


10 novembre 2010
 Journée de l'IFR 131 "Sciences du cerveau et de la cognition"
 Variabilité : bruit ou source d'information



Variabilité neuromorphologique et stabilité fonctionnelle dans la réaction d'orientation

(Variabilité et évolution)

Laurent Goffart

Centre National de la Recherche Scientifique
Institut de Neurosciences Cognitives de la Méditerranée, Marseille



La réaction d'orientation

Un ensemble coordonné et organisé de contractions musculaires, qui conduisent à orienter **rapidement** un (plusieurs) organe(s) sensoriel(s) **vers** l'endroit où se trouve un objet détecté, de manière pour en optimiser la localisation et l'identification (**réagir au bon endroit et au bon moment**).

La réaction d'orientation se manifeste par des modifications posturales et neurovégétatives, directement mesurables :

- changements d'orientation des yeux, de la tête, voire même du corps (délais, vitesses, amplitudes, etc.)
- vasoconstriction périphérique associée à une vasodilatation centrale
- changements des rythmes respiratoire et cardiaque
- changements EEG ("réveil" cortical)
- changement de conductivité de la peau (réponse électrodermale)
- arrêt des actions en cours

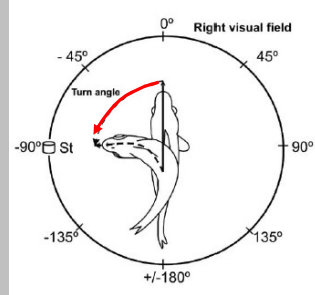
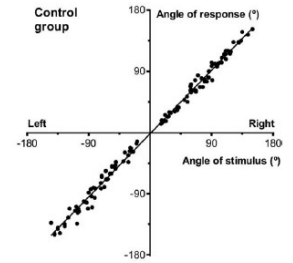
Variabilité morphologique ^{et} Stabilité fonctionnelle

Malgré des **différences** morphologiques parfois considérables dans les organes sensoriels (rétine, cochlée, bulbe olfactif, etc.) et moteurs (muscles extra-oculaires, muscles du cou, etc.) mis en jeu, certaines **régularités** (intra- et inter-spécifiques) apparaissent dans la structure temporelle et spatiale de la réaction d'orientation.

Régularité temporelle : la réaction d'orientation est toujours extrêmement rapide (saccade), même suite à une paralysie de l'appareil oculomoteur (saccade de la tête).

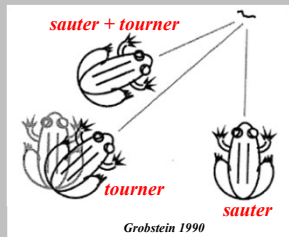
Régularité spatiale : les propriétés spatiales de la réaction d'orientation sont conformes à l'étendue spatiale de l'environnement avec une variabilité relativement bien délimitée.

Mouvement d'orientation du corps chez le Poisson

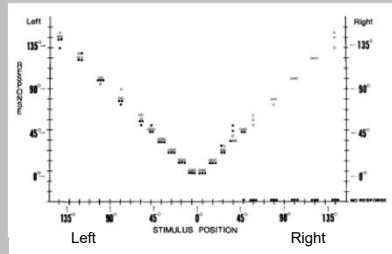
Torres et al. Brain Res. Bull. 2005

Mouvement d'orientation du corps chez la Grenouille



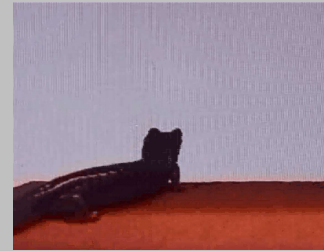
Grobstein 1990

première réaction produite :
orienter rapidement
le champs d'interaction sensorimotrice
vers la cible

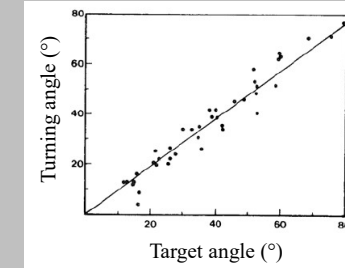


Kostyk & Grobstein 1982

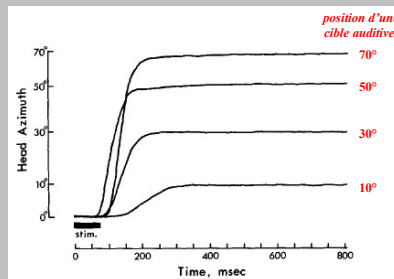
Mouvement d'orientation de la tête chez la Salamandre



Schülert & Dicke J. Exp Biol 2002

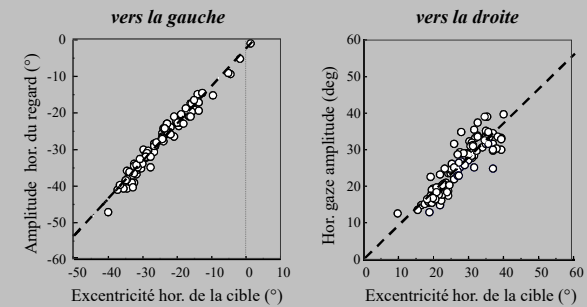
Werner & Himstedt
Zool. Jb. Physiol. 1985

Mouvement d'orientation de la tête (vers un son) chez la Chouette



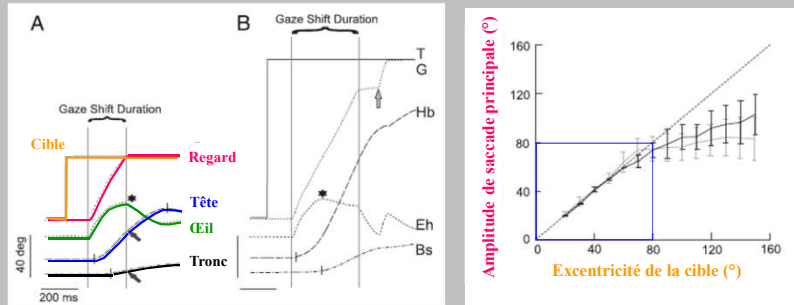
Knudsen, Blasdel & Konishi JCP 1979

Mouvement d'orientation du regard (œil+tête) chez le Chat



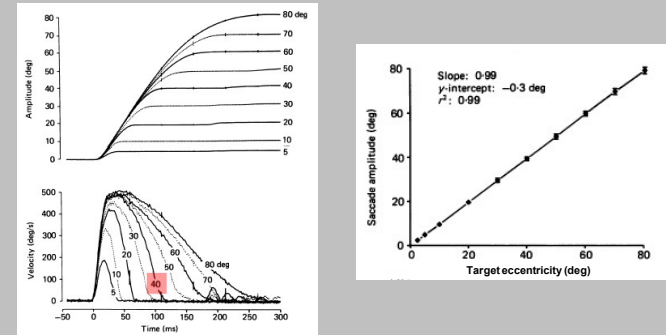
Modifié à partir de Goffart & Pélisson JNP 1994

Mouvement d'orientation du regard chez le Singe



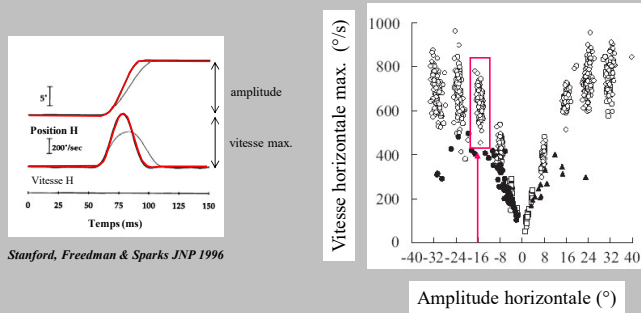
McCluskey & Cullen JNP 2007

Saccades oculaires chez l'Homme



Collewijn et al JP 1988

Variabilité dans l'exécution des saccades



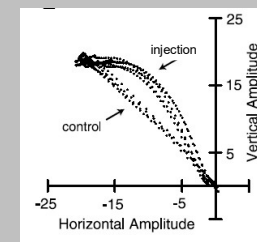
Stanford, Freedman & Sparks JNP 1996

Quinet & Goffart JNP 2009

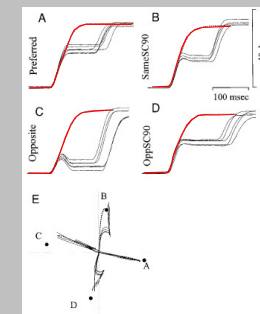
Précision préservée même lors de perturbations expérimentales de la vitesse

Inactivation pharmacologique
(Formation réticulée pontine)

Microstimulation électrique brève
(Colliculus Supérieur profond)



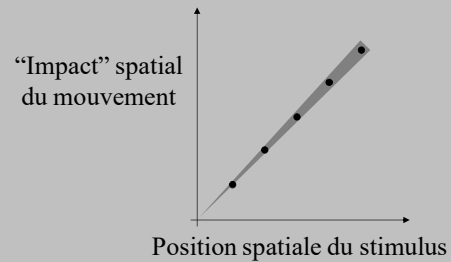
Barton et al. JNP 2003



Gandhi & Keller JNP 1999

Diversité des organes sensoriels, des appareillages moteurs, voire des systèmes nerveux

Variabilité dans l'exécution (vitesse, prise en charge oculo-céphalique)

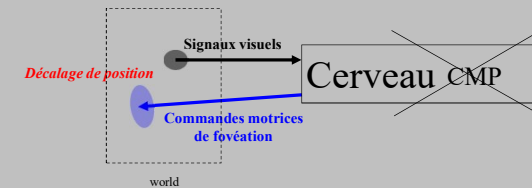


Quelles sont les fondements (neuro)biologiques de cette relation ?

Précision et cervelet médio-postérieur (CMP)

Un dysfonctionnement du CMP abolit la congruence spatiale entre :

- la position d'un évènement visuel
- l'endroit vers lequel le regard se dirige



Le cervelet médio-postérieur

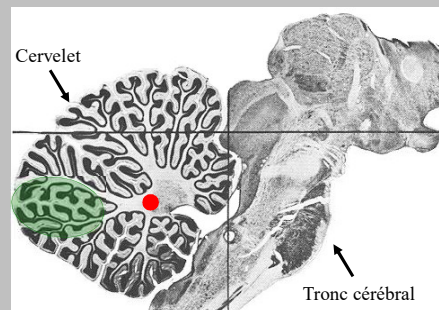
Lobules VIc-VII



Noyaux Fastigiaux caudaux
("Fastigial Oculomotor Regions")

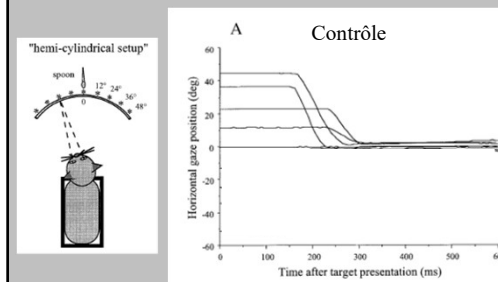
Activité liée aux saccades

Activité liée à la poursuite oculaire



Mouvements d'orientation ipsilésionnels

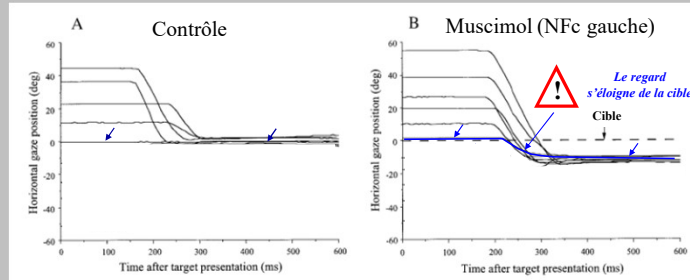
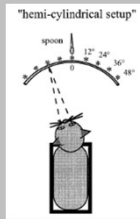
Injection de muscimol dans le NFc gauche (0.3 μ l; 1 μ g/ μ l, chat I)



modifié de Goffart & Pélisson JNP 1998

Mouvements d'orientation ipsilésionnels

Injection de muscimol dans le NFc gauche (0.3 µl; 1 µg/µl, chat I)

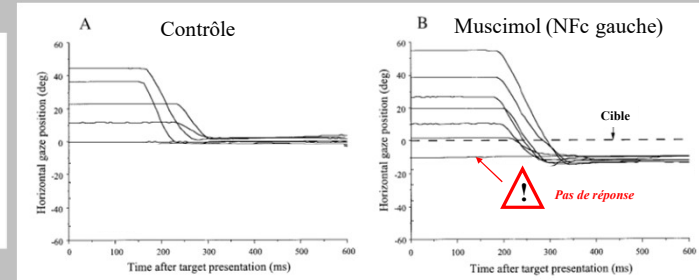
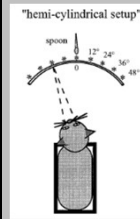


modifié de Goffart & Pélisson JNP 1998

Mouvements d'orientation ipsilésionnels

Injection de muscimol dans le NFc gauche (0.3 µl; 1 µg/µl, chat I)

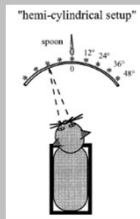
Muscimol injection in the left cFN (0.3 µg)



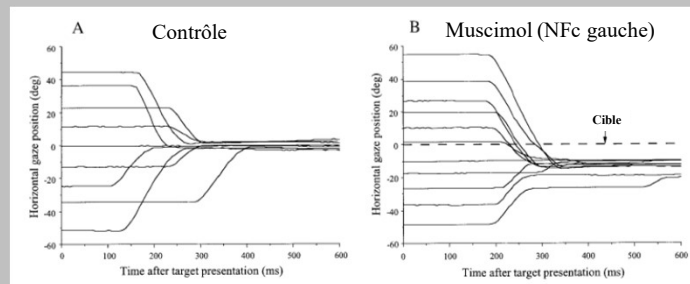
modifié de Goffart & Pélisson JNP 1998

Mouvements ipsi- et controlésionnels

Injection de muscimol dans le NFc gauche (0.3 µl; 1 µg/µl, chat I)



Muscimol injection in the left cFN (0.3 µg)

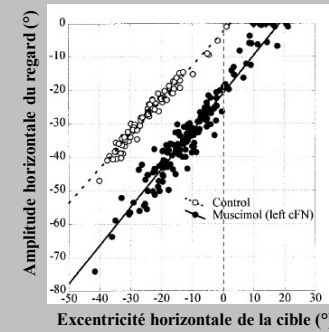


modifié de Goffart & Pélisson JNP 1998

Dysmétrie du regard

Injection de muscimol dans le NFc gauche (0.3 µl; 1 µg/µl, chat G)

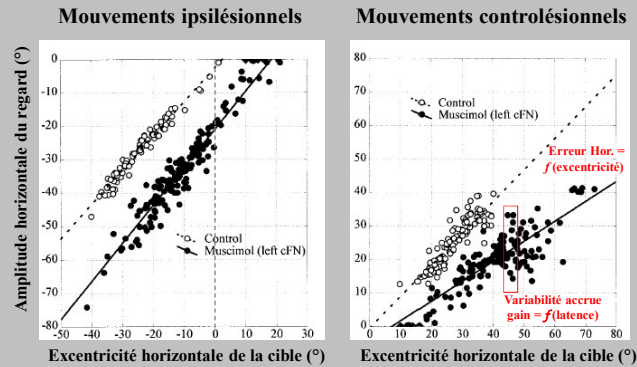
Mouvements ipsilésionnels



modifié de Goffart & Pélisson JNP 1998

Dysmétrie du regard

Injection de muscimol dans le NFc gauche (0.3 μ l; 1 μ g/ μ l, chat G)



modifié de Goffart & Pélisson JNP 1998

Orientation de la tête et du corps

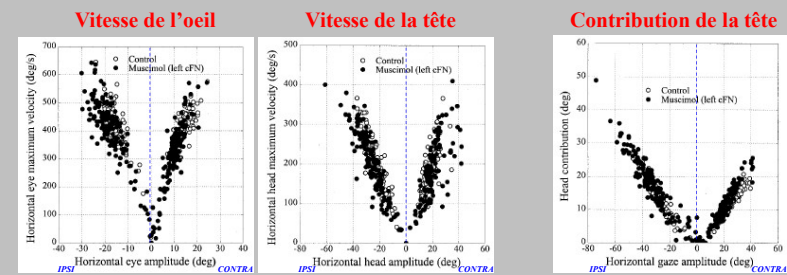


Orientation de la tête après inactivation du NFc droit



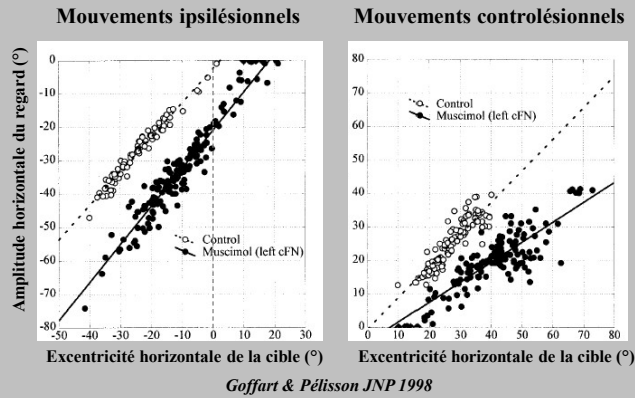
Aucun signe de désordre dans l'exécution

Injection de muscimol dans le NFc gauche (0.3 μ l; 1 μ g/ μ l, chat G)

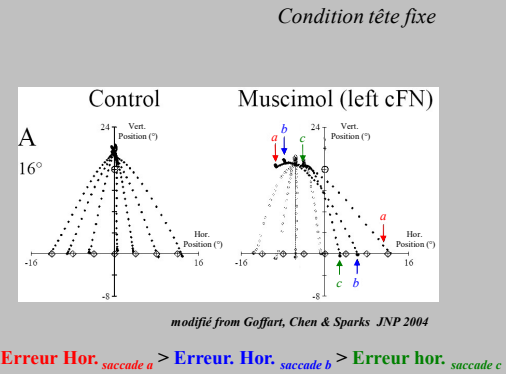


modifié de Goffart, Pélisson & Guillaume. JNP 1998

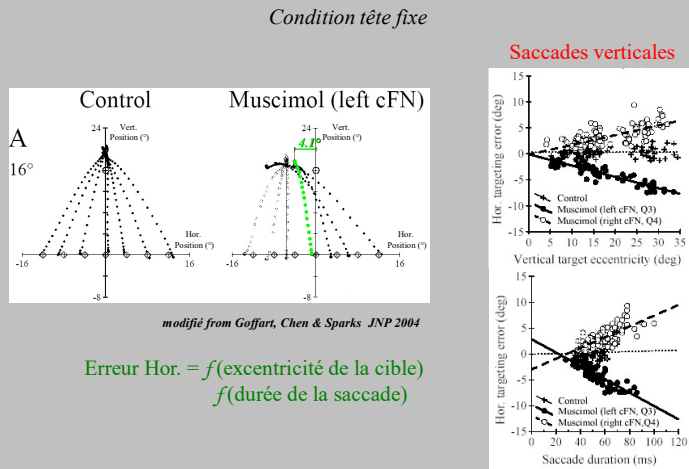
Aucun signe de désordre dans l'exécution malgré un déficit considérable dans la précision



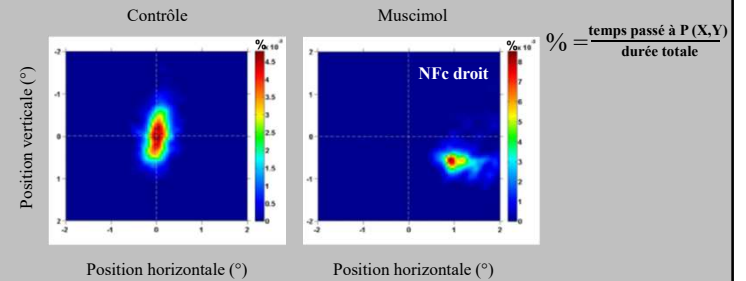
Chez le singe, l'erreur horizontale n'est pas constante



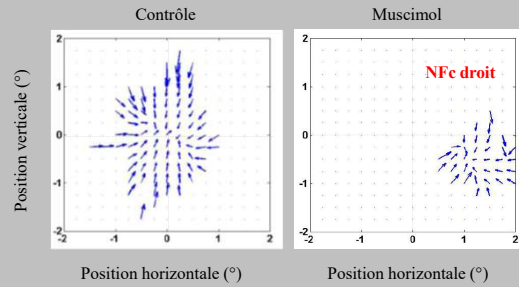
Chez le singe, l'erreur horizontale n'est pas constante



Décalage de fixation



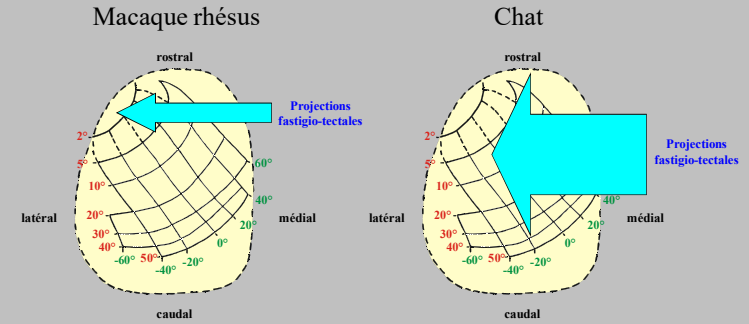
Direction des "microsaccades" de fixation



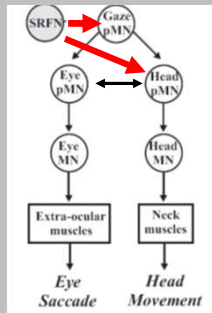
Différences comportementales et anatomiques

On retrouve chez le singe un déficit spatial comparable à celui observé chez le chat lorsqu'on teste, non plus les mouvements d'orientation saccadique de grande amplitude, mais les microsaccades produites pendant la fixation d'une cible visuelle (Guerrasio et al. JNP 2010).

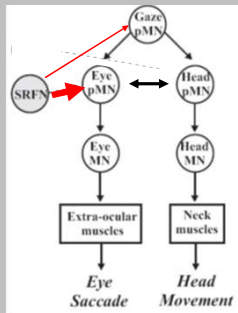
Cette distinction pourrait résulter de différences dans l'étendue des projections fastigio-tectales.



Chat



Primate



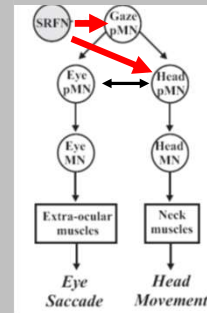
- Dymétrie du regard due à dymétries dépl. **yeux + tête**
- Vitesse des yeux/tête **inchangée**
- Couplage œil-tête **inchangé**

Goffart et al. JNP 1998

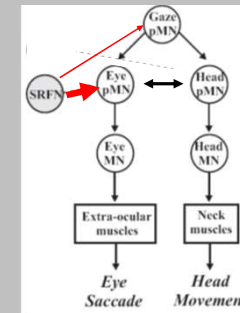
- Dymétrie du regard due à dymétrie dépl. **yeux**
- Vitesse de l'œil **changée**, tête inchangée
- Couplage œil-tête **changé**

Robinson et al. J Comp Neurol 1994 (anatomie)
 Quinet & Goffart JNP 2005, 2007 (inactivation et œil-tête)
 Quinet & Goffart JNP 2009 (microstimulation)
 Guerrasio et al. JNP 2010 (inactivation et fixation)
 Fuchs et al. JNP 2010 (enregistrements unitaires)

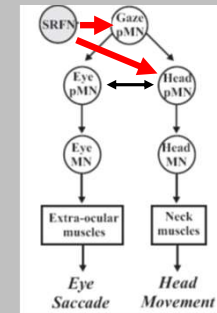
Chat



Primate



Rongeur, Amphibien



- Dymétrie du regard due à dymétries dépl. **yeux + tête**
- Vitesse des yeux/tête **inchangée**
- Couplage œil-tête **inchangé**

Goffart et al. JNP 1998

- Dymétrie du regard due à dymétrie dépl. **yeux**
- Vitesse de l'œil **changée**, tête inchangée
- Couplage œil-tête **changé**

Robinson et al. J Comp Neurol 1994 (anatomie)
 Quinet & Goffart JNP 2005, 2007 (inactivation et œil-tête)
 Quinet & Goffart JNP 2009 (microstimulation)
 Guerrasio et al. JNP 2010 (inactivation et fixation)
 Fuchs et al. JNP 2010 (enregistrements unitaires)

- Dymétrie du regard due à dymétrie dépl. **tête ?**
- Vitesse de la tête **changée**, œil **inchangé ?**
- Couplage œil-tête **changé ?**

en préparation
 (à la recherche de collaborateurs)

Résumé

Chez les animaux vertébrés, la réaction d'orientation présente de nombreuses similitudes :

- propriétés temporelles : forme saccadique
- propriétés spatiales : relation amplitude – excentricité de la cible

Le cervelet médio-postérieur (CMP) est impliqué, par l'intermédiaire de la partie caudale des noyaux fastigiux, dans les mécanismes qui assurent une congruence spatiale entre :

- la position d'une cible visuelle stationnaire (foyer d'activité fovéale ou périphérique) et
- l'impact d'une saccade vers cette position (commandes oculomotrices).

Les Nfc sont principalement impliqués dans le contrôle de l'amplitude de la composante horizontale.

Chez le chat, cette influence concerne les mouvements des yeux et de la tête.
Chez les primates, elle est restreinte au système oculomoteur (au système directement couplé au transport de la fovéa).

Hypothèse de travail :

le cervelet médio-postérieur compense les variabilités morphologiques intra- et inter- spécifiques des organes sensoriels dédiés à la détection des événements de l'environnement (afférences) et des appareillages moteurs utilisés (efférences) pour optimiser leur localisation (précision) par des mécanismes décrits ailleurs (travaux publiés).

Des expériences chez d'autres vertébrés (ex: amphibien, rongeur) permettront de vérifier la possibilité d'un déficit dans l'orientation de la tête chez ces animaux dont l'organe visuel est principalement transporté par le segment céphalique.

Des expériences chez le singe permettront de comprendre les mécanismes neurobiologiques qui permettent de "réparer" l'orientation saccadique (*précise et rapide*) du regard lors de paralysies du système oculomoteur (saccade de la tête).

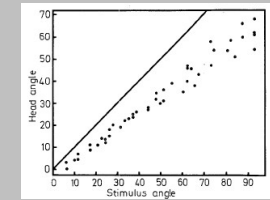
Orientation saccadique de la tête chez un insecte (*Mantis religiosa*)

Cible 20 deg à droite

Cible 50 deg à droite



300 images/sec

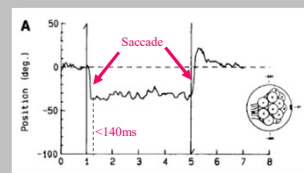
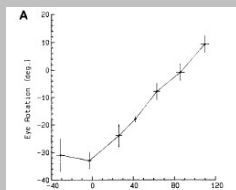
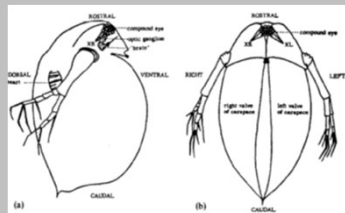


Lea & Mueller J Comp. Physiol. 1977

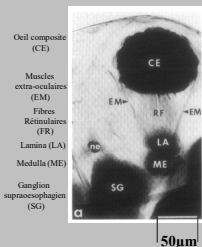
Goffart & Yamawaki, résultats non publiés

Saccade oculaire chez un petit crustacé (*Daphnia magna*)

Taille du corps :
approx. 2-3 mm



Rappel : chez l'Homme, ~110 ms pour 40 deg.



Conclusion

Divergence évolutive ?

Un changement (descendant) d'échelle montre que la physiologie de la vie de relation se caractérise par une diversité morphologique considérable :

- organes sensoriels,
- appareillages moteurs,
- connectivité neuronale
- systèmes nerveux

Convergence évolutive ?

Un autre changement (ascendant) d'échelle permet de constater certaines régularités, jusque dans la structure temporelle et spatiale du comportement de l'ensemble.

La congruence sensorimotrice est une propriété fondamentale à la survie des organismes vivants; elle leur permet de "réagir au bon moment et au bon endroit". Elle peut résulter du fait que les animaux vivent dans le même environnement et qu'ils soient dotés d'une plasticité leur permettant d'aligner spatio-temporellement répertoire moteur et sensorium. Aussi, cet alignement spatio-temporel suppose un canevas déjà présent dans l'environnement : le vivant "assimilerait" les formes de son environnement.

Variabilité : bruit ou source d'information ?

Bruit ? La variabilité témoigne d'une certaine "exploration" par le vivant des limites (contraintes) imposées par son environnement. L'existence de tropismes suggère l'existence de mécanismes non stochastiques.

Source d'information ? La complexification du vivant conduirait à sa libération des contraintes spatiotemporelles de l'environnement, permettant une action détachée de l'emprise des stimuli et décalée dans le temps (anticipation, procrastination) (séparation de l'espace et du temps).