



INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences



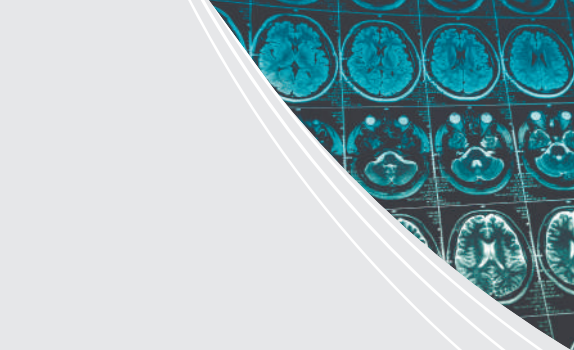
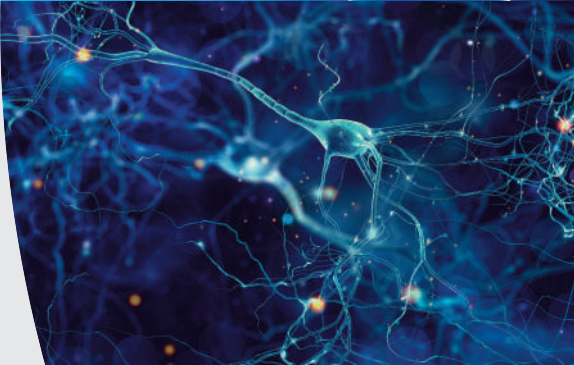
## Le cerveau et les espaces

mardi 9 octobre 2018 de 14h30 à 16h45

Grande salle des séances  
de l'Institut de France

23, quai de Conti, 75006 Paris

Le thème général de cette séance sera d'exposer des découvertes et théories récentes concernant le traitement cérébral de l'espace et plus particulièrement la flexibilité des stratégies cognitives et la diversité des réseaux de traitement des divers espaces d'action. Neil Burgess décrira les divers types de neurones de la formation hippocampique qui codent la place, la direction, les bords, leur organisation en grilles et les relations avec les objets. Il décrira un modèle mathématique de transformation entre les divers référentiels spatiaux (égocentré, allocentré etc.) et son utilisation pour prédire des symptômes de déficits de la mémoire spatiale dans des pathologies post-traumatiques. Laure Rondi-Reig décrira les réseaux neuronaux impliqués dans des activités de navigation spatiale, l'apprentissage et les troubles de la mémoire, dans le cas du vieillissement par exemple. Des données expérimentales sur les mécanismes neurophysiologiques et la diversité des réseaux corticaux et sous corticaux de la cognition spatiale et des modèles inspirés des neurosciences computationnelles seront présentés. Alain Berthoz proposera que le cerveau traite avec des réseaux différents et des géométries différentes pour les divers espaces (corps, préhension, locomoteur, environnemental). Il décrira des données récentes sur les bases neurales des changements de perspective, le développement chez l'enfant des fonctions visuo-spatiales et l'intervention de la manipulation des référentiels spatiaux dans l'empathie et son implication en pathologie psychiatrique. Daniel Bennequin proposera que, pour guider l'adaptation des actions et des perceptions, les cerveaux des animaux et de l'homme mettent en place une variété de géométries, Euclidiennes et non Euclidiennes, et de dynamiques. L'exposé présentera un travail sur une nouvelle sorte de géométrie : un topos d'espaces au-dessus d'une catégorie (site) représentant la préparation et l'exécution d'une classe de mouvements ; par exemple la préhension, la locomotion, la navigation, l'imagination.



# Organisateur



**Alain BERTHOZ**

Professeur honoraire au Collège de France, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies



# Programme

- 14:30**      **Ouverture de la séance**  
**Sébastien CANDEL**, président de l'Académie des sciences  
**Pascale COSSART**, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences
- 14:40**      *Neural mechanisms of spatial cognition*  
**Neil BURGESS**, professeur et directeur, *Institute of Cognitive Neuroscience, University College London*, membre de la *Royal Society* et de l'*Academy of Medical Sciences*
- 15:00**      Discussion
- 15:10**      **Les réseaux cérébraux de la navigation**  
**Laure RONDI-REIG**, directrice de recherche au CNRS, Neurosciences-Institut de Biologie Paris- Seine, Sorbonne Université
- 15:30**      Discussion
- 15:40**      **Multiplicité des espaces et développement des stratégies cognitives de l'enfant à l'adulte**  
**Alain BERTHOZ**, professeur honoraire au Collège de France, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies
- 16:00**      Discussion
- 16:10**      **Topos et variétés de géométries du cerveau**  
**Daniel BENNEQUIN**, professeur émérite, département de Mathématiques, université Paris VII
- 16:30**      Discussion
- 16:40**      **Conclusion**

# Résumés et biographies



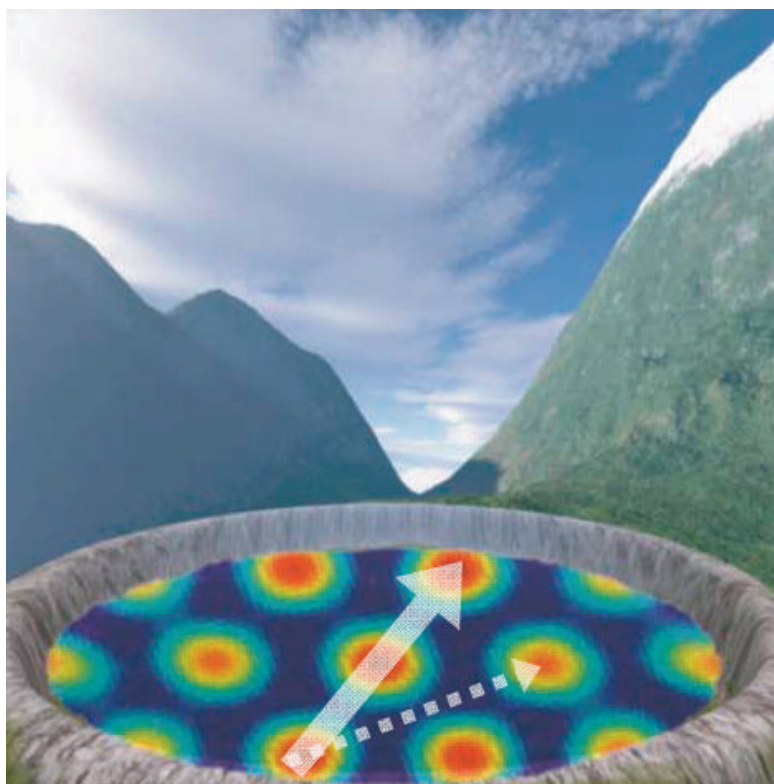
## Neil BURGESS

Professeur et directeur, *Institute of Cognitive Neuroscience, University College London*, membre de la *Royal Society* et de l'*Academy of Medical Sciences*

*Neil Burgess's laboratory investigates the neural mechanisms of memory using computational modeling, human neuropsychology and functional neuroimaging, virtual reality and single unit recordings in freely moving rodents. His main goal is to understand how the actions of networks of neurons in our brains allow us to remember events and the spatial locations where they occurred. This basic mechanistic understanding at the neural level may serve as a starting point for interpreting data from psychology, psychiatry and neuropsychology concerning how memory works and how it can go wrong.*

## **Neural mechanisms of spatial cognition**

*I will describe how networks of neurons in our brains represent our location and orientation relative to the surrounding environment via their electrical activity, and how they interact with networks representing the information that arrives at our body's sensory receptors. I will describe how these networks allow us to find our way around a known environment, and to remember and imagine the spatial context of events. These networks forms the basis for a mechanistic neural-level understanding of how we re-experience the past and image future scenarios. Finally, I will discuss how this type of computational modelling can help us to understand how the brain systems for spatial and contextual memory can fail in Alzheimer's disease or post-traumatic stress disorder.*



## Laure RONDIREIG

Directrice de recherche au CNRS,

Neurosciences-Institut de Biologie Paris- Seine, Sorbonne Université

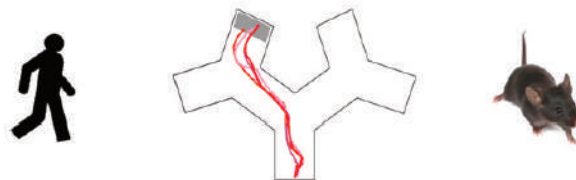
Laure Rondi-Reig a obtenu la médaille de bronze du CNRS et le prix FRM-Iagonitzer pour ses travaux sur la navigation et le vieillissement. Au sein de Sorbonne Université, son équipe étudie les bases neurales de la mémoire en utilisant une approche translationnelle incluant du comportement, de l'enregistrement électrophysiologique et de l'imagerie cérébrale. Elle développe également des biomarqueurs comportementaux pour caractériser la mémoire et son altération dans différentes pathologies neurologiques ou psychiatriques.



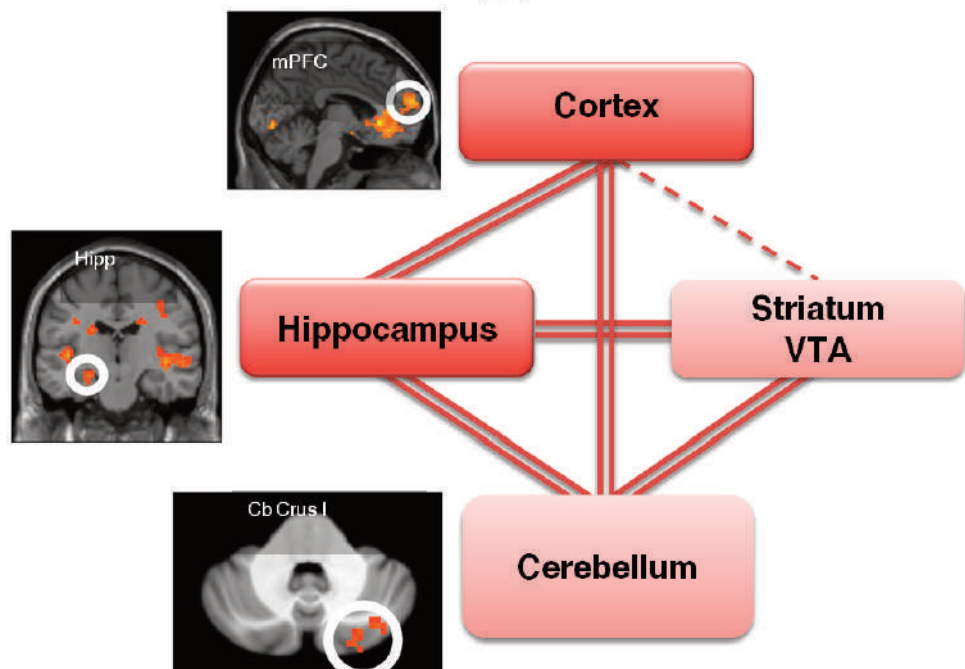
### Les réseaux cérébraux de la navigation

Je vais décrire comment l'étude de la navigation, c'est à dire l'enregistrement mental des informations concernant l'espace environnant et l'orientation dans cet espace pour choisir le bon chemin, permet de disséquer les mécanismes de la mémoire et d'évaluer son dysfonctionnement. J'illustrerai l'importance de développer, chez l'homme ou avec des modèles animaux, des paradigmes comportementaux adaptés afin de caractériser la mémoire épisodique. Je décrirai des études de génétique comportementale qui montrent l'importance du traitement sensoriel dans le codage du lieu et dans l'adaptation motrice pendant la navigation. Je préciserai comment à partir d'une multitude de signaux sensoriels provenant du monde extérieur ou engendrés par notre propre déplacement, le cerveau organise les réseaux corticaux et sous corticaux nécessaires pour générer un comportement adapté à une situation complexe. Enfin, je discuterai l'importance de l'évaluation de la fonction de navigation pour détecter des troubles de la mémoire liés au vieillissement normal ou pathologique, en particulier dans la maladie d'Alzheimer.

#### Behavior:



#### Neuronal Circuit:





## Alain BERTHOZ

Professeur honoraire au Collège de France, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies

Alain Berthoz, neurophysiologiste, ingénieur et psychologue est un des grands spécialistes de la physiologie intégrative et des fonctions cognitives. Il a tout d'abord localisé et analysé les activités neuronales de contrôle du regard et renouvelé la compréhension des relations entre le système vestibulaire et les réseaux de commande des mouvements oculaires. Il a mis en évidence le rôle des otolithes et des canaux semi-circulaires dans l'orientation spatiale, ainsi que celui de la gravité et ses changements au cours de l'évolution. Il a découvert par ailleurs le rôle fondamental de la tête et l'anticipation du regard dans le guidage de la locomotion et sa pathologie. Il a participé aux premières expériences scientifiques en vaisseau spatial destinées à étudier les effets de l'apesanteur sur les fonctions sensori-motrices. Il a étudié récemment les bases neurales de la mémoire spatiale, l'utilisation de géométries non euclidiennes pour le mouvement et la navigation, et en a précisé les dysfonctionnements neurologiques et psychiatriques chez l'enfant et l'adulte. Enfin il a proposé sur ces divers thèmes des modélisations mathématiques et des utilisations des principes de fonctionnement du vivant en robotique humanoïde.

## Multiplicité des espaces et développement des stratégies cognitives de l'enfant à l'adulte

En complément des exposés de Neil Burgess et Laure Rondi-Reig sur les différents référentiels utilisés pour la mémoire et la navigation spatiale, je décrirai des données récentes d'imagerie cérébrale concernant les réseaux du cerveau impliqués dans la capacité de « changer de perspective » et de « point de vue ». Cette capacité cognitive est en effet fondamentale pour s'orienter et naviguer, mais aussi pour toutes les opérations intellectuelles de haut niveau. Je décrirai des expériences et des paradigmes nouveaux qui permettent de suivre et mesurer son développement chez l'enfant et sa pathologie chez les jeunes autistes, schizophrènes ou ayant des troubles visuo-spatiaux, et même une anorexie mentale. Elle est impliquée dans l'empathie et l'échange d'émotions avec autrui et joue un rôle essentiel dans la



pédagogie. Elle atteint les personnes âgées et constitue donc un trait transnosographique complexe et diversifié. Enfin les données de la neurologie et de l'imagerie cérébrale révèlent que ces traitements de l'espace dépendent de l'échelle spatiale et que le cerveau utilise des géométries différentes pour les différents espaces du corps, de l'environnement immédiat ou lointain d'action. L'étude de possibles modèles mathématiques de ces différentes géométries sera exposée par Daniel Bennequin.

## Daniel BENNEQUIN

Professeur émérite, département de Mathématiques, université Paris VII

Daniel Bennequin a étudié à l'Ecole Normale Supérieure (ENS) Ulm à Paris et soutenu sa thèse à Paris VII sous la direction d'Alain Chenciner en 1982. Il a été agrégé préparateur à l'ENS Ulm, Professeur à l'université de Strasbourg, puis à l'université Paris VII où il est émérite depuis 2018. Pendant les années 80 il fut l'initiateur de la topologie de contact avec Yakov Eliashberg. Durant les années 90, il travailla sur les systèmes intégrables et la géométrie en physique. Depuis 2000 Daniel Bennequin travaille aussi en neurosciences, sur le temps des mouvements humains, le flot d'information visuo-vestibulaire, la relation forme et fonction dans le labyrinthe, le rôle du regard dans la locomotion, les cartes visuelles primaires. Ses plus récentes publications portent sur la géométrie des particules élémentaires (Arxiv Physics 2016), la topologie de l'information (avec P. Baudot), les douleurs psychiques (avec M. Bompard-Porte), les géométries de topos des mouvements volontaires (avec A. Berthoz).



### Topos et variétés de géométries du cerveau

Afin de guider l'adaptation des actions et des perceptions, les cerveaux des animaux mettent en place une variété de géométries et de dynamiques. L'exposé présentera un cadre mathématique, inspiré de la théorie des singularités des applications différentiables et de la théorie de Galois, suivant Thom, Brieskorn et Looijenga, qui met en forme les relations entre fonctions neuronales, leurs régulations et certaines géométries. Nous présenterons quelques exemples et conjectures à propos de ces constructions (espaces des couleurs ou cinématiques de mouvements du corps), faisant intervenir le groupe affine et ses sous-groupes. Puis nous introduirons une nouvelle sorte de géométrie, qui tient compte de l'organisation et du contrôle de la plupart des actions, et de la nécessité de conjuguer plusieurs types d'actions et de perceptions: un topos d'espaces au-dessus d'une catégorie (site), suivant Grothendieck et Verdier, représentant la préparation et l'exécution d'une classe de mouvements, et prenant en compte les dimensions physiques; par exemple la préhension, la locomotion, la navigation, l'imagination, .... Nous montrerons comment ces structures dynamiques se relient avec les flux d'informations et l'apprentissage optimal.





INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences

Inscriptions ouvertes au public dans la limite des places disponibles.

[www.academie-sciences.fr](http://www.academie-sciences.fr)

(rubrique «prochains évènements»)

