# Avis de Soutenance

## Madame Vanessa CARNEIRO MORITA

## Biologie-Santé - Spécialité Neurosciences

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

*Caractérisation comportementale et fonctionnelle des représentations probabilistes pour les mouvements oculaires.*

dirigés par Madame Anna MONTAGNINI et Monsieur Guillaume MASSON

Thèse soutenue le ***vendredi 24 novembre 2023*** à 14h00
Lieu : 27, Boulevard Jean Moulin Batiment Faculté des sciences médicales et paramédicales 13005 Marseille
Salle : de thèse 2

**Composition du jury proposé**

| | | |
|---|---|---|
| Mme Anna MONTAGNINI | CNRS, Institute de Neurosciences de la Timone | Directrice de thèse |
| M. Guillaume MASSON | CNRS, Institute de Neurosciences de la Timone | Co-directeur de thèse |
| Mme Marie-Helene GROSBRAS | CNRS, Laboratoire de Neurosciences Cognitives | Président |
| Mme Celine PAEYE | Universite Paris Cite | Examinatrice |
| M. Laurent MADELAIN | Universite de Lille | Rapporteur |
| M. Karl GEGENFURTNER | University of Giessen | Rapporteur |

**Mots-clés :** Oculomotricité,Inférence Visuelle,Représentation probabiliste,

**Résumé :**

Suivre des yeux une proie ou un danger imminent est une tâche essentielle pour la survie des organismes vivants. Les systèmes nerveux mesurent le mouvement visuel de façon précise mais également prédisent la trajectoire de cette cible afin de pouvoir anticiper ses changements brusques de direction, de compenser les délais inhérents aux nombreuses étapes de la transformation sensori motrice ou encore de coordonner aux mieux mouvements oculaires saccadiques et de poursuite. De nombreux modèles ont proposé que le cerveau élabore un modèle interne de ces trajectoires afin de contrôler les mouvements oculaires. Cependant ces approches théoriques ont sur-simplifié la nature de ces modèles internes, ignorant la complexité des entrées visuelles et la nature stochastique des trajectoires naturelles. Notre hypothèse est qu'un tel "modèle interne" doit être basé sur la notion probabiliste d'inférence dynamique, qui permet d'unifier les dynamiques de bas-niveaux (traitement visuel) et de haut-niveau (cognition) ainsi que d'expliquer pourquoi le comportement reste optimal et synchrone. Au niveau comportemental, ces dynamiques probabilistes peuvent être mesurées grâce aux réponses oculomotrices (poursuite) anticipatrices survenant avant l'événement visuel en question. Dans cette thèse, on a montré des évidences que l'être humain peut apprendre une

probabilité contingente en fonction de différents contextes, notamment en termes d'une plus grande incertitude globale, de probabilités conditionnelles et pour cibles avec différentes cinématiques. Nos résultats sont compatibles avec le cadre d'intégration bayésien et indiquent que la poursuite anticipatrice peut être considérée comme une lecture des croyances antérieures sur le contexte et la dynamique de la cible.

LE DOYEN

Georges LEONETTI

# Résumé

Suivre des yeux une proie ou un danger imminent est une tâche essentielle pour la survie des organismes vivants. Notre cerveau mesure le mouvement visuel de façon précise mais également il prédit la trajectoire de la cible afin de pouvoir anticiper ses changements brusques de direction, de compenser les délais inhérents aux transformations sensorimotrices et de coordonner au mieux les mouvements oculaires de poursuite. Ces derniers peuvent à leur tour guider efficacement d'autres mouvements du corps et fonctions cognitives. Plusieurs modèles moteurs et oculomoteurs reposent sur un modèle interne de ces trajectoires, mais ils ont souvent trop simplifié la nature de ces représentations internes, ignorant à la fois la complexité des influx sensoriels et la nature stochastique des trajectoires. Notre groupe a précédemment proposé qu'un cadre inférentiel probabiliste puisse unifier les calculs de bas niveau (le traitement des mouvements visuels) et de haut niveau (les contingences d'apprentissage), afin d'expliquer pourquoi le comportement reste optimal dans de nombreuses conditions naturelles complexes. Dans le cadre de cette thèse, nous avons étendu la littérature précédente, qui montrait une relation paramétrique entre la probabilité d'attributs de mouvement visuel et les mouvements de poursuite d'anticipation, à des contingences probabilistes plus complexes, telles que des contextes avec une incertitude globale plus élevée, ou caractérisés par des probabilités conditionnelles (de second ordre), ainsi que pour différentes attributs cinématiques des cibles (vitesse, accélération). Nos résultats sont compatibles avec le cadre théorique de l'intégration Bayésienne et indiquent en particulier que les mouvements oculaires d'anticipation peuvent être considérés comme une lecture dynamique des modèles internes a priori.

Mots clés : oculomotricité, inférence visuelle, représentation probabiliste

# Abstract

Tracking with our eyes a prey or an imminent danger is a vital function for the survival of almost all animals. Our nervous system accurately estimates the target visual motion and predicts its trajectory in order to anticipate sudden changes in direction, to compensate for the neural delays that are inherent to sensorimotor transformations and to optimally coordinate fast, ballistic saccades and slow pursuit eye movements. The latter can in turn efficiently inform other body movements and cognitive functions. Several motor and oculomotor models rely on an internal model of these trajectories. However, in the context of eye movements, current oculomotor models have oversimplified the nature of these internal representations, ignoring both the complexity of the sensory inflows and the stochastic nature of natural trajectories. Our group has previously proposed that a probabilistic inferential framework can unify low-level (i.e. visual motion processing) and high-level (i.e. learning contingencies) computations in order to explain why behaviour remains optimal under many challenging natural conditions. With this thesis we extended the previous literature showing a parametric relationship between the probability of visual motion properties and anticipatory smooth eye movements to more complex probabilistic contingencies, such as in contexts with a higher global uncertainty, with conditional (second-order) probabilities, and for different target kinematics (speed, acceleration). Our results are compatible with the Bayesian integration framework and in particular they indicate that anticipatory eye movements could be viewed as a dynamic readout of internal prior beliefs.

Keywords : eye movements, visual inference, probabilistic representation