

## Entre les mesures comportementales et le milieu de fonctionnement intracérébral : réflexions sur le dynamisme visuomoteur

Laurent Goffart

CNRS

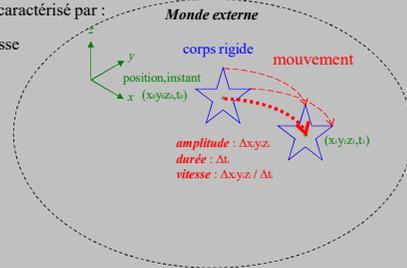
INT, CEPERC  
Marseille, France

laurent.goffart@univ-amu.fr  
laurent.goffart.int@gmail.com

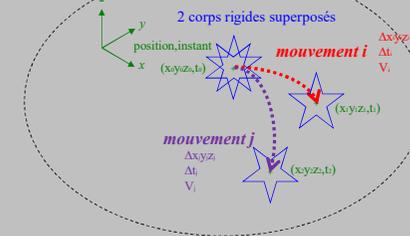
## Entre les mesures comportementales et le milieu de fonctionnement intracérébral : réflexions sur le **dynamisme visuomoteur**

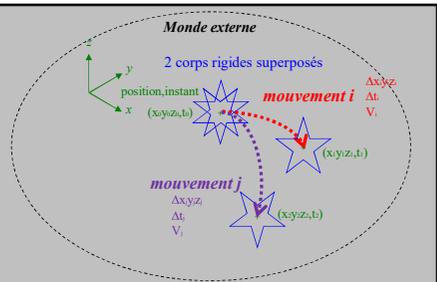
Le **dynamisme visuomoteur** = l'ensemble des flux internes d'activité neuronale  
qui s'écoulent entre l'excitation rétinienne évoquée par l'apparition d'un objet visuel  
et une réponse motrice, toutes les deux mesurables dans le monde externe.

Dans le monde externe, le mouvement d'un corps rigide est caractérisé par :  
- un changement de position  $\rightarrow$  amplitude  $\Delta xyz$   
- pendant un intervalle entre deux instants  $\rightarrow$  durée }  $\rightarrow$  vitesse

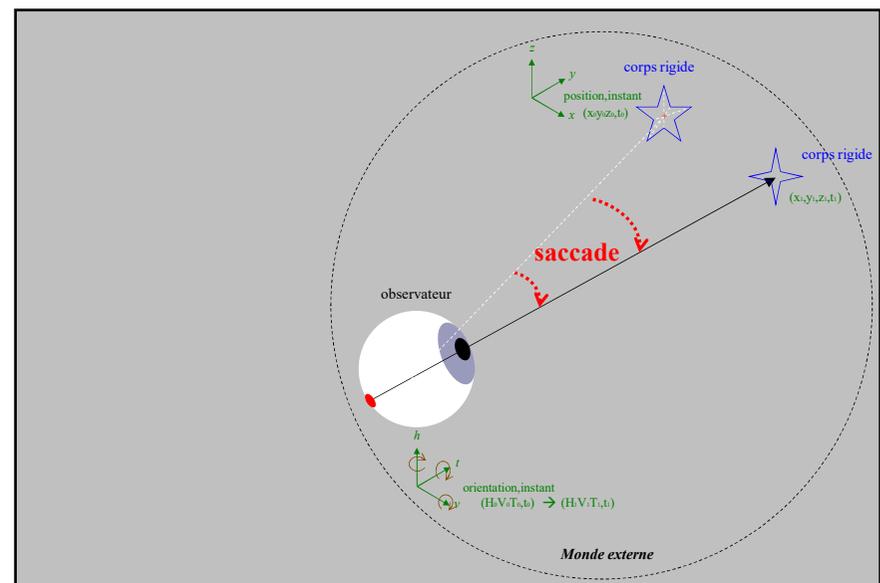
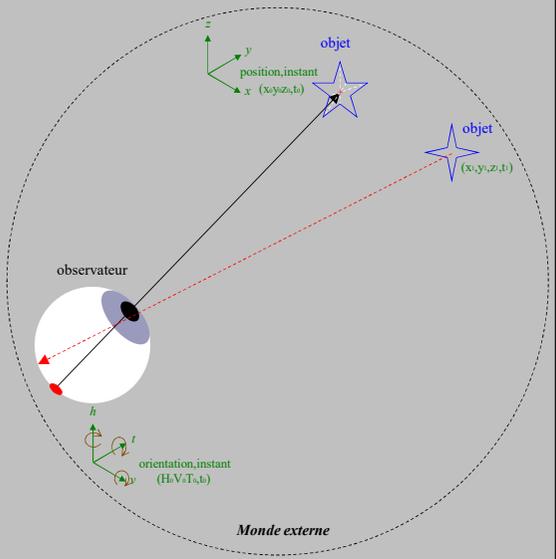
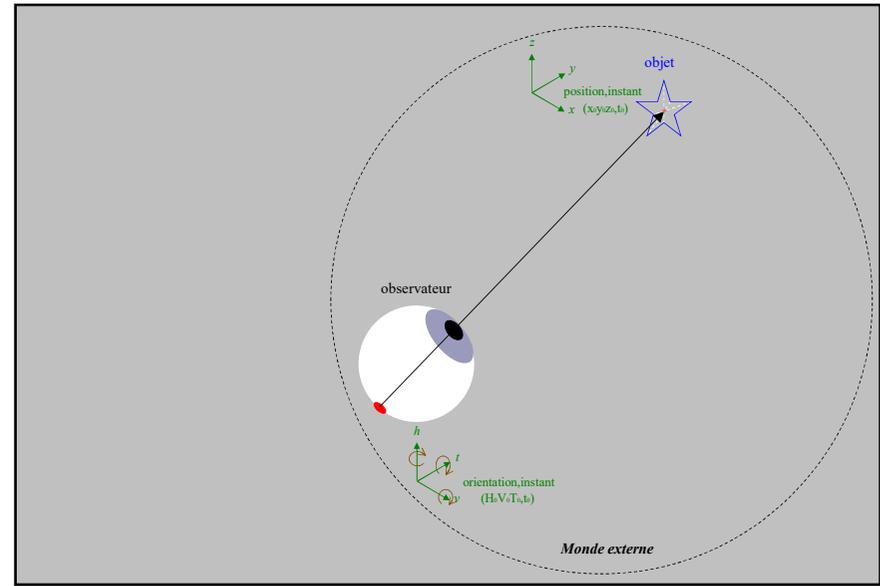


Monde externe





trajectoires i et j indépendantes  
(dans le monde externe),  
apparemment pas indépendantes  
dans le milieu  
de fonctionnement intra-cérébral

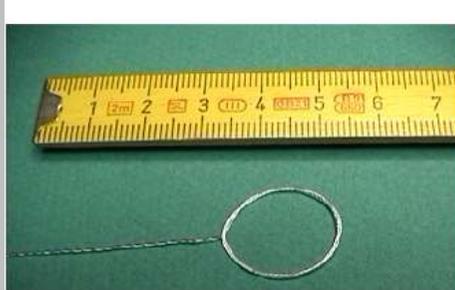


## Enregistrement des rotations oculaires

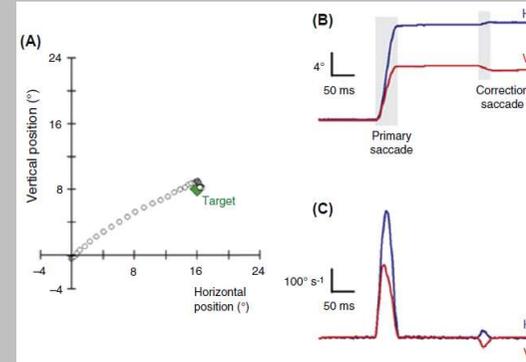
Induction électro-magnétique

Bobine sclérale

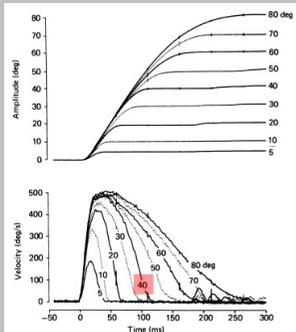
2 champs magnétiques : H et V



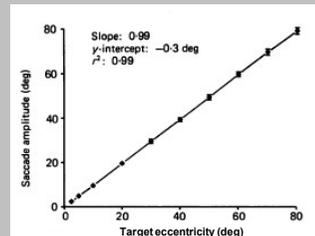
## La saccade visuelle



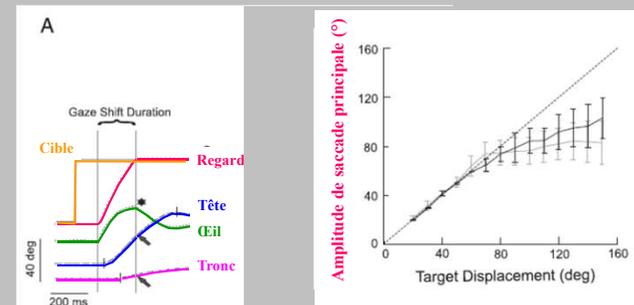
## Saccades oculaires chez l'Homme



Collewijn et al J Physiol 1988

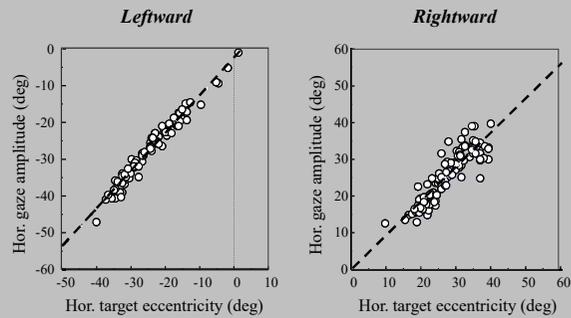


## Orientation saccadique du regard chez le Singe

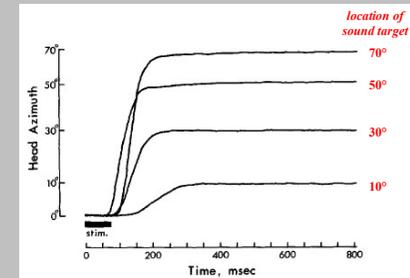


McCluskey & Cullen J Neurophysiol 2007

## Orientation saccadique du regard chez le Chat



## Orientation saccadique de la tête chez la Chouette

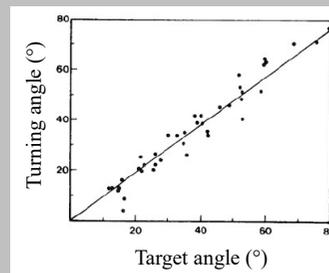


*Knudsen, Blasdel & Konishi J Comp Physiol 1979*

## Orientation saccadique de la tête chez la Salamandre

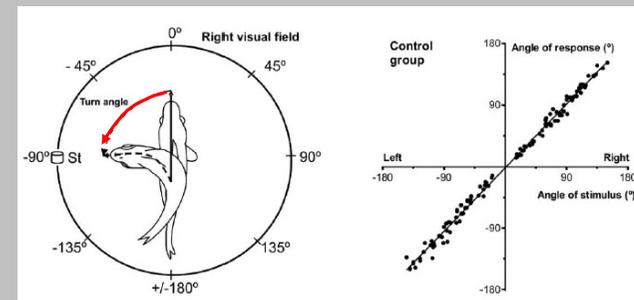


*Schülert & Dicke J. Exp Biol 2002*



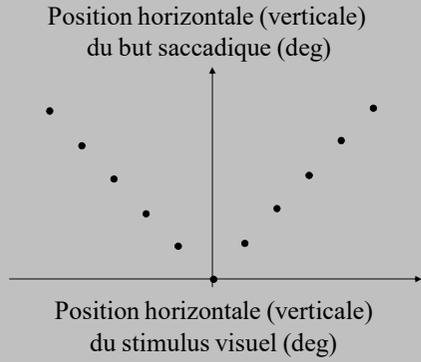
*Werner & Himstedt  
Zool Jb Physiol 1985*

## Orientation saccadique du corps chez le Poisson



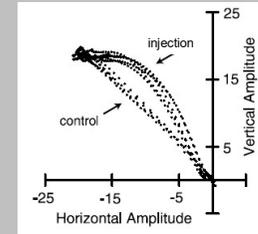
*Torres et al. Brain Res Bull 2005*

## Relation métrique



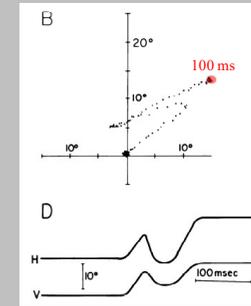
## Couplage Horizontal-Vertical et Robustesse

**Inactivation pharmacologique**  
(Formation réticulée pontine)



*Barton, Nelson, Gandhi & Sparks J Neurophysiol 2003*

**Microstimulation électrique brève**  
(Colliculus Supérieur profond)



*Sparks & Mays J Neurophysiol 1983*

corps rigide

observateur

**STABLE**  
(repos "apparent")

**ACTIF**

fibres musculaires  
cellules motrices  
cellules prémotrices  
etc ... en amont  
c. ganglionnaires  
(rétine)

Fonctionnement  
cérébral

Monde externe

Visual Fixation as Equilibrium: Evidence from Superior  
Colliculus Inactivation

The Journal of Neuroscience, August 1, 2012 • 32(31):10627–10636

corps rigide

observateur

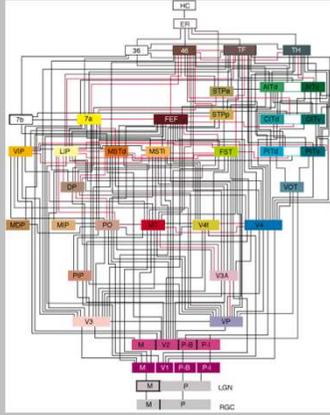
**STABLE**  
(repos "apparent")

Fonctionnement  
cérébral

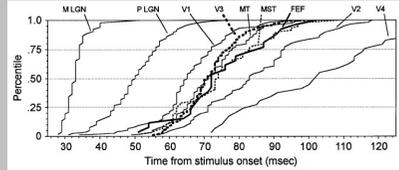
Monde externe



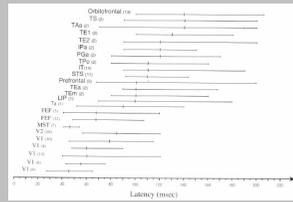
## Représentation spatio-temporellement distribuée



Felleman & van Essen Cerebral cortex 1991



Schmolesky et al. J Neurophysiol 1998



Nowak & Bullier Cerebral cortex: extrastriate cortex in primates 1997

## Convergence sur le Colliculus Supérieur

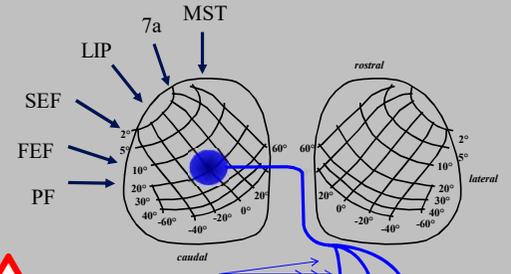
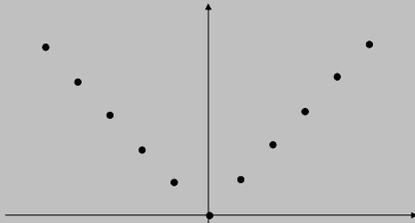


Schéma incomplet  
- Noyaux du pont  
- Olive inférieure  
- etc ...

groupes de neurones prémoteurs  
↓ droite haut bas  
groupes de neurones moteurs  
↓ droite haut bas  
muscles extra-oculaires

## Relation métrique

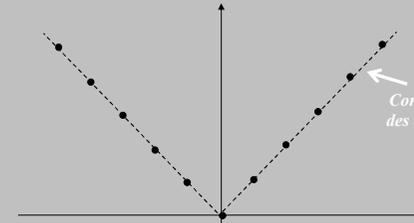
Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



Position horizontale (verticale)  
du stimulus visuel (deg)

## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)

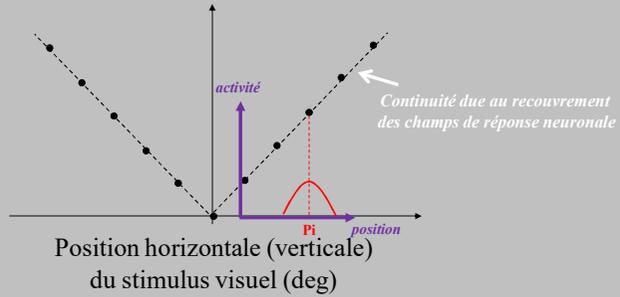


Continuité due au recouvrement  
des champs de réponse neuronale

Position horizontale (verticale)  
du stimulus visuel (deg)

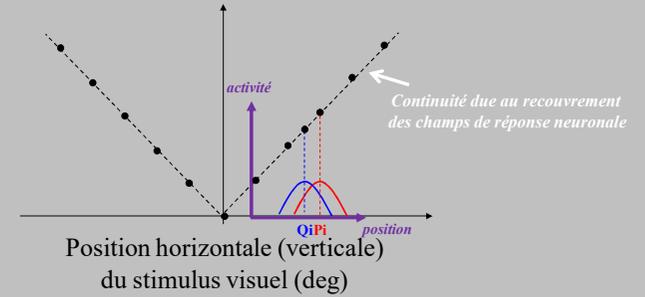
## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



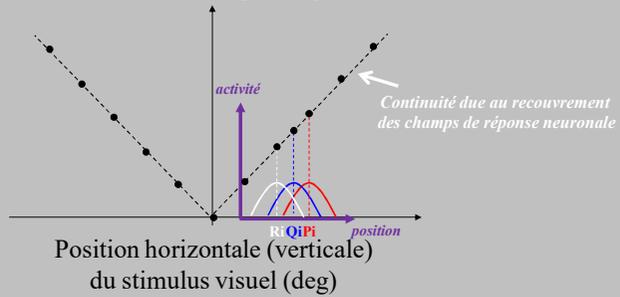
## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



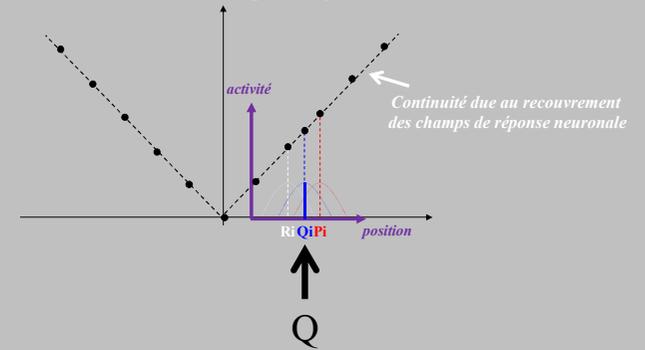
## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



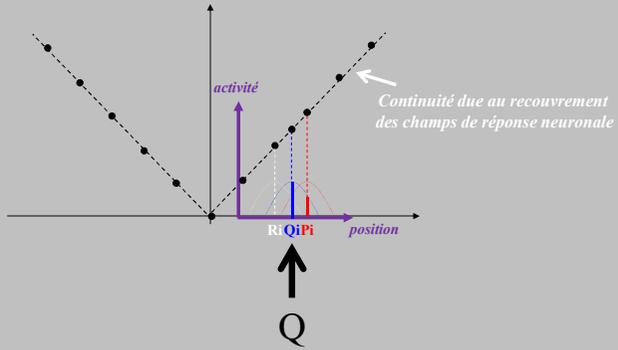
## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



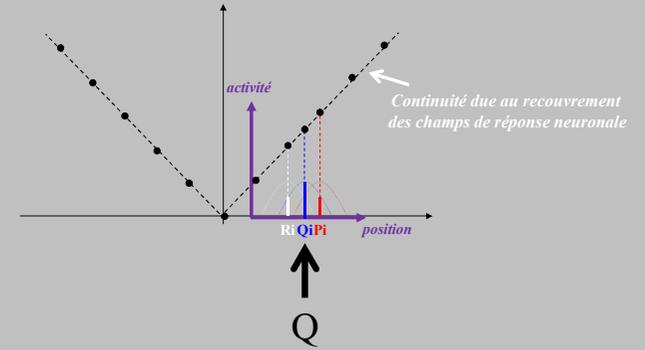
## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



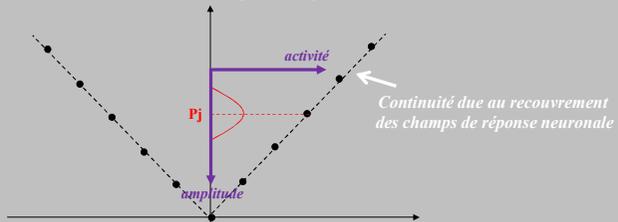
## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



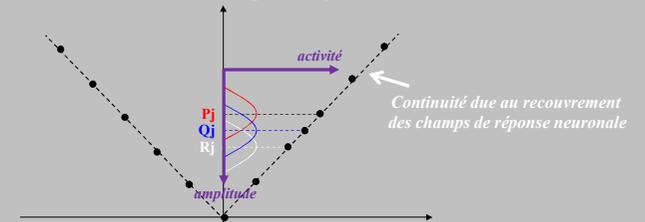
## Relation métrique

Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)

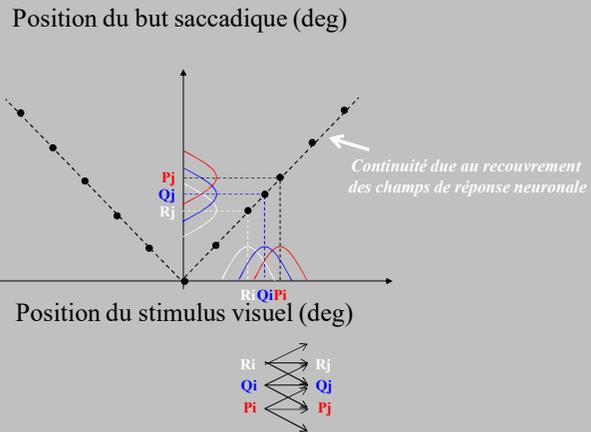


## Relation métrique

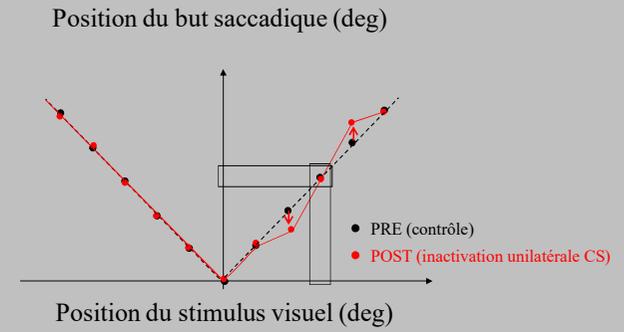
Position horizontale (verticale)  
du but saccadique (deg)



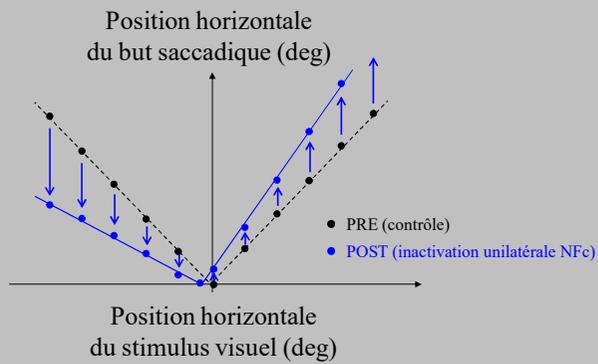
## Relation métrique



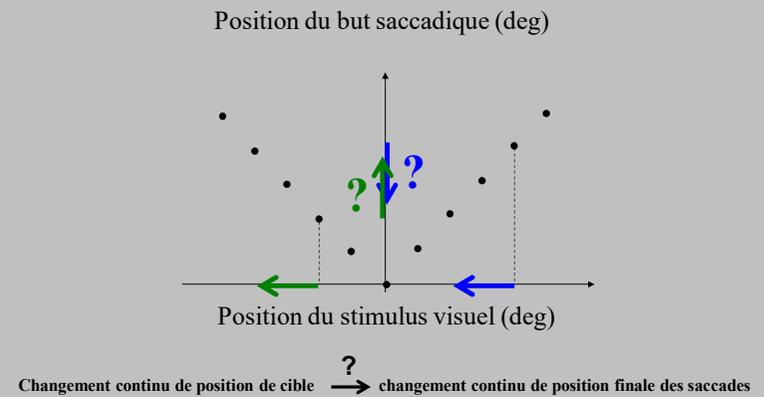
## Perturbation locale avec conséquences locales

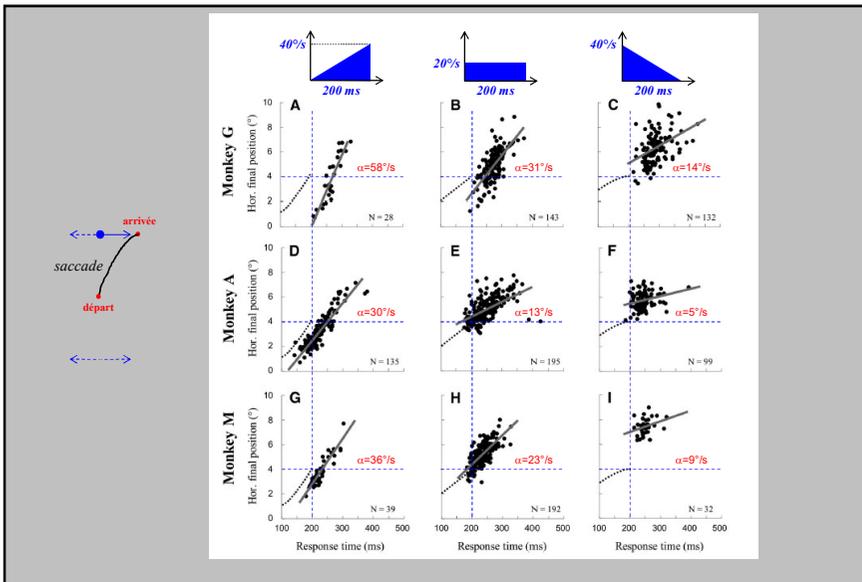
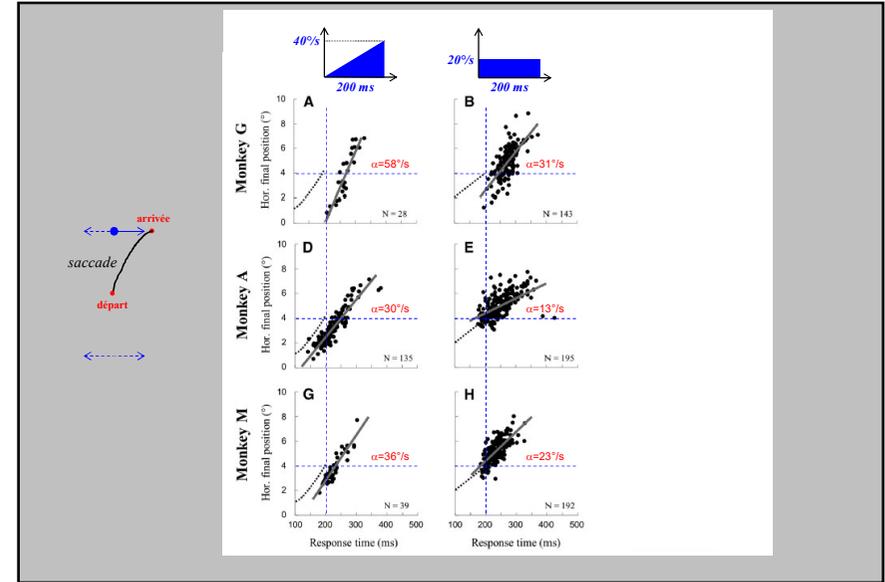
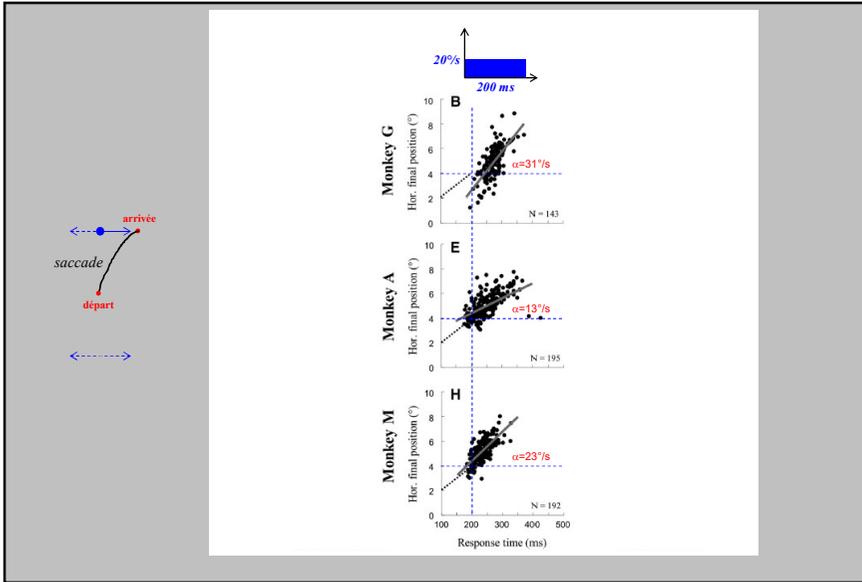


## Perturbation locale avec conséquences étendues



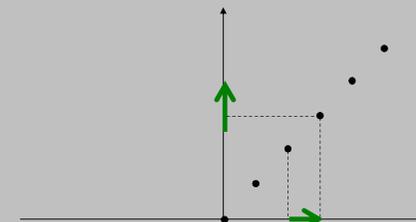
## Quand la cible est mobile





## Quand la cible est mobile

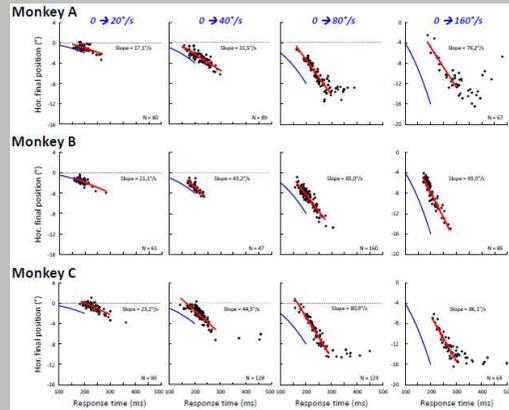
Position du but saccadique (deg)



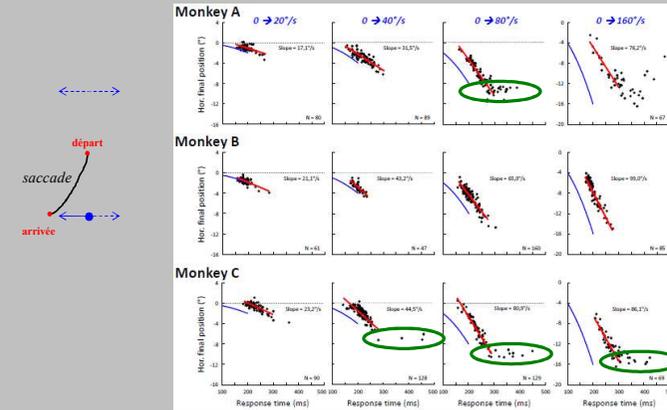
Position du stimulus visuel (deg)

Un changement continu de position de cible entraîne un changement continu de position finale des saccades  
 L'extrapolation dépend des variations de vitesse de la cible (décélération > constante > accélération)  
 Sensibilité plus grande à la vitesse initiale, sensibilité moindre à la vitesse terminale

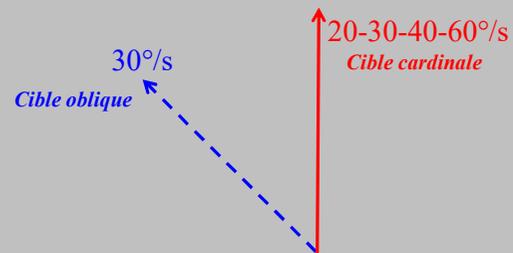
## Sensibilité à la vitesse terminale



## Sensibilité à la vitesse terminale + limite de l'extrapolation

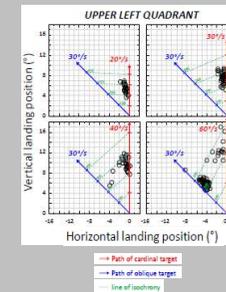


## Interaction entre flux: deux cibles mobiles

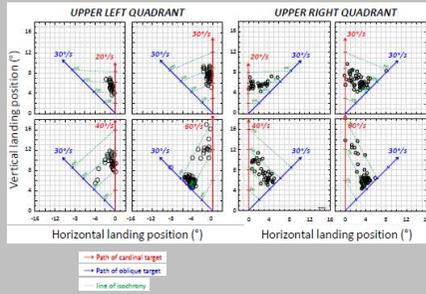


- Vitesse constante
- Accélérate/décélérante

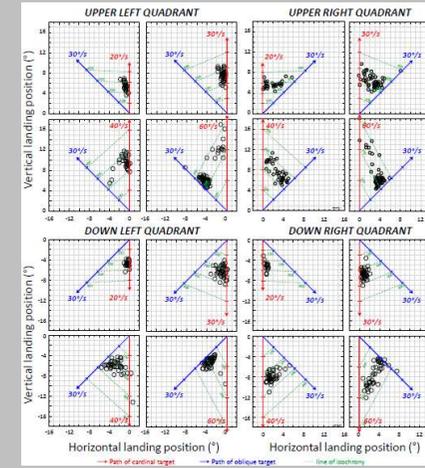
## Interaction entre flux: deux cibles mobiles



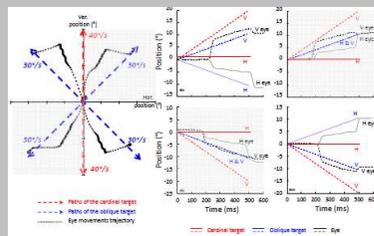
## Interaction entre flux: deux cibles mobiles



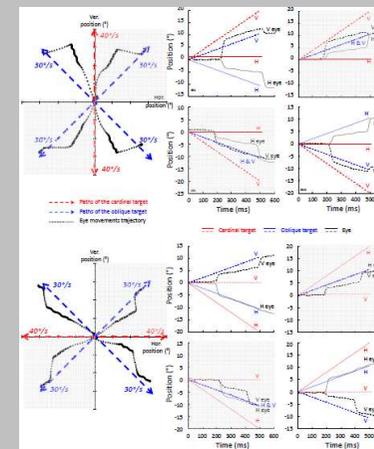
## Interaction entre flux: deux cibles mobiles



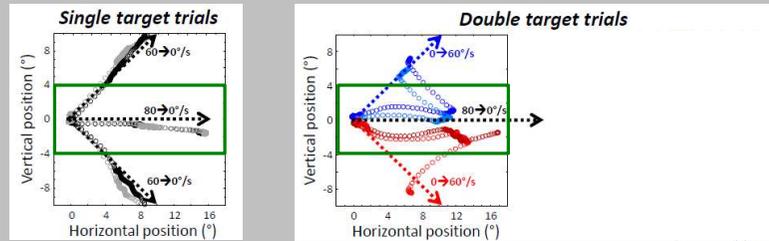
## Interaction entre flux: deux cibles mobiles



## Interaction entre flux: deux cibles mobiles

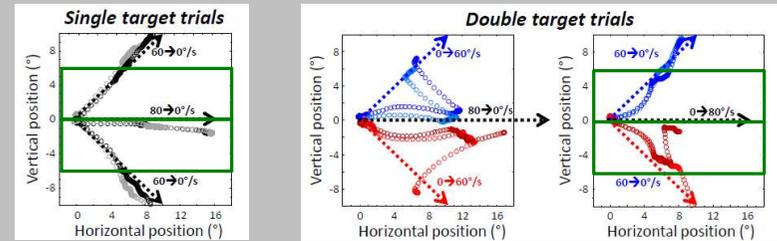


## Interaction continue jusqu'à l'arrêt de la saccade



Courbure de la trajectoire vers la cible la plus lente

## Interaction continue jusqu'à l'arrêt de la saccade



Courbure de la trajectoire vers la cible la plus lente

## Conclusion

Selon certains auteurs contemporains, les lois de la mécanique classique seraient internalisées dans le fonctionnement cérébral. Pourtant ce formalisme postule que les phénomènes mesurés se déroulent dans un réceptacle homogène, uniforme et inerte (espace mathématique) caractérisé par un espace et un temps disjoints.

Le milieu des processus neuronaux n'est ni homogène, ni isotrope, ni infini, ni neutre, et ses "objets" ne sont pas rigides.

Si la position d'un corps rigide dans le monde peut être décrite par un point avec des coordonnées spatiales (position xyz) et temporelle (instant), dans le milieu de fonctionnement cérébral, une cible est re-présentée par un flux d'activité qui se propage des cellules ganglionnaires de la rétine jusqu'aux neurones moteurs et fibres musculaires.

Si l'on considère un tâche lumineuse délimitée dans le champs visuel, le flux visuomoteur qui lui est associé se manifeste par une "**dilatation**" arborescente, spatiale et temporelle, suivie d'une "**contraction**" où ne subsiste plus qu'une durée, une durée qui peut être "élargie" dans la mesure où le mouvement des yeux peut être accompagné d'un mouvement de la tête.

Si la trajectoire d'un corps rigide dans le monde peut être décrite par une ligne sans épaisseur (une fonction du temps), sa re-présentation dans le cerveau est différente spatialement et temporellement ; elle est "diffuse" et élastique.

Le milieu cérébral n'est pas non plus inerte ; il est plastique. La capacité de poursuivre du regard une cible ici et maintenant, de **synchroniser** ses propres mouvements avec ceux d'une cible n'est pas un comportement spontané ; il nécessite un apprentissage au cours duquel le fonctionnement cérébral change (augmentation des ressources).

## Conclusion (suite)

Une confusion semble s'être installée dans les neurosciences entre la mesure et le phénomène mesuré.

Les limitations de la mesure et les notions théoriques liées ont conduit à envisager des options erronées.

Le regard n'est ni un point ni une ligne, l'"espace" visuel n'est pas un champ homogène et isotrope.

Il n'est pas exclu que le "temps" neuronal soit dénué de futur.

Les actions sont davantage adaptées à la situation présente qu'à celle imaginée se produire dans le futur.

Contrairement au milieu externe, dans le milieu de fonctionnement cérébral, les trajectoires de deux cibles mobiles ne sont pas indépendantes. L'alignement des "impacts" saccadiques selon les lignes d'isochronie suggère une dynamique commune des deux **fronts** d'activité visuomotrice.

L'extrapolation présente un **horizon**, au-delà duquel la représentation stagne et peut commencer à se désagréger.

## Remerciements



Personnel vétérinaire : Marc Martin, Luc Renaud



European Research Council

Established by the European Commission

**Grant POSITION  
(Prof. Patrick Cavanagh,  
Université Paris-Descartes)**