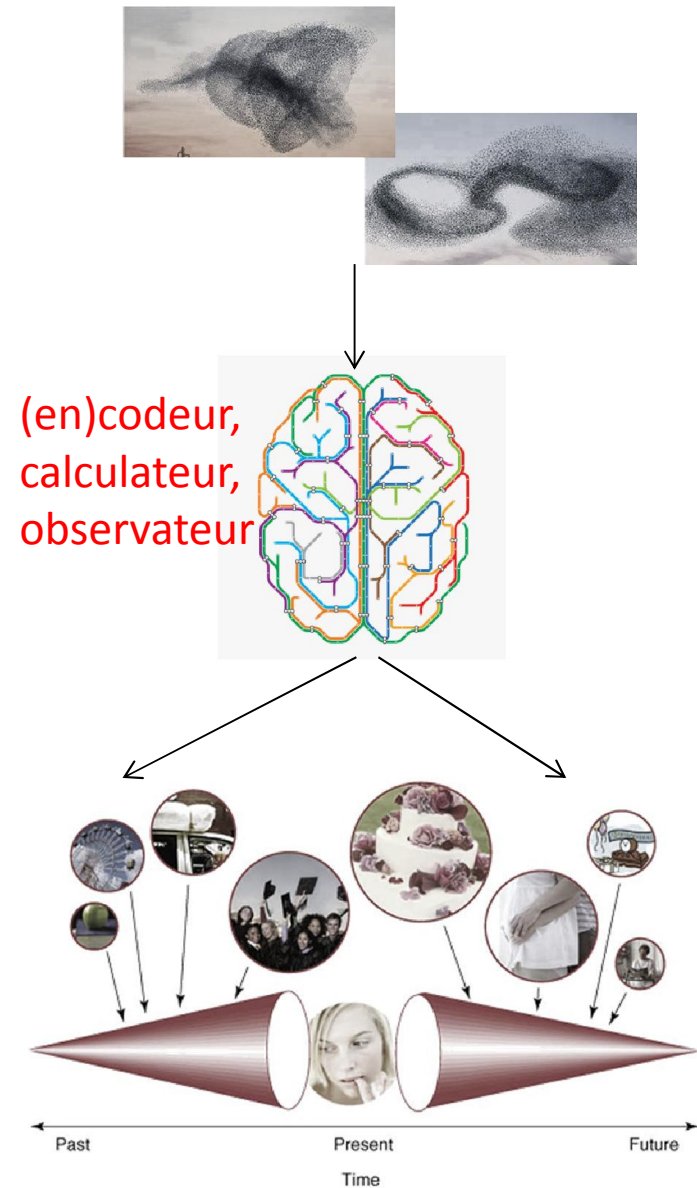


# temps psychologique(s)

[...]

1. encoder les statistiques temporelles de son environnement
2. cartographier temporellement les événements - « cognitive map »
3. quantifier les relations temporelles entre différents événements (durée, ordre, etc)
4. expliquer la conscience phénoménologique ou le ressenti temporel
5. coder et mémoriser les statistiques temporelles des événements
6. préserver le contenu sémantique dans cet espace conceptuel
7. communiquer à nos pairs par le langage
8. prédire et estimer

[...]



TRENDS in Cognitive Sciences

## The comparative study of mental time travel

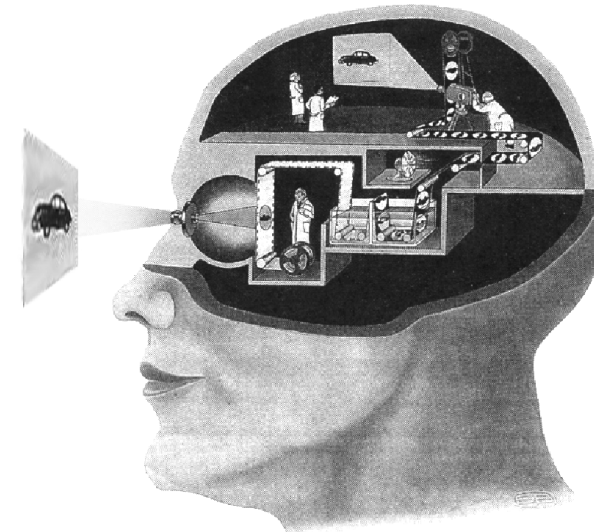
Trends in Cognitive Sciences Vol.13 No.6

William A. Roberts and Miranda C. Feeney

## calcul, algorithme, implémentation

opérations et les algorithmes nécessaires:

1. à l'émergence de l'expérience temporelle  
[durée, ordre, tempo, etc]
2. aux **représentations mentales** du temps  
[« flèche », capacité de parler de la durée ou de la structure temporelle des événements, d'imaginer le passé ou de se projeter dans le futur, de composer une modulation structurée du temps (musique), etc]  
=> faculté de l'être humain à « **mentaliser le temps** »

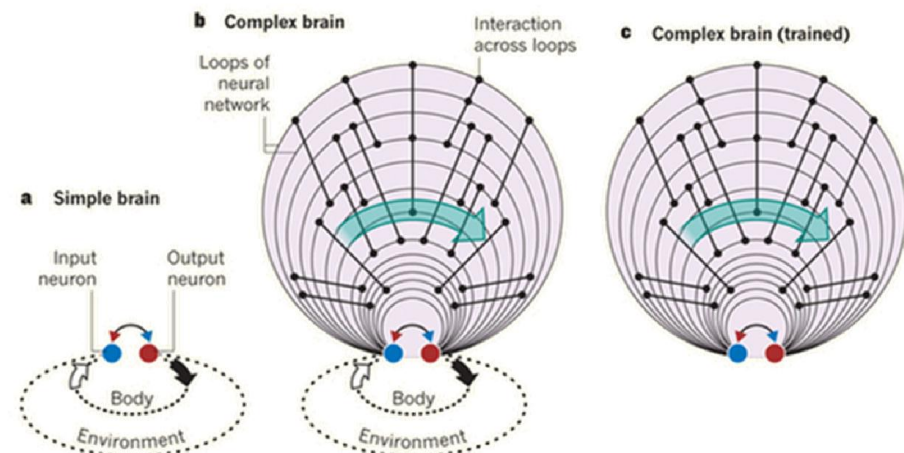


afin d'éviter le théâtre cartésien et la régression à l'infini de l'homunculus

auto-référentiel



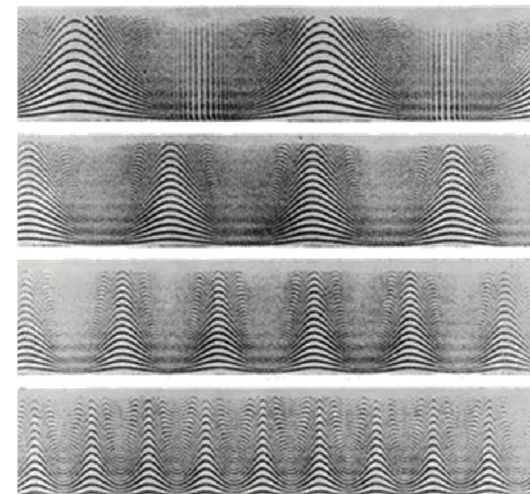
Time, space and memory  
568 | NATURE | VOL 497 | 30 MAY 2013  
GYÖRGY BUZSAKI



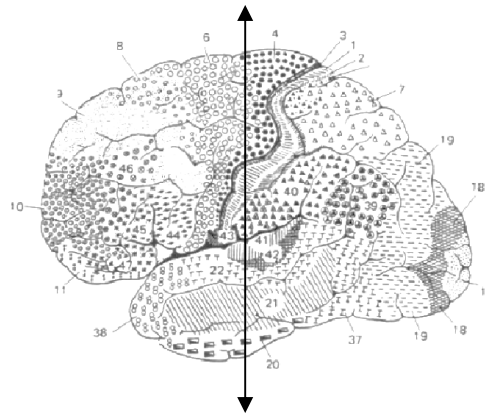
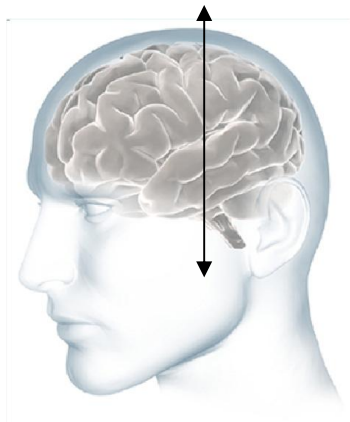
**Hypothèse tripartite** . David Marr (et Poggio) :

1. les **calculs** (computations)
2. l'**algorithme** (opérations et les représentations sur lesquelles elles opèrent)
3. l'**implémentation** neurobiologique
- [4. et leurs relations]

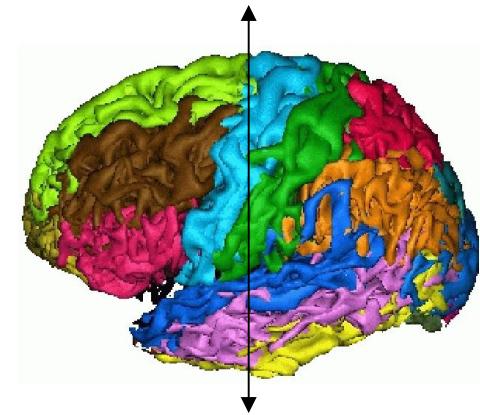
- Le temps
- **Outils des neurosciences cognitives**
- Données empiriques et modèles
- Hypothèse de travail



# échelles neuroanatomiques de l'activité neuronale

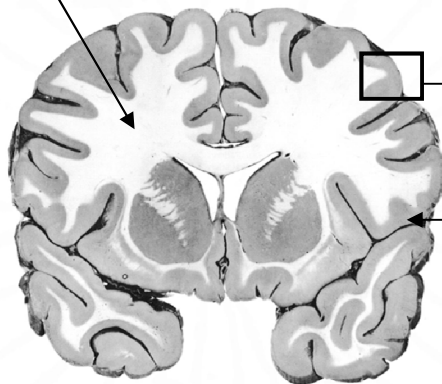


Brodman areas  
(cytoarchitecturally defined)



Brodman areas  
(MRI defined)

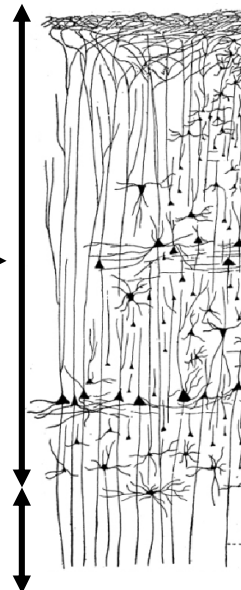
White Matter



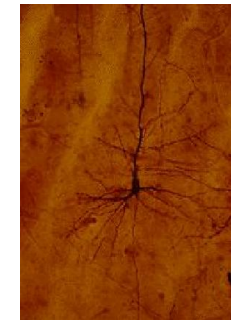
human brain  
coronal section

grey matter

white matter

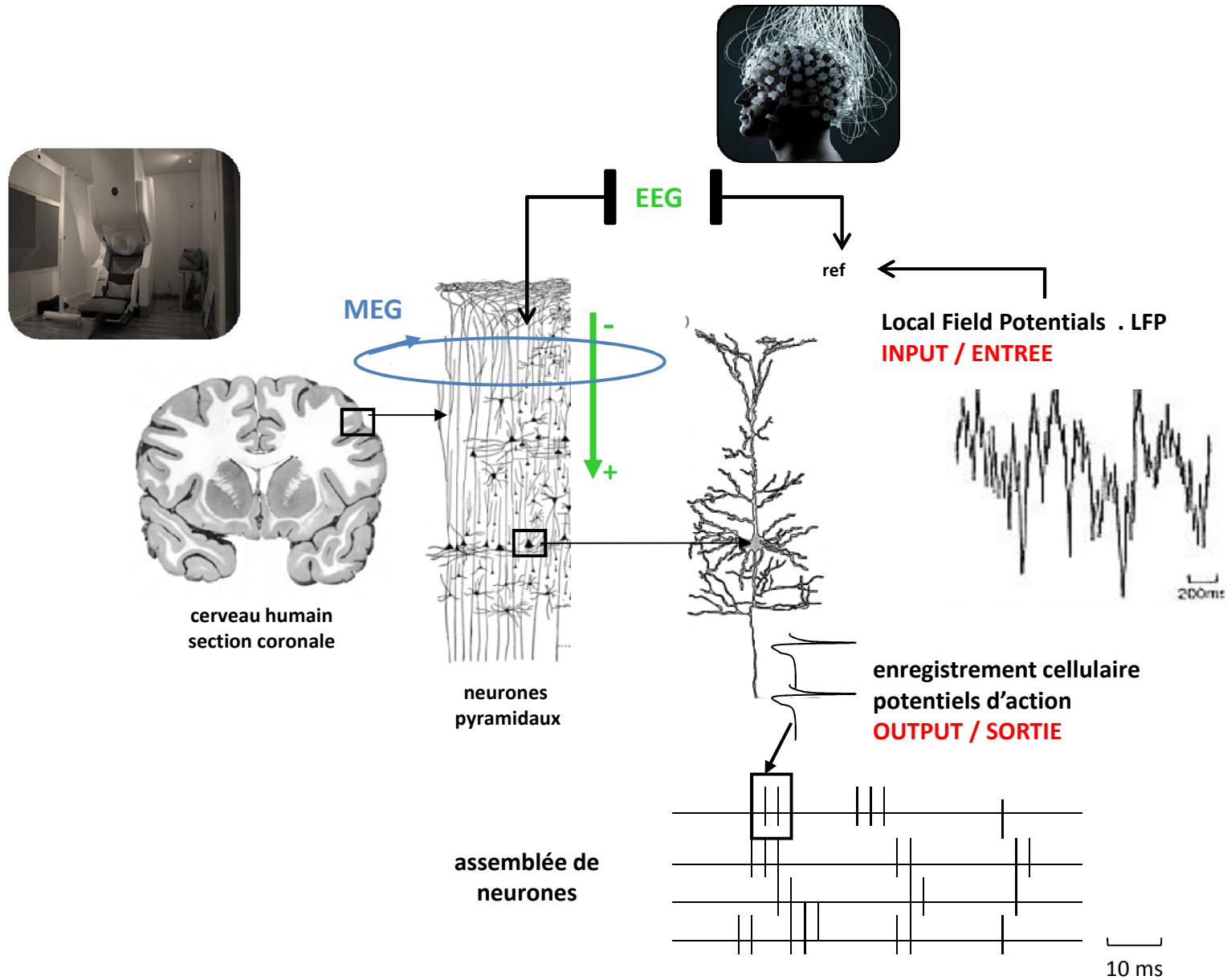


pyramidal neuron



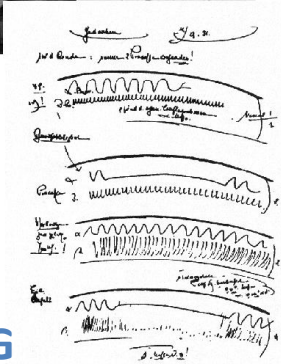
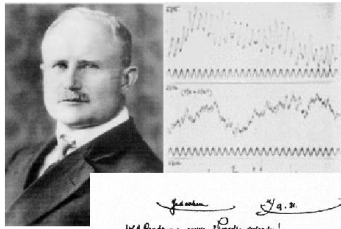
Ramon y Cajal (Nobel /  
1906 with Golgi)  
silver impregnation

# échelles fonctionelles de l'activité neuronale et quantification





Hans Berger, 1924

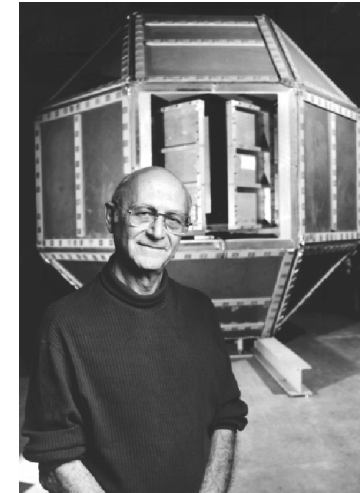


EEG

ElectroEncephaloGraphie

non-invasif

David Cohen, MIT 1969



MEG

MagnetoEncephaloGraphie

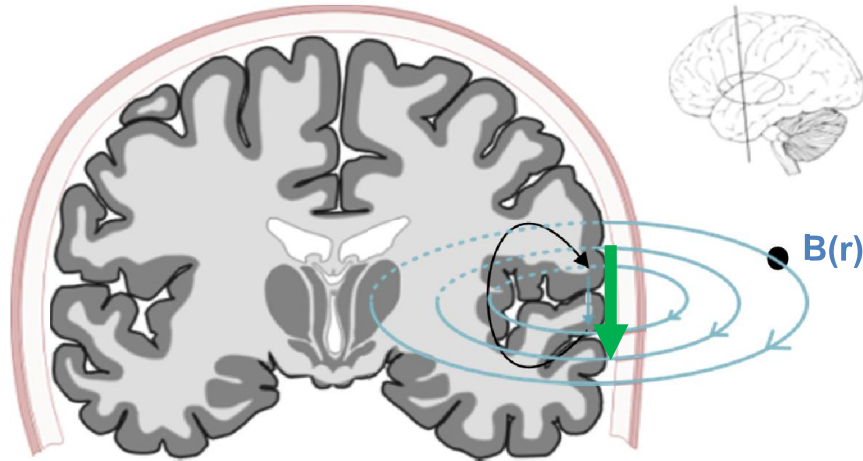
256 electrodes - EGI



Dehaene-Lambertz & Dehaene (Nature, 1994)



# échelle mésoscopique



cerveau humain  
section coronale

MEG: enregistre principalement l'activité de populations neuronales situées dans les

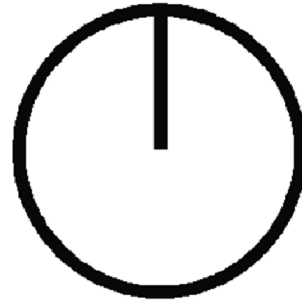
« sulci » ou sillons. [cerveau = quelques pT ( $10^{-12}T$ ) / champs électromagnétique terrestre = quelques  $\mu T$ ]

EEG: enregistre principalement l'activité de populations neuronales situées dans les « gyri »

ou circumvolutions. [ $\mu V$ ]

CERVEAU	$\approx 10^{11}$ neurones
CORTEX	$\approx 10^{10}$ neurones
<b>NEURONES PYRAMIDAUX</b>	<b><math>\approx 85\%</math> (soit <math>8.5^{10}</math>)</b>
SYNAPSES	$\approx 10^4$ to $10^5$
SURFACE CORTICALE	$\approx 3000$ cm <sup>2</sup>
<b>Résolution temporelle</b>	<b><math>\approx 1</math> ms</b>
<b>Résolution spatiale</b>	<b><math>\approx 0.5</math> cm<sup>2</sup></b>
<b>Sensitivité</b>	<b><math>\approx 10^7</math> à <math>10^9</math> neurones soit <math>\sim 50\,000</math> neurones/10 nAm</b>

psychologie . *par exemple, la surprise dilate le temps perçu*



courtesy of  
Dean Buonomano (UCLA)

### Attention and the subjective expansion of time

PETER ULRIC TSE  
*Dartmouth College, Hanover, New Hampshire*

*Perception & Psychophysics*  
2004, 66 (7), 1171-1189

JAMES INTRILIGATOR  
*University of Wales, Bangor, Wales*

JOSÉE RIVEST  
*York University, Toronto, Ontario, Canada*  
and

PATRICK CAVANAGH  
*Harvard University, Cambridge, Massachusetts*

## Distortions of Subjective Time Perception Within and Across Senses

Virginie van Wassenhove<sup>1\*</sup>, Dean V. Buonomano<sup>2,3</sup>, Shinsuke Shimojo<sup>1</sup>, Ladan Shams<sup>2</sup>

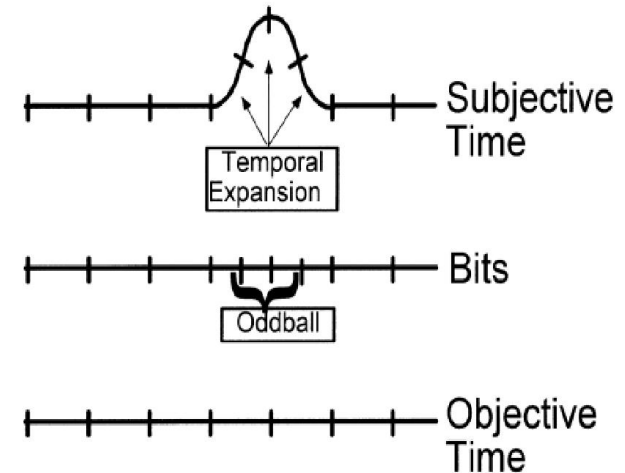
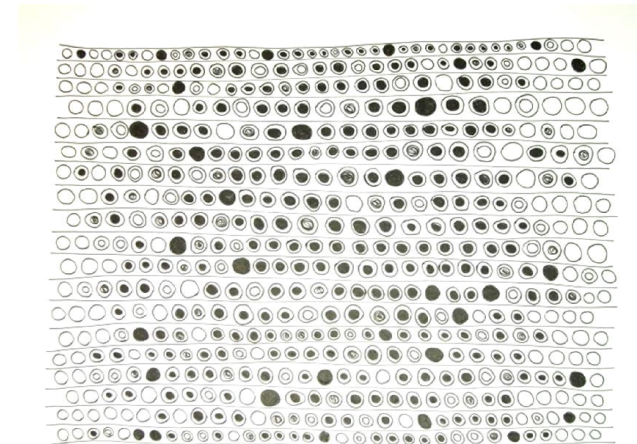


Figure 12. When an oddball occurs, more information is processed over the stimulus per unit of objective time. If subjective time is gauged in terms of the amount of perceptual information processed, subjective time will seem to expand relative to objective time, as shown at the top region indicated by “Temporal Expansion.”

- Le temps
- Outils des neurosciences cognitives
- Données empiriques et modèles
  - chronoarchitecture et encodage événementiel
- Hypothèse de travail



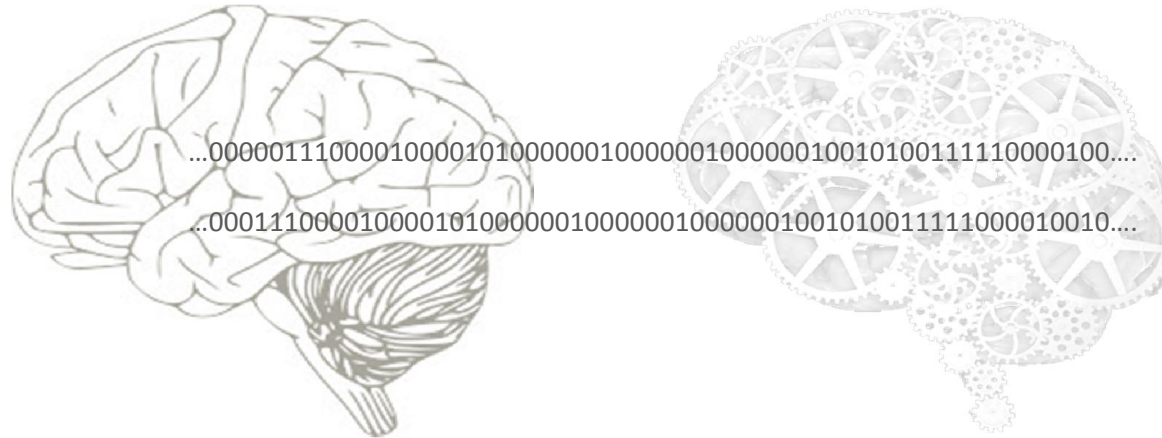
# cerveau = système dynamique modulaire



## Elman (1990)

- calculs seriels vs. parallèles
- passage et segmentation de l'information en unités de calculs pour le cerveau -> discrétisation

# cerveau = système dynamique modulaire



## Elman (1990)

- calculs sériels vs. parallèles
- passage et segmentation de l'information en unités de calculs pour le cerveau -> discrétisation

## Zacks & Tversky (2001, 2007)

**événement** : segment de temps conçu par un observateur comme ayant un début et une fin.

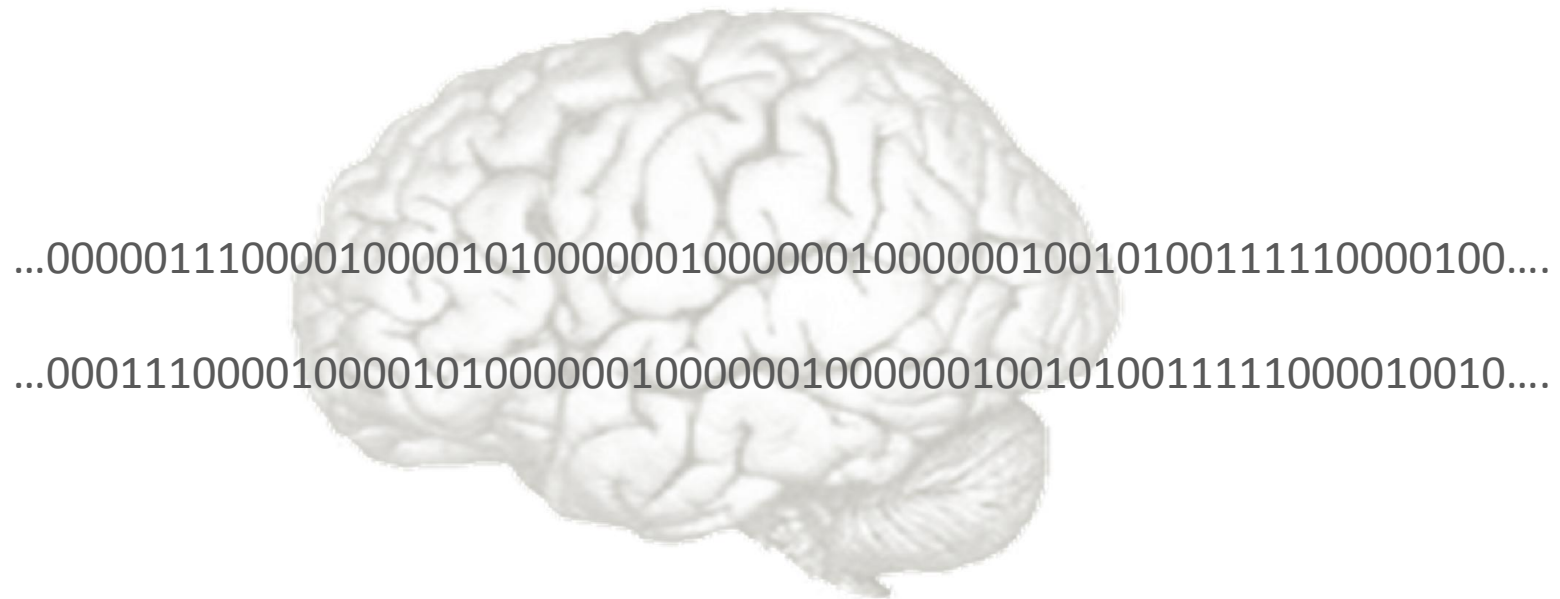
**perception de la structure événementielle**: processus par lequel un observateur identifie les débuts, les fins et leurs relations.

deux informations  
[par ex, code binaire potentiels d'action neuronaux  
ou réseau activé/non-activé]

...000001110000100001010000001000000100000010010100111110000100....

...000111000010000101000000100000010000001001010011111000010010....

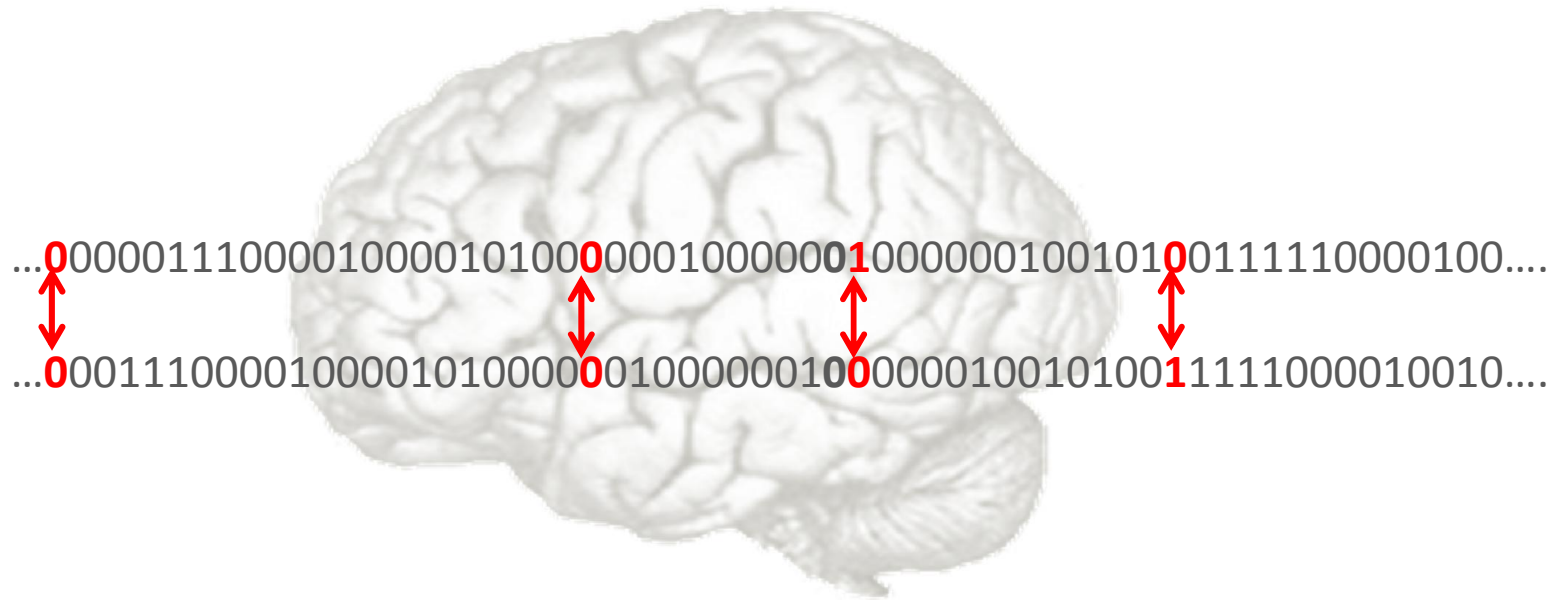
sont-elles **identiques**?  
**commencent-elles en même temps**?  
ont-elles la **même durée**?





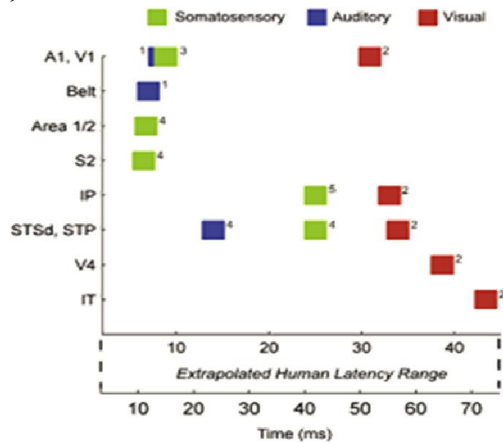
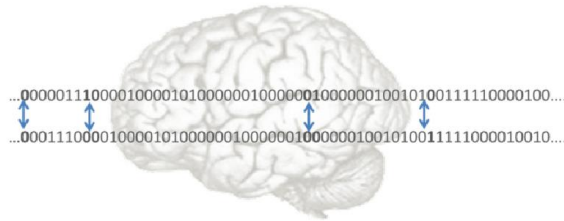
# DIFFICILE

⇔ codage par latence



## DIFFICILE

↔ codage par latence



Musacchia & Schroeder, *Hear. Res.* (2009)

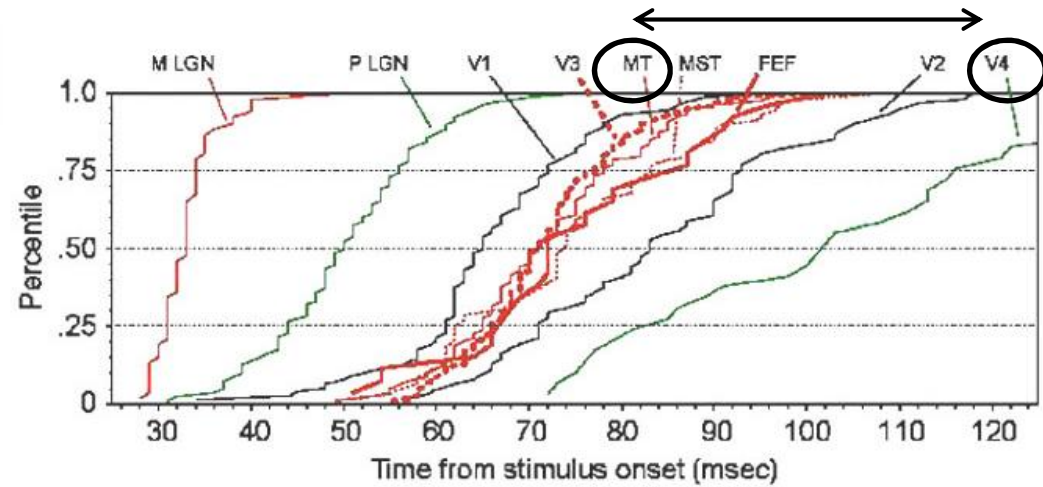


Figure 24. Onset latencies. Cumulative distributions of visually evoked onset response latencies in the LGNd, striate and extrastriate areas as labeled. Percentile of cells that have begun to respond is plotted as a function of time from stimulus presentation. The V4 curve is truncated to increase resolution of the other curves: the V4 range extends to 159 ms. From Schmolesky et al. (1998).

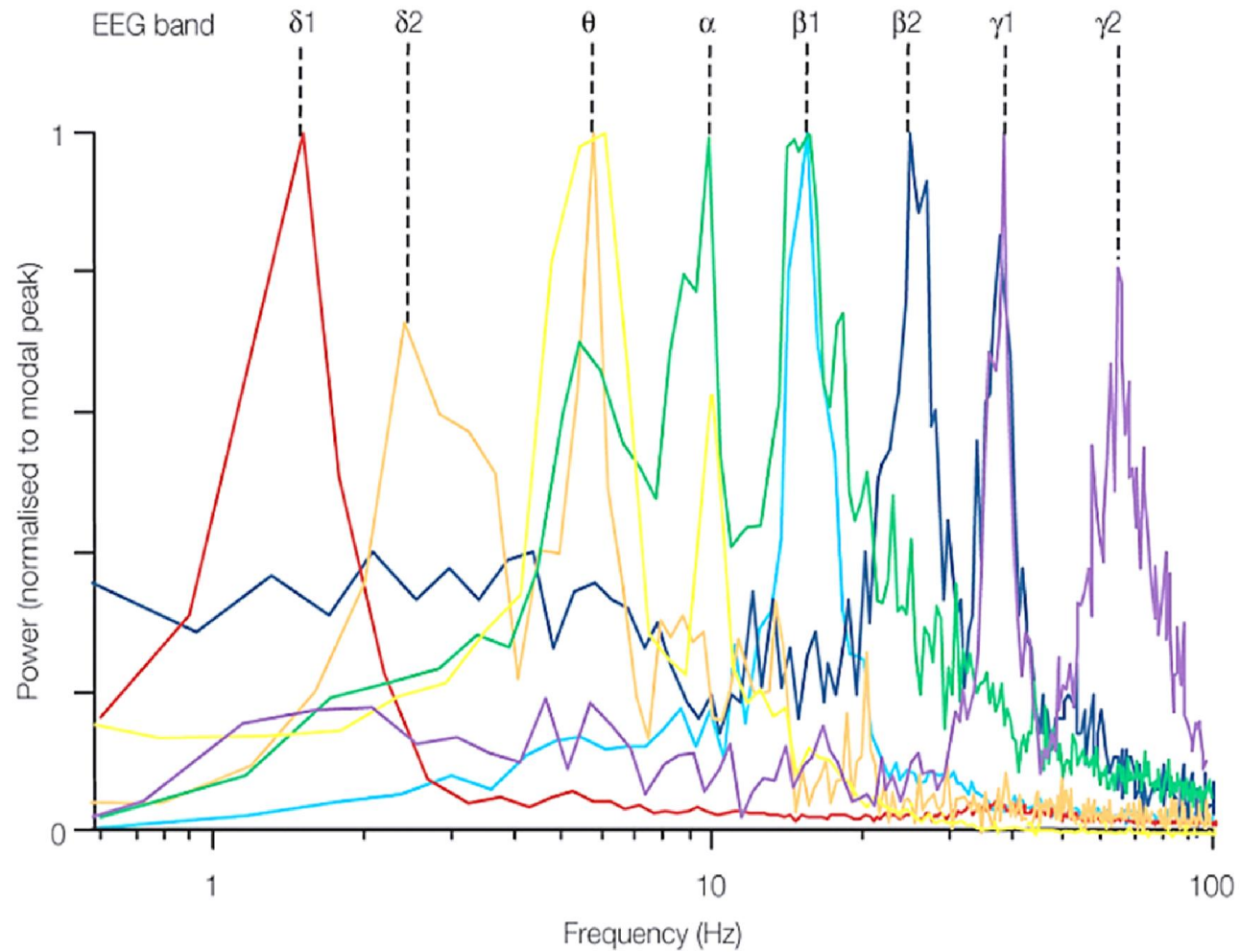
## encodage temporel par la latence des réponses

- ne reflète pas la temporalité perçue
- coût computationnel élevé
- requiert un lecteur central (théâtre cartésien et régression à l'infinie) ou un référentiel temporel stable

# Temporal interactions between cortical rhythms

# chronoarchitecture

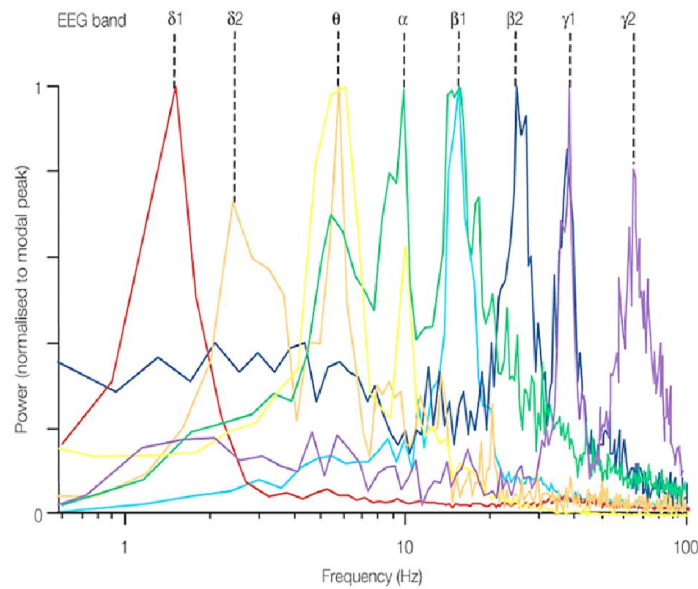
Anita K. Roopun<sup>1</sup>, Mark A. Kramer<sup>2</sup>, Lucy M. Carracedo<sup>1</sup>, Marcus Kaiser<sup>3,1</sup>,  
Ceri H. Davies<sup>4</sup>, Roger D. Traub<sup>5</sup>, Nancy J. Kopell<sup>2</sup> and Miles A. Whittington<sup>1\*</sup>



in vitro néocortex

## Temporal interactions between cortical rhythms

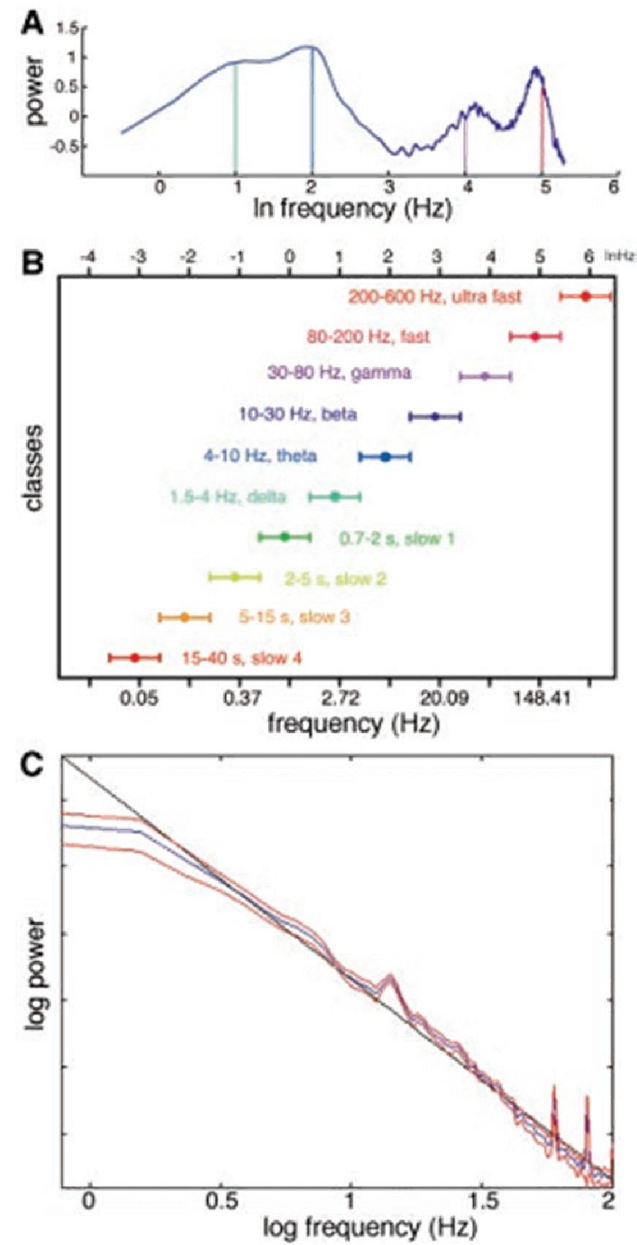
Anita K. Roopun<sup>1</sup>, Mark A. Kramer<sup>2</sup>, Lucy M. Carracedo<sup>1</sup>, Marcus Kaiser<sup>3,1</sup>,  
Ceri H. Davies<sup>4</sup>, Roger D. Traub<sup>5</sup>, Nancy J. Kopell<sup>2</sup> and Miles A. Whittington<sup>1\*</sup>



## Neuronal Oscillations in Cortical Networks

Science

György Buzsáki<sup>1\*</sup> and Andreas Draguhn<sup>2</sup>

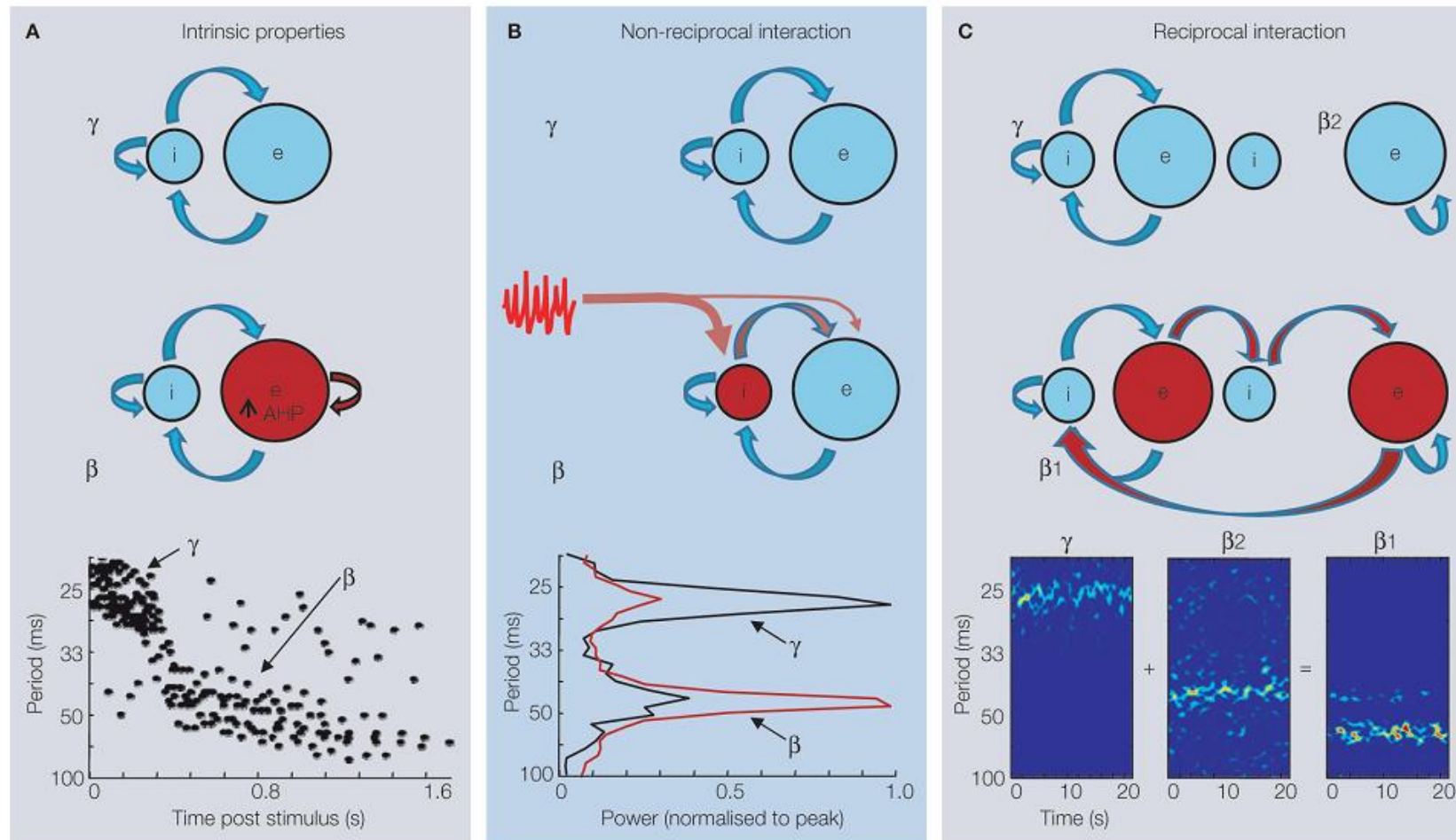


souris

# Temporal interactions between cortical rhythms

# chronoarchitecture

Anita K. Roopun<sup>1</sup>, Mark A. Kramer<sup>2</sup>, Lucy M. Carracedo<sup>1</sup>, Marcus Kaiser<sup>3,1</sup>,  
Ceri H. Davies<sup>4</sup>, Roger D. Traub<sup>5</sup>, Nancy J. Kopell<sup>2</sup> and Miles A. Whittington<sup>1\*</sup>



génération des oscillations neuronales:

(A) intrinsèques ou (B) interactions non réciproques ou (C) interactions réciproques

la chronoarchitecture informe aussi sur la connectivité neuroanatomique sous-jacente et sur la direction du transfert de l'information

### Neurophysiological and Computational Principles of Cortical Rhythms in Cognition

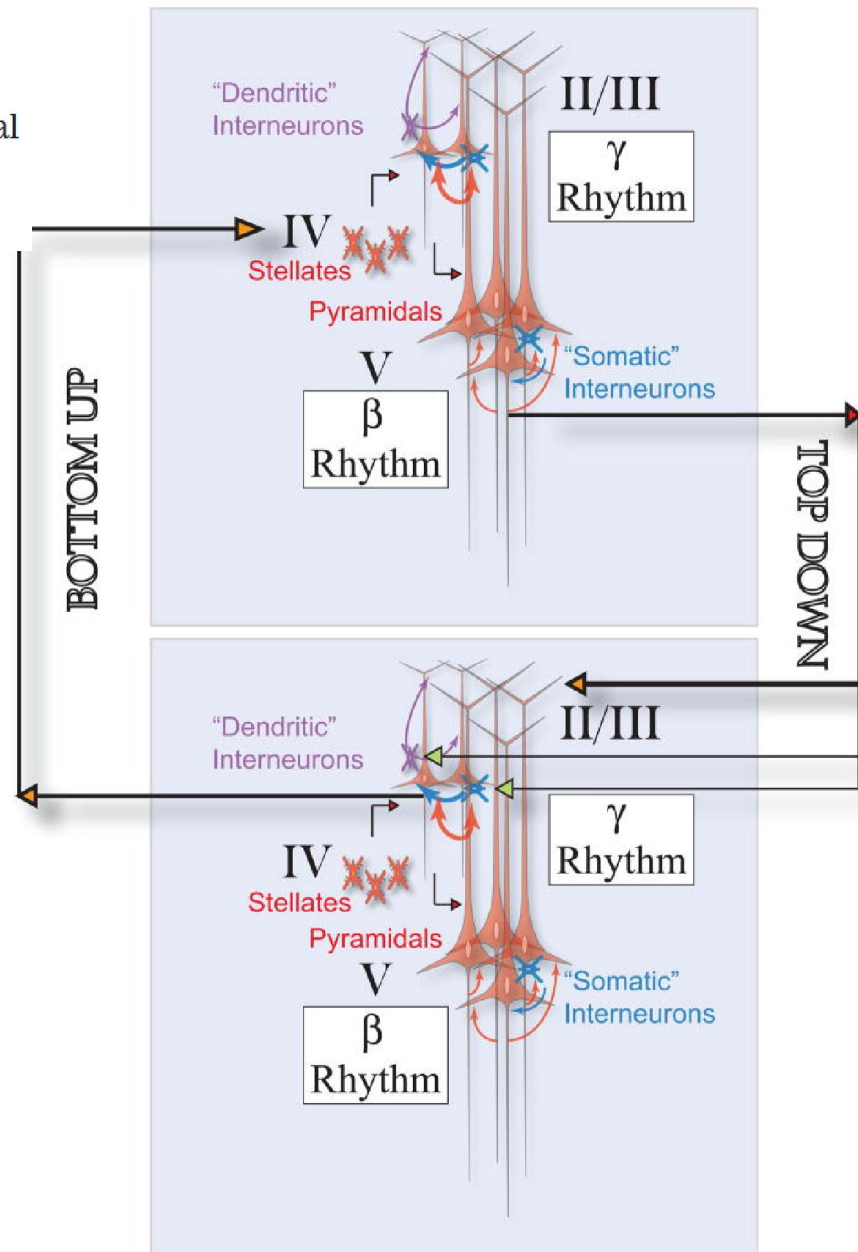
XIAO-JING WANG

**Figure 19**

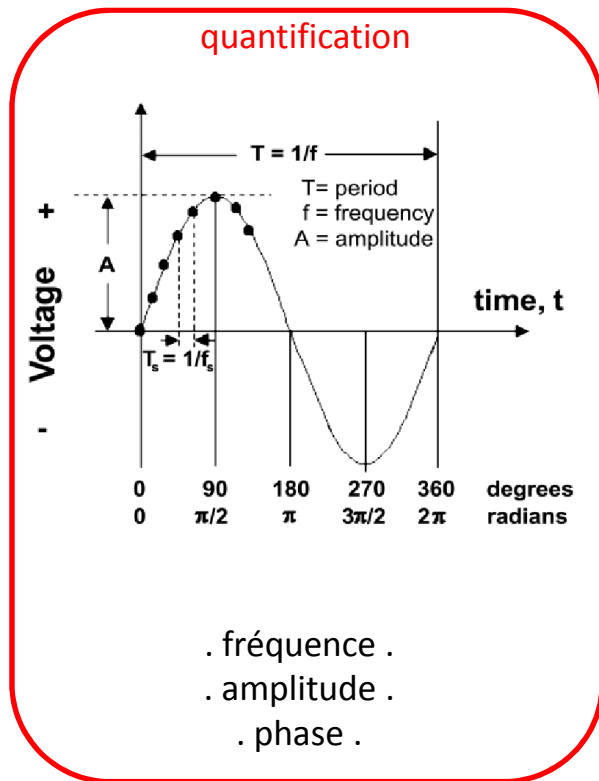
Schematic circuit for the interplay between beta- and gamma-band oscillations in top-down signaling  
 Shown is a **reciprocally connected loop** between a sensory-type area and a cognitive-type area. **In each area, the superficial layers are endowed with strong intrinsic synaptic connections and generate synchronous oscillations in the gamma frequency range, whereas the deep layers has a propensity to display oscillations in the beta frequency range.**

Top-down projections originate in the deep layers and predominantly target the superficial layers, where they innervate pyramidal cells (red), as well as dendrite-targeting (purple) and perisoma-targeting (blue) inhibitory interneurons.

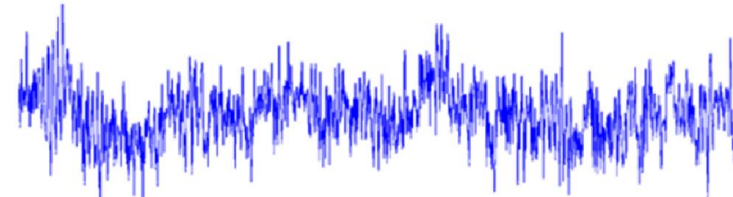
**In this scenario, beta oscillations are directly involved in top-down signaling, which interacts with locally generated gamma oscillations. Gamma supragranular layer <-> feedforward**



# chronoarchitecture

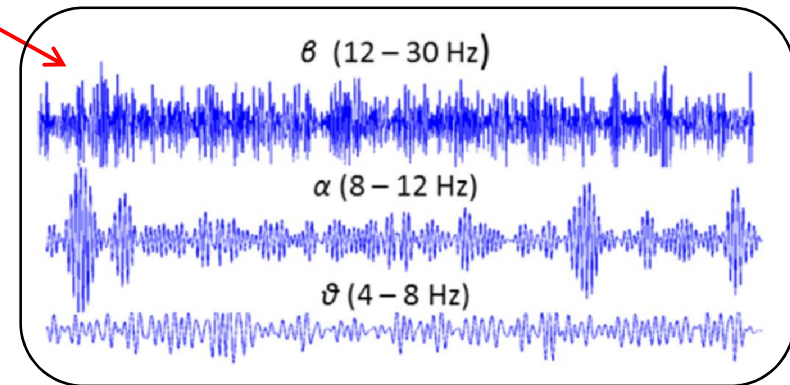


signal MEG  
non filtré

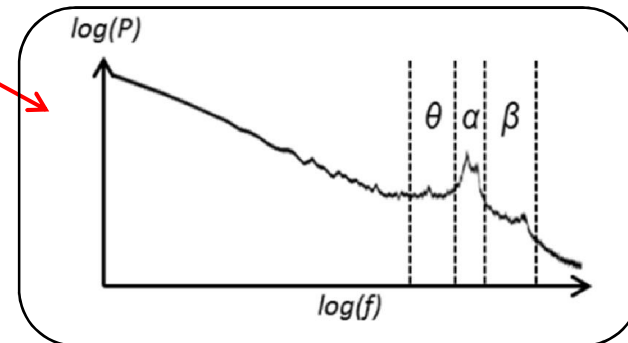


temps

décomposition  
fréquentielle



spectre  
fréquentiel



homme (MEG)

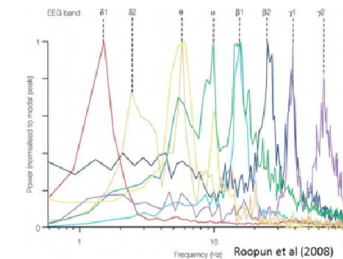
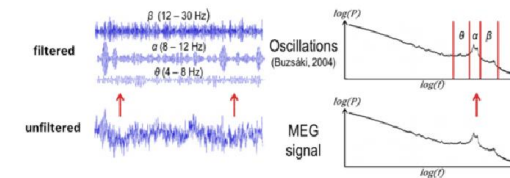
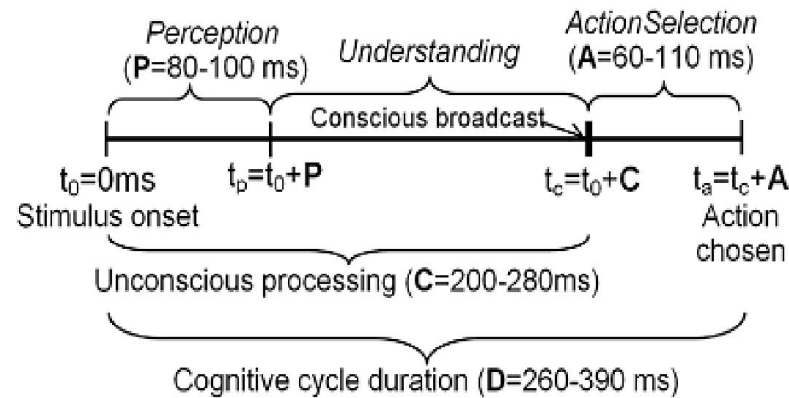
# conséquences sur les contraintes temporelles de l'architecture cognitive

OPEN ACCESS Freely available online



## The Timing of the Cognitive Cycle

Tamas Madl<sup>1\*</sup>, Bernard J. Baars<sup>2</sup>, Stan Franklin<sup>3</sup>



in vitro cortical slices

## conséquences sur l'encodage du temps lui-même?

### A hierarchical model of temporal perception

Ernst Pöppel

### Temporal Rhythms and Cerebral Rhythms'

ANNALS NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES

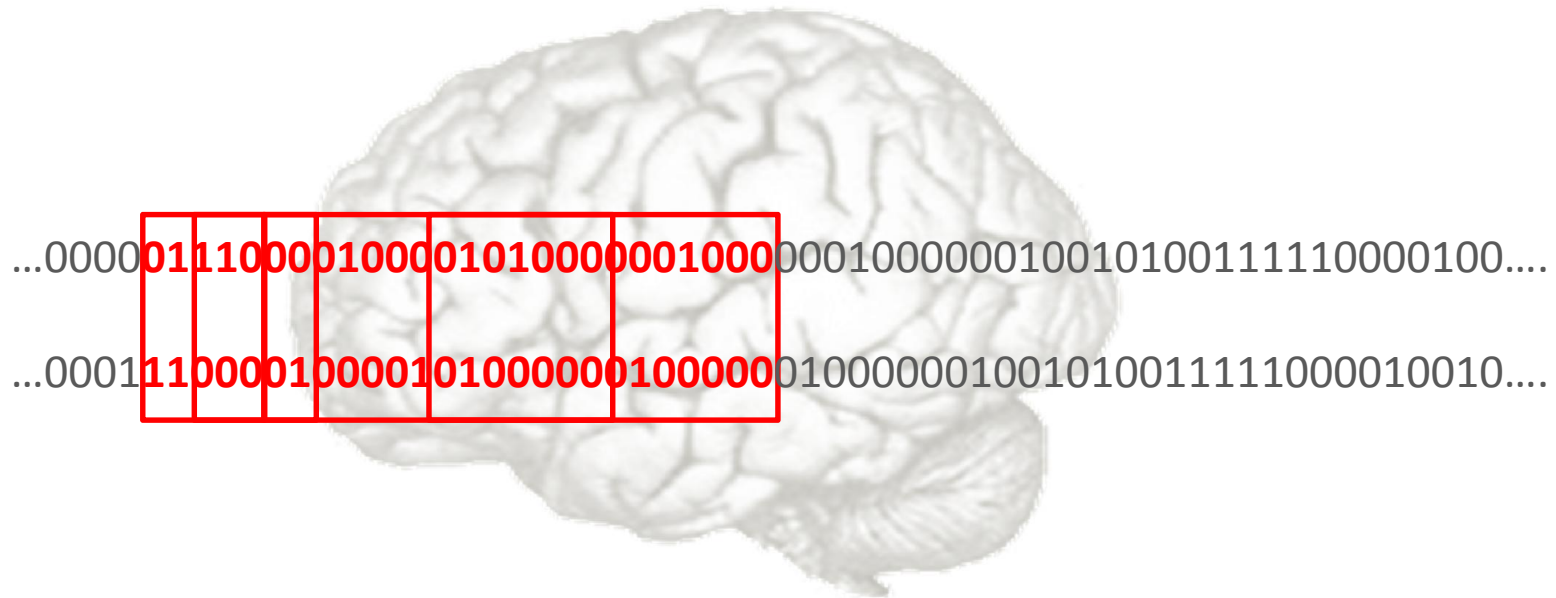
MICHEL TREISMAN



# DIFFÉRENT

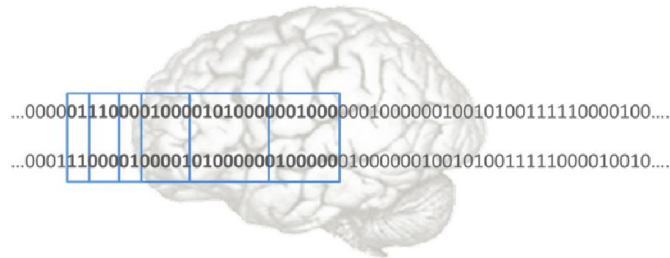
quelque soit la taille de la fenêtre

⇔ codage par intégration temporelle



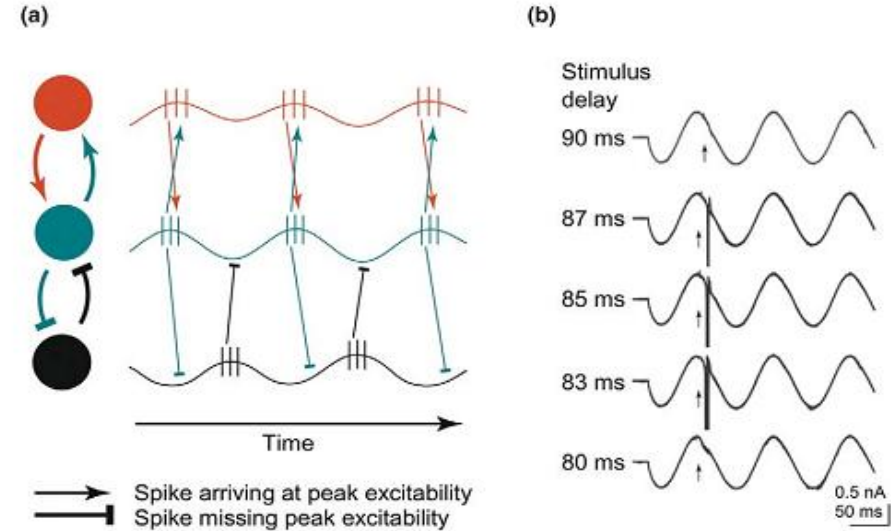
## DIFFÉRENT

quelque soit la taille de la fenêtre  
⇔ codage par intégration temporelle



## A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence

Pascal Fries<sup>1,2</sup>



### Codage par INTEGRATION TEMPORELLE

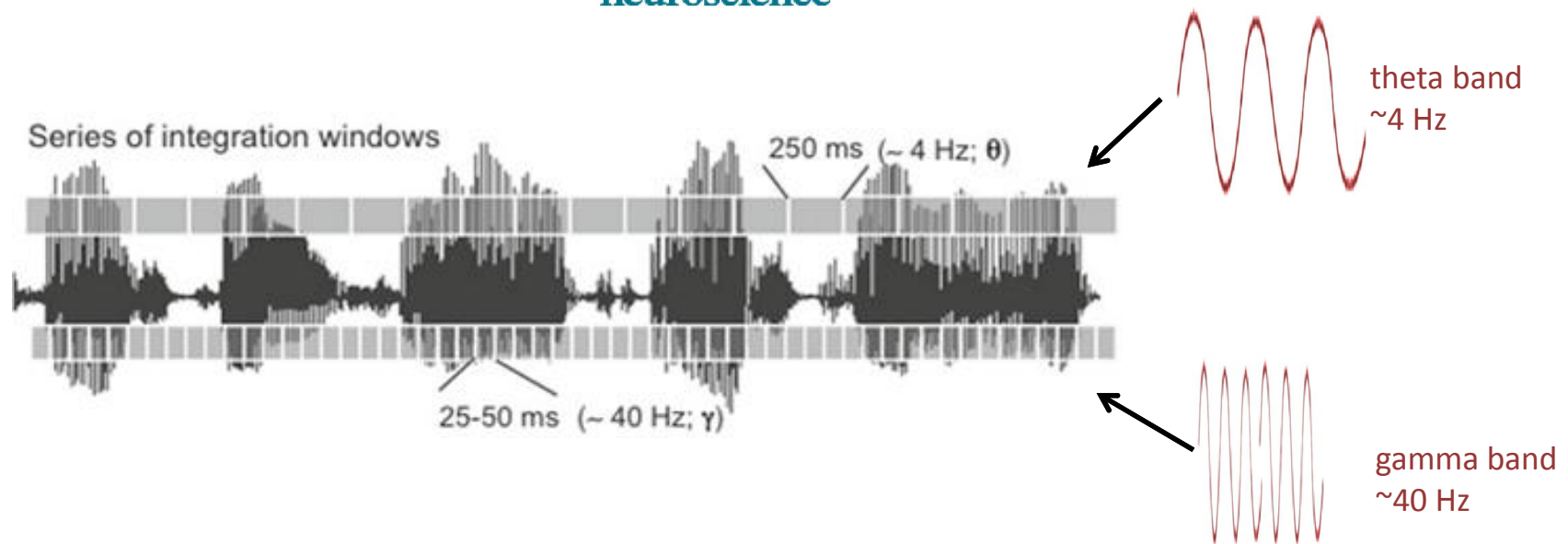
- dépendance *de facto* de la taille de la fenêtre d'intégration
- synchronisation cruciale pour la communication neuronale
- perte de la résolution temporelle fine bénéficiant l'encodage d'autres représentations X... ( $X = \text{couleur, timbre, langage etc ...}$ )

segmentation de l'information dans le temps en unités de calculs (discrétisation)

## Cortical oscillations and speech processing: emerging computational principles and operations

Anne-Lise Giraud<sup>1</sup> & David Poeppel<sup>2</sup>

nature  
neuroscience



- ⇔ passage des informations acoustiques continues en unités computationnelles
- ⇔ plusieurs granularités temporelles pertinentes aux représentations internes (« distinctive features »)

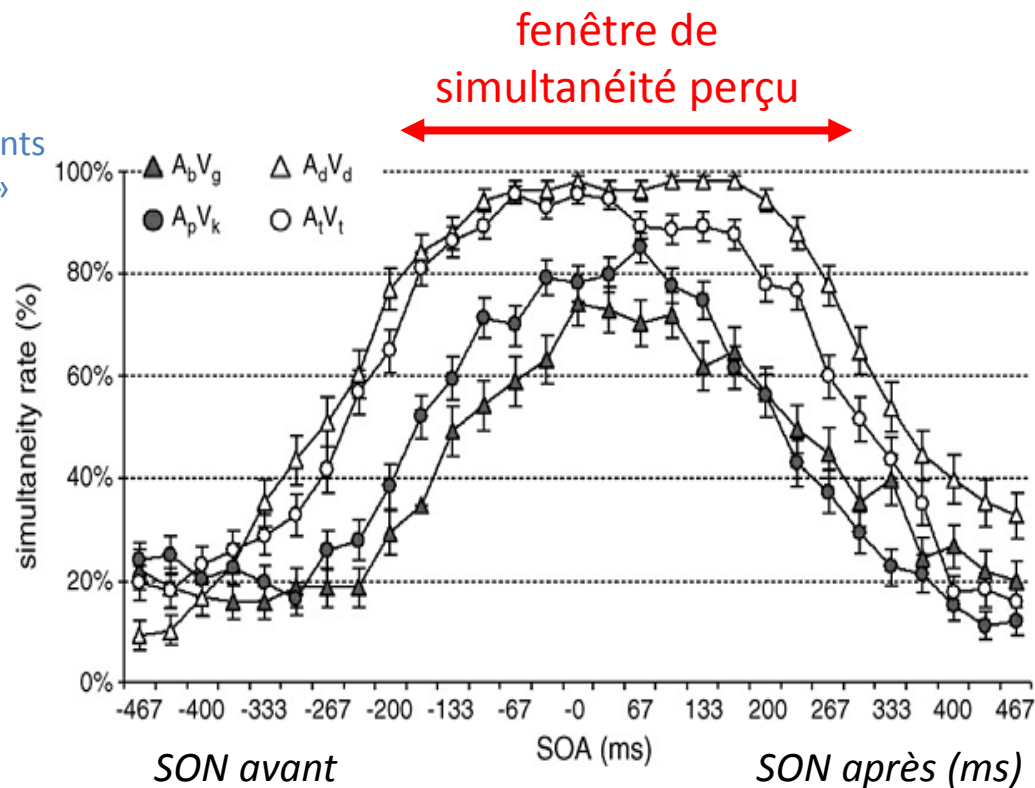
# perte de la résolution temporelle fine au profit de la représentation linguistique

Temporal window of integration in auditory-visual speech perception

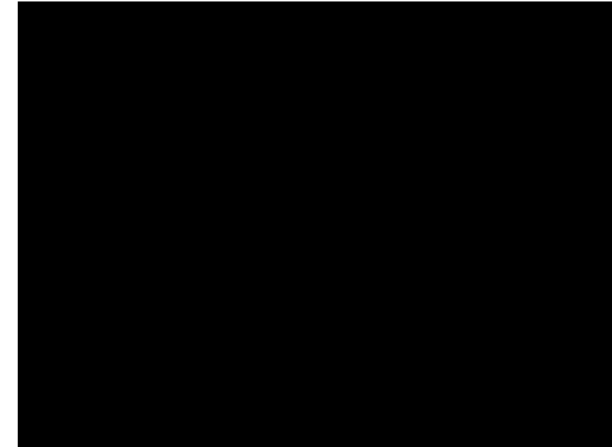
Virginie van Wassenhove<sup>a,b,\*</sup>, Ken W. Grant<sup>c</sup>, David Poeppel<sup>d</sup>

Neuropsychologia 45 (2007) 598-607

% de jugements  
« simultané »



désynchronie audiovisuelle  
(physique)

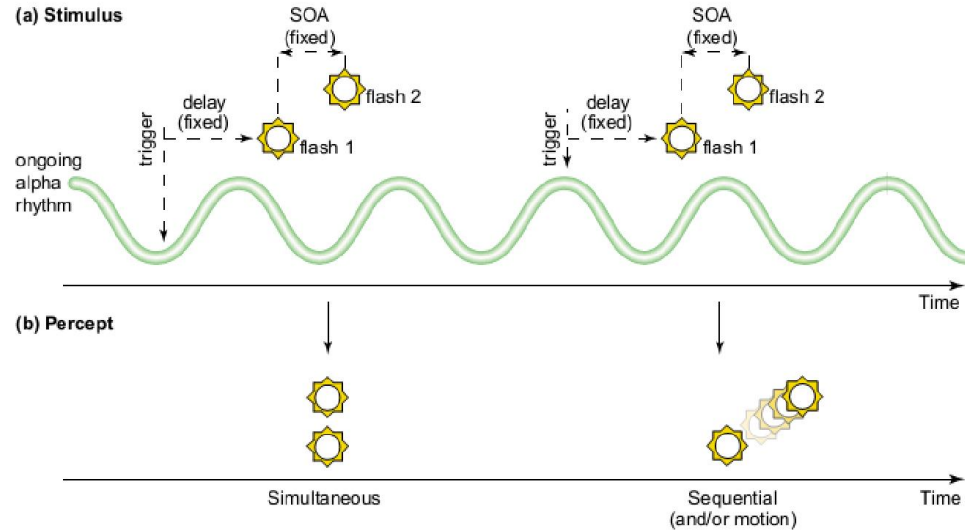


McGurk & MacDonald (1976)  
fusion  
audio PA + visual KA = percept TA

quelle granularité pour l'encodage de l'information temporelle?

### Is perception discrete or continuous?

Rufin VanRullen<sup>1</sup> and Christof Koch<sup>2</sup>



Varela et al (1981)  
Gho & Varela (1988)

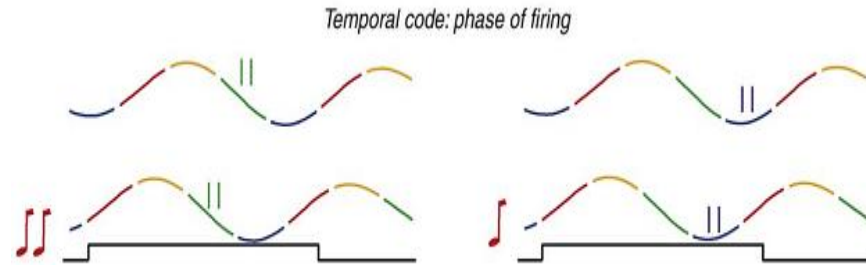
Le moment d'arrivée de deux stimuli visuels selon la phase de l'oscillation alpha déterminerait leur **intégration ou leur ségrégation perceptuelle**.

TRENDS in Cognitive Sciences

Trends in Neurosciences Vol.33 No.3

### Sensory neural codes using multiplexed temporal scales

Stefano Panzeri<sup>1,6</sup>, Nicolas Brunel<sup>2,3</sup>, Nikos K. Logothetis<sup>4,5</sup> and Christoph Kayser<sup>4,6</sup>

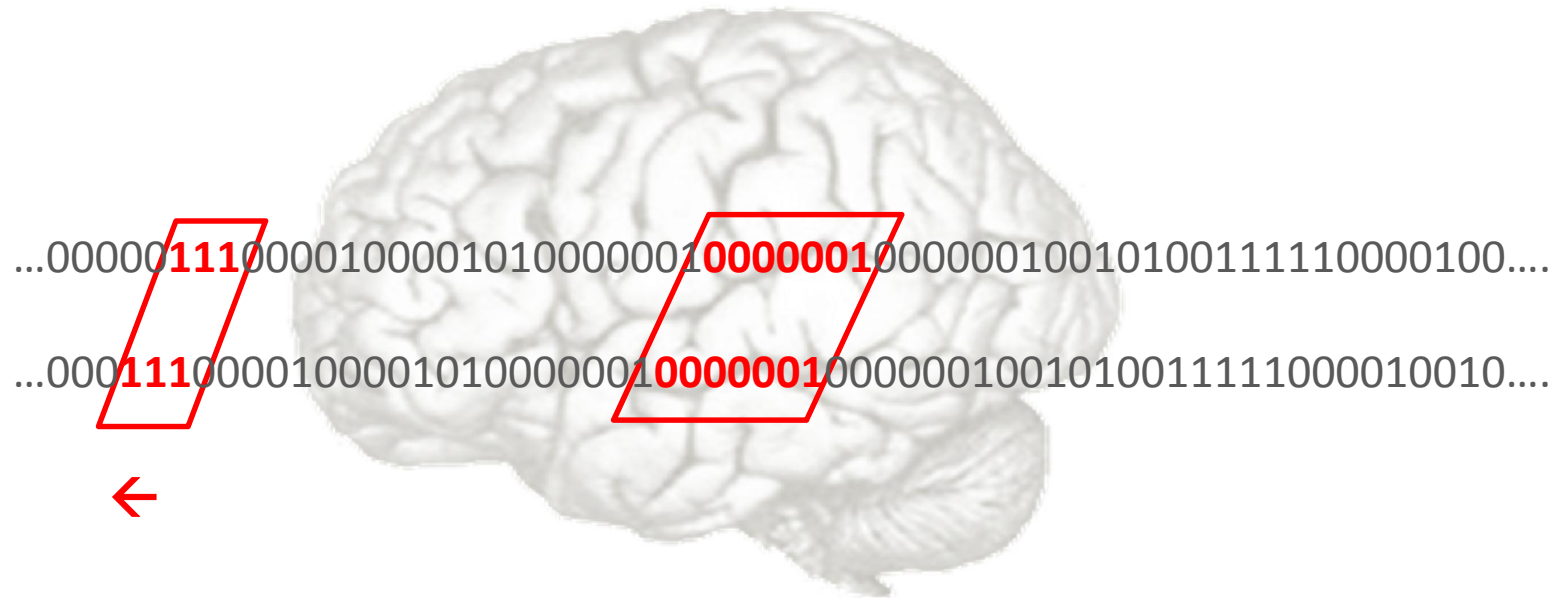


TRENDS in Neurosciences

# IDENTIQUE

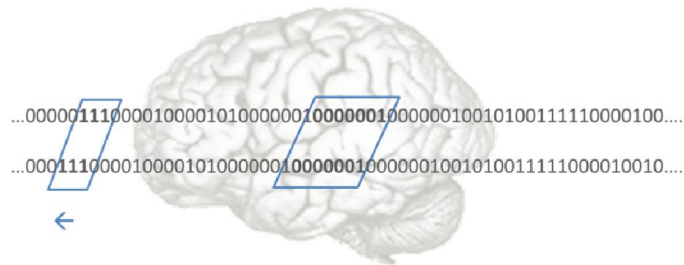
quelque soit la taille de la fenêtre

↔ codage par déphasage



## IDENTIQUE

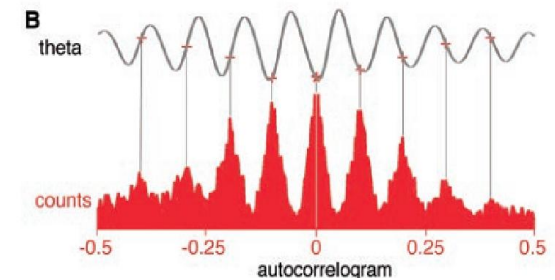
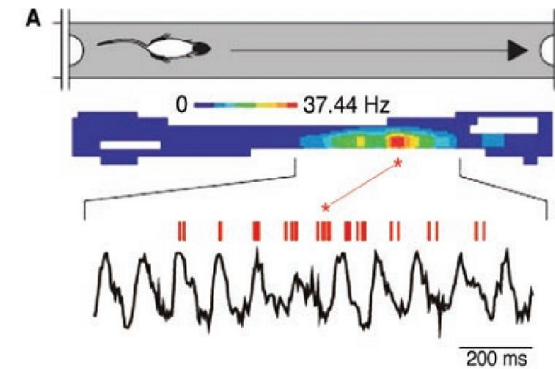
quelque soit la taille de la fenêtre  
⇔ codage par déphasage



## Binding by asynchrony: the neuronal phase code

frontiers in  
**NEUROSCIENCE** FOCUSED REVIEW  
published: 15 September 2010

Zoltan Nadasdy<sup>1,2\*</sup>



e.g. Buzsaki et al (2004)

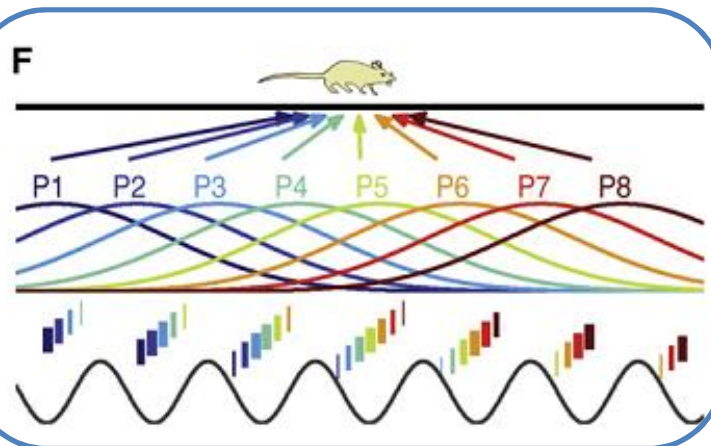
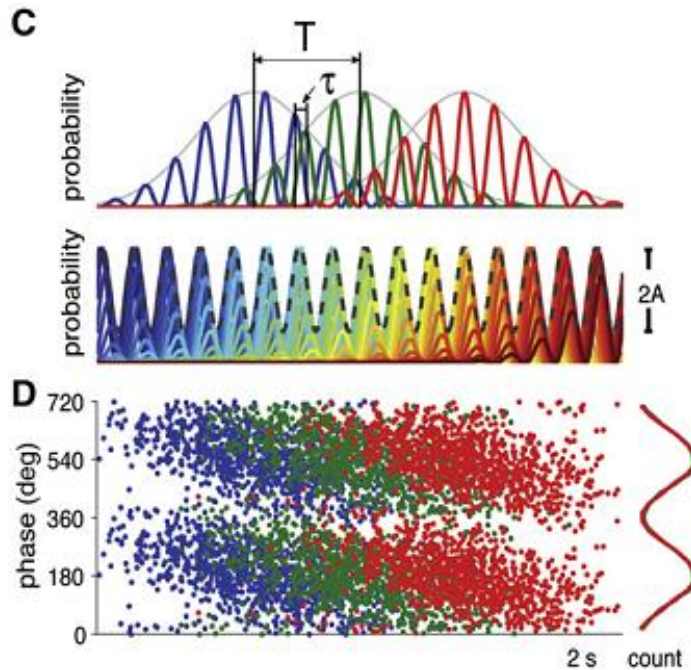
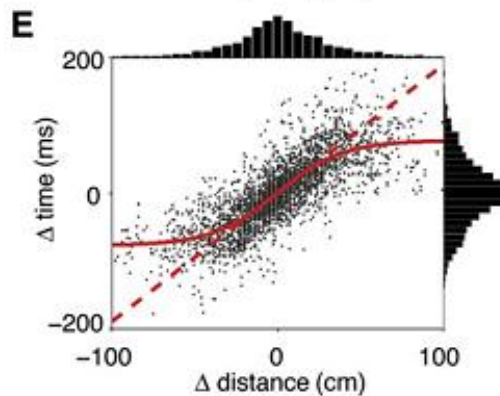
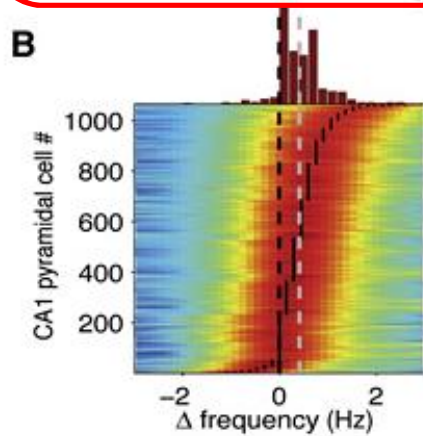
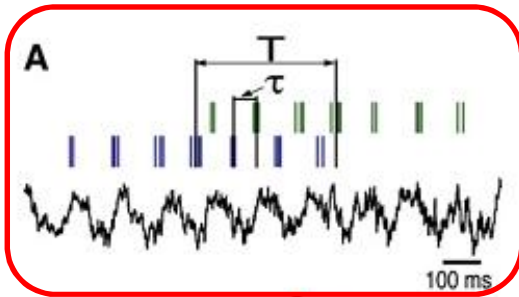
## hypothèse de codage de PHASE

- préserve la résolution temporelle fine
- préserve les propriétés intégratives (encodage multiplex de la même information)
- peu coûteux : encodage automatique temporel
- fourni une référence temporelle intrinsèque au système

# Neural Syntax: Cell Assemblies, Synapsembles, and Readers

György Buzsáki<sup>1,\*</sup> Neuron

## le modèle de l'hippocampe



**A. oscillation theta (~4Hz) = référentiel temporel**

**B. Distribution des réponses oscillatoires des assemblées neurales**

**C-D. Probabilité de décharges et différences de phase pour 3 assemblées neurales**

**E. Corrélations temps X distance parcourues**

**F. Séquence spatiotemporelle**



## Encoding of event timing in the phase of neural oscillations

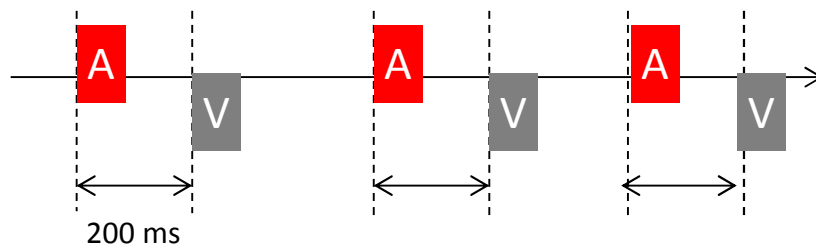
Anne Kösem<sup>a,b,c</sup>, Alexandre Gramfort<sup>b,d,e</sup>, Virginie van Wassenhove<sup>a,b,c,\*</sup>

NeuroImage 92 (2014) 274–284

principe général?

**A = événement Auditif**

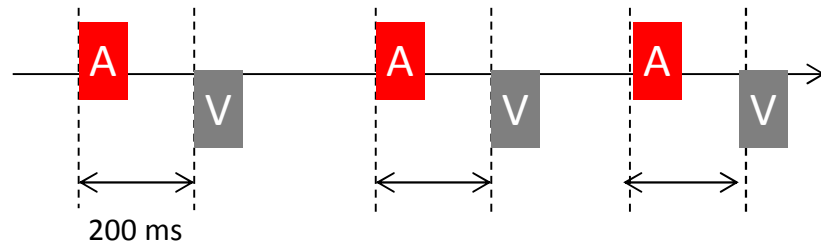
**V = événement Visuel**



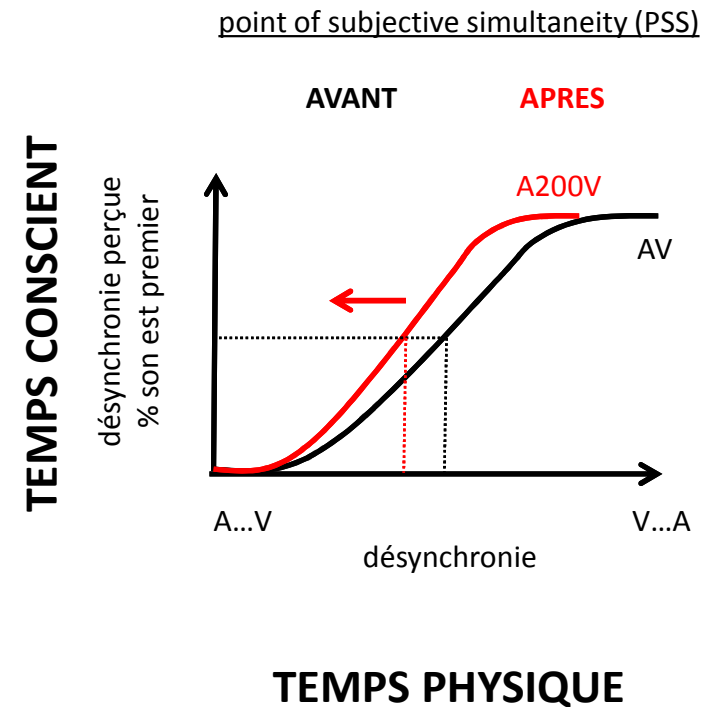
**A200V : le son précède un flash de 200 ms**

l'adaptation perceptuelle à une désynchronie audiovisuelle induit un décalage de la simultanéité perçue

# l'adaptation perceptuelle à une désynchronie audiovisuelle induit un décalage de la simultanéité perçue



**A200V** : le son précède un flash de 200 ms



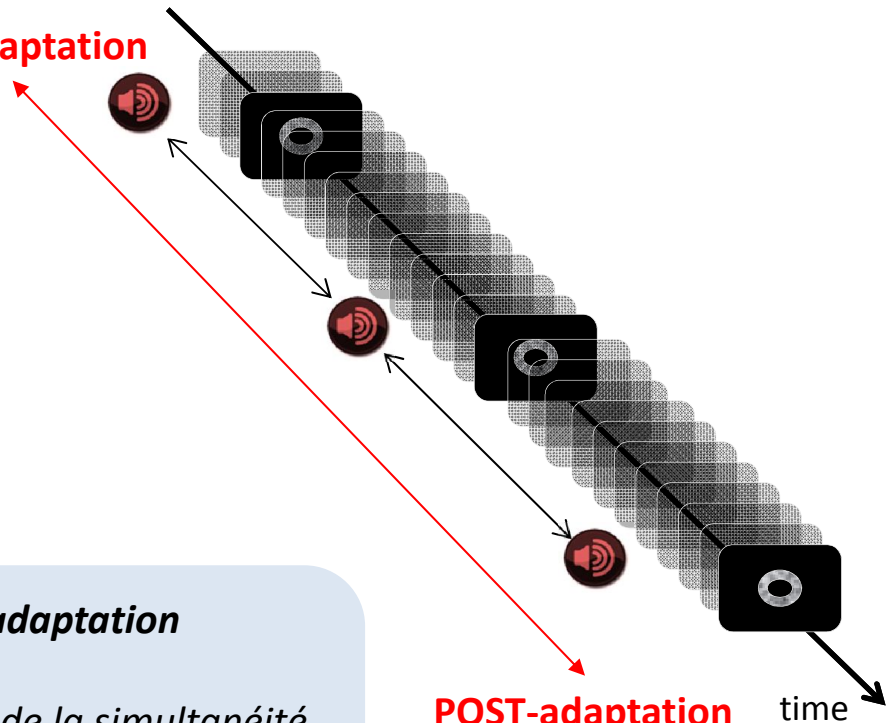
après adaptation:

le son doit précéder l'image pour être perçu comme synchrone

# design expérimental MEG



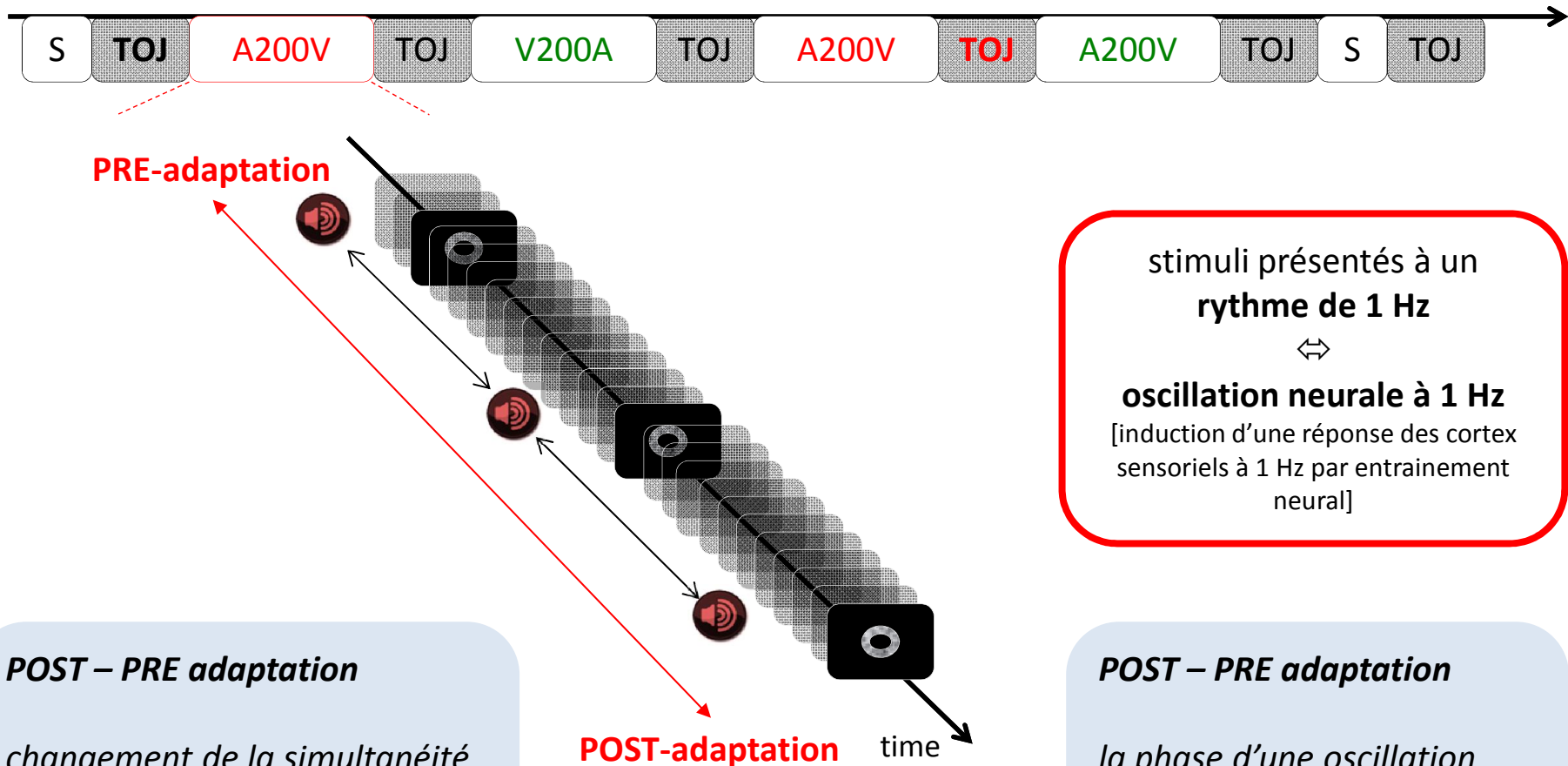
**PRE-adaptation**



**POST – PRE adaptation**  
*changement de la simultanéité perçue (PSS) au cours de l'adaptation*

**POST – PRE adaptation**  
*la phase d'une oscillation neurale prédit-elle le changement de perception temporelle?*

# design expérimental MEG



**PRE-adaptation**

stimuli présentés à un  
rythme de 1 Hz



**oscillation neurale à 1 Hz**  
[induction d'une réponse des cortex  
sensoriels à 1 Hz par entraînement  
neural]

**POST - PRE adaptation**

*changement de la simultanéité  
perçue (PSS) au cours de  
l'adaptation*

**POST-adaptation** time

**POST - PRE adaptation**

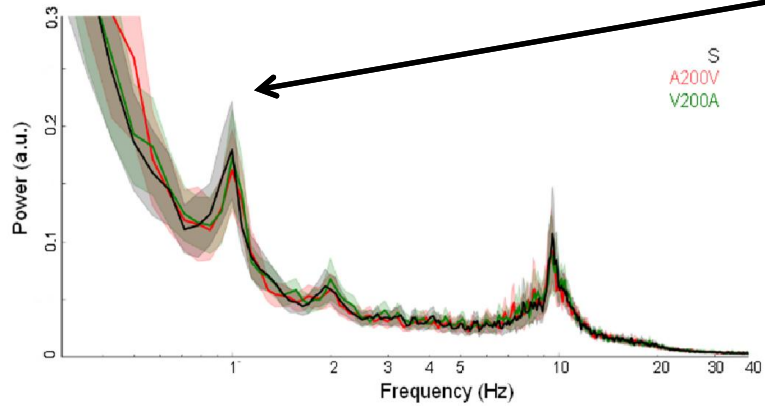
*la phase d'une oscillation  
neurale prédit-elle le  
changement de perception  
temporelle?*

# entraînement neuronal

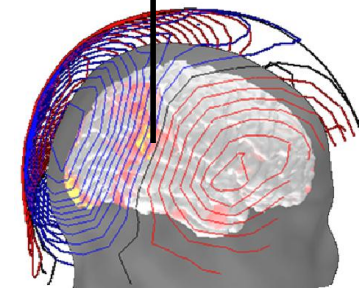
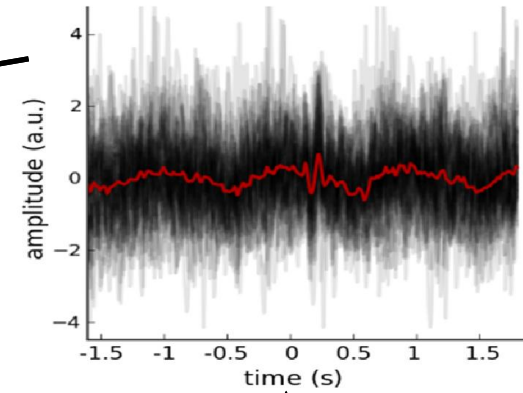
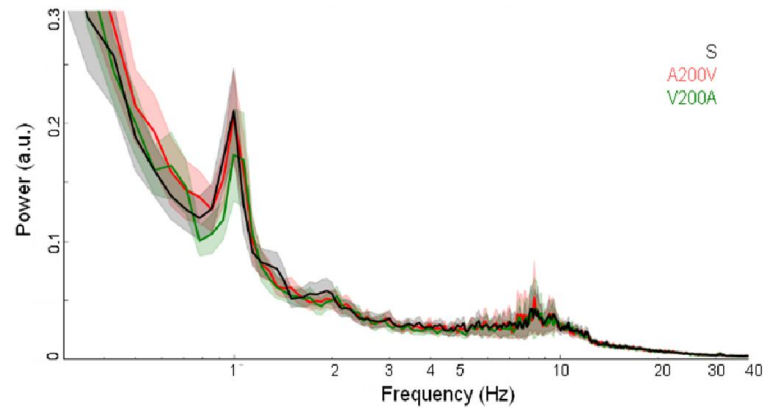
réponse simple essai  
réponse évoquée moyennée

A200V

cortex  
visuel

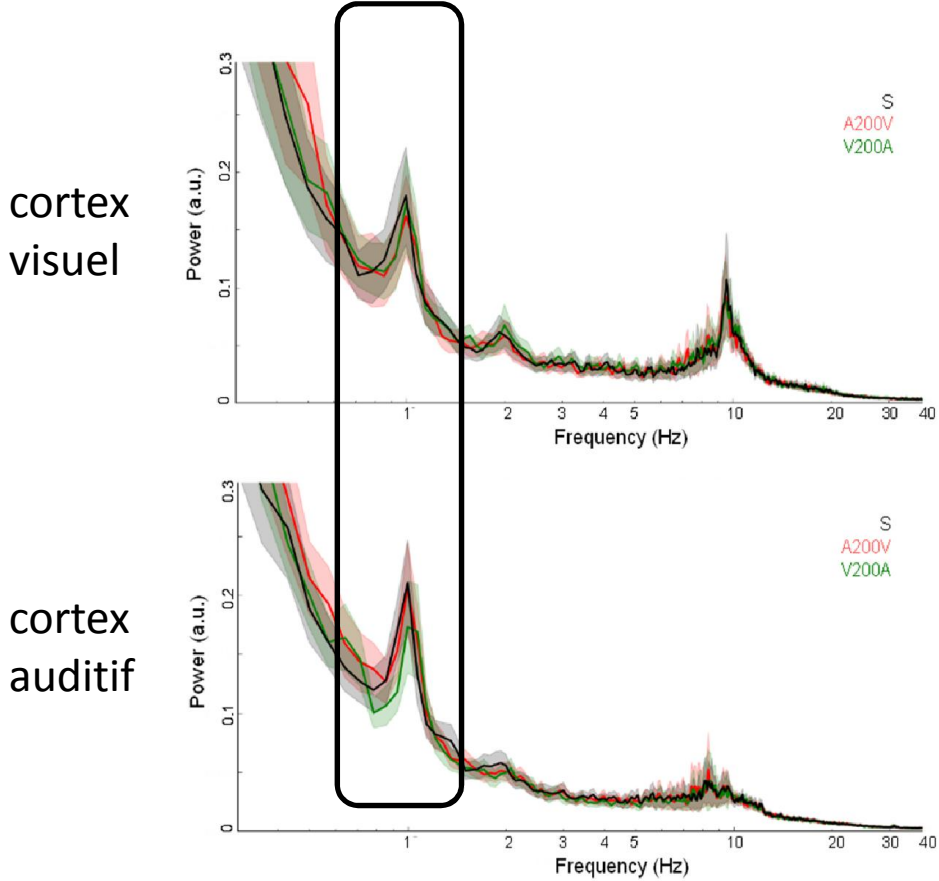


cortex  
auditif

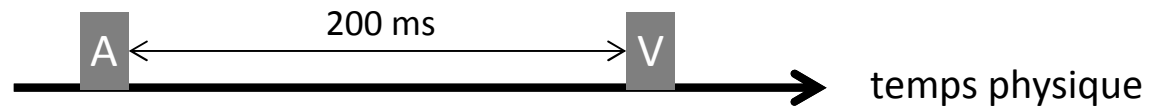


MEG . reconstruction de sources sur la surface du cortex

la phase de cette oscillation encode-t'elle le temps?

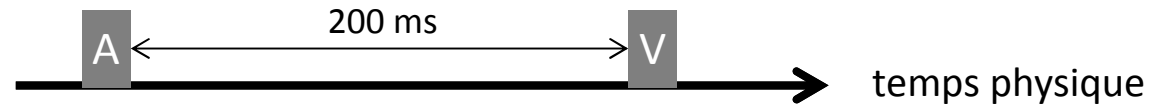


# effet de l'adaptation temporelle



## hypothèse de travail

si l'entraînement neural est **passif**:  $\phi$  initiale et finale arbitraires [var  $\phi_i$ , var  $\phi_f$ ] ou  $\phi$  initiale est stationnaire [ $\phi_i = \phi_f$ ]

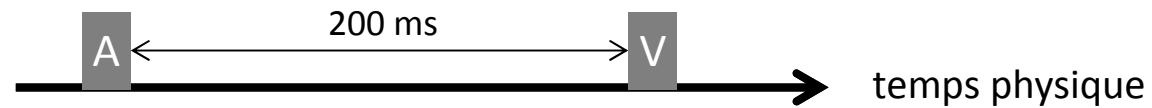




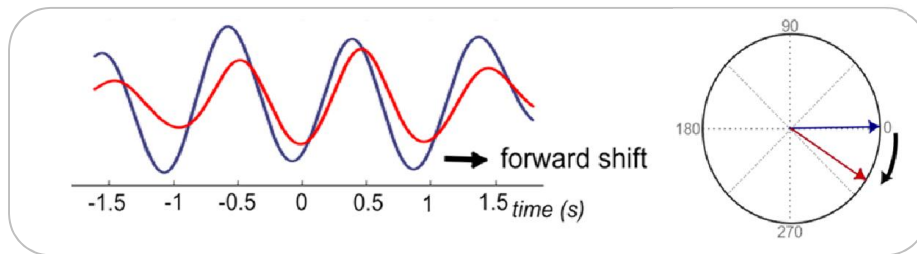
# hypothèse de travail

si l'entraînement neural est **passif**:  $\phi$  initiale et finale arbitraires [ $\text{var } \phi_i, \text{var } \phi_f$ ] ou  $\phi$  initiale est stationnaire [ $\phi_i = \phi_f$ ]

si l'entraînement neural est **actif et pertinent à l'encodage du temps**:

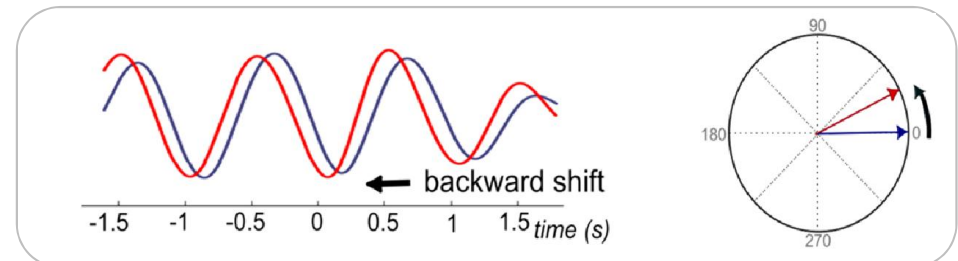


$\phi_i = \text{avant}$   
 $\phi_f = \text{après}$



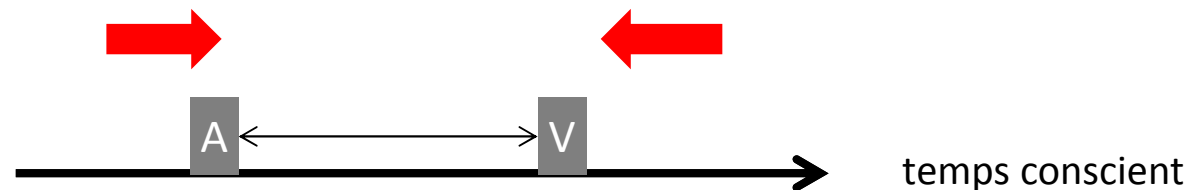
cortex auditif

**avance** l'analyse du signal acoustique?

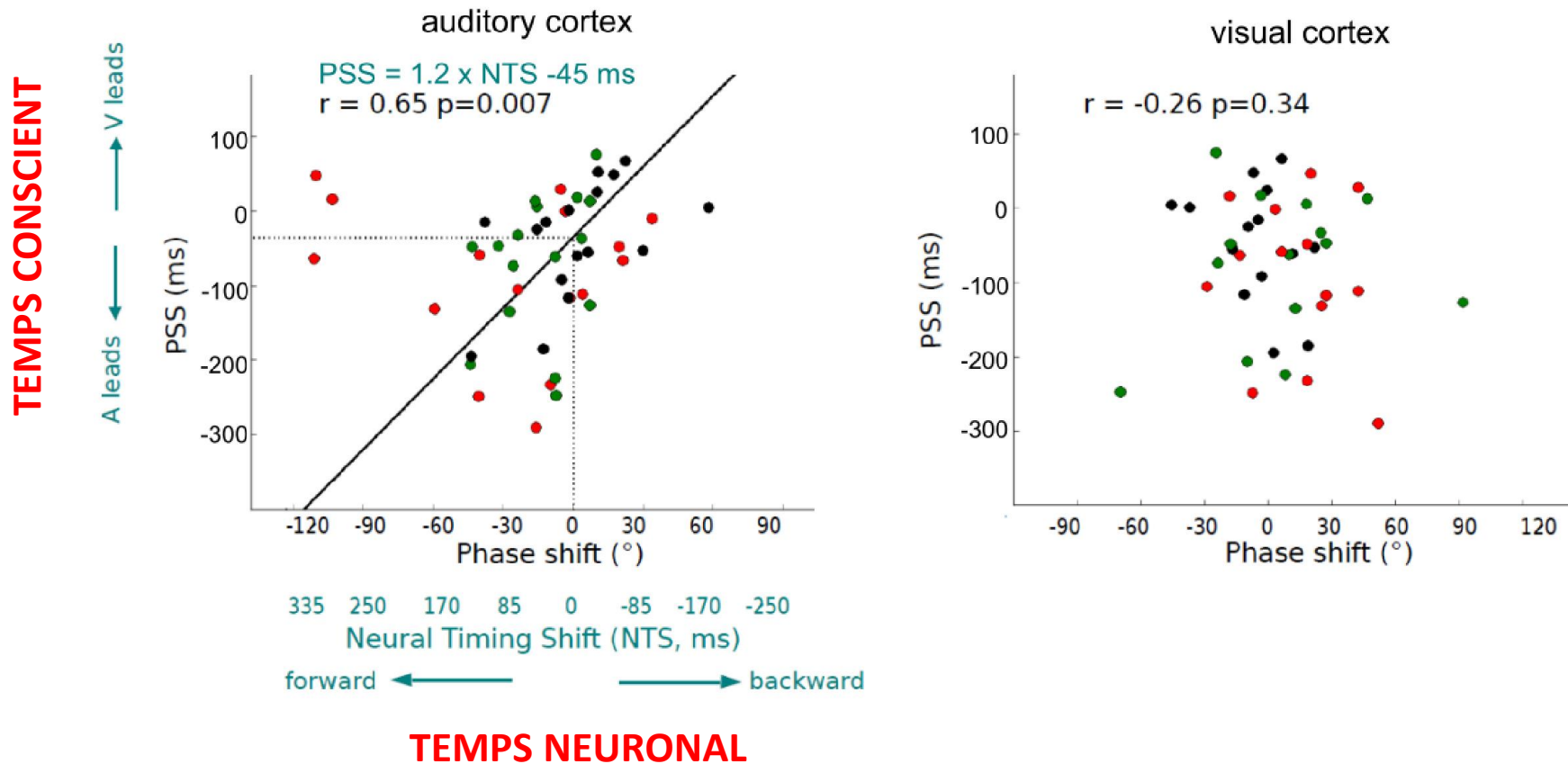


cortex visuel

**délai** l'analyse du signal visuel?



# la précession de phase dans le cortex auditif prédit de manière linéaire le temps conscient



**plus la différence de phase est négative dans le cortex auditif  
plus l'analyse cérébrale du signal auditif est avancée dans le temps**  
=> plus le signal acoustique doit précéder le signal visuel pour être perçu comme simultané

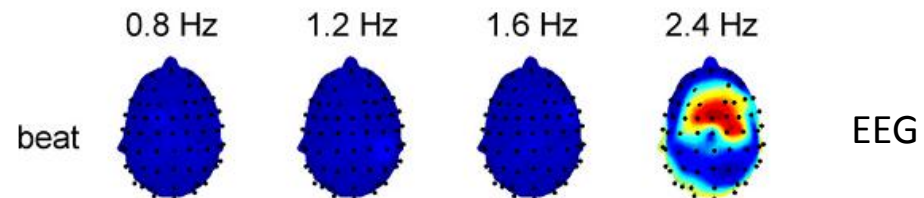
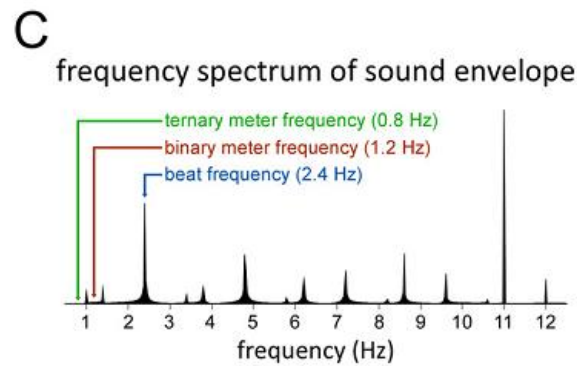
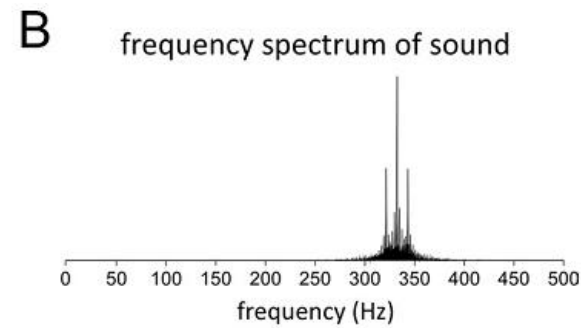
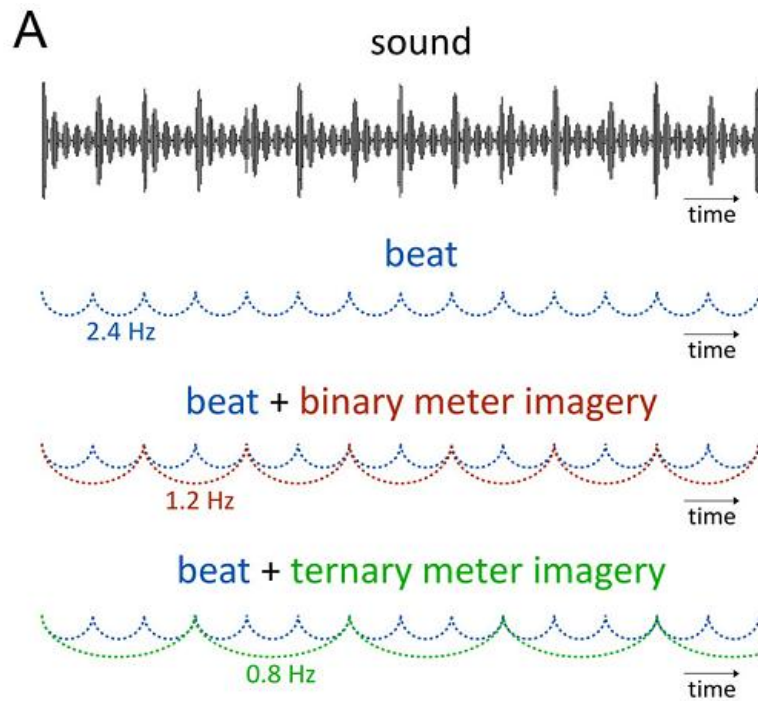
# question de l'entraînement vs. oscillation intrinsèque

## Tagging the Neuronal Entrainment to Beat and Meter

The Journal of Neuroscience, July 13, 2011 • 31(28):10234–10240

Sylvie Nozaradan,<sup>1,2</sup> Isabelle Peretz,<sup>2</sup> Marcus Missal,<sup>1</sup> and André Mouraux<sup>1</sup>

*Un son rythmique est donné au participant qui doit créer mentalement un tempo..*

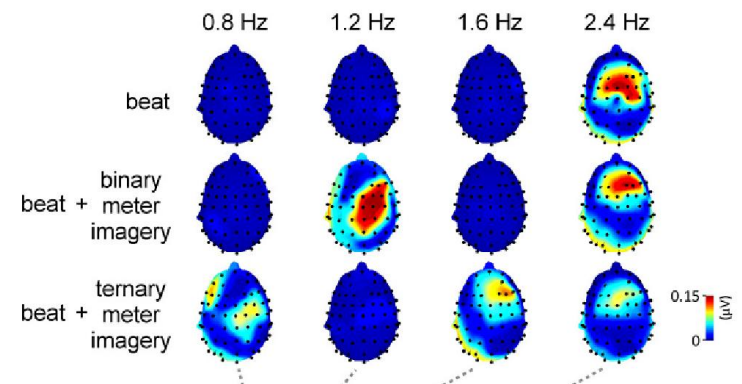
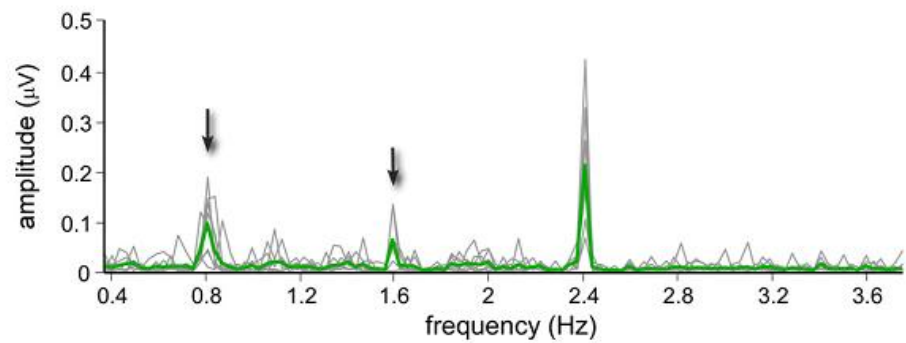
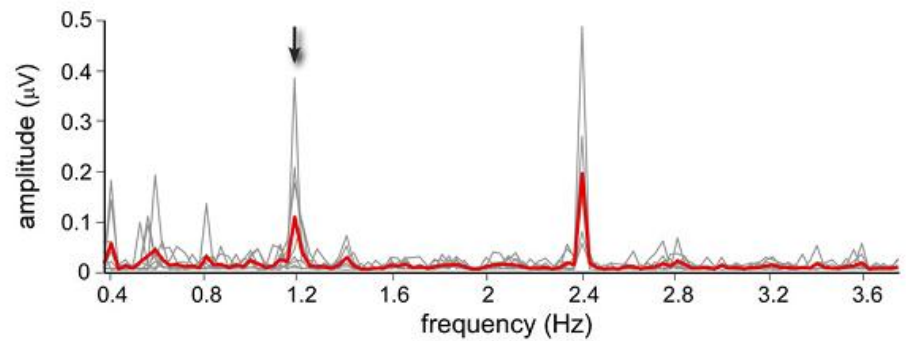
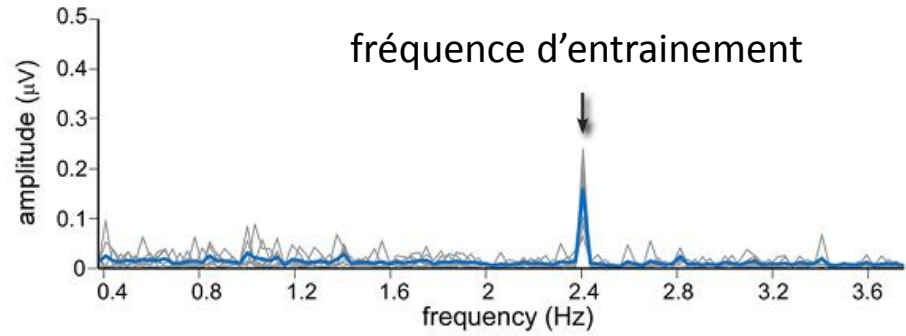


# Tagging the Neuronal Entrainment to Beat and Meter

The Journal of Neuroscience, July 13, 2011 • 31(28):10234–10240

Sylvie Nozaradan,<sup>1,2</sup> Isabelle Peretz,<sup>2</sup> Marcus Missal,<sup>1</sup> and André Mouraux<sup>1</sup>

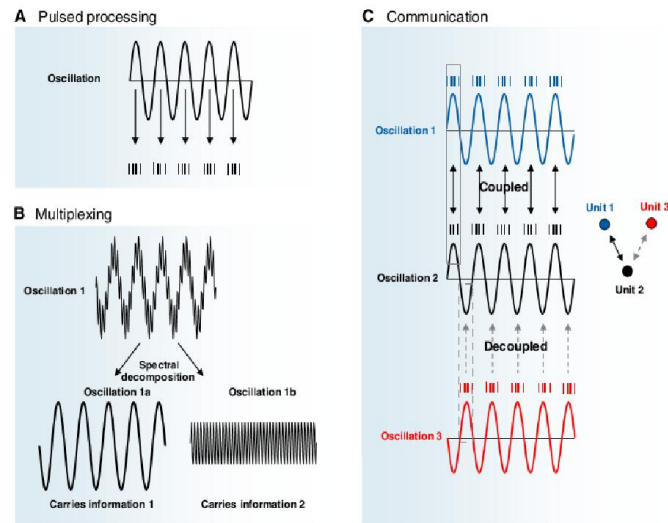
élicitation mentale d'un rythme



## The Functional Importance of Rhythmic Activity in the Brain

Current Biology 22, R658-R663

Gregor Thut<sup>1,\*</sup>, Carlo Miniussi<sup>2,3</sup>, and Joachim Gross<sup>1</sup>



**si l'intégration temporelle de l'information est accomplie par la synchronisation oscillatoire**

modèles avec synchronisation de phase (zero-phase delay)

Börgers C, Kopell NJ (2008) Neural. Comput

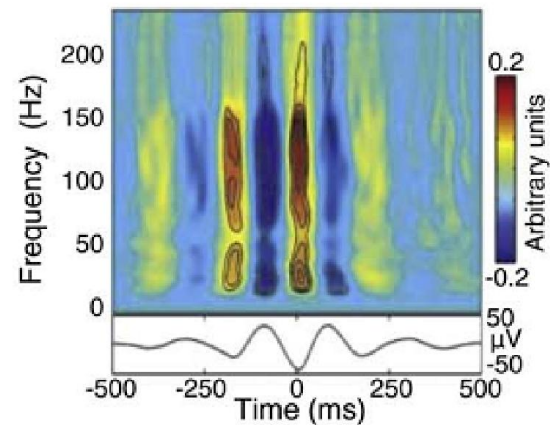
Buehlmann, Deco G (2010) PLoS Comput. Biol

travaux séminaux ... Singer, Fries, Engel, Tallon-Baudry, ...

## The functional role of cross-frequency coupling

Ryan T. Canolty<sup>1,2</sup> and Robert T. Knight<sup>1,3</sup>

Trends in Cognitive Sciences, November 2010, Vol. 14, No. 11



**la ségrégation, (encodage temporel des événements), peut-elle être accomplie par les délais de phase?**

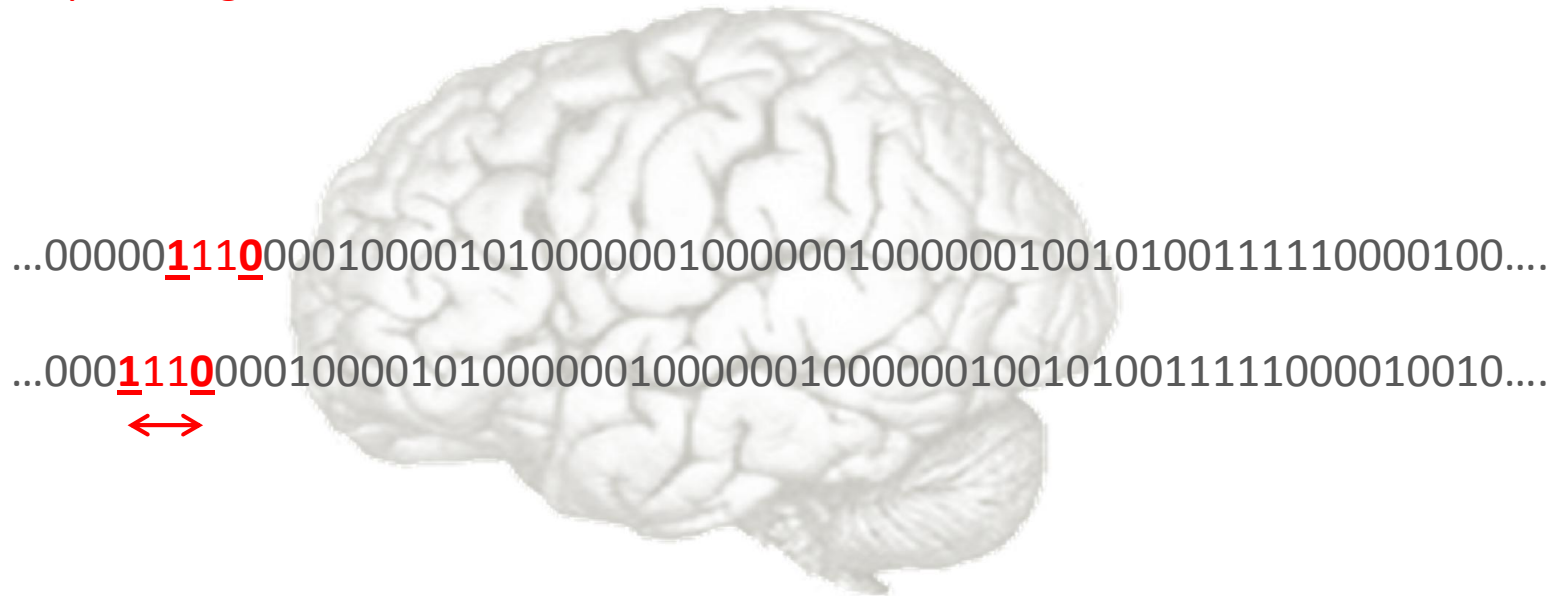
modèles avec délais de phase

Nadasdy Z (2010) *Front Neurosci*

↔ Church, Gibbon, Gallistel: « **phase sense** » vs. « **interval sense** »

↔ *Gérard Berry* : « *estampillage logique* »

durée = calculer [**fin – début**] de l'événement dans une métrique mentale  
par intégration?



- Le temps
- Outils des neurosciences cognitives
- **Données empiriques et modèles**
  - chronoarchitecture et encodage événementiel
  - **durée et horloge interne**
- Hypothèse de travail



for a moment

# Properties of the Internal Clock: First- and Second-Order Principles of Subjective Time

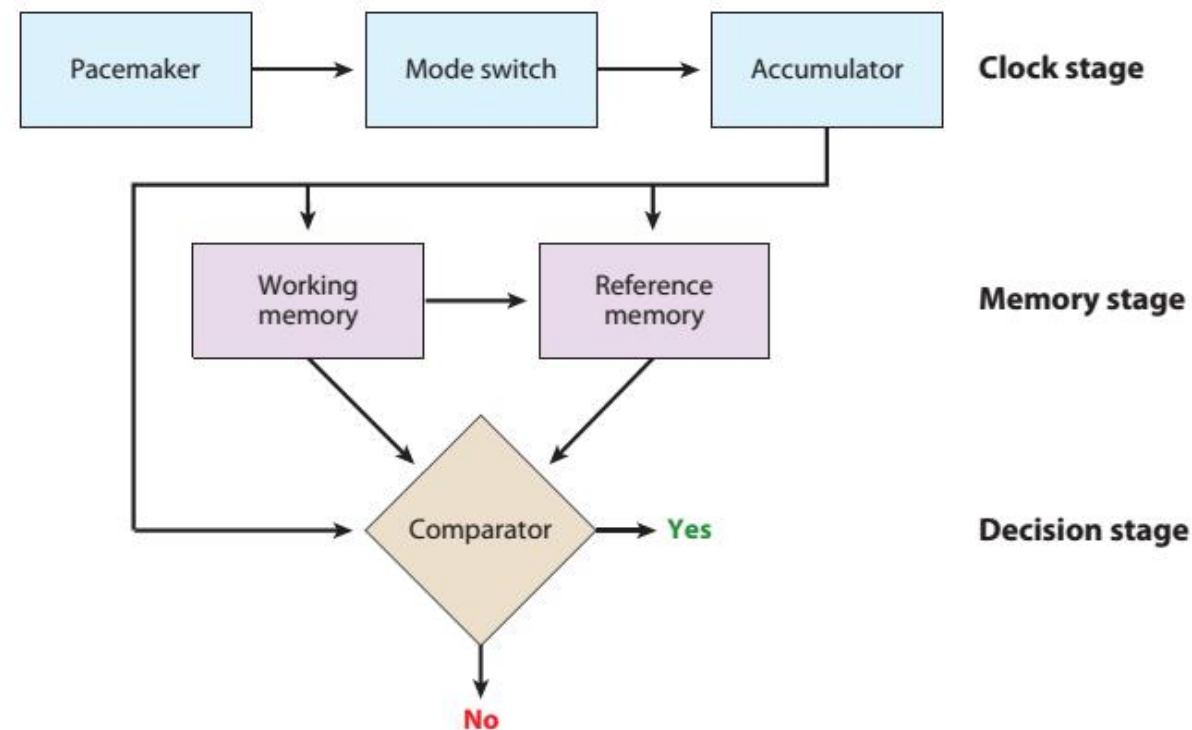
Annu. Rev. Psychol. 2014. 65:743–71

Melissa J. Allman,<sup>1</sup> Sundeep Teki,<sup>2</sup>

Timothy D. Griffiths,<sup>2,3</sup> and Warren H. Meck<sup>4</sup>

## HORLOGE INTERNE . principe général [ Scalar Expectancy Theory ]

*compteur + mémoire + comparateur*



**Figure 1**

The information-processing model of interval timing as specified by scalar timing theory and other internal clock theories of psychological time. Adapted from Church (1984), Gibbon et al. (1984), Meck (1984), and Treisman (1963, 1984).

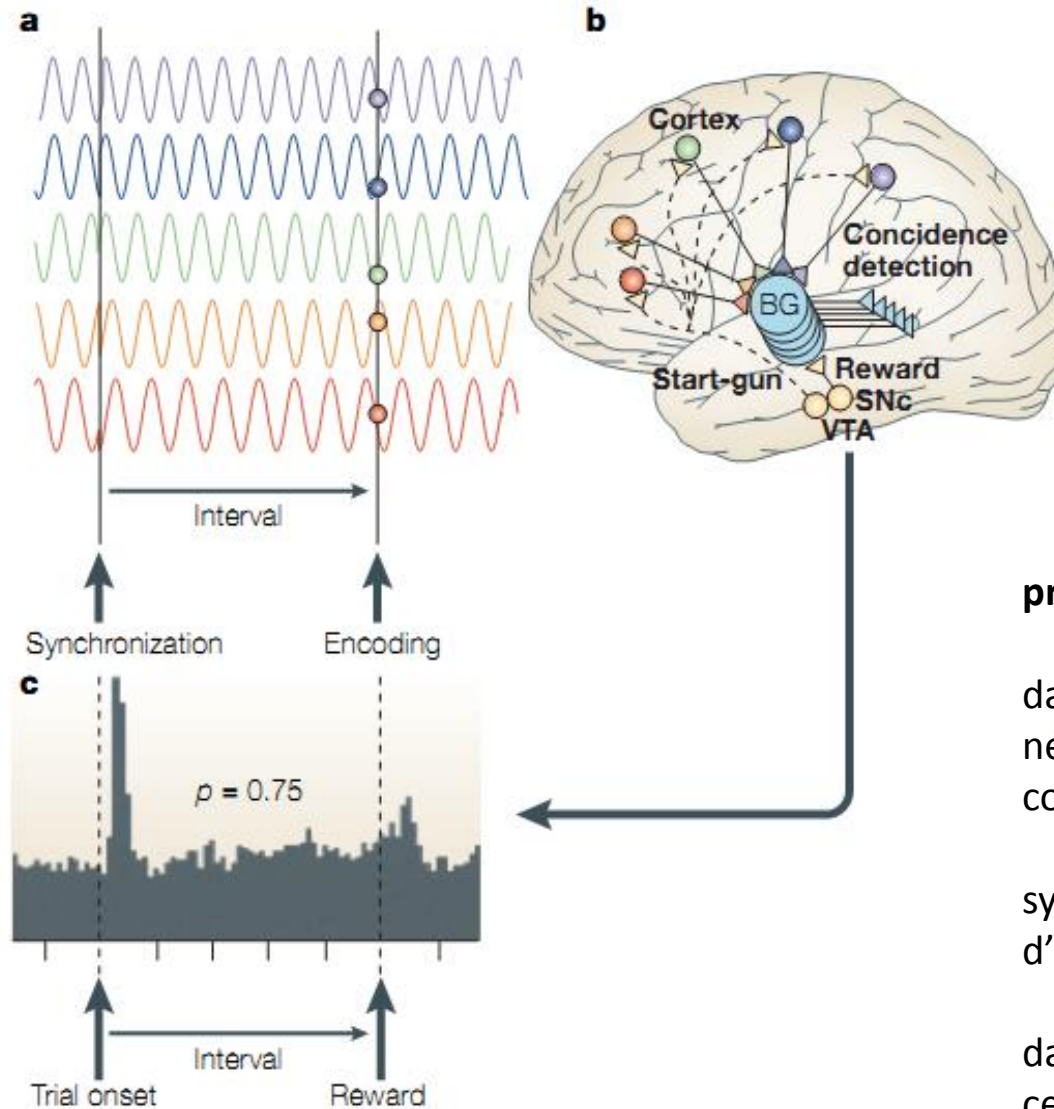


# WHAT MAKES US TICK? FUNCTIONAL AND NEURAL MECHANISMS OF INTERVAL TIMING

Catalin V. Buhusi and Warren H. Meck

NATURE REVIEWS | NEUROSCIENCE

VOLUME 6 | OCTOBER 2005 |



implémentation  
ganglions de la base (BG) + cortex  
oscillateurs multiples

## principe

dans les BG existe un ensemble de neurones dits « détecteurs de coïncidence »

synchronisation à la présentation d'un événement.

dans le cortex, l'état initial et final de ces oscillateurs est intégré.

**The supplementary motor area in motor and sensory timing: evidence from slow brain potential changes**

chez l'humain  
*activité rampante corticale . SMA*

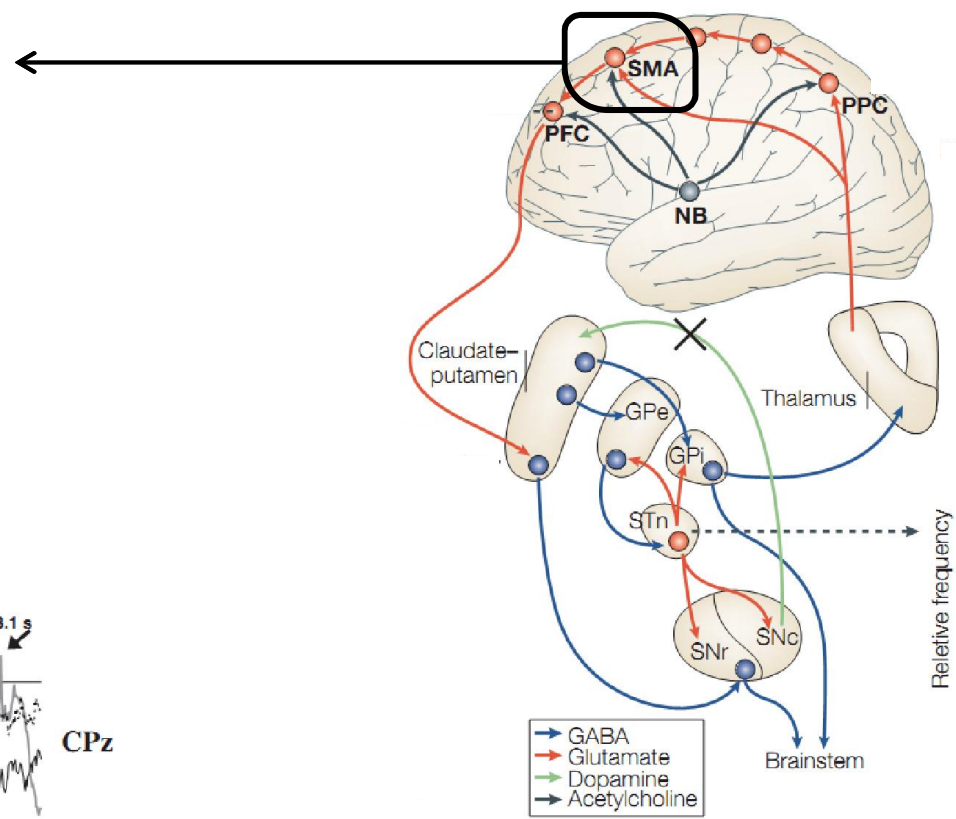
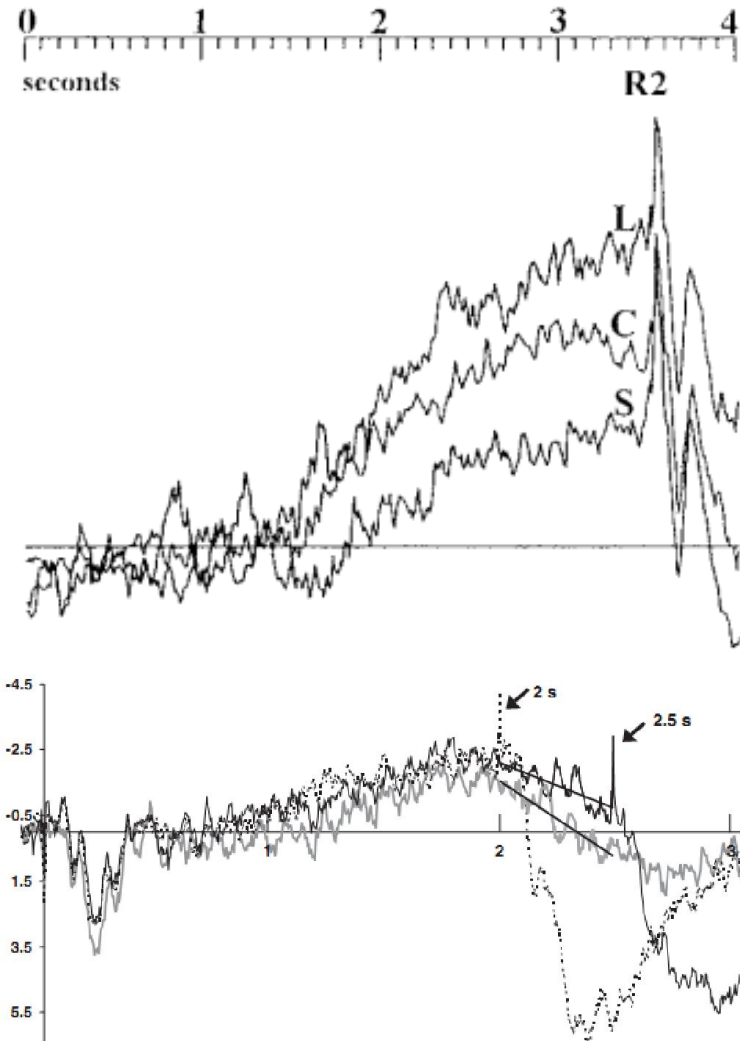
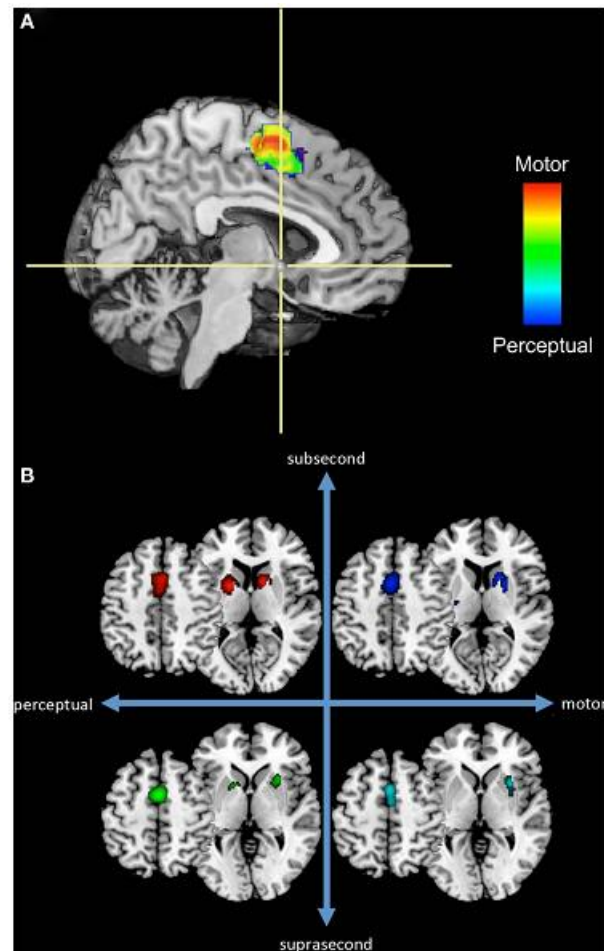


Figure 3. CNV obtained over the median centro-parietal area (CPz) during the 2 s-target signal (dotted trace) and two longer probe signals, 2.5 and 3.1 s (respectively, black and gray traces) in a temporal generalization task (the end of each signal is detectable due to a brief negative artifact). Monopolar recordings, with amplitude (negative up) on ordinate, and time on abscissa. Grand averages, 10 subjects. (Adapted from Macar & Vidal, 2003.)

## Multiple mechanisms for temporal processing

Martin Wiener<sup>1\*</sup>, Matthew S. Matell<sup>2</sup> and H. Branch Coslett<sup>3</sup>

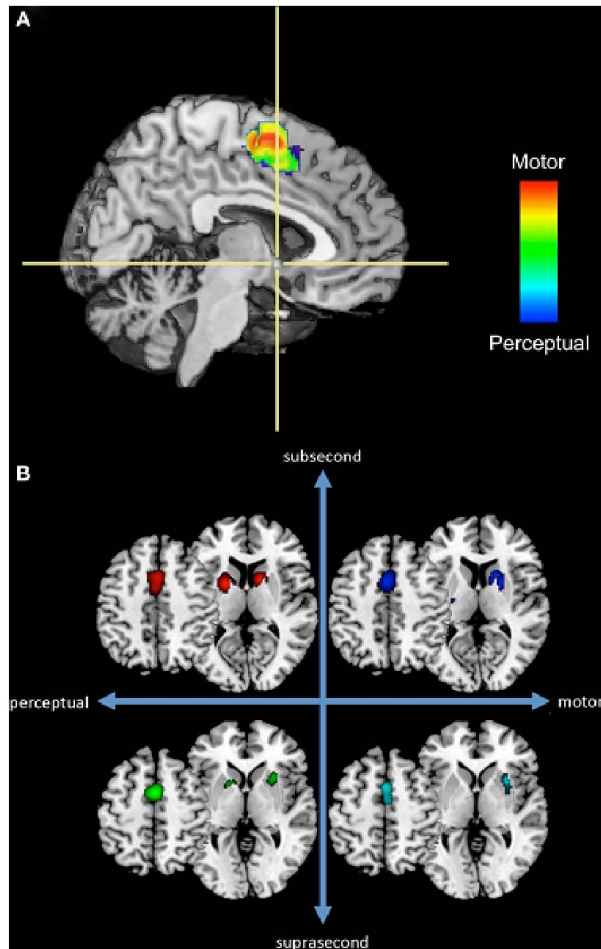


**SMA** : aire commune à de nombreuses tâches d'estimation de la durée perceptuelle ou motrice.

**FIGURE 1 | A subset of the results from our previous meta-analysis of neuroimaging timing studies. (A)** Sagittal section of a rendered brain including SMA voxels from perceptual or motor timing tasks (regardless of duration length) and their overlap. Crosshairs are located at the anterior commissure with the vertical axis dividing the SMA and pre-SMA. **(B)** Separate ALE results for SMA and basal ganglia regions across four temporal contexts.

## Multiple mechanisms for temporal processing

Martin Wiener<sup>1\*</sup>, Matthew S. Matell<sup>2</sup> and H. Branch Coslett<sup>3</sup>

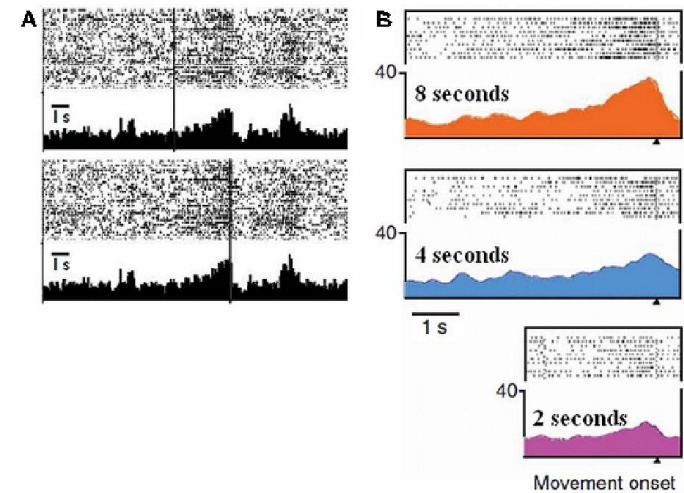


**FIGURE 1 | A subset of the results from our previous meta-analysis of neuroimaging timing studies. (A)** Sagittal section of a rendered brain including SMA voxels from perceptual or motor timing tasks (regardless of duration length) and their overlap. Crosshairs are located at the anterior commissure with the vertical axis dividing the SMA and pre-SMA. **(B)** Separate ALE results for SMA and basal ganglia regions across four temporal contexts.

## SMA : aussi observé chez le singe.

## The SMAs: neural substrate of the temporal accumulator?

Laurence Casini and Franck Vidal\*

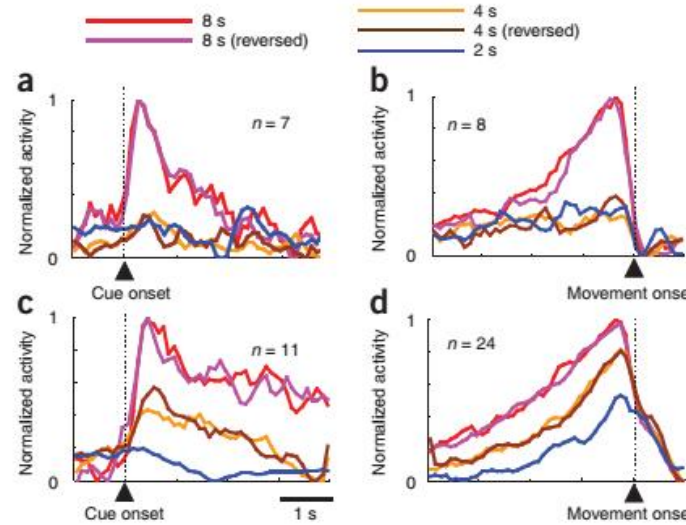


**FIGURE 3 | Single unit activities as a function of elapsed time in a time estimation task (A) (adapted from Akkal et al., 2004) and in a production task (B) (adapted from Mita et al., 2009). (A)** Raster displays and peri-event histograms: The figure represents an example of pre-SMA cells showing build-up neuronal activity as time elapses. The vertical bars indicate the onset (top) and the end (bottom) of the interval. Note that this pattern only occurs when the end of the interval can be predicted, that is when this interval is fixed. **(B)** Raster displays and spike-density functions: The figure represents an example of pre-SMA cells showing graded neuronal activity that depended on the time intervals to be produced: highest during a 8-s interval, moderate during a 4-s interval, and lowest during a 2-s interval. The displays are aligned according to the end of the produced interval.

# un peu plus compliqué

## Interval time coding by neurons in the presupplementary and supplementary motor areas

Akihisa Mita<sup>1</sup>, Hajime Mushiake<sup>1</sup>, Keisetsu Shima<sup>1</sup>, Yoshiya Matsuzaka<sup>1</sup> & Jun Tanji<sup>1,2</sup>



*populations neuronales mixtes avec co-existence d'activité rampante et décroissante en fonction de la durée.*

## non-réplication ou dépendance à la tâche

frontiers in INTEGRATIVE NEUROSCIENCE

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE  
published: 13 September 2011  
doi: 10.3389/fnint.2011.00048

## Slow potentials in time estimation: the role of temporal accumulation and habituation

Tadeusz W. Kononowicz and Hedderik van Rijn\*

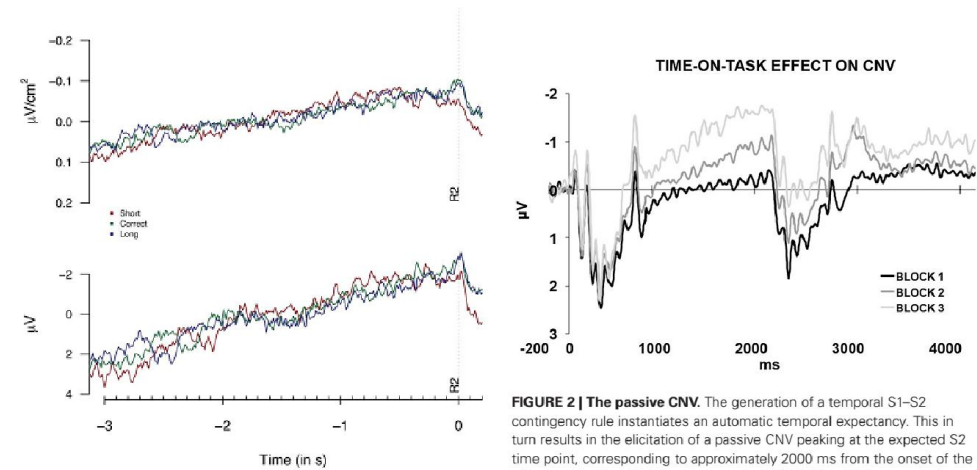
frontiers in HUMAN NEUROSCIENCE

PERSPECTIVE ARTICLE  
published: 12 December 2013  
doi: 10.3389/fnhum.2013.00827

## The passive CNV: carving out the contribution of task-related processes to expectancy

Giovanni Mento\*

Department of General Psychology, University of Padua, Padova, Italy



**FIGURE 3 |** Laplacians (top graph) and monopolar recordings (bottom graph) obtained at FCz during Experiment 1 as a function of participants' behavioral performance, plotted time-locked to the second key press (R2). Laplacians are based on 9 "3-in-a-row" participants, monopolar data are based on the extended dataset consisting of 17 participants.

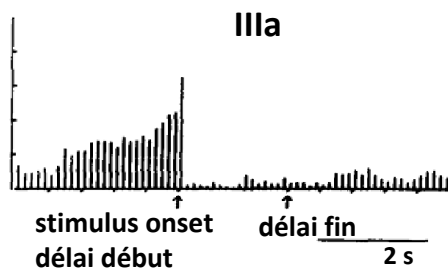
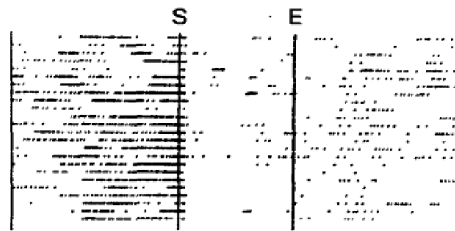
**FIGURE 2 |** The passive CNV. The generation of a temporal S1-S2 contingency rule instantiates an automatic temporal expectancy. This in turn results in the elicitation of a passive CNV peaking at the expected S2 time point, corresponding to approximately 2000 ms from the onset of the stimulus, that is, S1 (500 ms) + standard ISI (1500 ms). The standard ISI-related ERP activity is plotted separately for the first, second, and third block. The progressive increases in amplitude and steepness reveals a time-on-task effect. This suggests that participants learnt the temporal structure progressively, discovering the temporal contingency between S1 and S2 on a trial-by-trial basis.

# neurones anticipateurs et activité rampante observables « partout »

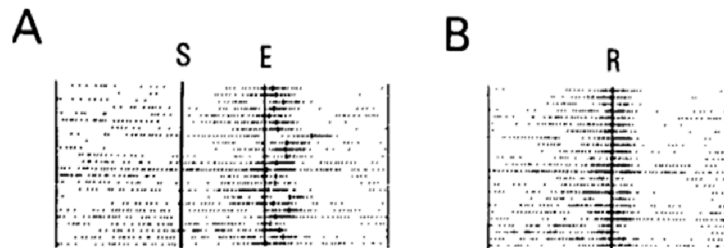
PREFRONTAL AND CINGULATE UNIT ACTIVITY DURING TIMING BEHAVIOR IN THE MONKEY

*Brain Research*, 171 (1979) 213-224

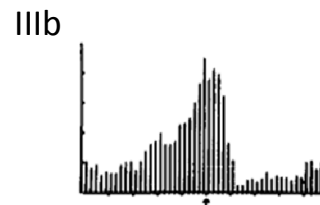
HIROAKI NIKI and MASATAKA WATANABE



anticipation du stimulus



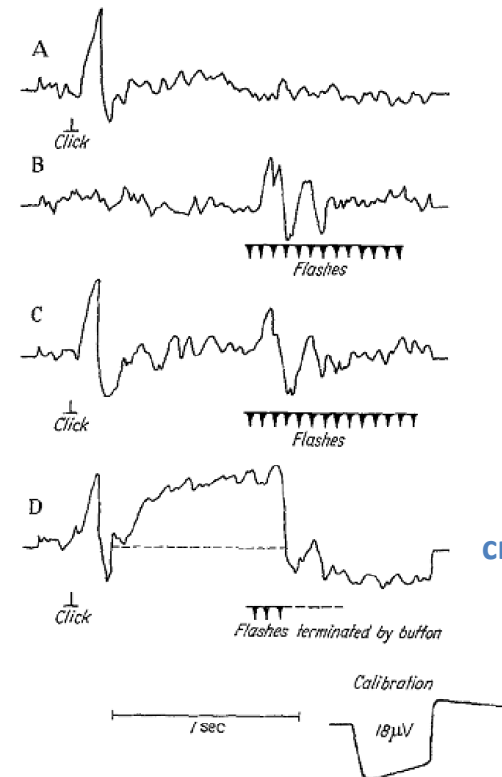
anticipation de la réponse



Burden Neurological Institute, Bristol

## Slow Potential Waves in the Human Brain Associated with Expectancy, Attention and Decision

By  
W. GREY WALTER



anticipation cross-sensorielle

Fig. 2 A--D. Typical development of E-wave in normal adult subject. Vertico-mastoid derivation. A Average of 12 responses to clicks; B Responses to flashes; C Responses to clicks followed by flashes; D Appearance of E-wave following clicks when subject is instructed to respond to flashes one second later (from *Nature* 1964)

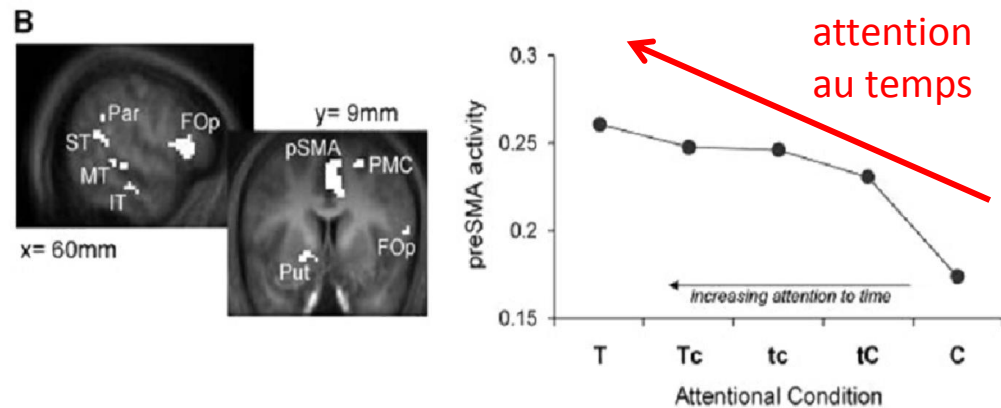
# hazard rate function, attention et expectation temporelle

preSMA

## Functional Anatomy of the Attentional Modulation of Time Estimation

Jennifer T. Coull,<sup>1\*</sup> Franck Vidal,<sup>1,2</sup> Bruno Nazarian,<sup>3</sup> Francoise Macar<sup>1</sup>

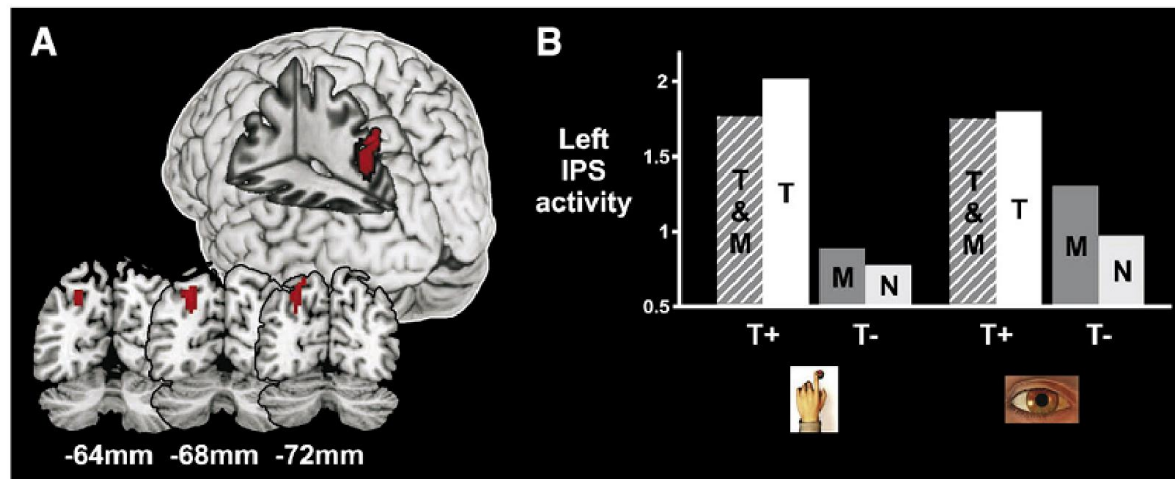
Science



## Functionally dissociating temporal and motor components of response preparation in left intraparietal sulcus

NeuroImage

Julien Cotti<sup>a</sup>, Gustavo Rohenkohl<sup>b</sup>, Mark Stokes<sup>b</sup>, Anna C. Nobre<sup>b</sup>, Jennifer T. Coull<sup>a,\*</sup>



Intra Parietal Sulcus

**Fig. 4.** The only cluster of activation common to both manual and saccadic temporal orienting trials lies in left intraparietal sulcus. (A) This activation is displayed on a standard template brain using MRIcron software ([www.mricron.com/mricron](http://www.mricron.com/mricron)). Spatial co-ordinates (mm) define the anatomical location of each slice in the y-dimension. Activations are thresholded at  $p < 0.001$ , uncorrected for multiple comparisons. The left hemisphere is on the left side of the figure. (B) Mean level of activity in this intraparietal sulcus cluster for each of the four cueing conditions (T&M: Temporal&Motor; T: Temporal; M: Motor; N: Neutral) during either manual or saccadic response trials. Compared to trials in which no temporal information is available (T-), temporal cueing (T+) activates left intraparietal sulcus whether the effector that will be used to register the response can be prepared in advance (T&M) or not (T).

# Representation of Time by Neurons in the Posterior Parietal Cortex of the Macaque

Matthew I. Leon and Michael N. Shadlen\*

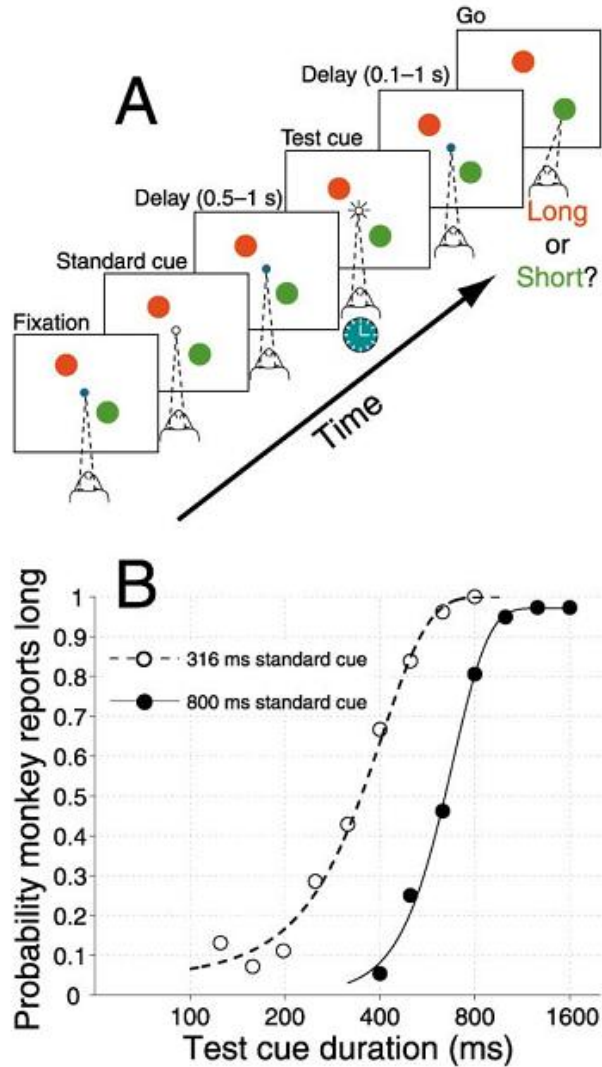
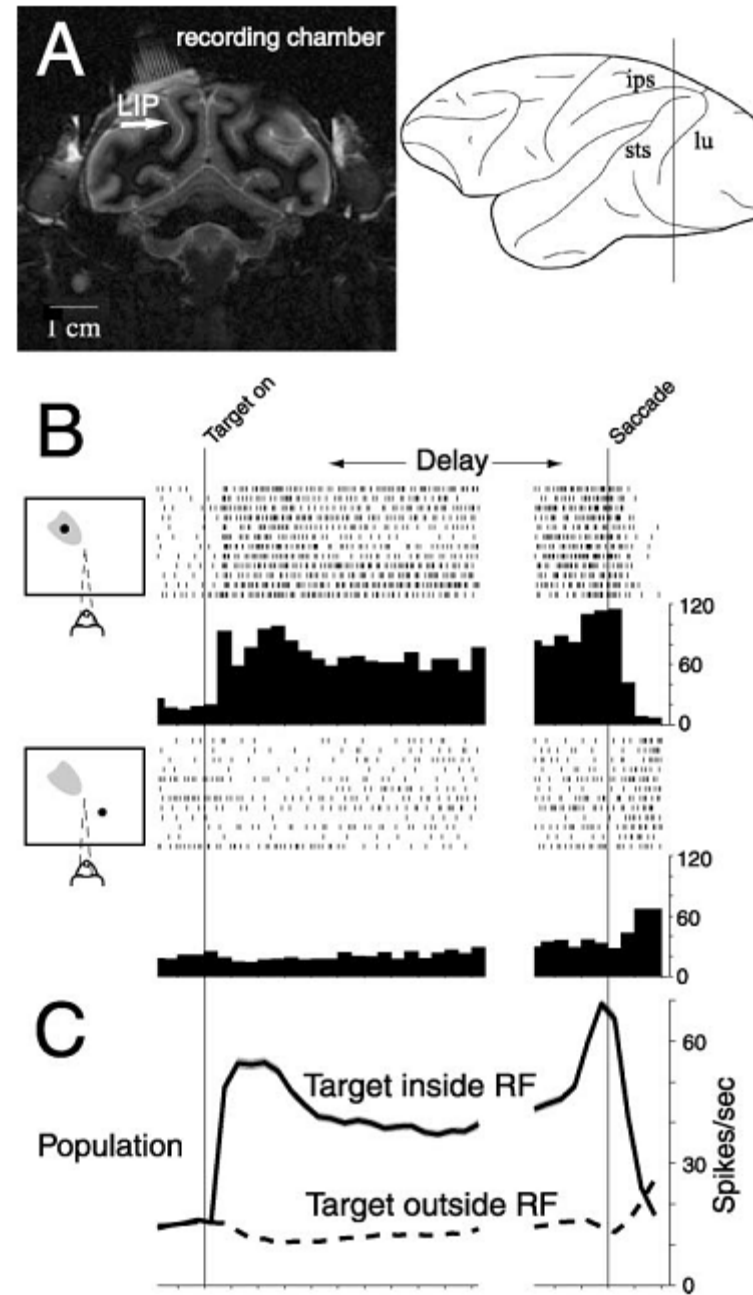


Figure 1. Time Discrimination Experiment



LIP

Figure 2. Location of Neurons and Screening Procedure

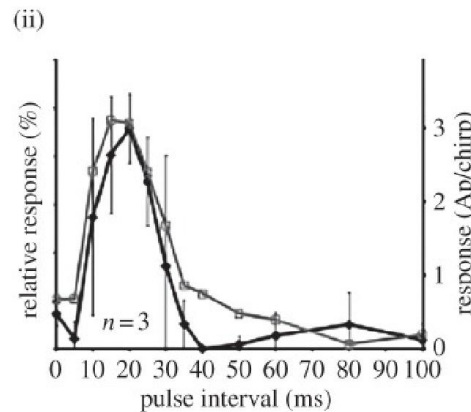
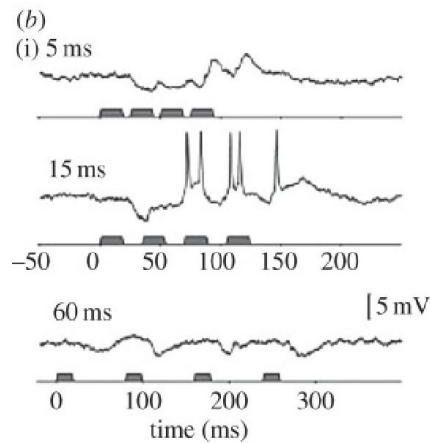
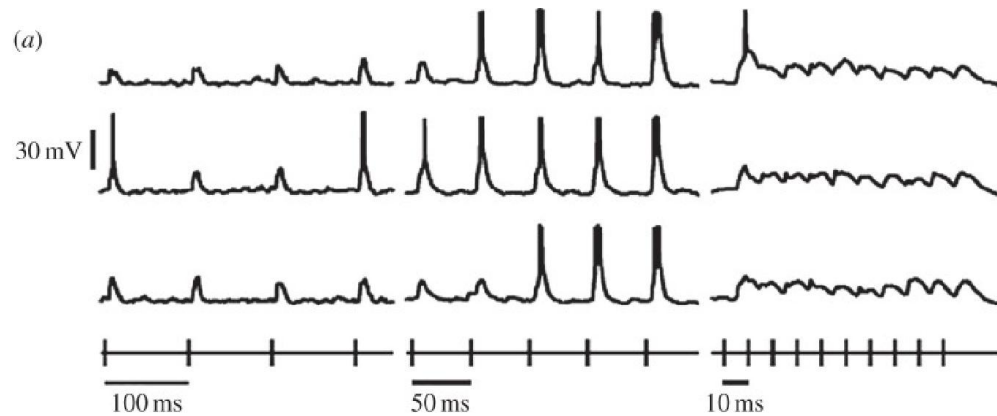


# autre approche: propriété émergente, tout est horloge/rien n'est horloge

Timing as an intrinsic property of neural networks: evidence from *in vivo* and *in vitro* experiments



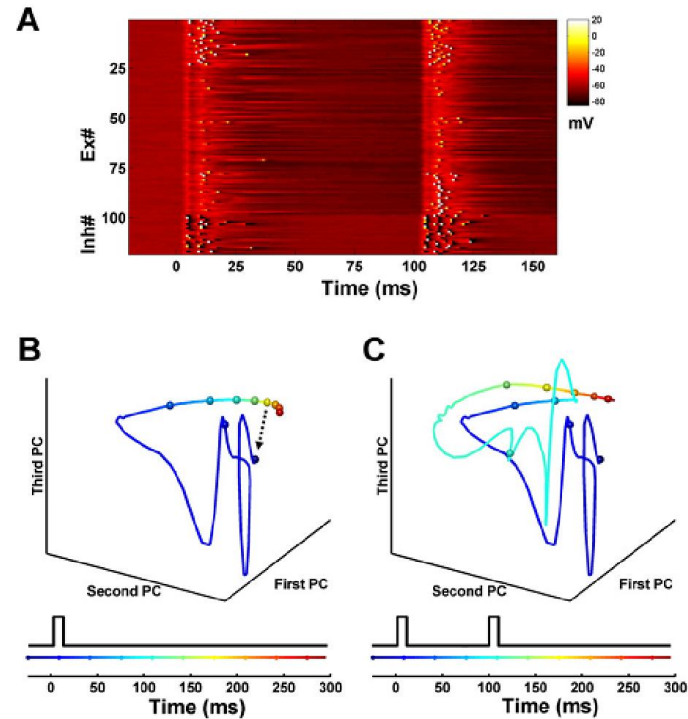
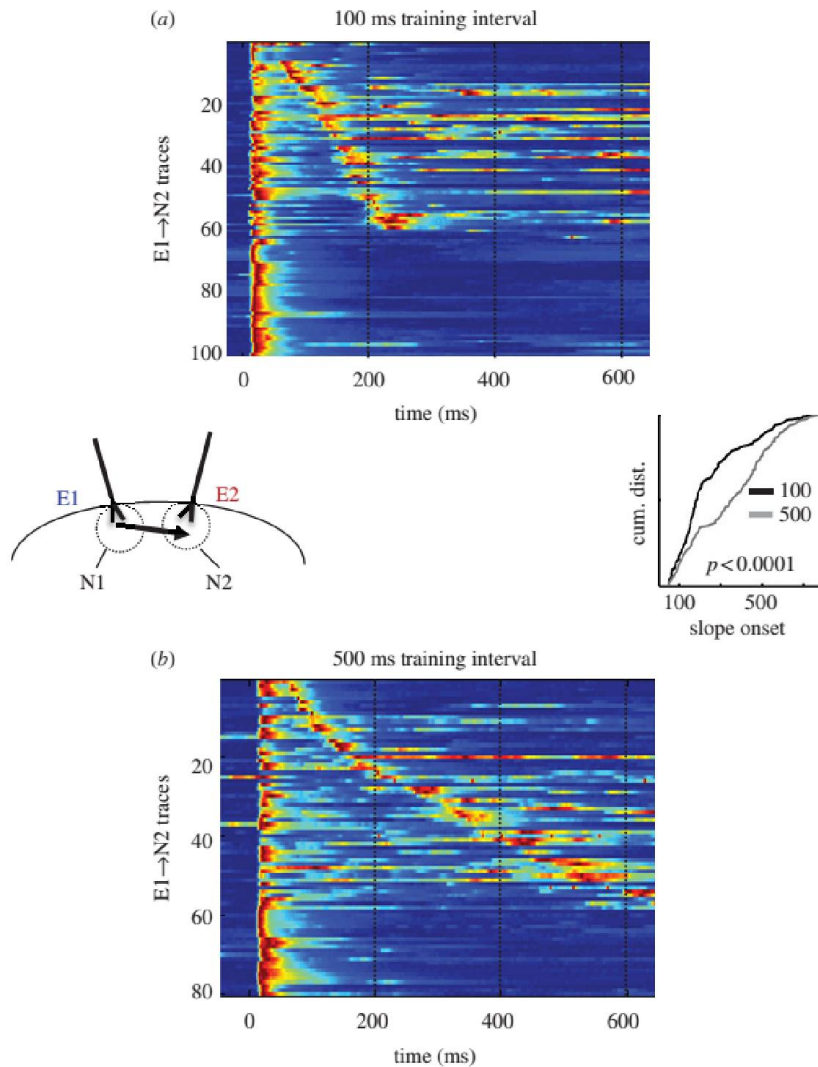
Anubhuti Goel and Dean V. Buonomano



- basé sur les constantes biologiques temporelles  
*par ex. intégrations synaptiques*
- considère l'état initial du réseau de neurones (profils et propriétés différents selon les échelles de temps)
- et les états transitoires dans l'espace des états de phase

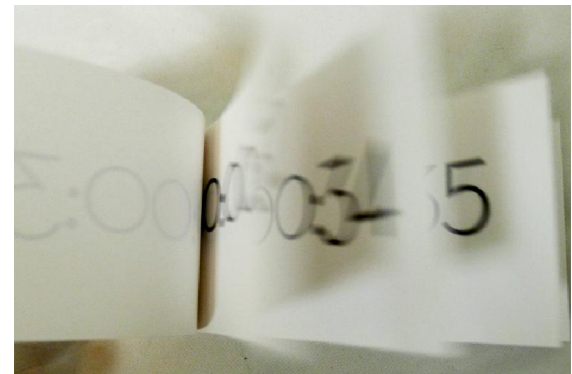
# Timing in the Absence of Clocks: Encoding Time in Neural Network States

Uma R. Karmarkar<sup>1</sup> and Dean V. Buonomano<sup>2,3,4,\*</sup>



- Modèle: réseau de neurones
- Trois premières composantes de la dynamique du réseau décrivent l'espace et la trajectoire du système dans cet espace.

- Le temps
- Outils des neurosciences cognitives
- Données empiriques et modèles
  - chronoarchitecture et encodage événementiel
  - durée et horloge interne
- Hypothèse de travail: le cerveau s'abstrait du temps

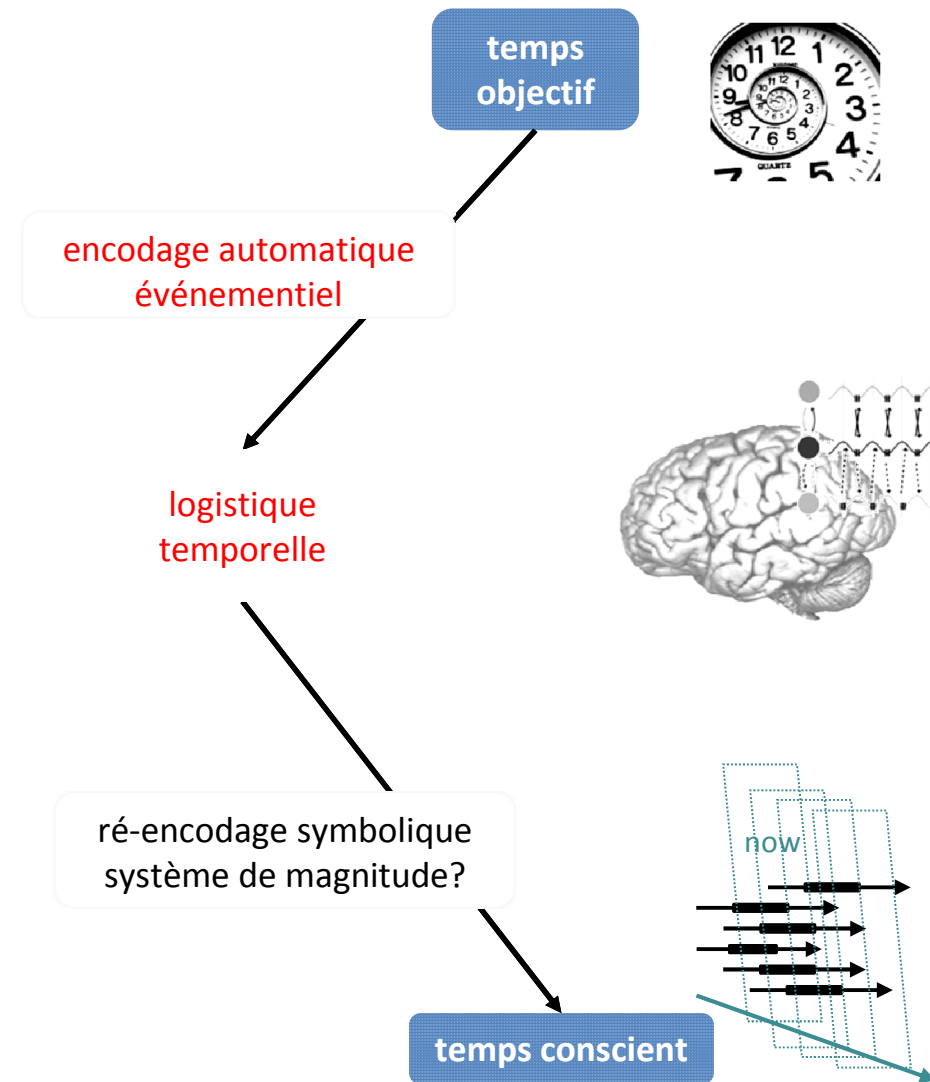


## Minding time in an amodal representational space

Virginie van Wassenhove

L'encodage temporel capitalise sur la chronoarchitecture cérébrale pour tagger les événements sur une cartographie mentale du temps.

Le passage dans la métrique mentale du temps pourrait se faire dans le cadre du système de magnitudes.



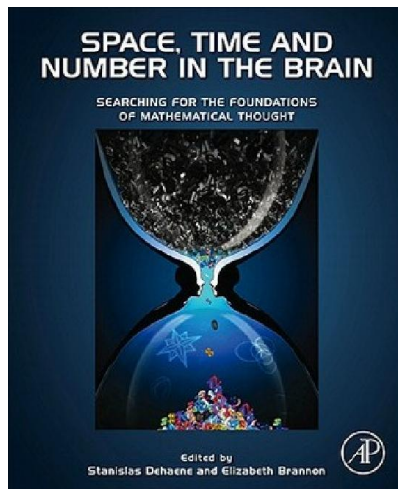
## Minding time in an amodal representational space

Virginie van Wassenhove

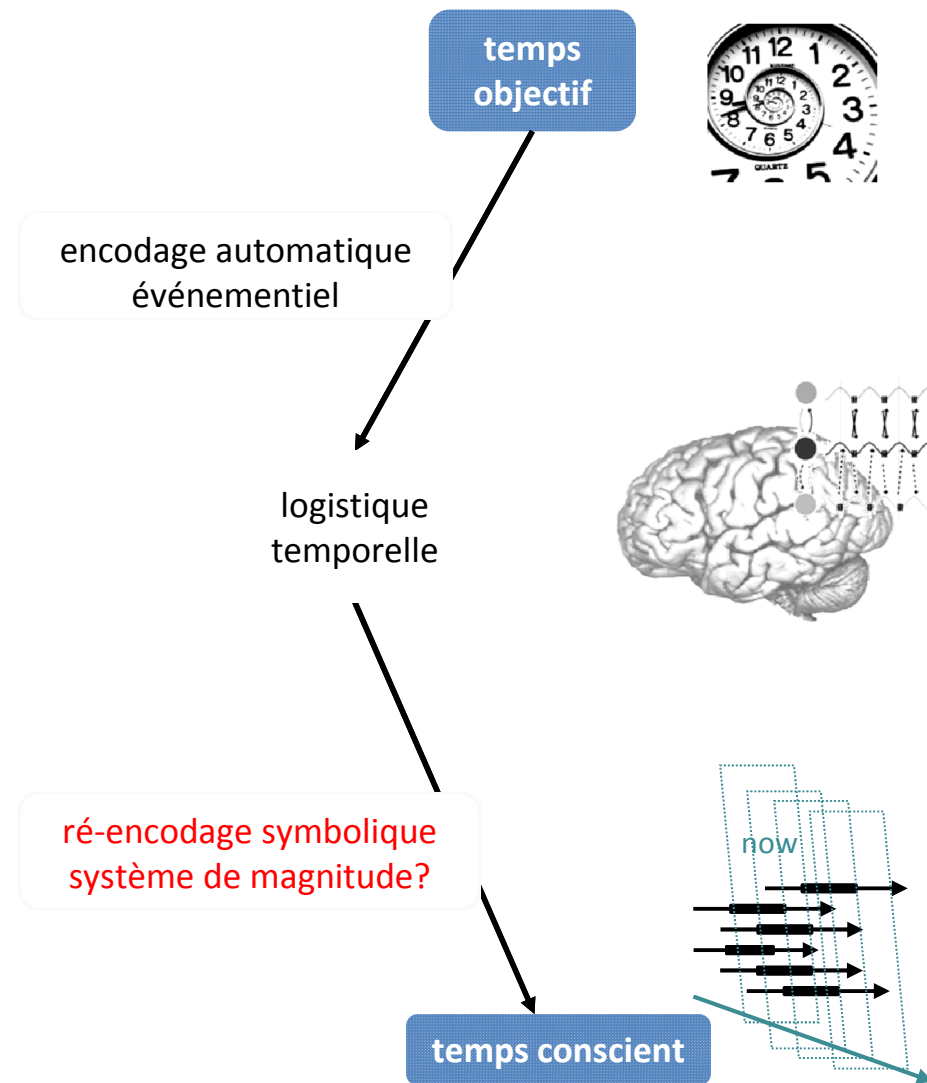
## Representations of space, time, and number in neonates

PNAS | April 1, 2014 | vol. 111 | no. 13 | 4809–4813

Maria Dolores de Hevia<sup>a,b,c,1</sup>, Véronique Izard<sup>a,b</sup>, Aurélie Coubart<sup>a,b</sup>, Elizabeth S. Spelke<sup>d</sup>, and Arlette Streri<sup>a,b</sup>

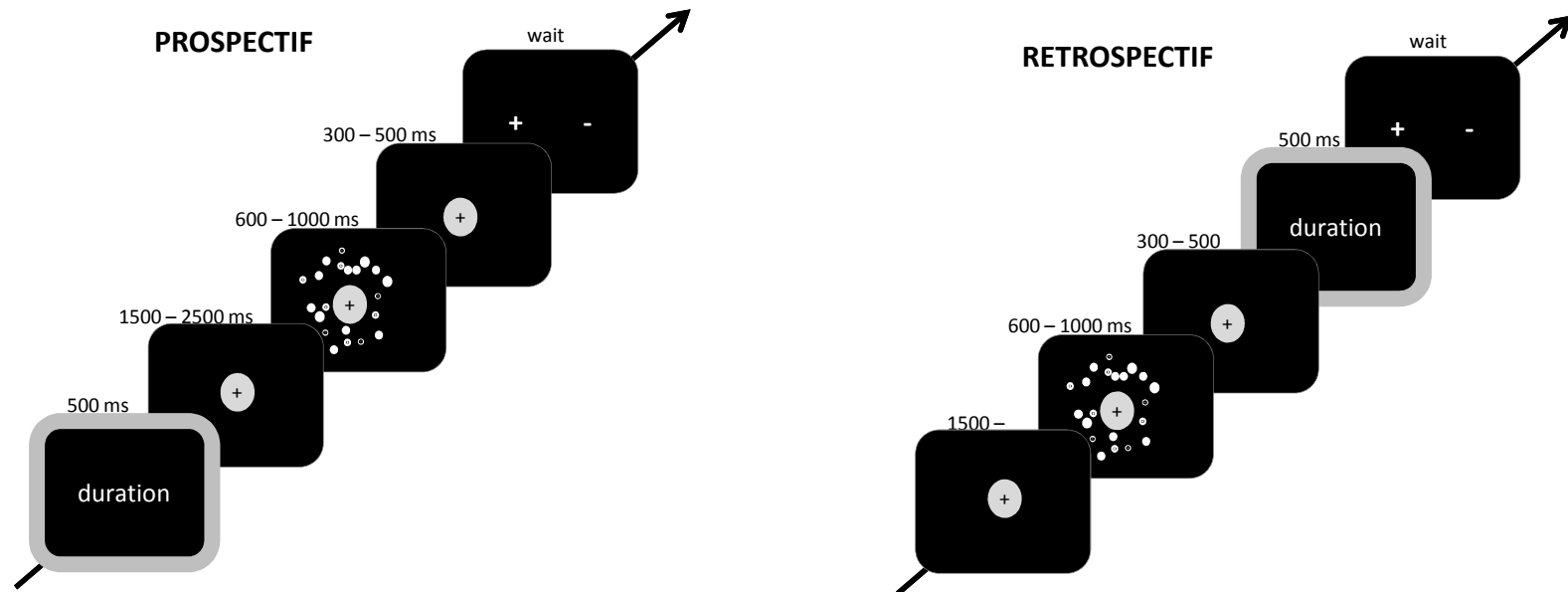


Dehaene & Brannon (2013)

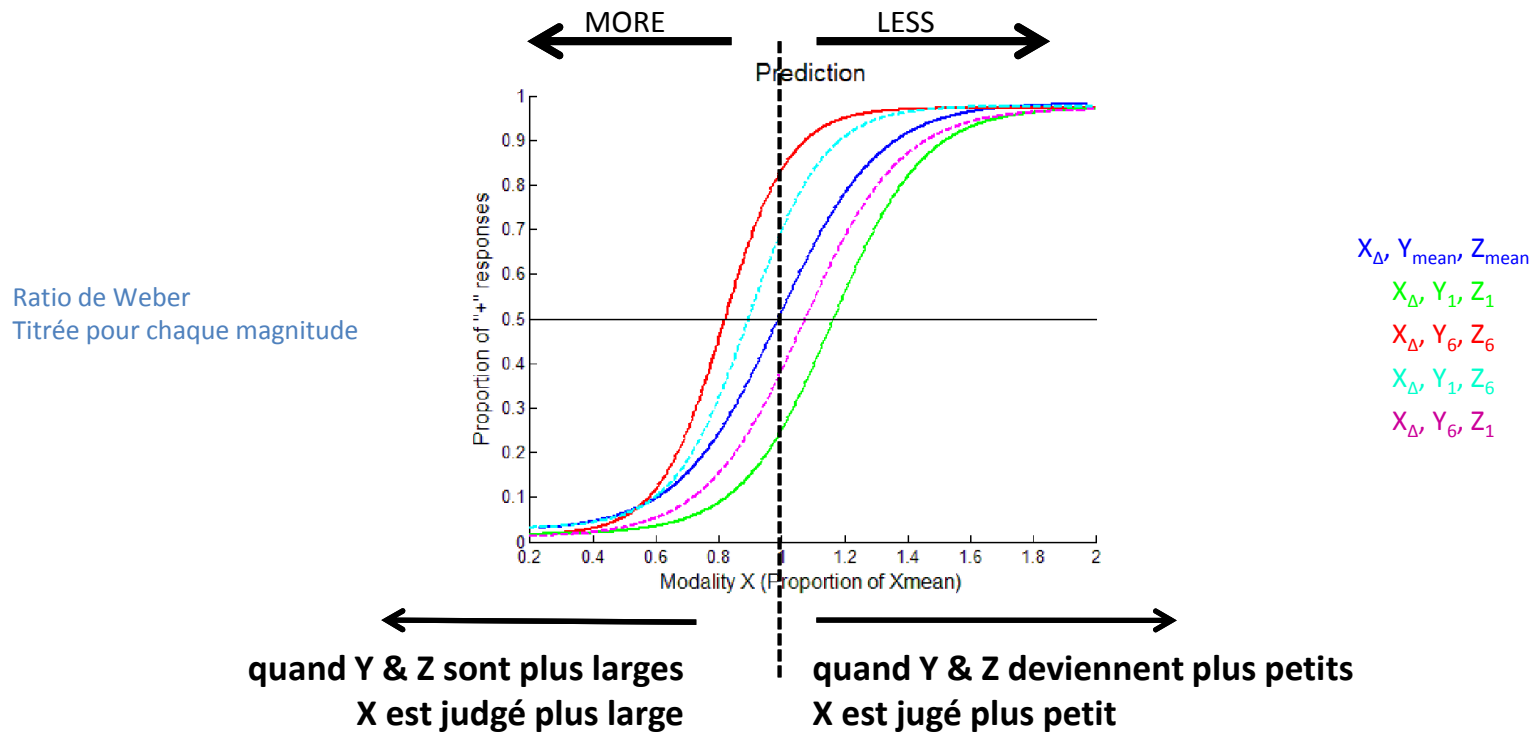


# Evidence Accumulation in the Magnitude System

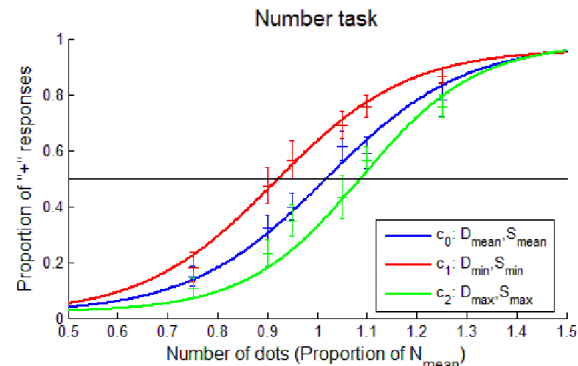
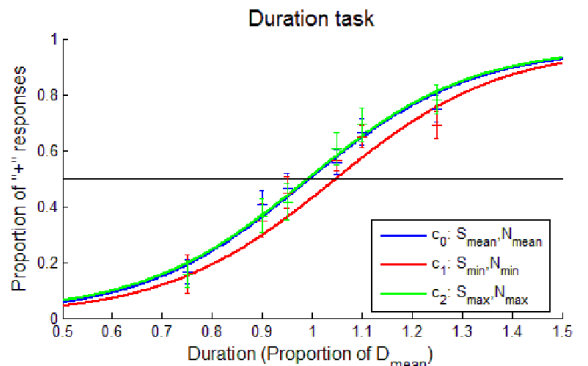
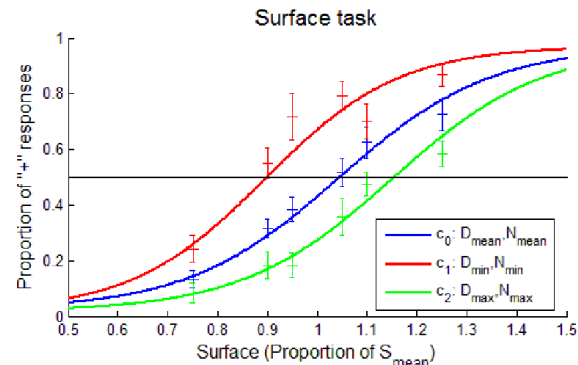
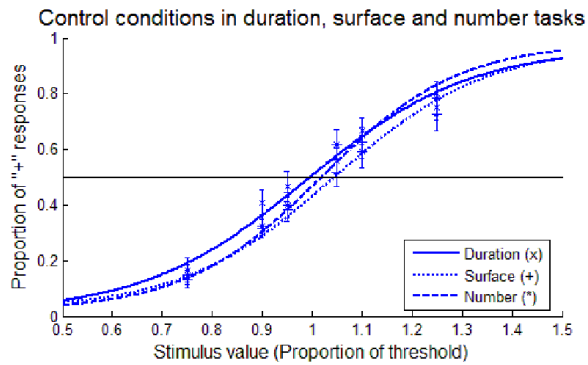
Anna Lambrechts<sup>1,2,3,4,5</sup>, Vincent Walsh<sup>2</sup>, Virginie van Wassenhove<sup>3,4,5\*</sup>



# interférences prédites entre espace, temps et nombres



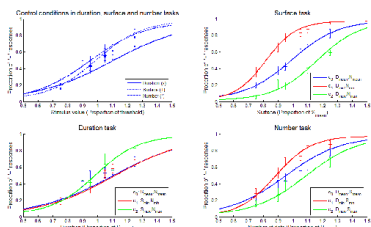
PROSPECTIF



magnitude testée

- Pour une accumulation d'évidence égalisée à travers les magnitudes, l'influence spatiale et numérique sur l'estimation de la durée est absente.

RETROSPECTIF



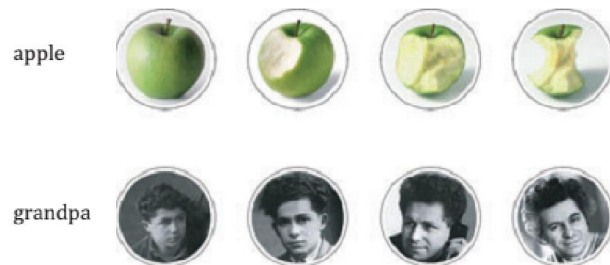
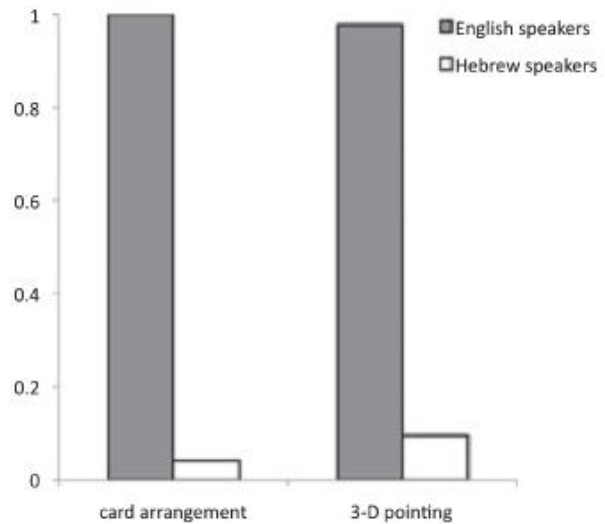
- Les interférences sont néanmoins largement observables entre le temps, l'espace et le nombre ce qui suggère une interactions dans l'encodage des magnitudes.



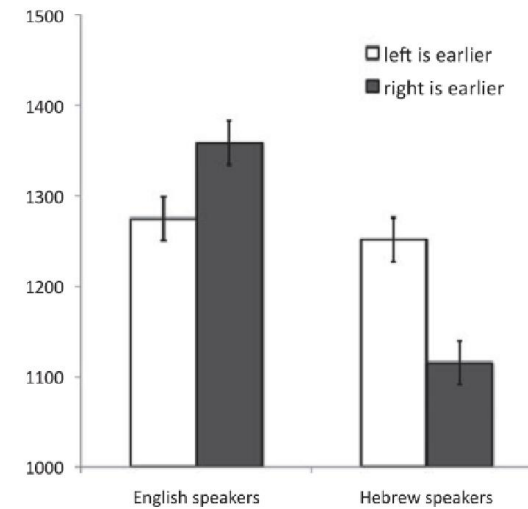
# Cross-Cultural Differences in Mental Representations of Time: Evidence From an Implicit Nonlinguistic Task

Orly Fuhrman, Lera Boroditsky  
 Cognitive Science 34 (2010) 1430–1451

## ordonnance d'événements dans le temps



## jugement de l'ordre temporel

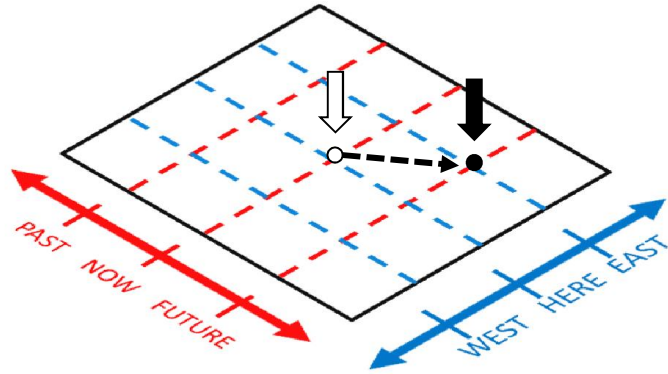


influence culturelle sur la topologie temporelle interne des événements

Anglais: gauche = avant, droit = après  
 Hébreu: gauche = après, droit = avant

# métacognition . imaginer l'espace et le temps mentalement

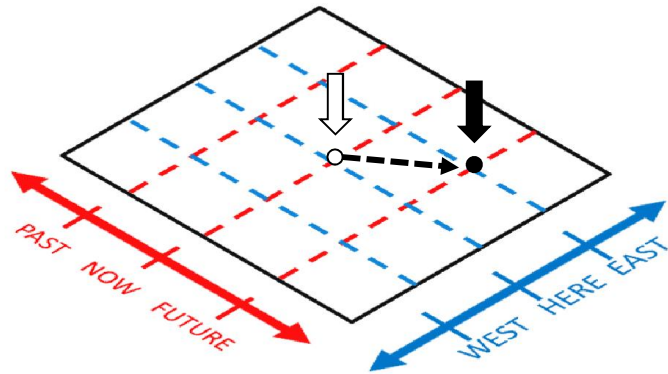
**PROJECTION mentale** : changement de point de vue (mental)



imaginez vous à Dubaï dans 10 ans

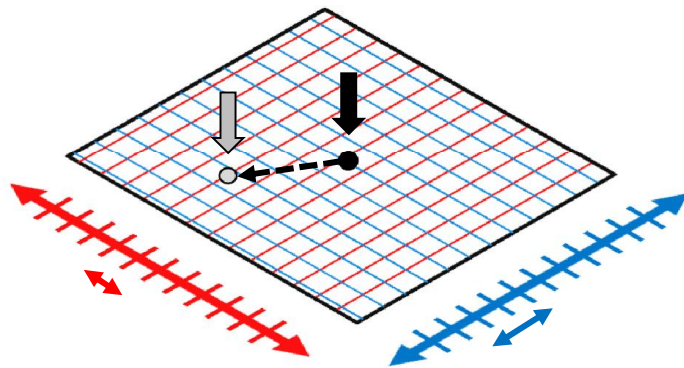
# métacognition . imaginer l'espace et le temps mentalement

**PROJECTION mentale** : changement de point de vue (mental)



imaginez vous à Dubaï dans 10 ans

**DISTANCE mentale**: voyage relatif dans cet espace mental



voyage dans le temps

L'ouragan Katrina : avant ou après?

voyage dans l'espace

L'ouragan Katrina : est ou ouest?

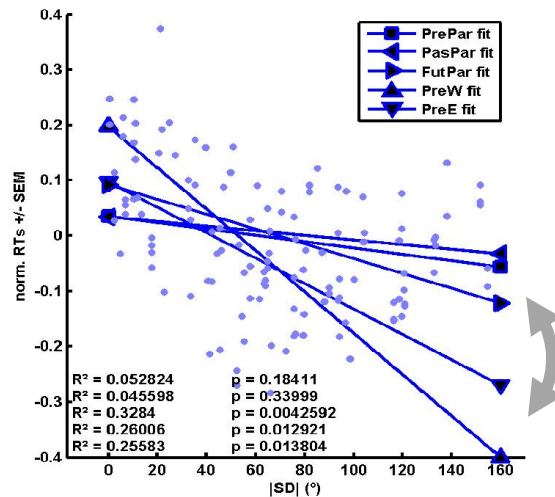
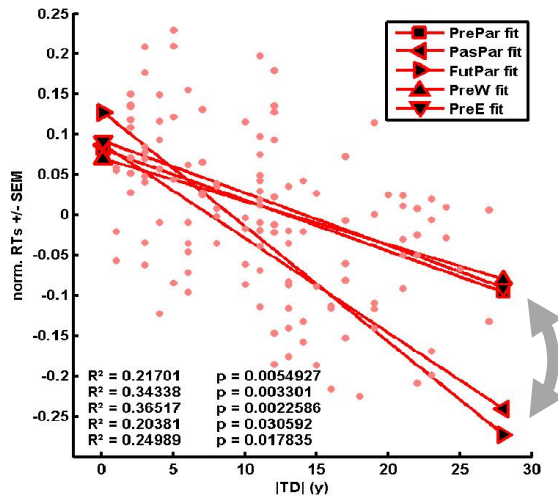
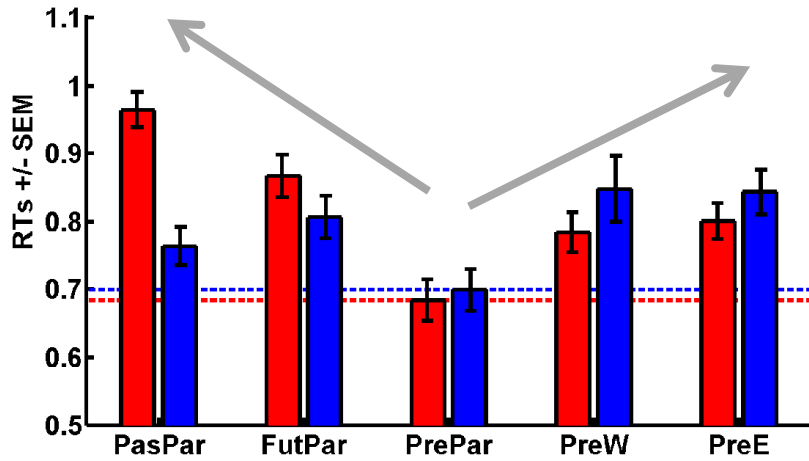
juger si un événement a lieu  
avant ou après  
à l'ouest ou à l'est  
du point de vue imaginé.

# chronométrie mentale

## PROJECTION MENTALE

augmentation des temps de réaction lorsque l'on se projette dans le temps ou dans l'espace.

jugement spatial  
jugement temporel



## DISTANCE MENTALE

TRs spécifiques à la distance et à la projection mentale (i.e. space vs. time)

# merci

Tadeusz Kononowicz , PhD . [CNV](#)

Baptiste Gauthier , PhD . [Mental Time Travel](#)

Anja Wühle , PhD

Anne Kösem , PhD . [Phase encoding](#)

Laetitia Grabot

Nicolas Zilber, PhD

Yousra Behkti

Benoît Martin . [Mental Time Travel](#)

Karin Pestke . [Mental Time Travel](#)

Leila Azizi, PhD

Marco Buiatti, PhD

