

Avis de Soutenance

Monsieur Coumarane TIROU

NEUROSCIENCES ET COGNITION (Domaine scientifique : Biologie, médecine et santé)

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés
Prédiction, Replay, et Changements Représentationels: caractériser les mécanismes neuronaux de l'apprentissage statistique chez l'humain

Travaux dirigés par Monsieur Dezso NEMETH et Monsieur Romain QUENTIN

Soutenance prévue le **vendredi 26 juin 2026** à 14h00

Lieu : Amphithéâtre Neurocampus CRNL - CH Le Vinatier - Bâtiment 462 - Neurocampus, 95 Bd Pinel, 69500 Bron

Composition du jury proposé

| | | | |
|------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| M. Dezso NEMETH | Directeur de recherche | INSERM Lyon | Co-directeur de thèse |
| Mme Nina KAZANINA | Professeure | Université de Genève (Suisse) | Rapporteuse |
| M. Philippe ALBOUY | Professeur associé | Université Laval - Québec (Canada) | Rapporteur |
| Mme Fosca AL ROUMI | Ingénieure de recherche | INSERM Paris | Examinatrice |
| M. Matteo DI VOLO | Professeur des universités | Lyon 1 Université | Examineur |
| M. Romain QUENTIN | Chargé de recherche | INSERM Lyon | Directeur de thèse |
| Mme Mathilde BONNEFOND | INSERM Lyon | Invitée | |
| M. Jean-Rémi KING | CNRS Paris | Invité | |

Mots-clés : Apprentissage statistique, MEG, Replay, Prédiction, Représentations, Analyses multivariées

Résumé :

L'apprentissage est la remarquable capacité par laquelle le cerveau nous permet de nous adapter à un environnement en perpétuelle évolution. Le cerveau des mammifères en constitue l'architecture la plus efficace identifiée à ce jour. Une aptitude clé est l'apprentissage statistique, soit la capacité à extraire des régularités sensorielles structurées d'un environnement bruité. Ce processus est fondamental pour la cognition, mais la manière dont le cerveau apprend des régularités complexes de son environnement reste mal comprise. Trois mécanismes candidats sont suggérés : le codage prédictif, le replay neuronal et le changement représentationnel. Le codage prédictif postule que le cerveau anticipe continuellement le futur grâce à son modèle interne du monde. Le replay neuronal

correspond à une réactivation neuronale spontanée et temporellement compressée d'expériences récentes durant le repos et le sommeil. Le changement représentationnel désigne l'augmentation progressive en similarité des patterns cérébraux entre stimuli associées au fil de l'apprentissage. Ces trois mécanismes ont été étudiés indépendamment, mais des travaux récents suggèrent qu'ils pourraient interagir. Leur articulation durant l'apprentissage statistique reste une question ouverte que cette thèse cherche à élucider. J'ai pour cela combiné analyses multivariées (MVPA) et enregistrements en magnétoencéphalographie (MEG) et stéréoelectroencéphalographie (sEEG) chez des participants réalisant des tâches visuo-motrices d'apprentissage statistique. La thèse rassemble quatre études visant à caractériser ces mécanismes, leur dynamique temporelle et leur organisation spatiale. La première étude examine l'activité prédictive et le changement représentationnel en MEG, dans un paradigme d'apprentissage statistique mêlant information et bruit. Nous montrons que l'apprentissage statistique repose sur deux mécanismes temporellement dissociables. L'activité prédictive émerge rapidement, avec des patterns spécifiques au stimulus apparaissant avant celui-ci et précédant des gains comportementaux. Elle est suivie d'une montée plus lente du changement représentationnel entre éléments non adjacents mais statistiquement dépendants. Ces deux processus reposent sur les réseaux sensorimoteur et attentionnel dorsal. La deuxième étude porte sur le replay neuronal en MEG durant de courtes périodes de repos intercalées dans une tâche visuo-motrice. À l'aide d'une matrice de transition probabiliste, nous avons sondé l'apprentissage de transitions de prédictibilité variable et cherché à déterminer si cet apprentissage a lieu durant la pratique ou le repos (consolidation micro-offline). Nos résultats préliminaires montrent que les paires faiblement associées bénéficient le plus du repos, sans qu'un replay neuronal ait pu être mis en évidence. La troisième étude, un projet collaboratif de notre équipe, vise à identifier le replay sur l'ensemble de la nuit à partir d'enregistrements sEEG chez des patients épileptiques pharmacorésistants. Les résultats préliminaires révèlent des performances comportementales et un décodage MVPA prometteurs. La quatrième étude est une ré-analyse d'un jeu de données MEG en accès libre portant sur le codage prédictif. Nous y identifions un biais analytique conduisant à une évaluation erronée de l'activité prédictive et concluons à l'absence de preuve de perception prédictive anticipatoire dans l'étude originelle. Ensemble, nos résultats suggèrent que l'activité prédictive et les changements représentationnels contribuent tous deux à l'apprentissage des régularités, révélant une hiérarchie temporelle dans laquelle l'activité prédictive précède les gains comportementaux et s'accompagne plus tardivement par des changements représentationnels. La place du replay neuronal dans cette hiérarchie reste à éclaircir.

Summary:

Learning is the astonishing capability through which the brain enables us to adapt to a constantly changing environment. The mammalian brain represents the most efficient learning architecture identified to date. A key ability rooted in its efficiency is statistical learning, the ability to extract structured sensory patterns from a noisy environment. This process is fundamental to cognition, yet how the brain learns complex regularities remains unclear. Recent advances in multivariate analyses applied to neuroimaging data point to three candidate neural mechanisms: predictive coding, neural replay, and representational change. Predictive coding posits that the human brain continuously anticipates the future on the basis of an internal model of the world that it uses to make predictions. Neural replay is the spontaneous neural reactivation of recent experiences in a time-compressed manner during periods of rest and sleep. Representational change is the gradual increase in brain pattern similarity between related stimuli over the course of learning. These three mechanisms have so far been treated largely in isolation, yet recent work suggests they may interact rather than operate independently. How these mechanisms work together during statistical learning remains an open question that this thesis aims to shed light on. To this aim, I combined multivariate pattern analyses (MVPA) and magnetoencephalography (MEG) and stereoelectroencephalography (sEEG) recordings of participants performing visuospatial tasks of statistical learning. This thesis comprises

four studies, each addressing one or several aspects of this question and together aiming to characterize the neural mechanisms of statistical learning and their temporal dynamics and spatial organization. The first study investigates predictive activity and representational change using MEG in an alternating serial reaction time paradigm embedding statistical regularities within noise. We show that statistical learning is supported by two temporally dissociable mechanisms. Neural predictive activity emerged rapidly, with stimulus-specific patterns appearing before stimulus onset and preceding measurable behavioral gains. This was followed by a slower build-up of representational change between statistically dependent, non-adjacent elements. Both processes were primarily supported by the sensorimotor and dorsal attentional networks. The second study investigates neural replay with MEG during short periods of rest while performing a visuo-motor task. Using a probabilistic transition matrix, we were able to probe the learning of transitions of varying predictability and assess whether the learning occurs during periods of practice or rest (micro-offline consolidation). Our preliminary results showed that weakly associated pairs benefitted the most from the rest periods but failed to evidence neural replay. The third study, a collaborative project within our research group, aimed at identifying neural replay over the entire night using sEEG recordings of drug-resistant epilepsy patient epileptic patients. The preliminary results show promising behavioral performance and MVPA decoding accuracy. The fourth and final study is a re-analysis of an openly available MEG dataset investigating predictive coding in statistical learning. We identified an analytical bias in the original analysis leading to inaccurate evaluation of predictive activity. We conclude that there is no evidence of anticipatory predictive perception in the original study. Together, our findings suggest that both neural predictive activity and representational changes contribute to the learning of regularities, revealing a temporal hierarchy in which predictive activity precedes behavioral improvement and is followed by representational changes, possibly supporting the gradual emergence of stable neural representations. Where neural replay fits within this framework remains unclear.