



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Bulletin N° 128

Association française pour l'Intelligence Artificielle

AFIA



AFIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

PRÉSENTATION DU BULLETIN

Le [Bulletin](#) de l'[AFIA](#) vise à fournir un cadre de discussions et d'échanges au sein des communautés académique et industrielle. Ainsi, toutes les contributions, pour peu qu'elles aient un intérêt général pour l'ensemble des lecteurs, sont les bienvenues. En particulier, les annonces, les comptes rendus de conférences, les notes de lecture et les articles de débat sont très recherchés.

Le Bulletin contient également chaque trimestre un dossier plus substantiel qui porte : soit sur un thème lié à l'IA (2 numéros par an), soit sur des équipes de recherche en IA (1 fois par an), soit sur la Plate-forme Intelligence Artificielle PFIA (1 fois par an).

Le comité de rédaction se réserve le droit de ne pas publier des contributions qu'il jugerait contraire à l'esprit du bulletin ou à sa politique éditoriale. En outre, les articles signés, de même que les contributions aux débats, reflètent le point de vue de leurs auteurs et n'engagent qu'eux-mêmes.

■ Édito

Ce nouveau numéro du Bulletin de l'[AFIA](#) que j'ai eu l'honneur de diriger doit son dossier thématique « Neurosciences et IA » au travail de Frédéric ALEXANDRE, et a été relu par Grégory BONNET. Qu'eux, ainsi que tous les auteurs ayant contribué à ce Bulletin en soient remerciés !

Le dossier de ce Bulletin impressionne tant du point de vue qualitatif que quantitatif (il ne contient pas moins de 24 contributions). Afin d'ordonner un peu ce foisonnement de travaux, les contributions ont été regroupées selon leur région d'appartenance, découpant ainsi le dossier en 6 parties classées arbitrairement par ordre alphabétique qui livrent sur plus de 80 pages un panel exceptionnel de ce qui se fait en France sur cette thématique à l'heure actuelle.

Comme de coutume, ce numéro inclut également les comptes rendus (réunis par Fatiha SAÏS que je remercie également pour son travail) des journées nationales organisées ou co-organisées par l'[AFIA](#) pendant ce premier trimestre de l'année, ainsi que les thèses et HDR soutenues durant cette même période.

Il ne me reste plus qu'à vous souhaiter une bonne lecture à toutes et à tous !

Dominique LONGIN
Rédacteur



SOMMAIRE

DU BULLETIN DE L'AFIA

4	Dossier « IA & Neurosciences »	
	Édito : les relations particulières des Neurosciences et de l'IA	5
I -	Région Auvergne-Rhône-Alpes	7
	Équipe projet Inria « AlstroSight »	8
	Équipe NBSCA de l'Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod	12
	Équipe COPHY du Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon	16
	Équipe NRDM de Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod	19
	Équipe SyCoSMA du LIRIS	21
	Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC)	23
II -	Région Grand-Est	26
	Équipe projet Inria « NECTARINE »	27
III -	Région Île-de-France	30
	Équipe projet Inria « ARAMIS » de l'Institut du Cerveau	31
	Plateforme « Analyse de données » de l'Institut NeuroPSI	35
	Équipe « Motivation, Brain and Behavior research » de l'ICM	37
	Équipe Neurocybernétique du laboratoire ETIS	41
	Équipe ACIDE de l'ISIR	48
	Équipe <i>Brain & AI</i> de Meta	51
	Équipe « Transmission de l'information visuelle » de l'Institut de la Vision	51
	Équipe <i>Human Reinforcement Learning</i> de l'ENS Paris	54
IV -	Région Nouvelle-Aquitaine	57
	Équipe CNAA du Neurocentre Magendie	58
	Équipe GIN de l'Institut des Maladies Neurodégénératives	60
	Équipe « Réseaux dynamiques de l'apprentissage procédural » de l'IMM	64
	Équipe projet Inria « Mnemosyne » de l'IMN	66
V -	Région Occitanie	70
	Groupe « Calculs neuronaux et perception visuelle » du cluster IA ANITI	71
	Équipe NeuroIA du CerCo	72
VI -	Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur	77
	Équipe projet Inria « Biovision »	78
	Centre de Neurosciences Computationnelles de l'INT	81
	Projet PRIME Algernon	85



89	Comptes rendus de journées, événements et conférences	
	HumaniSIA : 7ème Journée Commune AFIHM-Afia	90
91	Thèses et HDR du trimestre	
	Thèses de Doctorat	92
	Habilitations à Diriger les Recherches	94



AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Dossier

« IA & Neurosciences »

Dossier réalisé par

Frédéric ALEXANDRE
Institut des Maladies Neurodégénératives
Centre Inria de l'université de Bordeaux
Frederic.Alexandre@inria.fr



■ Édito : les relations particulières des Neurosciences et de l'IA

Les dossiers thématiques des bulletins de l'AFIA sont l'occasion de présenter des domaines d'application de l'IA (comme les transports ou la santé) ou encore des approches ou des thématiques de l'IA (comme l'apprentissage ou l'explicabilité). Ce qu'il y a de particulier avec les neurosciences, c'est qu'elles répondent (au moins) à ces deux critères ainsi que nous l'évoquons ici.

Les neurosciences comme domaine d'application. Les neurosciences, qui ont pour but général l'étude des relations entre les structures et les fonctions du cerveau, développent des approches multi-échelles et transdisciplinaires, combinant chimie, biologie, psychologie, philosophie, mais aussi mathématiques, physique et informatique. Elles ont donné lieu, ces dernières années, à des progrès impressionnants, qui doivent beaucoup au développement de nouvelles technologies (neurochimie, électrophysiologie, imagerie) et qui, en particulier, génèrent des masses de données considérables. Il convient ensuite de rappeler que le cerveau, généralement considéré comme le plus complexe des systèmes existants, est également caractérisé par la très grande dimensionalité de toutes ses caractéristiques. Tous ces éléments ont fait des neurosciences un candidat idéal pour être un domaine d'application de l'IA, aussi bien pour traiter ces masses de données que pour organiser et structurer les connaissances ainsi générées.

Les neurosciences comme thématique de l'IA. Les neurosciences sont aussi singulièrement le domaine scientifique qui s'intéresse à l'étude de l'organe responsable de la faculté d'intelligence dans le vivant. C'est pourquoi l'IA entretient des relations avec les neuro-

sciences pour mieux comprendre les mécanismes de l'intelligence, cette faculté centrale à son programme scientifique, et s'inspirer de ses caractéristiques pour mieux la modéliser. Même si la bio-inspiration n'est pas un passage obligé pour l'IA, elle est tout de même souvent présente, à différents niveaux de précision pouvant aller de modèles biophysiques à une simple inspiration conceptuelle. Il est d'ailleurs notable que ceux appelés les pères fondateurs de l'IA, et au premier rang Alan TURING et John VON NEUMANN, étaient à l'origine orientés par la réalisation d'une machine pensante similaire au cerveau.

Les neurosciences comme domaine scientifique. Nous pouvons ainsi justifier de ce double cadre pour associer neurosciences et IA : source d'inspiration et cadre d'application. Récemment, les progrès de l'IA ont fait apparaître un troisième cadre dont les neurosciences commencent aussi à profiter : le renouvellement des approches scientifiques. En effet, avec en particulier l'avènement de l'IA générative et des agents conversationnels, les pratiques de chercheurs de nombreux domaines scientifiques sont en train d'évoluer, sans que nous soyons encore capable d'estimer l'ampleur et la pérennité de ces changements de pratiques dans la recherche scientifique. Non seulement ces chercheurs analysent et produisent des textes de façon renouvelée mais aussi ils se font assister par l'IA pour produire des plans d'expérimentation et adopter de nouvelles façons d'explorer leurs domaines d'investigation et d'être créatifs. Ces deux premières formes de relations traditionnelles entre IA et neurosciences et cette dernière forme qui est en train de se développer ont un impact de plus en plus visible au niveau international et s'observent également en France. Il était donc



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

important de faire le point sur ces activités dans notre pays, ainsi que le propose ce dossier, même s'il ne prétend pas à l'exhaustivité.

Différentes équipes françaises actives sur ces sujets sont donc répertoriées dans ce Bulletin. Nous aurions pu penser à un classement selon les formes d'associations que nous venons d'évoquer mais la lecture des fiches élaborées par les équipes nous ont aussi montré qu'elles combinaient souvent les deux premières formes d'association et nous avons donc

préférez un classement géographique, qui pourra être utile à l'étudiant ou au chercheur cherchant un contact avec une certaine localisation.

Quant à la troisième forme d'association plus récente, elle semble pour le moment assez balbutiante en France, mais il sera alors intéressant de mettre à jour ce Bulletin dans quelques années et de voir comment nos pratiques auront évolué... En attendant, bonne lecture !



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Partie I
Région Auvergne-Rhône-Alpes



■ Équipe projet Inria « AlstroSight »

Inria/AlstroSight

<https://team.inria.fr/aistrosight>

Hugues BERRY

hugues.berry@inria.fr

Audrey DENIZOT

audrey.denizot@inria.fr

Thomas GUYET

thomas.guyet@inria.fr

Introduction

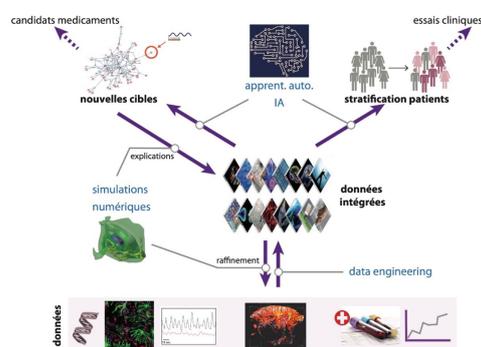
L'équipe AlstroSight s'intéresse à la conception de méthodes numériques pour le dérisquage de la conception de médicaments. La conception ou le repositionnement d'un médicament est un processus long et complexe, comprenant de nombreuses étapes, depuis l'identification des molécules actives jusqu'à la démonstration de leur intérêt médico-économique (cf. illustration ci-contre). Chacune de ces étapes comporte des risques pouvant conduire à l'abandon du candidat-médicament comme solution thérapeutique. Les méthodes numériques explorées par l'équipe AlstroSight visent à identifier, le plus tôt possible dans ce processus, les pistes les plus prometteuses et à écarter celles qui présentent peu ou pas de perspectives en tant que traitement.

AlstroSight s'intéresse plus spécifiquement aux maladies rares à manifestation neurologique, impliquant notamment des cellules cérébrales appelées astrocytes¹.

Au travers de différentes collaborations, nous menons des travaux visant à comprendre le fonctionnement des astrocytes (au niveau moléculaire et cellulaire), à comprendre leur rôle au niveau cérébral, et à lier ces résultats à des possibles traitements de pathologies.

Deux types de méthodes numériques sont

explorées au sein de l'équipe AlstroSight : les méthodes de modélisation et de simulation numérique, ainsi que les approches d'intelligence artificielle, principalement basées sur les données. L'un des aspects novateurs de notre approche réside dans l'hybridation de ces deux types de méthodes, en particulier pour pallier le manque de certaines données.



Une activité importante de l'équipe consiste à développer des approches innovantes pour assister à la recherche de nouveaux médicaments en utilisant des réseaux de neurones sur graphes (GNN) ou des grands modèles de langage (LLM). Nous ne présentons pas cette activité ici, et nous concentrons plutôt sur trois travaux en cours illustrant les approches d'intelligence artificielle explorées pour répondre à des questions à différentes échelles spatio-temporelles, de la plus petite à la plus grande :

1. Les astrocytes, un type cellulaire très abondant dans le cerveau, jouent un rôle clé dans de nombreux mécanismes de régulation de l'activité neuronale.



1. Découverte d'équation pour la modélisation des signaux calciques d'astrocytes,
2. Segmentation d'images fonctionnelles cérébrales par ultrasons (fUS²),
3. Analyse de parcours de soins.

Décoder les signaux calciques des astrocytes par la découverte d'équations

Ce travail est mené dans le cadre de la thèse d'Andréa DUCOS.

Tandis que les neurones communiquent à l'aide de signaux électriques, on observe chez les astrocytes des signaux calciques (variation de concentration calcique) qui semblent jouer un rôle important dans la fonction de ces cellules [3]. La propagation de ce signal dans des cellules à la topologie complexe est encore mal comprise et ce travail vise à proposer des modèles de simulation permettant d'étudier leur fonctionnement.

Si la dynamique moléculaire de signalisation calcique est bien comprise à l'échelle nanométrique, la difficulté est que les méthodes numériques classiques (ex. méthodes à éléments finis) ne permettent pas de faire des simulations à l'échelle des astrocytes entiers : leur grande taille nécessiterait des temps de calcul trop importants [1].

Ce travail cherche donc à explorer les méthodes de découverte d'équations aux dérivées partielles (EDP) [6] pour construire des modèles de dynamiques sous la forme d'équations différentielles qui représentent fidèlement les dynamiques moléculaires connues *a priori*. Ce travail est ainsi à l'interface entre la modélisation biophysique et l'apprentissage automatique.

Les méthodes de découverte d'EDP, notamment WSindy [6], permettent d'identifier des équations différentielles qui correspondent

². *functional Ultra-Sound.*

le mieux aux données. La plupart des travaux qui ont été proposés dans ce domaine évaluent la qualité des équations par la précision de leur prédiction. Dans nos travaux actuels, nous cherchons à les évaluer également sur leurs capacités à découvrir des équations qui soient cohérentes avec la physique des systèmes étudiés.

Disposer de meilleurs modèles mathématiques du fonctionnement des astrocytes est une étape cruciale pour élaborer des stratégies thérapeutiques innovantes ciblant ces cellules.

Analyse d'images fonctionnelle à ultra-sons (fUS)

Ce travail est mené par Hana SEBIA dans le cadre de sa thèse et en collaboration avec Benjamin VIDAL (CERMEP Lyon, et Univ. Genève).

L'effet thérapeutique d'une molécule active est fortement lié à la manière dont elle atteint sa cible dans l'organisme. La conception d'un médicament requiert donc de comprendre l'effet des molécules au niveau de l'organe entier. D'autre part, chez l'humain, l'imagerie cérébrale reste la méthodologie principale d'accès à l'effet d'un médicament.

L'imagerie fUS [2] est une modalité d'imagerie cérébrale récente, principalement utilisée jusqu'ici pour des études précliniques (sur des animaux non-humains). Cette modalité permet d'acquérir des images du débit sanguin cérébral local avec une grande résolution temporelle et une résolution spatiale intermédiaire. La Figure 1 ci-après illustre une image de la pile temporelle d'acquisition de l'activité cérébrale d'un rat lors d'une stimulation visuelle. L'utilisation de méthodes d'analyse automatique d'images, basées sur des techniques d'apprentissage automatique, offre de nouvelles possibilités d'exploration de ces images.

Nous avons proposés deux méthodes :

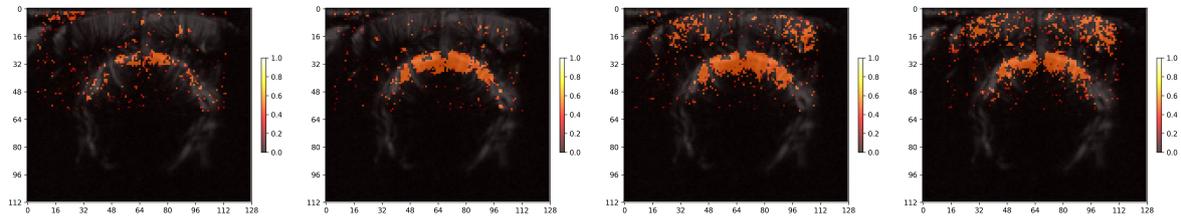


Figure 1 – Illustration de quatre images successives d’une imagerie fUS d’un cerveau de rongeur. Les régions oranges illustrent un motif de propagation détecté par notre approche [9].

- *Segmentation automatique des directions de flux sanguin.* La direction de flux permet de différencier les artères des veines, et permet aux neuroscientifiques de mieux caractériser l’activité cérébrale. La détection de cette direction nécessite habituellement l’injection d’un agent de contraste (microbulles de gaz biocompatible). Notre travail [10] montre qu’il est possible d’identifier précisément ces directions directement à partir des images sans agent de contraste.
- *Analyse des motifs d’activité.* Certaines pathologies sont associées à des phénomènes de propagation d’onde d’activité ou de dépolarisation dans le cerveau. Les techniques permettant de les repérer et de les caractériser sont actuellement limitées. L’utilisation de méthodes nouvelles de décomposition tensorielle [8] appliquée aux images fUS offre une solution originale [9].

Parcours de soins

Ce travail implique plusieurs projets en cours, dont le post-doctorat de Maëlle MORANGES, le projet QuickRare (Shape-Med@Lyon) et le projet TanaT (Chaire AI-racles) avec Arnaud DUVERMY.

La finalisation de la conception d’un médicament passe par l’évaluation de son efficacité et de sa tolérance en vie réelle. Ces dernières années, les données observationnelles, collectées à l’hôpital ou par l’Assurance Maladie, se

sont montrées pertinentes pour répondre à ces questions de pharmaco-épidémiologie. Face à la masse et à la complexité de ces données, l’intelligence artificielle offre des aides potentielles aux épidémiologistes pour structurer et enrichir sémantiquement les données ou les analyser.

L’équipe AlstroSight mène différents travaux qui contribuent à ce champs :

- *Détection de la négation dans les textes médicaux [7].* Les méthodes d’analyse de texte sont utilisées dans les hôpitaux pour extraire des informations riches des dossiers patients. Nous avons proposé des modèles de traitement automatique de la langue dédiés à la détection de la négation qui permettent une analyse plus précise du contenu médical des dossiers hospitaliers, en évitant des contresens.
- *Analyse de parcours de soins.* La description des parcours est essentielle pour identifier des groupes de patients qui répondent plus favorablement à des traitements. Nous nous intéressons plus particulièrement au *clustering* de parcours de soins en développant des méthodes dédiées [8, 5, 11] ainsi que l’outil TanaT [4] qui offre un cadre général d’analyse des parcours de soins.

Références

- [1] Ana Covelo, Anaïs Badoual, and Audrey Denizot. Reinforcing interdisciplinary collaborations to unravel the astrocyte “cal-



- cium code". *Journal of Molecular Neuroscience*, 72(7) :1443–1455, 2022.
- [2] Thomas Deffieux, Charlie Demené, and Mickael Tanter. Functional ultrasound imaging : a new imaging modality for neuroscience. *Neuroscience*, 474 :110–121, 2021.
- [3] Audrey Denizot, Misa Arizono, Valentin U Nagerl, Hedi Soula, and Hugues Berry. Simulation of calcium signaling in fine astrocytic processes : effect of spatial properties on spontaneous activity. *PLoS Computational Biology*, 15(8) :e1006795, 2019.
- [4] Arnaud Duvermy and Thomas Guyet. Tannat. In *Workshop SIDOS@EGC*, page 12, 2025.
- [5] Thomas Guyet, Pierre Pinson, and Enoal Gesny. Clustering of timed sequences – application to the analysis of care pathways. *Knowledge and Data Engineering*, 156 :102401, 2025.
- [6] Daniel A Messenger and David M Bortz. Weak sindy for partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 443 :110525, 2021.
- [7] Salim Sadoune, Antoine Richard, François Talbot, Thomas Guyet, Loïc Boussel, and Hugues Berry. Automatic analysis of negation cues and scopes for medical texts in French using language models. *Computers in Biology and Medicine*, 2025.
- [8] Hana Sebia, Thomas Guyet, and Etienne Audureau. SWoTTeD : an extension of tensor decomposition to temporal phenotyping. *Machine Learning*, 113 :5939—5980, April 2024. IF : 4.3, Q1.
- [9] Hana Sebia, Thomas Guyet, Hugues Berry, and Benjamin Vidal. Spatiotemporal pattern extraction in functional neuroimaging. In *Conference CAp (soumis)*, 2025.
- [10] Hana Sebia, Thomas Guyet, Mickaël Pereira, Marco Valdebenito, Hugues Berry, and Benjamin Vidal. Vascular segmentation of functional ultrasound images using deep learning. *Computerized Medical Imaging and Graphics (major revision)*, 2024.
- [11] Armel Soubeiga, Thomas Guyet, and Violaine Antoine. Soft-ECM : An extension of evidential C-means for complex data. In *Fuzzy'IEEE*, page to appear, 2025.



■ Équipe NBSCA de l'Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod

ISC-MJ
Université Claude Bernard Lyon 1
www.isc.cnrs.fr/

Suliann BEN HAMED

benhamed@isc.cnrs.fr

Clément GARIN

clement.garin@isc.cnrs.fr

Présentation générale

L'équipe *Neural Bases of Spatial Cognition and Action*, dirigée par Suliann BEN HAMED (Directrice de recherche CNRS), est hébergée à l'Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod (UMR5229 CNRS – Université Claude Bernard Lyon 1). Deux chercheurs permanents y sont actuellement rattachés, Suliann BEN HAMED (DR) et Clément GARIN (CRCN). Elle se spécialise dans l'étude des mécanismes neuronaux de l'attention, de la perception, de l'intégration multisensorielle et de la cognition. L'équipe s'appuie sur une expertise pluridisciplinaire croisant neurosciences cognitives, neurosciences computationnelles, neuro-imagerie et interfaces cerveau-machine. Elle travaille aussi bien chez l'humain que chez le primate non humain, et combine des techniques telles que la quantification comportementale en conditions écologiques, l'IRMf, l'enregistrement intra-cortical, l'imagerie ultrasonore rapide et l'analyse de ces signaux neuronaux en temps réel avec des outils d'IA.

Deux positionnements majeurs de l'équipe s'appuient sur des approches d'IA. Le premier positionnement scientifique de l'équipe repose sur une compréhension dynamique, distribuée et adaptative de la cognition spatiale et de l'attention. Les recherches sont motivées tant par des enjeux fondamentaux (fonctionnement cérébral, organisation des réseaux attentionnels) que cliniques (troubles de l'attention, *neurofeedback* personnalisé). Trois premières études ont utilisé des approches d'IA pour lire

le contenu attentionnel subjectif de sujets en temps réel et ainsi que décrire des propriétés de la fonction attentionnelle alors encore inconnue [2, 3]. La troisième étude a permis de dissocier en temps réel attention spatiale et états attentionnels [1]. Ces études sont à la base des études de *neurofeedback* en cours de déploiement dans l'équipe. Le deuxième positionnement scientifique de l'équipe repose sur une analyse des comportements complexes des individus par IA, à travers différentes espèces, et la caractérisation des réseaux cérébraux sous-tendant cette complexité, à la fois en termes d'encodage sensoriel et en termes de production motrice. La première étude, produite en collaboration avec l'Université de Newcastle (Royaume-Uni) a abouti à la publication de MacqD, un outil d'IA basé sur Mask-RCNN permettant le suivi comportemental automatique de macaques en environnement social [5].

Activités en cours

Généralisation des approches de décodage en temps réel de l'attention à d'autres modalités de signal. À partir de nos premiers travaux sur le décodage de l'attention spatiale fondé sur des signaux intra-corticaux en temps réel [2, 3], l'équipe s'attache aujourd'hui à étendre ces approches à d'autres modalités moins invasives et potentiellement transposables en milieu clinique, comme l'IRMf, l'EEG, la MEG ou l'imagerie ultrasonore rapide.

Dans le cadre du projet ERC Brain 3.0, l'équipe a développé des décodeurs de la position du foyer attentionnel en temps réel à partir



d'IRMf [4]. Nous sommes également en train de valider la généralisation de ces approches à des signaux recueillis par imagerie ultrasonore rapide (fUS) chez le primate non humain. Ces signaux ont la même résolution temporelle que les signaux IRMf, mais avec une résolution spatiale incomparablement meilleure. Ces travaux se prolongent également par la généralisation de ces approches à des signaux de type MEG et EEG, grâce aux travaux de Maryam MOSTAFALU (doctorante), en collaboration avec Mathilde BONNEFOND. Ces généralisations sont à la fois conceptuelles (transfert de modèles de décodage) et techniques (adaptation des chaînes de traitement d'IA temps réel à d'autres modalités), dans une perspective d'implémentation dans des contextes thérapeutiques.

Développement de protocoles de neurofeedback individualisés pour la remédiation des troubles attentionnels.

Une retombée directe des approches d'IA de décodage en temps réel est leur utilisation pour développer des protocoles de *neurofeedback* personnalisés, soit pour augmenter les capacités attentionnelles, soit pour des aspects thérapeutiques, notamment pour la prise en charge du trouble de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Une étude récente menée dans le cadre du projet ERC Brain 3.0 par Souhir DALI (postdoctorante) et Célia LORIETTE (doctorante) a permis de démontrer l'efficacité d'un protocole de *neurofeedback* basé sur l'IRMf en temps réel pour l'amélioration de l'attention spatiale. Quinze participants ont suivi un entraînement visant à renforcer leur capacité de focalisation attentionnelle à partir d'un retour visuel de l'activité cérébrale enregistrée en direct. L'étude montre que cette approche induit des modifications comportementales significatives dans plusieurs tâches attentionnelles, au-delà de la tâche utilisée lors du *neurofeedback*,

attestant d'un effet de transfert, portant essentiellement sur la capacité de soutenir l'attention. Sur le plan cérébral, cette amélioration comportementale coïncide avec une augmentation de la connectivité fonctionnelle entre le réseau dorsal de l'attention et le cortex visuel. Enfin, l'étude met en lumière des facteurs prédictifs de la réussite du *neurofeedback*, suggérant que l'état fonctionnel initial du cerveau pourrait servir de biomarqueur pour personnaliser les protocoles et optimiser leur efficacité clinique.

Dans la suite de ce travail, un projet ERC « Proof of Concept » débute et vise à construire une suite logicielle complète permettant à des unités cliniques équipées en IRMf et EEG de mettre en œuvre un *neurofeedback* basé sur un traitement d'IA temps réel des signaux ciblant trois dimensions du TDAH : inattention, via la modulation de la connectivité du réseau attentionnel dorsal ; impulsivité, via le contrôle des interactions dans le cortex cingulaire antérieur ; et la flexibilité attentionnelle, via les dynamiques de transition entre réseaux cérébraux antagonistes (réseau par défaut vs réseau attentionnel). Cette suite logicielle, intégrant IA, visualisation interactive et suivi longitudinal, s'appuie sur les résultats de travaux récents de l'équipe montrant que l'amélioration attentionnelle par *neurofeedback* est corrélée à des modifications structurelles et fonctionnelles dans les réseaux impliqués, couplant enregistrement EEG et IRMf.

Modélisation temporelle de la dynamique attentionnelle par réseaux de neurones récurrents.

Parallèlement, l'équipe explore activement l'utilisation de modèles séquentiels d'apprentissage profond, en particulier les réseaux de neurones récurrents (RNN) et leurs variantes (LSTM, GRU), pour modéliser les dynamiques attentionnelles et comportementales à partir de séries temporelles de signaux neu-



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

ronaux ou comportementaux. L'objectif est de proposer des modèles fiables du fonctionnement du PFC. Un premier projet intègre les RNN dans un cadre d'apprentissage par renforcement en boucle fermée, simulant un comportement adaptatif dirigé par le PFC. Il met l'accent sur les interactions en temps réel entre le modèle et son environnement, permettant aux réseaux d'apprendre par essais et erreurs. L'objectif est de reproduire des dynamiques spatio-temporelles observées dans le PFC, telles que les oscillations thêta et alpha, tout en s'appuyant sur des études expérimentales en boucle fermée pour orienter la conception du modèle. Le second projet, quant à lui, se concentre sur l'entraînement des RNN à des tâches cognitives, en analysant leurs dynamiques internes et en les comparant à des données expérimentales pour valider les représentations de tâches et la flexibilité computationnelle. Plutôt que de modéliser une interaction avec l'environnement, ce projet adopte une approche centrée sur l'analyse, mettant en lumière les états neuronaux spécifiques à une tâche et les motifs dynamiques partagés. Les deux projets utilisent des outils tels que la réduction de dimensionnalité et l'analyse de systèmes dynamiques, mais alors que le premier vise à comprendre l'apprentissage et le comportement en contexte interactif, le second cherche à approfondir la compréhension de la flexibilité des représentations et du codage de l'information dans le PFC. Ensemble, ils proposent des approches complémentaires pour relier la modélisation computationnelle aux neurosciences expérimentales, tout en générant des prédictions testables.

Analyse comportementale automatisée et modélisation IA pour l'étude de la dynamique cérébrale. Ce projet, actuellement mené par Geneviève MOAT (doctorante) en collaboration étroite avec l'équipe de l'Université de Newcastle (Royaume-Uni), vise à quan-

tifier la diversité des comportements spontanés observés en milieu social, dans une double perspective inter-espèces et intégrative. Cette approche s'inscrit dans une volonté de comparer de manière rigoureuse les comportements complexes entre espèces (notamment entre primates humains et non humains), tout en articulant ces mesures avec l'étude des réseaux cérébraux sous-jacents. L'objectif scientifique de ce programme est double : 1) construire des descripteurs comportementaux automatisés, robustes et généralisables, permettant des comparaisons inter-espèces à partir de données issues de vidéos ou de capteurs embarqués ; dans cette approche, nous cherchons également à comparer les performances de nos approches d'IA et les performances humaines sur des tâches de classifications comparables ; 2) explorer, à l'aide de techniques de neuroimagerie fonctionnelle et de modélisation en IA, la manière dont les réseaux neuronaux analysent et génèrent ces comportements, en liant classification automatique des comportements avec classification automatique de l'activité cérébrale pendant la perception, la décision et l'action. Ce programme interdisciplinaire ambitionne ainsi de jeter les bases d'un cadre unifié pour l'étude de la cognition naturelle, en mobilisant des outils issus de l'intelligence artificielle, de l'éthologie expérimentale et des neurosciences systèmes. Il prolonge la dynamique amorcée par le développement de MacqD et en élargit le champ d'application à une compréhension fine des interactions entre dynamique comportementale et dynamique cérébrale.

Conclusion et perspectives

Les travaux menés par l'équipe *Neural Bases of Spatial Cognition and Action* illustrent la richesse et la pertinence des approches intégratives à l'interface entre intelligence artificielle et neurosciences. À travers une combinaison unique d'enregistrements neurophy-



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

siologiques à haute résolution, de techniques d'imagerie avancées, de modélisation informatique et d'analyses comportementales automatisées, l'équipe contribue activement à repousser les frontières de la compréhension du fonctionnement cérébral, aussi bien dans ses dimensions fondamentales que cliniques.

Les approches d'IA déployées permettent aujourd'hui de lire, de moduler et de prédire l'état attentionnel d'un individu en temps réel, et ouvrent la voie à des applications de *neurofeedback* personnalisées, potentiellement transposables en contexte clinique. En parallèle, les efforts croissants pour intégrer l'analyse automatique des comportements complexes à grande échelle, notamment en environnement social, participent à la constitution d'un cadre comparatif entre espèces, ancré dans les dynamiques cérébrales.

Dans les années à venir, l'équipe poursuivra le développement de modèles de plus en plus riches et explicables, en s'appuyant sur les synergies entre neurosciences computationnelles, apprentissage automatique, et neurosciences expérimentales. L'ensemble de ces travaux s'inscrit dans une ambition plus large : contribuer à une neurosciences de la cognition naturelle. L'IA y est non seulement un outil, mais aussi un cadre conceptuel pour explorer les lois dynamiques du cerveau en interaction avec son environnement, dans toute sa diversité biologique et comportementale.

Références

- [1] J. L. Amengual, F. Di Bello, S. Ben Hadj Hassen, and S. Ben Hamed. Distractibility and impulsivity neural states are distinct from selective attention and modulate the implementation of spatial attention. *Nature Communications*, 13, 2022.
- [2] E. Astrand, C. Wardak, P. Baraduc, and S. Ben Hamed. Direct Two-Dimensional Access to the Spatial Location of Covert Attention in Macaque Prefrontal Cortex. *Current biology*, 26, 2016.
- [3] C. Gaillard, S. Ben Hadj Hassen, F. Di Bello, Y. Bihan-Poudec, R. VanRullen, and S. Ben Hamed. Prefrontal attentional saccades explore space rhythmically. *Nature Communications*, 11, 2020.
- [4] C. Loriette, C. De Sousa, S. Clavagnier, F. Lambertson, D. Ibarolla, and S. Ben Hamed. Non-invasive real-time access to spatial attention information from 3t fmri bold signals. *bioRxiv*, 2021.
- [5] G. J. Moat, M. Gaudet-Trafit, J. Paul, J. Bacardit, S. Ben Hamed, and C. Poirier. The MacqD deep-learning-based model for automatic detection of socially housed laboratory macaques. *Scientific Reports*, 15, 2025.



■ Équipe COPHY du Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon

CRNL
Université Claude Bernard Lyon 1
<https://www.crnل.fr/fr>

Mathilde BONNEFOND
mathilde.bonnefond@inserm.fr

Jérémie MATTOU
jeremie.mattout@inserm.fr

Positionnement scientifique

L'équipe « Calcul, Cognition et Neurophysiologie » (COPHY) est dirigée par Mathilde BONNEFOND et comprend également les membres permanents suivants : Christina SCHMITZ, Romain LIGNEUL, Elif KÖKSAL-ERSÖZ, Emmanuel MABY, Françoise LECAIGNARD, Sandrine SONIÉ, Denis SCHWARTZ.

La perception est un processus hautement dynamique, actif et subjectif qui dépend de fonctions cognitives fondamentales telles que l'attention, la prédiction, l'apprentissage, ainsi que des interactions avec l'environnement. Nous réunissons des expertises complémentaires, des modèles expérimentaux, des méthodes et des outils pour étudier la perception active typique et atypique, avec des perspectives neurophysiologiques, comportementales, computationnelles et neurobiologiques.

Notre recherche s'articule autour de trois axes principaux :

- **théories et modèles** — formuler des hypothèses mécanistiques et faire progresser les cadres conceptuels et computationnels pour expliquer la perception et la dynamique cérébrale ;
- **recherche empirique** — évaluer la perception active dans différents contextes et à plusieurs échelles, avec :
 - des observations *in vivo* inter-espèces de l'activité électrique cérébrale et de la dynamique des neurotransmetteurs dans des états sains et pathologiques,

- des modèles *in silico* incluant des modèles probabilistes, d'apprentissage par renforcement, des modèles de masses neurales et des réseaux de neurones à *spikes*,
- des mesures *in vitro* de réseaux neuronaux ;

- **recherche appliquée** — innover en neurotechnologies à des fins de recherche fondamentale et clinique.

Quelques publications représentatives sont référencées en fin d'article.

Quelques projets en cours pertinents pour le lien entre IA et neurosciences

Des systèmes neuronaux aux rythmes cérébraux et au comportement. Nous nous intéressons aux aspects neurophysiologiques de la perception, spécifiquement à la façon dont les rythmes cérébraux (dans les bandes thêta, alpha et gamma) organisent la communication neuronale pendant le traitement sensoriel. Nous visons à approfondir notre compréhension en (1) testant empiriquement des hypothèses sur les rôles computationnels de ces oscillations dans la perception active, et (2) développant des modèles de réseaux neuronaux pour simuler ces rythmes et les relier au comportement.

Interfaces cerveau-ordinateur orientées clinique. Les membres de COPHY ont été parmi les pionniers en France dans le développement d'interfaces cerveau-ordinateur (BCI)



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

non invasives, et continuent à le faire en essayant d'intégrer une approche cognitive et computationnelle des neurosciences avec l'ingénierie, en se concentrant sur des applications centrées sur les patients. Notre recherche sur les BCI utilise principalement la technologie EEG portable et rentable, et vise à affiner les biomarqueurs pour décoder les états mentaux et les commandes, y compris l'exploration des salves bêta transitoires et du couplage phase-amplitude comme marqueurs d'attention. Nous abordons également le défi de la dynamique d'apprentissage dans l'utilisation des BCI, en modélisant l'interaction patient-machine à travers le cadre d'inférence active (bayésienne) pour optimiser l'entraînement cérébral personnalisé, validé dans des contextes de *neurofeedback* et des essais cliniques avec des patients gravement paralysés. Cette approche fait le pont entre les neurosciences fondamentales, le traitement innovant du signal (grâce à des collaborations avec, par exemple, Gipsa-Lab à Grenoble), des solutions pratiques orientées patient et des évaluations cliniques multicentriques pour développer des produits BCI viables au-delà du laboratoire.

De plus, deux jeunes chercheurs ont récemment rejoint l'équipe apportant de nouvelles thématiques :

- Romain LIGNEUL (CR INSERM) en 2022, qui dirige un projet visant à comprendre comment la contrôlabilité est encodée dans le cerveau, notamment par la signalisation de la sérotonine, en relation avec d'autres neuromodulateurs, et son impact sur la sélection d'actions et les troubles psychiatriques. Il implique une approche multidisciplinaire combinant les neurosciences des systèmes (optogénétique, imagerie calcique chez la souris), les neurosciences cognitives (neuroimagerie humaine pendant des tâches cognitives) et la psychiatrie (étude de patients dépressifs), intégrées via des modèles

computationnels et des interventions pharmacologiques. Le projet est financé par une bourse ERC StG et une subvention ATIP-Avenir.

- Elif KÖKSAL-ERSÖZ (CR INRIA) en 2024, qui développe des modèles de masses neuronales (NMM) intégrant plusieurs types de neurones, échelles de temps synaptiques et propriétés biophysiques pour simuler des signaux électrophysiologiques. Ces modèles méso-échelles sont dérivés de l'activité micro-échelle via une réduction de champ moyen, reliant l'activité cellulaire à l'activité populationnelle. Des outils mathématiques sont utilisés pour identifier les mécanismes sous-jacents à l'activité corticale intra-laminaire saine pendant les fonctions cognitives et les effets des propriétés du système et de la neuromodulation. La combinaison des NMM avec des modèles biophysiques de MEG et EEG améliorera les modèles causaux dynamiques pour interpréter les interactions cérébrales hiérarchiques dans la santé et la maladie.

Perspectives

Nous sommes particulièrement intéressés par l'IA biologiquement plausible afin de développer des modèles plus réalistes des fonctions et dysfonctions cérébrales, ainsi que pour potentiellement guider les futurs systèmes d'IA plus explicables, flexibles et durables. Grâce à notre écosystème multidisciplinaire et riche, nous visons à étendre nos approches en développant des réseaux neuronaux jumeaux, l'un *in silico* (réseaux de neurones à *spikes*, SNN), l'autre *in vitro* (cultures de neurones humains), pour aborder les calculs cérébraux flexibles et frugaux. Dans cette nouvelle et ambitieuse ligne de recherche, nous avons l'intention d'explorer les microcircuits de manière conjointe dans ces modèles, pour évaluer les ingrédients nécessaires pour voir émerger des propriétés de



perception active dans ces réseaux, que nous testerons empiriquement de la même manière que nous testons les modèles *in vivo*.

Références

- [1] Mathilde Bonnefond and Ole Jensen. The role of alpha oscillations in resisting distraction. *Trends in Cognitive Sciences*, 29(4) :368–379, 2025.
- [2] Mathilde Bonnefond, Ole Jensen, and Tommy Clausner. Visual processing by hierarchical and dynamic multiplexing. *eNeuro*, 11(11), 2024.
- [3] Tjerk Gutteling, Mathilde Bonnefond, Tommy Clausner, Sébastien Daligault, Rudy Romain, Sergey Mitryukovskiy, William Fourcault, Vincent Josselin, Matthieu Le Prado, Agustin Palacios-Laloy, Etienne Labyt, Julien Jung, and Denis Schwartz. A New Generation of OPM for High Dynamic and Large Bandwidth MEG : The 4He OPMs-First Applications in Healthy Volunteers. *Sensors*, 23(5) :2801, 2023.
- [4] Elif Köksal Ersöz, Julia Makhalova, Maxime Yochum, Christian G. Bénar, Maxime Guye, Fabrice Bartolomei, Fabrice Wendling, and Isabelle Merlet. Whole-brain simulation of interictal epileptic discharges for patient-specific interpretation of interictal SEEG data. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*, 54(5) :103005, 2024.
- [5] Elif Köksal-Ersöz, Pascal Benquet, and Fabrice Wendling. Expansion of epileptogenic networks via neuroplasticity in neural mass models. *PLOS Computational Biology*, 20(12) :1–31, 12 2024.
- [6] Françoise Lecaigard, Olivier Bertrand, Anne Caclin, and Jérémie Mattout. Empirical Bayes evaluation of fused EEG-MEG source reconstruction : Application to auditory mismatch evoked responses. *NeuroImage*, 226 :117468, February 2021.
- [7] Françoise Lecaigard, Olivier Bertrand, Anne Caclin, and Jérémie Mattout. Neurocomputational underpinnings of expected surprise. *Journal of Neuroscience*, 42(3) :474–486, 2022.
- [8] Romain Ligneul. Sequential exploration in the Iowa gambling task : Validation of a new computational model in a large dataset of young and old healthy participants. *PLoS Computational Biology*, 15(6) :e1006989, June 2019.
- [9] Romain Ligneul. Prediction or causation ? towards a redefinition of task controllability. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(6) :431–433, 2021.
- [10] Marie Martel, Livio Finos, Salam Bahmad, Eric Koun, Romeo Salemme, Sandrine Sonié, Pierre Fournier, Christina Schmitz, and Alice Catherine Roy. Motor deficits in autism differ from that of developmental coordination disorder. *Autism*, page 136236132311719, 2023.
- [11] Jelena Mladenovic, Jérémy Frey, Mateus Joffily, Emmanuel Maby, Fabien Lotte, and Jérémie Mattout. Active inference as a unifying, generic and adaptive framework for a P300-based BCI. *Journal of Neural Engineering*, 17 :016054, 2020.
- [12] Sotirios Papadopoulos, Maciej J Szul, Marco Congedo, James J Bonaiuto, and Jérémie Mattout. Beta bursts question the ruling power for brain–computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*, 21(1) :016010, jan 2024.
- [13] Laurie-Anne Sapey-Triomphe, Gaëtan Sanchez, Marie-Anne Hénaff, Sandrine Sonié, Christina Schmitz, and Jérémie Mattout. Disentangling sensory precision and prior expectation of change in autism during tactile discrimination. *npj Science of Learning*, 8(1), 2023.



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

■ Équipe NRDM de Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod

ISCMJ

Université Claude Bernard Lyon 1

<https://dreherteam.wixsite.com/neuroeconomics>

Jean-Claude DREHER

dreher@isc.cnrs.fr

General presentation

The 'Neuroeconomics, Reward and Decision Making' team is associated with Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod (ISCMJ), CNRS UMR 5229 and Université Claude Bernard Lyon 1, Bron, France.

Research Themes : Cognitive neuroscience, Group decision making, moral cognition, reward and motivation, social and affective neuroscience, social cognition, judgment and decision making.

The goal of the team is to determine the neural mechanisms underlying decision making, motivation and reward processing in humans. We primarily seek to understand the computations used by the brain for decision making in adult healthy participants. We also extend these questions to study the computational mechanisms engaged in social decisions during development in children, in non-human primate species using a comparative approach (e.g., in baboons, macaques and rhesus monkeys) and in patients with clinical disorders. In parallel, we are also studying how stress and gonadal steroid hormones, as well as dopamine and serotonin transmission influence reward processing and social decision-making. We use experimental tools such as model-based fMRI Imaging, intracranial electrophysiological recordings in patients with epilepsy, causal approaches (TMS, tDCS) and pharmacological manipulations combined with multimodal neuroimaging (simultaneous PET-fMRI). More recently, we have developed novel approaches to

describe how the human brain learns and makes moral and social decisions, including in groups. Our current work delves into the neurocomputational mechanisms engaged in information propagation in social networks.

Permanent team members :

- Research director : Jean-Claude DREHER (DR1);
- Full Professor : Edmund DERRINGTON (PU).

For all team members, [see here](#).

Selected references are given at the end of the article.

Current activities

Étude de la désinformation dans les réseaux sociaux et la propagation d'information dans les réseaux sociaux. See for example [1].

Project 'Modélisation computationnelle de la collaboration et de la mentalisation pour les bots bienveillants' In [PEPR eN-SEMBLE](#).

CRCNS US-French Research grant : Computational and Neural Mechanisms of Social Learning in Social Networks Collaborating PIs : Alireza SOLTANI, Department of Psychological and Brain Sciences, Dartmouth College, USA and Jean-Claude DREHER, Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod, CNRS, France.



Conclusion

Our research explores how the human brain learns and makes decisions in social situations, to shed light on the neural processes behind our interactions with others. Initially, we focused on understanding how the brain makes simple, individual choices. Building on these insights, we have recently turned our attention to more complex moral and social decision-making necessary in the digital age. Now, our work delves into the dynamic interplay between individual choices and the behavior of larger groups or networks. We aim to uncover how emerging collective behaviors influence our personal decisions and vice versa. This includes questions such as :

- What brain mechanisms drive the decision to share information in social networks, including to spread fake news?
- What are the brain computations underlying how we adapt when we need to infer the intentions of others in groups or networks, such as whether they intend to collaborate or compete?
- What are the algorithms used by the brain for strategic interactions engaging different levels of depth of mentalization? How can these algorithms be used to develop artificial agents helping to solve problems between many interacting agents?
- What learning rules does the brain use to process and integrate information propagating in social networks?
- How can we best use bots in hybrid human-AI social networks to encourage group collaboration?
- How does the morality (or immorality) of those around us shape our own moral behavior?
- What roles do hormones like oxytocin, stress hormones, and gonadal steroids play in how we learn about and navigate relationships within social networks?

To answer these questions, we take a trans-disciplinary approach, drawing on models from artificial intelligence, machine learning, game theory, and computational social neuroscience. Our research bridges fields such as behavioral economics, human-computer interaction, psychology, and neuroscience.

We employ a variety of methods, including :

- Behavioral experiments conducted in the lab and online ;
- Computational modeling (including machine learning) of decision-making processes ;
- Model-based fMRI to understand the nature of the computations performed by specific brain regions ;
- Causal manipulations (pharmacological, Transcranial Direct Current Stimulation, Transcranial magnetic stimulation) to temporarily disrupt the function of specific social brain regions ;
- Intracranial recordings in humans.

Our ultimate goal is to develop computational models that explain the brain's mechanisms for navigating the reciprocal and dynamic interactions between individuals and the vast social networks they belong to, offering breakthroughs into the neural underpinnings of social behavior in a connected world.

Références

- [1] Valentin Guigon, Marie Claire Villeval, and Jean-Claude Dreher. Metacognition Biases Information Seeking in Assessing Ambiguous News. *Communications Psychology*, 2, 2024.
- [2] Remi Janet, Romain Ligneul, Annabel B. Losecaat-Vermeer, Remi Philippe, Gabriele Bellucci, Edmund Derrington, Soyoung Q. Park, and Jean-Claude Dreher. Regulation of social hierarchy learning by serotonin transporter availability. *Neuropsychophar-*



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- macology*, 47(13) :2205–2212, December 2022. Publisher : Nature Publishing Group.
- [3] Koosha Khalvati, Seongmin A. Park, Sagar Mirbagheri, Rémi Philippe, Mariateresa Sestito, Jean-Claude Dreher, and Rajesh P. N. Rao. Modeling other minds : Bayesian inference explains human choices in group decision-making. *Science Advances*, 5(11) :eaax8783, November 2019.
- [4] Patricia Lockwood, Wouter van den Bos, and Jean-Claude Dreher. Moral learning and decision-making across the lifespan. *Annual Review of Psychology*, October 2024.
- [5] Seongmin A. Park, Mariateresa Sestito, Erie D. Boorman, and Jean-Claude Dreher. Neural computations underlying strategic social decision-making in groups. *Nature Communications*, 10(1) :5287, November 2019. Publisher : Nature Publishing Group.
- [6] Rémi Philippe, Rémi Janet, Koosha Khalvati, Rajesh P. N. Rao, Daeyeol Lee, and Jean-Claude Dreher. Neurocomputational mechanisms involved in adaptation to fluctuating intentions of others. *Nature Communications*, 15(1) :3189, April 2024. Publisher : Nature Publishing Group.
- [7] Chen Qu, Yulong Huang, Rémi Philippe, Shenggang Cai, Edmund Derrington, Frédéric Moisan, Mengke Shi, and Jean-Claude Dreher. Transcranial direct current stimulation suggests a causal role of the medial prefrontal cortex in learning social hierarchy. *Communications Biology*, 7(1) :304, March 2024. Publisher : Nature Publishing Group.

■ Équipe SyCoSMA du LIRIS

LIRIS

Université Lyon 1

<https://liris.cnrs.fr/equipe/sycosma>

Mathieu LEFORT

mathieu.lefort@univ-lyon1.fr

Les axes de recherche de l'équipe **SyCoSMA** du LIRIS s'inscrivent dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) avec une articulation avec celui des sciences cognitives. Nous nous intéressons en particulier à l'étude de modèles cognitifs permettant d'aborder la question de l'intelligence et de l'intelligibilité des données et des connaissances sous l'angle de la co-construction du sens et des représentations dans les systèmes artificiels. Nos recherches dans ce domaine s'inscrivent dans une vision constructiviste, considérant les représentations comme des constructions dynamiques que le système informatique élabore sur la base de son expérience d'interaction avec son environnement, et à travers des mé-

canismes d'apprentissage et des mécanismes auto-* (auto-organisation, auto-adaptation, auto-développement) qui permettent son autonomie. Un des axes de recherche s'inscrit plus spécifiquement dans le cadre conceptuel des théories sensori-motrices. Ces théories, qui regroupent différents éléments et idées venant des neurosciences, de la psychologie, des sciences cognitives et de la philosophie, défendent à divers degrés l'importance du corps dans l'apprentissage et la cognition, et plus particulièrement le rôle central des actions qui vont permettre d'appréhender et de modifier l'environnement extérieur. Dans ce cadre, les systèmes doivent, entre autres, disposer de capacités d'apprentissage autonome (non super-



visé, continu, actif, etc.) de représentations et de fusion de données multi-sensorielles.

Concernant l'apprentissage de représentations, dans le cadre de la thèse d'Alexandre DEVILLERS, nous avons proposé d'ajouter un module d'apprentissage de structuration équivariante aux approches état de l'art auto-supervisées actuelles. Ce module, qui vise à apprendre dans l'espace des représentations la transformation induite par une modification de l'image d'entrée, fournit au système une capacité prédictive du monde qui s'inspire d'une certaine manière des notions de codage prédictive en neuroscience. Il a permis d'améliorer les capacités de classification et de transfert des représentations visuelles apprises [1].

Concernant la fusion de données, le projet AMPLIFIER a étudié la pondération de différentes informations sensorielles suivant leur pertinence, en lien avec la perception active. En collaboration avec le LJK, le LPNC, le Gipsalab et le CRNL, nous avons proposé un nouveau protocole de psychophysique pour l'étude de la perception audio-visuelle chez l'humain avec comparaison entre une condition passive (œil fixé) et active (saccade autorisée). Nous avons également proposé une modélisation, basée sur les champs neuronaux dynamiques, de la dynamique de la prise de décision chez l'humain en lien avec certains substrats cérébraux considérés à une échelle mésoscopique [2]. Ces modèles, en s'appuyant sur l'apprentissage de représentations topologiquement organisées, permettent à un agent artificiel de fusionner automatiquement différentes informations suivant la précision des capteurs [3].

Actuellement, ces différents éléments sont combinés dans le projet ANR [MeSMRIse](#), en collaboration avec l'Institut Pascal et le LJK. Nous nous intéressons en particulier à intégrer dans nos modèles des éléments de la théorie des contingences sensori-motrices proposée par Kevin O'REGAN qui s'articule autour

de deux idées centrales : l'apprentissage des contingences sensori-motrices comme la structure des règles dictant les modifications sensorielles produites par les diverses actions motrices et l'exploration active de l'environnement par l'organisme, médié par sa connaissance des contingences sensori-motrices. Dans ce cadre, trois problématiques sont explorées :

1. comment l'action peut-elle structurer l'apprentissage auto-supervisé de représentations multi-sensorielles, en particulier lorsque les informations reçues sont complémentaires ?
2. comment extraire automatiquement du flux sensori-moteur des notions d'objet par détection de structures stables d'interaction ?
3. comment la capacité d'action permet-elle d'améliorer le système par apprentissage actif pour accélérer l'apprentissage et par perception active pour désambigüiser entre deux objets ?

Ce projet aborde la question de l'apprentissage de modèles prédictifs et génériques du monde, thématique très active en ce moment en intelligence artificielle, d'une manière différente des approches classiques. En effet ces dernières se basent principalement sur des grands modèles de fondations, appris de manière passive à partir d'une grande quantité de données, et en structurant les représentations autour de descriptions textuelles. À l'inverse, les théories sensori-motrices, en mettant l'action comme élément central, questionnent les structures des représentations nécessaires. Au lieu d'apprendre des représentations qui pourront ensuite permettre d'agir dans le monde, elles proposent plutôt d'apprendre les manières d'accéder et de modifier dynamiquement les informations de l'environnement reçues par les capteurs. Cela pourrait permettre à long terme d'obtenir des intelligences artificielles plus adaptatives, nécessitant moins de données et possiblement mieux ali-



gnées avec les concepts humains car appris de manière similaire.

Références

- [1] Alexandre Devillers and Mathieu Lefort. EquiMod : An Equivariance Module to Improve Visual Instance Discrimination. In *International Conference on Learning Representations*, Kigali, Rwanda, May 2023.
- [2] Simon Forest, Jean-Charles Quinton, and Mathieu Lefort. A dynamic neural field model of multimodal merging : application to the ventriloquist effect. *Neural Computation*, 34(8) :1701–1726, August 2022.
- [3] Simon Forest, Jean-Charles Quinton, and Mathieu Lefort. Combining Manifold Learning and Neural Field Dynamics for Multimodal Fusion. In *2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Padua, Italy, July 2022.

■ Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC)

LPNC
Université de Grenoble-Alpes
Université Savoie Mont Blanc
<https://lpnc.univ-grenoble-alpes.fr/fr>

Martial MERMILLOD

martial.mermillod@univ-grenoble-alpes.fr

Monica BACIU

monica.baciu@univ-grenoble-alpes.fr

Marina REYBOZ

marina.reyboz@cea.fr

Quentin SÉNANT

quentin.senant@univ-grenoble-alpes.fr

Clément GUICHET

clement.guichet@univ-grenoble-alpes.fr

Raphael BAYLE

raphael.bayle@univ-grenoble-alpes.fr

Présentation générale

Notre laboratoire, le LPNC (Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, UMR CNRS 5105) est rattaché à l'Université Grenoble Alpes et à l'Université Savoie Mont Blanc. Nos équipes sont spécialisées dans l'étude des processus cognitifs et neuronaux sous-jacents aux comportements humains, en s'appuyant sur des approches computationnelles et expérimentales. L'équipe impliquée dans ces recherches inclut plusieurs chercheurs permanents, doctorants et post-doctorants spécialisés dans l'in-

telligence artificielle appliquée à la psychologie et aux neurosciences. Le positionnement scientifique de l'équipe repose sur une approche intégrative du traitement de l'information visuelle et des mécanismes attentionnels. L'utilisation des réseaux de neurones profonds, notamment les CNN (Convolutional Neural Networks), permet de modéliser les dynamiques de l'attention et du traitement visuel, en mettant en évidence la complémentarité entre traitements *bottom-up* et *top-down*. Plusieurs publications fondamentales ont démontré l'intérêt des modèles d'apprentissage profond dans la prédiction des



fixations oculaires et des cartes de saillance, notamment les travaux sur les modèles DeepGaze IIE et LayerCAM.

Activités en cours

Nos recherches actuelles visent à élargir l'application des modèles d'apprentissage profond pour le *brain decoding*, en intégrant des données issues de différentes modalités d'imagerie cérébrale telles que l'IRMf (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle), la MEG (magnétoencéphalographie), l'EEG (électroencéphalographie) et l'ECOG (électrocorticographie). Ces approches permettent d'extraire des représentations neuronales des processus cognitifs, et d'étudier comment ces représentations peuvent être décodées à l'aide de réseaux de neurones.

Dans le cadre de doctorats en cours, plusieurs sujets de recherche sont développés :

- **Décodage neuronal des processus attentionnels à partir des fixations oculaires.** Les travaux récents ont permis de montrer que les CNN entraînés à la reconnaissance d'objets ou de visages capturent des régularités similaires à celles observées dans le comportement humain. L'objectif est maintenant d'étendre ces modèles à des données cérébrales pour comprendre comment le cerveau sélectionne les informations pertinentes lors de l'exploration visuelle.
- **Modélisation de la dynamique temporelle de l'attention avec la MEG et l'EEG.** Contrairement aux cartes statiques de saillance, les signaux MEG et EEG permettent d'analyser les fluctuations rapides de l'attention et de tester si les modèles de CNN peuvent déterminer les activités cérébrales relatives à une tâche donnée.
- **Utilisation des réseaux de neurones pour prédire l'activité cérébrale en IRMf lors de tâches cognitives.** L'objectif est d'exploiter des architectures telles que les trans-

formeurs et les CNN pour apprendre des représentations latentes de l'activité cérébrale lors de tâches impliquant différentes fonctions cognitives ainsi que la ré-organisation cérébrale impliquée dans le vieillissement normal et pathologique.

Par ailleurs, plusieurs collaborations internationales sont en cours (*Queensland Brain Institute*, Université de Toronto, Université de Melbourne, etc.). Ces collaborations visent à développer des bases de données de référence pour l'entraînement et la validation des modèles d'apprentissage profond appliqués au *brain decoding*.

Un des aspects clés de la valorisation de ces travaux repose sur la science ouverte. Le code source utilisé dans nos simulations sera accessible en ligne, favorisant la reproductibilité des expériences et l'adoption des méthodes développées par d'autres équipes de recherche.

Conclusion

L'intégration des modèles d'apprentissage profond dans les neurosciences cognitives ouvre des perspectives pour le *brain decoding*. Nos travaux (en cours de publication) montrent que les CNN sont capables de capturer des régularités présentes dans les fixations oculaires et les réponses cérébrales à des stimuli visuels. Cette approche permet de mieux comprendre comment les processus attentionnels sont modulés par les tâches cognitives, et comment les dynamiques neuronales sous-jacentes peuvent être extraites et interprétées. Le domaine est en pleine mutation, notamment avec l'émergence des modèles de type transformeurs qui pourraient surpasser les CNN dans la modélisation des relations complexes entre stimuli et activité cérébrale. L'une des perspectives majeures sera de tester ces nouveaux modèles sur des tâches de reconnaissance visuelle et de classification émotionnelle en lien avec l'IRMf et l'EEG. Enfin, les applications potentielles



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

de ces recherches sont vastes, allant jusqu'à l'amélioration des interfaces cerveau-machine (collaboration en cours avec NeuroSpin et le CEA Clinatec).

Références

- [1] Lucrezia Carboni, Dwight Nwaigwe, Marion Mainsant, Raphael Bayle, Marina Reyboz, Martial Mermillod, Michel Dojat, and Sophie Achard. Exploring continual learning strategies in artificial neural networks through graph-based analysis of connectivity : Insights from a brain-inspired perspective. *Neural Networks*, 185 :107125, 2025.
- [2] Clément Guichet, Sonja Banjac, Sophie Achard, Martial Mermillod, and Monica Baciu. Modeling the neurocognitive dynamics of language across the lifespan. *Human brain mapping*, 45, 2024.
- [3] Clément Guichet, Élise Roger, Arnaud Attyé, Sophie Achard, Martial Mermillod, and Monica Baciu. Midlife dynamics of white matter architecture in lexical production. *Neurobiology of Aging*, 144 :138–152, 2024.
- [4] Maciej Śliwowski, Matthieu Martin, Antoine Souloumiac, Pierre Blanchart, and Tetiana Aksenova. Decoding ECoG signal into 3D hand translation using deep learning. *Journal of Neural Engineering*, 19(2) :026023, March 2022.
- [5] Di Wang, Nicolas Honnorat, Peter T. Fox, Kerstin Ritter, Simon B. Eickhoff, Sudha Seshadri, and Mohamad Habes. Deep neural network heatmaps capture alzheimer's disease patterns reported in a large meta-analysis of neuroimaging studies. *NeuroImage*, 269 :119929, 2023.



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Partie II
Région Grand-Est



■ Équipe projet Inria « NECTARINE »

Inria
Université de Lorraine
<https://www.inria.fr/fr/centre-inria-universite-lorraine>

Axel HUTT
axel.hutt@inria.fr

Camille GONTIER
camille.gontier@inria.fr

Présentation générale

Les membres de l'équipe MIMESIS du Centre Inria de l'Université de Lorraine travaillent sur un ensemble de défis scientifiques dans le domaine du calcul scientifique, de l'assimilation de données, de l'apprentissage automatique et du contrôle avec l'objectif de créer des jumeaux numériques en temps réel d'un organe. MIMESIS est une équipe de recherche Inria située à Strasbourg et fait partie de l'équipe MLMS du centre de recherche strasbourgeois iCube. Les principaux domaines d'application sont la formation chirurgicale et le guidage chirurgical lors d'interventions complexes. L'un des principaux objectifs cliniques est la stimulation efficace du cerveau humain pour atténuer les troubles mentaux.

L'équipe MIMESIS comprend l'équipe NECTARINE, qui se concentre sur la neurostimulation et qui devrait être créée en tant qu'équipe de recherche indépendante à l'été/automne 2025. Les membres de l'équipe NECTARINE seront Axel HUTT (directeur de recherche, chef d'équipe) et Camille GONTIER (ISFP) ensemble avec deux doctorantes. Les membres de l'équipe travailleront dans le domaine des neurosciences computationnelles et se concentreront sur le développement de modèles mathématiques et de nouvelles techniques computationnelles et expérimentales de modulation cérébrale. Ces modulations comprendront des médicaments pharmacologiques et des neurostimulations perceptives et électromagnétiques. Elles viseront à moduler la conscience des sujets, leur ni-

veau d'attention ou leur capacité de prédiction temporelle. Les modèles théoriques impliquent une dynamique stochastique et relient plusieurs échelles de description de l'activité neuronale, tandis que les nouvelles techniques informatiques empruntent des idées à ces modèles et comprennent diverses techniques d'apprentissage automatique, telles que l'apprentissage actif. Les techniques expérimentales comprennent l'électroencéphalographie, la stimulation visuelle et auditive et le retour d'information en temps réel sur les performances. Un élément essentiel est la fusion des modèles neuronaux et des données expérimentales. Les principales applications sont l'amélioration des déficits d'attention chez l'être humain, tels qu'observés dans le TDAH et la dépression majeure, et l'amélioration des prédictions temporelles toujours chez l'être humain, telles qu'observées dans la schizophrénie. Les membres de NECTARINE travaillent avec l'équipe Psychiatrie de l'UMR INSERM 1329.

Les publications récentes pertinentes peuvent être trouvées à la fin de la présente contribution.

Activités en cours

Au sein de l'équipe NECTARINE, la doctorante Negin MAZJoubi travaille sur l'amélioration des déficits d'attention humaine par retour de performance (octobre 2024-septembre 2027). Elle travaille sur une tâche expérimentale incluant le comportement et l'électroencéphalographie (EEG) avec un retour de performance de comportement en temps réel.



Elle analysera les données comportementales et EEG à l'aide de techniques d'apprentissage automatique afin de détecter les interrelations entre les caractéristiques comportementales et spectrales de l'EEG. Negin effectue ce travail en étroite collaboration avec Anne BONNEFOND à l'UMR INSERM 1329 de Strasbourg.

Dans sa thèse, Telma NETTE travaille sur la modulation de la prédiction temporelle avec la stimulation magnétique transcrânienne (SMTr) et applique des approches de modélisation pour ajuster les paramètres de stimulation pour la schizophrénie. Les données comportementales et EEG enregistrées chez des patients schizophrènes reflètent l'impact de la SMTr sur le cerveau des sujets. Le modèle informatique comprend l'apprentissage automatique des données enregistrées et la description mathématique des caractéristiques spectrales de l'EEG. Telma travaille à la fois dans l'équipe NECTARINE et avec Anne GIERSCHE à l'URM INSERM 1329. Les expériences de SMTr sont réalisées au centre de neurostimulation de Strasbourg CEMNIS.

En outre, l'équipe NECTARINE entretient une collaboration étroite et de longue date avec Jérémie LEFEBVRE de l'Université d'Ottawa. Cette collaboration porte sur la question de savoir comment décrire mathématiquement la réponse du réseau neuronal à une stimulation externe, ce qui a donné lieu à plusieurs publications récentes [6, 5, 7, 4, 8].

Outre ces activités de recherche, les membres de NECTARINE se penchent sur la question de savoir comment les médias numériques affectent l'état mental des utilisateurs. Dans un travail récent [2], nous avons examiné comment les médias numériques induisent une dépendance chez les utilisateurs et comment l'utilisation intensive des outils Internet nuit au cerveau des enfants, des jeunes adolescents et des adultes. Récemment, ce travail a été étendu à l'étude des dangers de l'intelligence

artificielle pour les personnes privées, les entreprises, les sociétés et la nature. Des demandes ultérieures ont été formulées pour atténuer les dangers de l'IA et protéger nos sociétés et la nature mondiale.

Références

- [1] Gabriel Alves Castro, Anne Bonnefond, Bich-Thuy Pham, and Axel Hutt. Sustained attention in attention-deficit subjects and the impact of binaural beat stimulation evaluated by behavior and EEG. working paper or preprint, March 2025.
- [2] B. Dresch-Langley and A. Hutt. Digital addiction and sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 2022.
- [3] Axel Hutt and Anthony G. Hudetz. Arousal system stimulation and anesthetic state alter visuoparietal connectivity. *Frontiers in Systems Neuroscience*, Volume 17, 2023.
- [4] Axel Hutt, Scott Rich, Taufik Valiante, and Jérémie Lefebvre. Intrinsic neural diversity quenches the dynamic volatility of neural networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(28) :e2218841120, 2023.
- [5] Axel Hutt, Daniel Trotter, Aref Pariz, Taufik A Valiante, and Jérémie Lefebvre. Diversity-induced trivialization and resilience of neural dynamics. *Chaos : An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 34(1), January 2024.
- [6] Jérémie Lefebvre, Andrew Clappison, André Longtin, and Axel Hutt. Myelin-induced gain control in nonlinear neural networks. *Communications Physics*, 8(1) :145, April 2025.
- [7] Jérémie Lefebvre and Axel Hutt. Induced synchronisation by endogenous noise modulation in finite-size random neural



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- networks : a stochastic mean-field study. *Chaos : An Interdisciplinary Journal of Non-linear Science*, July 2023.
- [8] Aref Pariz, Daniel Trotter, Axel Hutt, and Jérémie Lefebvre. Selective control of synaptic plasticity in heterogeneous networks through transcranial alternating current stimulation (tacs). *PLOS Computational Biology*, 19 :e1010736, 04 2023.
- [9] Thomas Wahl, Joséphine Riedinger, Michel Duprez, and Axel Hutt. Delayed closed-loop neurostimulation for the treatment of pathological brain rhythms in mental disorders : a computational study. *Frontiers in Neuroscience*, Volume 17, 2023.



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Partie III
Région Île-de-France



AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

■ Équipe projet Inria « ARAMIS » de l'Institut du Cerveau

ARAMIS
Institut du Cerveau
<https://institutducerveau.org/>

Olivier COLLIOT
olivier.colliot@inria.fr

Ninon BURGOS
ninon.burgos@cns.fr

Présentation générale

ARAMIS est une équipe-projet Inria au sein de l'Institut du Cerveau situé à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Assistance Publique – Hôpitaux de Paris [AP-HP]) à Paris. Créée en 2014, ARAMIS est affiliée conjointement à Inria, au CNRS, à l'Inserm et à Sorbonne Université. L'équipe est dirigée par Olivier COLLIOT (DR CNRS) et Ninon BURGOS (CR CNRS), et regroupe une trentaine de membres, parmi lesquels plusieurs chercheurs permanents : Stanley DURRLEMAN (DR Inria), Baptiste COUVY-DUCHESNE (ISFP Inria), Daniel RACOCEANU (PU Sorbonne Université) et Sophie TEZENAS du Montcel (MCU-PH Sorbonne Université – AP-HP), ainsi que des post-doctorants, doctorants, ingénieurs et stagiaires.

ARAMIS est située à la fois dans un grand hôpital et dans un institut de neurosciences de premier plan. L'hôpital de la Pitié-Salpêtrière est le plus grand hôpital pour adultes en Europe. C'est un centre de référence pour les maladies neurologiques : par sa taille (environ 20 000 patients neurologiques par an), son niveau d'expertise clinique et la qualité de son plateau technique. Créé en 2010, l'Institut du Cerveau (ICM) regroupe l'ensemble des activités de recherche en neurosciences et en neurologie de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière. L'ICM est à la fois une fondation privée et une unité de recherche publique (affiliée au CNRS, à l'Inserm et à Sorbonne Université). L'Institut héberge 29 équipes de recherche ainsi que divers équipements tech-

niques de haut niveau (neuro-imagerie, génotypage/séquençage, culture cellulaire, imagerie cellulaire, bioinformatique, etc.), et rassemble plus de 800 personnes. En outre, l'ICM héberge l'un des sept Instituts Hospitalo-Universitaires. La position unique d'ARAMIS au sein de cet écosystème présente plusieurs avantages : le contact direct avec les neuroscientifiques et les cliniciens permet de prévoir l'émergence de nouveaux problèmes et les possibilités de nouveaux développements méthodologiques, donne accès à des ensembles de données uniques et facilite le transfert des résultats vers la recherche clinique et la pratique clinique.

L'équipe ARAMIS se consacre à la conception d'approches informatiques, mathématiques et statistiques pour l'analyse des données multimodales des patients dans les troubles cérébraux, en mettant l'accent sur les données d'imagerie. Les principaux domaines méthodologiques de l'équipe sont l'apprentissage automatique, la science des données et le traitement d'images médicales. Ces nouvelles approches sont appliquées à la recherche clinique dans les troubles cérébraux en collaboration avec d'autres équipes de l'ICM, des départements cliniques de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière et des partenaires extérieurs, en particulier dans le domaine des troubles neurodégénératifs (maladie d'Alzheimer et autres démences, maladie de Parkinson), de la sclérose en plaques et des troubles du développement. Les principaux objectifs de l'équipe sont donc doubles : i) faire progresser l'état de l'art



dans les domaines de l'apprentissage automatique et de la science des données pour les soins de santé ; ii) construire des outils numériques utiles pour mieux comprendre, diagnostiquer et prédire les troubles cérébraux et créer la prochaine génération d'essais cliniques.

Activités en cours

L'équipe ARAMIS mène des recherches pour mieux comprendre les maladies du cerveau et améliorer leur diagnostic grâce à l'analyse de données médicales. Elle s'intéresse notamment à l'imagerie cérébrale, au suivi de l'évolution des maladies, à l'impact des facteurs génétiques et environnementaux, à l'étude automatisée de lames microscopiques, et participe à des études de recherche clinique.

Imagerie du cerveau et intelligence artificielle au service du diagnostic neurologique.

La neuroimagerie (comme l'imagerie par résonance magnétique [IRM] ou la tomographie par émission de positons [TEP]) permet d'observer les changements dans le cerveau liés à certaines maladies, que ce soit au niveau de sa structure, de son fonctionnement ou de ses mécanismes biologiques. L'équipe développe des outils informatiques pour extraire automatiquement des indices utiles (appelés biomarqueurs) à partir de ces images, et pour aider les médecins dans le diagnostic. Concrètement, elle travaille sur : i) des modèles de synthèse d'images capables de générer des biomarqueurs de processus pathologiques spécifiques à partir de données d'imagerie de routine non spécifiques ; ii) des méthodes pour détecter automatiquement des anomalies dans les images ; iii) des cadres pour une évaluation reproductible et fiable des systèmes d'aide au diagnostic ; iv) des techniques utilisant de grandes bases de données d'imagerie issues des hôpitaux pour entraîner et valider ces outils.

La plupart des systèmes d'aide au diagnostic basés sur l'intelligence artificielle ont été conçus et testés à partir de bases de données issues de la recherche. On en sait donc peu sur leurs performances en conditions réelles, dans le cadre des soins courants. Pour répondre à cette question, l'équipe utilise actuellement des données issues de la vie réelle, extraites de l'entrepôt de données de santé de l'AP-HP, qui regroupe des informations sur des millions de patients. Un défi majeur dans ce contexte concerne la qualité et l'hétérogénéité des images médicales. L'équipe a ainsi développé des outils d'apprentissage profond capables de détecter automatiquement la qualité d'images IRM anatomiques [2, 8, 7]. Ces étapes de contrôle qualité ont ensuite permis d'évaluer les performances d'algorithmes d'aide au diagnostic sur ces données cliniques. L'équipe a pu constater que leurs résultats étaient bien moins bons que sur des données de recherche, ce qui montre l'importance de tester ces outils dans des conditions réelles [1].

Modélisation de la progression des maladies à partir de données collectées sur la durée.

Les données dites longitudinales, c'est-à-dire recueillies chez plusieurs personnes à différents moments de leur vie, permettent de mieux comprendre comment évoluent certains phénomènes comme le vieillissement ou la progression d'une maladie. L'équipe développe de nouvelles méthodes pour analyser ces données dans le but de suivre l'évolution de signes cliniques ou de biomarqueurs, et de comprendre comment ces évolutions varient d'une personne à l'autre. Ces approches sont appliquées à plusieurs maladies neurodégénératives, afin de mieux comprendre pourquoi la maladie évolue différemment selon les individus, d'anticiper la progression chez un nouveau patient (par exemple, lors de son entrée dans un essai clinique), ou encore de créer de nouveaux outils



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

de mesure plus précis pour évaluer l'efficacité des traitements.

Pour la maladie d'Alzheimer, l'outil développé permet de représenter l'évolution typique des symptômes et des marqueurs biologiques au fil du temps, tout en tenant compte des différences entre les patients, comme l'âge de début ou la vitesse de progression [5, 9]. Cet outil permet de positionner chaque patient sur une carte de la maladie, de prévoir l'évolution de ses troubles dans les années à venir, et d'identifier les personnes les plus à risque de déclin, ce qui facilite le ciblage des essais cliniques et la personnalisation du suivi. Des approches similaires ont été appliquées à la maladie de Huntington où le modèle permet de prédire, pour chaque patient, l'évolution de différents symptômes moteurs, cognitifs et fonctionnels, jusqu'à cinq ans à l'avance [6]. Cela aide à sélectionner les participants les plus susceptibles de progresser rapidement, ce qui rend les essais cliniques plus efficaces et nécessite moins de participants. Enfin, des travaux sur la maladie de Parkinson ont permis de mieux comprendre les différentes trajectoires possibles de la maladie, en identifiant les sous-groupes de patients et en anticipant l'apparition de nouveaux symptômes [4]. Ces travaux ont mené à la création de la start-up [Qairnel](#), incubée à l'ICM.

Données d'imagerie, génétiques et environnementales à grand échelle pour l'étude des maladies neurologiques.

La recherche en neuroimagerie connaît un tournant grâce à l'accès à de très grandes bases de données, comme celle de la UK Biobank qui réunit les données de plus de 50 000 volontaires issus de la population générale. Pour chacun, nous disposons de plusieurs séquences d'IRM cérébrale, d'informations génétiques et d'un grand nombre de données sur leur mode de vie et leur santé. Ces données permettent de mieux comprendre comment la structure et le fonc-

tionnement du cerveau sont liés à certains facteurs de risque ou à différentes maladies, et d'améliorer la capacité à prédire ces risques. Toutefois, ces données posent aussi des défis importants en matière de traitement et d'analyse. L'équipe développe donc de nouveaux outils informatiques capables de gérer ces données complexes et variées, et d'en extraire des informations utiles, en combinant par exemple des données issues de l'imagerie cérébrale, de la génétique et de l'environnement.

L'équipe a par exemple identifié, en analysant les données d'imagerie cérébrale de milliers de personnes issues de plusieurs grandes cohortes internationales, les régions du cerveau dont la diminution de volume est spécifiquement liée à la maladie d'Alzheimer [3]. Ces marqueurs structurels, robustes et validés sur des populations très diverses, permettent d'améliorer la détection précoce de la maladie et de mieux prédire le risque de progression chez les personnes à risque. Ces travaux montrent que l'analyse croisée de grandes bases de données d'imagerie permet d'identifier des signatures cérébrales fiables, utiles pour le diagnostic et le suivi personnalisé des patients.

Imagerie microscopique et intelligence artificielle pour décrypter les mécanismes des maladies neurologiques.

En complément de l'imagerie cérébrale, qui permet d'observer le cerveau à l'échelle macroscopique, l'analyse d'images microscopiques ouvre une fenêtre sur les mécanismes des maladies à l'échelle cellulaire. Grâce à des outils d'intelligence artificielle, il est désormais possible d'examiner de très grandes images de tissus (comme en histologie) et d'en extraire automatiquement des informations précises sur la structure et l'organisation des cellules. Ces approches permettent de détecter des changements subtils liés à la maladie, d'identifier des sous-groupes de patients, et de mieux comprendre la complexité



des processus biologiques en jeu. En croisant ces données microscopiques avec celles issues de l'imagerie cérébrale ou de la génétique, il est possible de construire des modèles plus complets et plus prédictifs. Ces méthodes sont, par exemple, utilisées pour analyser les dépôts de protéines dans la maladie d'Alzheimer ou étudier certaines cellules du cerveau dans des modèles expérimentaux comme les organoïdes.

L'équipe a récemment conçu PhagoStat, un outil innovant qui utilise l'intelligence artificielle pour analyser automatiquement et de façon interprétable de grandes images de cellules observées au microscope afin d'étudier la phagocytose, un processus clé du système immunitaire impliqué dans les maladies neurodégénératives. Cette chaîne de traitement, capable de traiter d'importants volumes de données et de vérifier leur qualité, intègre des modules d'explication visuelle qui rendent ses résultats transparents et compréhensibles, contrairement aux approches classiques dites « boîtes noires ». Grâce à cette méthode, l'équipe a pu mettre en évidence que, dans la démence frontotemporale, certaines cellules immunitaires du cerveau (les microglies) sont plus grandes et plus actives que chez les sujets témoins, apportant ainsi de nouvelles connaissances sur les mécanismes cellulaires de la maladie [10].

Conclusion

L'approche multidisciplinaire d'ARAMIS, combinant apprentissage automatique, modélisation statistique et traitement d'images, vise à améliorer la compréhension, le diagnostic et le suivi des maladies neurologiques. L'équipe poursuit plusieurs priorités clés comme le développement de méthodes robustes et explicables permettant l'exploitation de données de vie réelle issues d'entrepôts de données de santé hospitaliers ou du Système National des Données de Santé (SNDS). Elle promeut également la recherche ouverte et repro-

ductible en développant plusieurs outils open-source comme [Clinica](#), [ClinicaDL](#) et [Leaspy](#), facilitant l'analyse d'images cérébrales et de données longitudinales.

Références

- [1] Simona Bottani, Ninon Burgos, Aurélien Maire, Dario Saracino, Sebastian Ströer, Didier Dormont, and Olivier Colliot. Evaluation of MRI-based machine learning approaches for computer-aided diagnosis of dementia in a clinical data warehouse. *Medical Image Analysis*, 89 :102903, 2023.
- [2] Simona Bottani, Ninon Burgos, Aurélien Maire, Adam Wild, Sebastian Ströer, Didier Dormont, and Olivier Colliot. Automatic quality control of brain T1-weighted magnetic resonance images for a clinical data warehouse. *Medical Image Analysis*, 75 :102219, 2022.
- [3] Baptiste Couvy-Duchesne, Vincent Frouin, Vincent Bouteloup, Nikitas Koussis, Julia Sidorenko, Jiyang Jiang, Alle Meije Wink, Luigi Lorenzini, Frederik Barkhof, Julian N. Trollor, Jean-François Mangin, Perminder S. Sachdev, Henry Brodaty, Michelle K. Lupton, Michael Breakspear, Olivier Colliot, Peter M. Visser, Naomi R. Wray, for the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative, the Australian Imaging Biomarkers and Lifestyle flagship study of ageing, the Alzheimer's Disease Repository Without Borders Investigators, and the MEMENTO cohort Study Group. Grey-Matter Structure Markers of Alzheimer's Disease, Alzheimer's Conversion, Functioning and Cognition : A Meta-Analysis Across 11 Cohorts. *Human Brain Mapping*, 46(2) :e70089, 2025.



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- [4] Cécile Di Folco, Raphaël Couronné, Isabelle Arnulf, Graziella Mangone, Smaranda Leu-Semenescu, Pauline Dodet, Marie Vidailhet, Jean-Christophe Corvol, Stéphane Lehericy, and Stanley Durrleman. Charting Disease Trajectories from Isolated REM Sleep Behavior Disorder to Parkinson's Disease. *Movement Disorders*, 39(1) :64–75, 2024.
- [5] Igor Koval, Alexandre Bône, Maxime Louis, Thomas Lartigue, Simona Bottani, Arnaud Marcoux, Jorge Samper-González, Ninon Burgos, Benjamin Charlier, Anne Bertrand, Stéphane Epelbaum, Olivier Colliot, Stéphanie Allasonnière, and Stanley Durrleman. AD Course Map charts Alzheimer's disease progression. *Scientific Reports*, 11(1) :8020, 2021.
- [6] Igor Koval, Thomas Dighiero-Brecht, Allan J. Tobin, Sarah J. Tabrizi, Rachael I. Scahill, Sophie Tezenas du Montcel, Stanley Durrleman, and Alexandra Durr. Forecasting individual progression trajectories in Huntington disease enables more powered clinical trials. *Scientific Reports*, 12(1) :18928, 2022.
- [7] Sophie Loizillon, Simona Bottani, Aurélien Maire, Sebastian Ströer, Lydia Chougar, Didier Dormont, Olivier Colliot, and Ninon Burgos. Automatic quality control of brain 3D FLAIR MRIs for a clinical data warehouse. *Medical Image Analysis*, 103 :103617, 2025.
- [8] Sophie Loizillon, Simona Bottani, Aurélien Maire, Sebastian Ströer, Didier Dormont, Olivier Colliot, and Ninon Burgos. Automatic motion artefact detection in brain T1-weighted magnetic resonance images from a clinical data warehouse using synthetic data. *Medical Image Analysis*, 93 :103073, 2024.
- [9] Etienne Maheux, Igor Koval, Juliette Ortholand, Colin Birkenbihl, Damiano Archetti, Vincent Bouteloup, Stéphane Epelbaum, Carole Dufouil, Martin Hofmann-Apitius, and Stanley Durrleman. Forecasting individual progression trajectories in Alzheimer's disease. *Nature Communications*, 14(1) :761, 2023.
- [10] Mehdi Ounissi, Morwena Latouche, and Daniel Racoceanu. PhagoStat a scalable and interpretable end to end framework for efficient quantification of cell phagocytosis in neurodegenerative disease studies. *Scientific Reports*, 14(1) :6482, 2024.

■ Plateforme « Analyse de données » de l'Institut NeuroPSI

NeuroPSI
CNRS, Université Paris-Saclay
<https://neuropsi.cnrs.fr/>

Thomas DENEUX
thomas.deneux@cnrs.fr

Présentation générale

La plateforme « Analyse de données » de l'Institut de Neurosciences Paris-Saclay (NeuroPSI) apporte une aide technique à la vingtaine d'équipes de l'Institut pour toutes leurs

problématiques d'analyse de données, ainsi que de mise en place de l'acquisition de ces données.

En effet, les données de neurosciences modernes sont des données à la fois de grand volume et d'une grande hétérogénéité, entre



mesures électrophysiologiques, optiques, génétiques et de comportement. Le prétraitement de ces données, pour en extraire l'information pertinente comme leur analyse à proprement parler pour mettre au jour le fonctionnement neuronal, fait appel à de nombreuses techniques basées sur l'apprentissage automatique (analyse d'image, *tracking* dans des vidéos, réduction de dimension sur l'activité de populations neuronales, recherche de causalité entre différents phénomènes mesurés, modélisation par des réseaux de neurones artificiels, etc.) La plateforme fournit une aide diversifiée sur ces différents sujets.

La plateforme assure également une formation des étudiants à la programmation et à l'IA, notamment à travers l'accompagnement sur leurs projets.

Par ailleurs, une activité de recherche tout à fait originale s'est développée au sein de la plateforme avec la création d'une solution innovante pour enseigner l'intelligence artificielle, basée sur la manipulation de robots apprenants depuis une interface graphique, qui a donné lieu à la création de la startup *Learning Robots*. Cette solution sert de base donc à une recherche en Sciences de l'Éducation menée en partenariat avec d'autres instituts (HEPL à Lausanne, *Education University of Hong Kong*).

Nous renvoyons le lecteur à des publications récentes en Sciences de l'Éducation [1, 2, 5, 6] et des publications en lien avec l'activité « Analyse de Données » [3, 4].

Activités en cours

Étudiants. La doctorante Marie ABSALON, co-encadrée par Thomas DENEUX, Maud BESANÇON (LP3C, Université de Rennes) et Morgane CHEVALIER (Haute École Pédagogique de Lausanne), a développé une recherche dans le domaine de la Métacognition (« Apprendre à apprendre »), en montrant la

pertinence d'ateliers d'initiation à l'IA et à l'apprentissage automatique pour questionner les apprentissages des élèves. Elle soutiendra sa thèse en décembre 2025.

Collaborations. Avec :

- Morgane CHEVALIER, à la Haute École Pédagogique de Lausanne, dans le contexte de la thèse de Marie ABSALON ;
- Siu Cheung KONG, professeur à la *Education University of Hong Kong*, qui a développé un programme de *AI literacy* dans l'enseignement secondaire basé sur la solution innovante développée par notre équipe. Un de ses projets de recherche implique des expérimentations de ce programme dans des classes française avec notre collaboration, pour en montrer la pertinence à une échelle internationale.

Valorisation. Création en 2020 de la startup *Learning Robots* par Thomas DENEUX et Axel HAENTJENS, qui commercialise la solution d'enseignement de l'IA dans l'enseignement secondaire, supérieur, et en entreprise. À noter :

- Thomas DENEUX est actuellement en mise à disposition à 50% de son temps au bénéfice de l'entreprise *Learning Robots* ;
- *Learning Robots* vend la solution, mais également assure des formations d'enseignement de l'IA. Elle a un partenariat appuyé notamment avec l'Université Paris-Saclay.

Conclusion

Les développements rapides et impressionnants de l'IA imposent une adaptation rapide de la société. Un concours de circonstances a fait qu'au-delà de l'aide que notre plateforme apporte sur ces sujets à l'Institut NeuroPSI, nous avons développé une solution unique à une



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

échelle internationale, qui répond à un besoin en termes de formation.

Dans ce contexte nous cherchons à poursuivre nos recherches pour à la fois trouver de nouveaux usages de cette solution, et continuer de la faire évoluer, notamment en y apportant les résultats de travaux en explicabilité de l'IA.

Références

- [1] Marie Absalon and Thomas Deneux. AlphAI : Teaching ai algorithms to k12 by training learning robots and visualizing how it works. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 39(28) :29096–29103, Apr. 2025.
- [2] Marie Absalon, Thomas Deneux, Maud Besançon, and Morgane Chevalier. Fostering metacognitive behaviors through ai-driven educational robotics in mathematical problem solving. In *Proceedings Robotics in Education*, Thessaloniki, April 2025.
- [3] Philipp Berens, Jeremy Freeman, Thomas Deneux, Nikolay Chenkov, Thomas McColgan, Artur Speiser, Jakob H. Macke, Srinivas C. Turaga, Patrick Mineault, Peter Rupprecht, Stephan Gerhard, Rainer W. Friedrich, Johannes Friedrich, Liam Paminski, Marius Pachitariu, Kenneth D. Harris, Ben Bolte, Timothy A. Machado, Dario Ringach, Jasmine Stone, Luke E. Rongerson, Nicolas J. Sofroniew, Jacob Reimer, Emmanouil Froudarakis, Thomas Euler, Miroslav Román Rosón, Lucas Theis, Andreas S. Tolias, and Matthias Bethge. Community-based benchmarking improves spike rate inference from two-photon calcium imaging data. *PLoS computational biology*, 14, 2018.
- [4] Giulio Bondanelli, Thomas Deneux, Brice Bathellier, and Srdjan Ostojic. Network dynamics underlying off responses in the auditory cortex. *eLife*, 10 :e53151, mar 2021.
- [5] Marie Martin, Morgane Chevalier, Stéphanie Burton, Guillaume Bonvin, Maud Besançon, and Thomas Deneux. Effects of Introducing a Learning Robot on the Metacognitive Knowledge of Students Aged 8–11. In *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 747, volume 747 of *Lecture Notes in Networks and Systems*, pages 169–183, Limassol (Chypre), Cyprus, April 2023. Cyprus Computer Society, Springer Nature Switzerland.
- [6] Marie Martin, Thomas Deneux, and Morgane Chevalier. *From Automaton to AI Robot : the Added Value for Learning*, pages 403–410. Springer Nature Switzerland, Cham, 09 2024.

■ Équipe « Motivation, Brain and Behavior research » de l'ICM

MBB

Institut du Cerveau

<https://sites.google.com/site/motivation-brainbehavior/>

Jean DAUNIZEAU

jean.daunizeau@gmail.com

Présentation générale

The Motivation, Brain and Behavior (MBB) research team at the Paris Brain Insti-

tute (ICM) focuses on understanding motivation from a cognitive neuroscience perspective. Please visit [our website](#).

The group is co-headed by Mathias PES-



SIGLIONE (DR INSERM, neuropsychologist) and Jean DAUNIZEAU (DR INSERM, physicist), and includes four additional full-time researchers : Sébastien BOURET (DR CNRS, biologist), Marion ROUAULT (CR CNRS, biologist), Fabien VINCKIER (PUPH, psychiatrist) and Raphaël LÉBOUC (PH, neurologist). MBB's research is deeply interdisciplinary, combining functional neuroimaging in humans, electrophysiological recordings in non-human primates, clinical investigations in neuropsychiatric populations and computational modelling. Together, these approaches aim to build an integrated understanding of the neurocomputational underpinnings of motivation, with translational applications in mental health, behavioral science, and societal well-being.

In brief, we think of motivation as the set of psychobiological processes that enable the brain to form goals and transform these into action. A goal can be reduced to a situation with anticipated positive (hedonic) value : earning money, performing well, being loved, etc. However, goal achievement typically involves investing effort, which is inherently aversive. Hence, goal-directed behavior necessarily trades incentive values with effort costs. This raises three basic questions, which form the backbone of MBB's research program :

1. how does the brain compute net value (e.g., from prospective benefits and costs) ?
2. how do psychological (e.g., fatigue or mood) and/or biological (e.g., limited neural firing range) constraints influence value computations ?
3. how do value computations determine behavioral outputs (choices, allocated effort, etc.) ?

Activités en cours

We start with the premise that most motivational processes (e.g., value computations) can be traced back in the structure of macro-

scale brain activity, as measured with modern neuroimaging and/or electrophysiology techniques [6, 8, 13]. Typically, value computations involve many regions in the brain (from mid-brain nuclei to basal ganglia, to limbic and pre-frontal cortices), whose contribution to behavior may depend upon the context (e.g., the specific goal that the brain is pursuing). In other words, value computations are distributed across large-scale neural circuits, whose connectivity architecture governs the flow and integration of information.

Critically, this architecture is dynamically modulated by neuromodulatory systems, whose activity fluctuates both physically (in response to stimuli) and tonically (according to internal states). In particular, we have shown that most neuromodulatory systems influence the motivational cost-benefit arbitrages that underlie decision making and effort production [9, 15]. However, when altered, these mechanisms may lead to maladaptive behaviors and underlie the pathophysiology of motivational disorders in various neurological and psychiatric conditions [11, 16].

Understanding the mechanics of motivational processes from the multimodal observation of brain activity and behavior thus requires relating processes of value computation to the neurobiology of brain networks in a quantitative manner. To do this, we develop formal mathematical theories that borrow from diverse academic fields, such as Artificial Intelligence, Control Engineering and Statistical Physics. Example research projects that heavily rely on computational modelling include :

- Identifying the biological constraints on value computations in the orbitofrontal cortex using fMRI/electrophysiology and artificial neural network models [1, 10].
- Decomposing the brain's motivational control of its own attentional resources using optogenetics in mice (in collaboration



with Eric Burguière's team at the ICM) and Markov decision processes [2, 7, 14]. This project includes a clinical application in humans in the context of Attention Deficit and Hyperactivity Disorders (ADHD).

- Investigating the role of different kinds of biological resource constraints on mental fatigue using fMRI and optimal control theory [17], with applications to burnout and depression.

Note that most computational models for behavioral and neurobiological data are partly unspecified (i.e., they have unknown parameters) and nonlinear. This makes them difficult to peer with a formal statistical data analysis framework. In turn, this compromises the reproducibility of model-based empirical studies. The team has thus developed a stand-alone academic freeware (**VBA: Variational Bayesian Analysis**) that provides flexible and efficient solutions to the three problems of model-based analysis of empirical data : (i) data simulation, (ii) parameter estimation/model selection, and (iii) experimental design optimization [3].

When we first released it, VBA was simply extending existing machine learning techniques for nonlinear system identification with state-of-the-art probabilistic model comparison approaches. We then progressively augmented the toolbox with a library of both standard and in-house computational models, including, e.g., artificial agents [4, 5] and whole-brain network models of behavior [12].

VBA has now become an open-science participative project, with an ever-growing community of users and contributors (above 1800 researchers worldwide at present). Interestingly, published applications of VBA (currently : more than 400 papers written by international research teams) extends much beyond its original aim, effectively ranging from cognitive psychology to neuroscience, to physiology, genetics, epidemiology, physics, engineering and AI.

VBA is now featured as an established academic tool for model-based data analysis in computational biology.

Conclusion

More generally, the team's long-term objective is to develop a neuro-computational model that captures the psycho-physiological determinants of human behavior. Such a model would enable predictions of behavioral outcomes resulting from changes in inputs to the motivational system—whether external (e.g., new information or environmental context) or internal (e.g., metabolic state, pharmacological modulation). This framework would have wide-ranging applications. In clinical settings, it could support individualized patient profiling and thereby guide the development of personalized diagnostic and therapeutic strategies for motivational dysfunctions observed in neuropsychiatric disorders. In organizational management, it could inform the design of work environments that promote productivity while reducing the risk of burnout. In economics, it could help mitigate irrational behaviors driven by evolutionarily shaped heuristics that are often poorly suited to the modern world.

Références

- [1] Jules Brochard and Jean Daunizeau. Efficient value synthesis in the orbitofrontal cortex explains how loss aversion adapts to the ranges of gain and loss prospects. *eLife*, 13 :e80979, December 2024.
- [2] Juliette Bénon, Douglas Lee, William Hopper, Morgan Verdeil, Mathias Pessiglione, Fabien Vinckier, Sebastien Bouret, Marion Rouault, Raphael Lebouc, Giovanni Pezzulo, Christiane Schreiweis, Eric Burguière, and Jean Daunizeau. The online metacognitive control of decisions. *Communications Psychology*, 2(1) :1–17,



- March 2024. Publisher : Nature Publishing Group.
- [3] Jean Daunizeau, Vincent Adam, and Lionel Rigoux. VBA : a probabilistic treatment of nonlinear models for neurobiological and behavioural data. *PLoS computational biology*, 10(1) :e1003441, January 2014.
- [4] Marie Devaine, Aurore San-Galli, Cinzia Trapanese, Giulia Bardino, Christelle Hano, Michel Saint Jalme, Sebastien Bouret, Shelly Masi, and Jean Daunizeau. Reading wild minds : A computational assay of Theory of Mind sophistication across seven primate species. *PLoS Computational Biology*, 13(11) :e1005833, November 2017.
- [5] Baudouin Forgeot d'Arc, Marie Devaine, and Jean Daunizeau. Social behavioural adaptation in Autism. *PLoS Computational Biology*, 16(3) :e1007700, March 2020.
- [6] Maël Lebreton, Raphaëlle Abitbol, Jean Daunizeau, and Mathias Pessiglione. Automatic integration of confidence in the brain valuation signal. *Nature Neuroscience*, 18(8) :1159–1167, August 2015. Publisher : Nature Publishing Group.
- [7] Douglas G. Lee and Jean Daunizeau. Trading mental effort for confidence in the metacognitive control of value-based decision-making. *eLife*, 10 :e63282, April 2021.
- [8] Alizée Lopez-Persem, Julien Bastin, Mathilde Petton, Raphaëlle Abitbol, Katia Lehongre, Claude Adam, Vincent Navarro, Sylvain Rheims, Philippe Kahane, Philippe Domenech, and Mathias Pessiglione. Four core properties of the human brain valuation system demonstrated in intracranial signals. *Nature Neuroscience*, 23(5) :664–675, May 2020. Publisher : Nature Publishing Group.
- [9] Florent Meyniel, Guy M. Goodwin, Jf William Deakin, Corinna Klinge, Christine MacFadyen, Holly Milligan, Emma Mullings, Mathias Pessiglione, and Raphaël Gaillard. A specific role for serotonin in overcoming effort cost. *eLife*, 5 :e17282, November 2016.
- [10] Mathias Pessiglione and Jean Daunizeau. Bridging across functional models : The OFC as a value-making neural network. *Behavioral Neuroscience*, 135(2) :277–290, April 2021.
- [11] Mathias Pessiglione, Fabien Vinckier, Sébastien Bouret, Jean Daunizeau, and Raphaël Le Bouc. Why not try harder? Computational approach to motivation deficits in neuro-psychiatric diseases. *Brain : A Journal of Neurology*, 141(3) :629–650, March 2018.
- [12] L. Rigoux and J. Daunizeau. Dynamic causal modelling of brain-behaviour relationships. *NeuroImage*, 117 :202–221, August 2015.
- [13] Aurore San-Galli, Chiara Varazzani, Raphaëlle Abitbol, Mathias Pessiglione, and Sebastien Bouret. Primate Ventromedial Prefrontal Cortex Neurons Continuously Encode the Willingness to Engage in Reward-Directed Behavior. *Cerebral Cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 28(1) :73–89, January 2018.
- [14] C. Schreiweis, M. Euvrard, E. Burguière, and J. Daunizeau. The metacognitive control of decisions predicts whether and how mice override their default policy, January 2023. Pages : 2023.01.04.522806 Section : New Results.
- [15] Chiara Varazzani, Aurore San-Galli, Sophie Gilardeau, and Sebastien Bouret. Noradrenaline and dopamine neurons in the



- reward/effort trade-off : a direct electrophysiological comparison in behaving monkeys. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 35(20) :7866–7877, May 2015.
- [16] Fabien Vinckier, Lionel Rigoux, Delphine Oudiette, and Mathias Pessiglione. Neuro-computational account of how mood fluctuations arise and affect decision making. *Nature Communications*, 9(1) :1708, April 2018. Publisher : Nature Publishing Group.
- [17] Antonius Wiehler, Francesca Branzoli, Isaac Adanyeguh, Fanny Mochel, and Mathias Pessiglione. A neuro-metabolic account of why daylong cognitive work alters the control of economic decisions. *Current biology : CB*, 32(16) :3564–3575.e5, August 2022.

■ Équipe Neurocybernétique du laboratoire ETIS

Neurocybernétique
Cergy-Paris Université
<https://www.etis-lab.fr/neuro/>

Nicolas CUPERLIER
nicolas.cuperlier@cyu.fr

Présentation générale

L'équipe Neurocybernétique du laboratoire ETIS (UMR 8051 CNRS, CY Cergy-Paris Université, ENSEA) s'inspire de l'intelligence humaine et animale pour développer des modèles computationnels et robotiques pour l'apprentissage en intelligence artificielle incarnée et en robotique bio-inspirées. Elle utilise ces modèles d'IA et de systèmes robotiques physiques et simulés comme outils pour la compréhension de la cognition humaine et animale. Elle s'inspire de la biologie, des sciences comportementales et des neurosciences pour créer des modèles explicatifs et des dispositifs, principalement centrés sur l'humain.

L'équipe s'inscrit dans une approche systémique de l'intelligence en explorant notamment les notions d'auto-organisation, d'interaction, d'émergence et de complexité. Nos travaux en robotique et en IA mettent en avant l'importance de la cognition incarnée, de la perception, de l'action et de l'interaction. Nous mettons en évidence l'importance des processus dynamiques et de l'étude du changement et de

l'évolution temporelle, notamment en termes de développement et d'apprentissage continu.

Les principales thématiques émergentes au sein de l'équipe peuvent être décrites par les mots clés suivants pour l'IA : IA incarnée, IA neuro-inspirée, IA frugale et IA développementale; et pour la robotique : robotique autonome, neuro-robotique, robotique cognitive et affective, robotique développementale, robotique organique et robotique souple.

Actuellement, notre équipe est composée de 16 enseignants-chercheurs et enseignantes-chercheuses (2/3 et 1/3), 20 doctorants et doctorantes (quasi-parité) ainsi qu'un ingénieur de recherche CNRS et un ingénieur d'étude.

Activités en cours

Afin de faire face à ces enjeux, l'équipe organise sa recherche en quatre axes : (i) la modélisation neuro-computationnelle, cognitive et affective, (ii) les interactions humain-robot et la robotique sociale, (iii) la robotique autonome bio-inspirée, et (iv) la robotique et l'intelligence artificielle développementales.



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Axe 1 : modélisation bio-inspirée des mécanismes et processus cognitifs et affectifs.

Le premier axe porte sur nos modèles neuro-computationnels et robotiques bio-inspirés de mécanismes, structures, dynamiques et fonctions liés à la perception/action et à la cognition au sens large. L'équipe travaille principalement sur la prise de décision, la représentation du corps, l'attention, la motivation, l'émotion, la cognition spatiale, l'adaptation, l'apprentissage et la mémoire. Le développement de ces modèles répond à un double objectif : contribuer à la compréhension pluridisciplinaire de la cognition humaine (ses mécanismes, ses fonctions, ses racines, ses pathologies), et l'avancement de la modélisation neuro-computationnelle et de la robotique par des modèles novateurs et bien fondés qui dotent les robots et les machines de capacités cognitives et d'interaction complexes.

Les modèles développés sont de divers types : des modèles relevant des neurosciences computationnelles de grandes populations de neurones (T. MANOS, M. QUOY, A. PITTI), inspirés de la structure du cerveau utilisant les robots comme outils pour évaluer ces modèles (P. GAUSSIER, N. CUPERLIER, M. BELKAID, E. MASSI), ou des modèles robotiques de nature plus synthétique et abstraite capturant en priorité les dynamiques et les interactions liées à la cognition et à l'action incarnées (L. CAÑAMERO, A. PITTI).

Plus en lien avec les neurosciences computationnelles, l'équipe s'est intéressée, par exemple, à la modélisation de règles d'apprentissage appliquées à des réseaux de neurones oscillants ou à *spikes* permettant de rendre compte du rôle central des neurones inhibiteurs dans la formation et la stabilisation de clusters de neurones pour la formation de mémoires. Cet apprentissage est toujours présent contrairement aux modèles pour lesquels nous distinguons une phase d'apprentissage et une

phase d'utilisation (avec apprentissage coupé) [5]. Ce travail a fait l'objet d'une thèse EUTOPIA en cotutelle avec l'Université Pompeu Fabra de Barcelone (directeurs M. QUOY et G. DECO, doctorant R. BERGOIN). Par ailleurs, l'équipe a développé de nouvelles compétences sur l'utilisation de simulateurs de grands réseaux de neurones basés sur la morphologie et la dynamique du cerveau. Cela a d'abord permis d'étudier les dynamiques et les structures de graphes facilitant ou non la propagation de crises d'épilepsie sur un modèle virtuel de cerveau de rat (thèse EUTOPIA co-tutelle avec l'Université de Warwick, directeurs T. MANOS et Timofeeva, doctorante J. COURSON, collaboration avec TVMB et *Allen Brain Atlas*). Cela a permis ensuite de mener une autre recherche sur la simulation de modèles dynamiques de l'ensemble du cerveau avec une connectivité à grande échelle réaliste en utilisant des données de neuroimagerie basées sur l'EEG/MEG/fMRI, ainsi que l'étude de la dynamique neuronale sur de grandes populations de sujets (T. MANOS, collaboration en cours avec A. LEOW, Université de l'Illinois et S. DIAZ-PIER, Research Centre Juelich).

Concernant des modèles inspirés des structures du cerveau appliqués à la robotique, les modèles historiques de l'équipe sur le rôle de l'hippocampe dans l'encodage de séquences spatio-temporelles ont fait l'objet d'un article de synthèse [4]. Plus récemment, l'équipe a par exemple mis en évidence le rôle des neuromodulateurs liés à la récompense pour la prise de décision au niveau des ganglions de la base (CJP M. BELKAID, thèse M. VAN KETS en cours, encadrants M. BELKAID et L. CAÑAMERO). L'équipe étudie aussi l'implication de la neuromodulation (la dopamine et l'acétylcholine) dans les circuits de la prise de décision, thèse de R. SAUTTO encadré par M. BELKAID, T. MANOS et N. CUPERLIER) mais aussi les effets de ces mêmes neu-



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

rotransmetteurs sur les différentes aires cérébrales et leur dynamique d'apprentissage ou leur régime d'activité dans le but d'isoler les circuits neuronaux liés à la dépression (P. GAUSSIER, collaboration avec R. LUSTIG, Université d'Irvine, USA). Enfin, la thèse de Maria-Lauréna POUPET avec Singapour : NUS/IPAL (T. SIM), IPAL/CERCO (B. COTTEREAU) et IPAL/ETIS (N. CUPERLIER) vient également de débuter en 2025 portant sur la modélisation de l'encodage d'information visuelles selon différents référentiels (ego et allocentrée) au sein de différentes structures cérébrales en amont de l'hippocampe et impliquées dans la cognition spatiale.

Quant aux modèles robotiques en lien avec l'intelligence incarnée, nous pouvons en souligner deux. D'une part, les modèles d'IA et robotique incarnées développés dans le cadre de la Chaire INEX NEUROBOT (L. CAÑAMERO) sur les interactions entre motivation, émotion et cognition dans l'auto-perception et la prise de décision de robots autonomes (thèse en cours, doctorant L'Haridon, [10], collaboration avec UCL, Royaume-Uni [11]) et l'exploration de robots inspirée de celle des rongeurs (travail postdoctoral E. MASSI). D'autre part, nous pouvons mentionner le projet ANR NIRVANA (A. PITTI, S. BOUCENNA) obtenu en 2023 qui porte sur la modélisation des structures neuronales sous-jacentes à l'apprentissage développemental du chant d'oiseau, au niveau des ganglions de la base et des aires frontales, ainsi que l'utilisation de robot oiseau (collaboration avec l'Université de Nanterre, Institut Neurosciences Paris-Saclay, CNRS LS2N). Ce projet fait suite aux recherches sur l'apprentissage de séquences sensorimotrices [13].

Axe 2 : interaction humain-robot, interaction sociale. Le deuxième axe porte sur l'interaction sociale, pour une robotique centrée sur l'humain. L'idée est de proposer des mo-

dèles permettant une interaction avec des robots, mais aussi de permettre une amélioration des interactions sociales pour autrui (patients, personnes atteintes de troubles cognitifs, enfants, utilisateurs lambda) tenant compte du contexte social.

Par exemple, l'influence du contexte a été étudiée par L. CAÑAMERO dans plusieurs collaborations. Une collaboration avec l'ISIR (C. PELACHAUD, L. CHABY) s'est intéressée au sentiment d'être regardé / vu dans une interaction sociale avec un agent virtuel [6]. Des encadrements de thèse à l'Université d'Hertfordshire (Royaume-Uni) ont modélisé, avec une approche d'IA incarnée et bio-inspirée, des mécanismes sous-jacents à la perception et interaction sociales (modulation de la perception sociale par l'hormone ocytocine), et étudié les effets de contagion et d'appartenance à un groupe dans la dynamique sociale [7], ainsi que l'émergence de normes sociales [2].

L'adaptation d'un robot à l'utilisateur et au contexte social sont étudiés, par exemple, dans le cadre d'une thèse internationale IPAL (IRL du CNRS) avec Singapour (doctorant : B. SINGH BAL, 2023-2026) co-encadrée entre ETIS (L. CAÑAMERO, L. COHEN, A. PITTI) et NUS (C. LASCHI), pour doter un bras robotique souple de capacités de perception, cognition et interaction sociales adaptées dans une application dans le domaine de la santé. A. PITTI, conjointement à l'équipe CELL (O. ROMAIN) et l'institut VEDECOM, a réalisé en 2019 une peau artificielle à une fin d'interface humain-robot, se basant sur une nouvelle méthode de tomographie pour l'acquisition de signal non-invasif (thèse de M. ABDELWAHED, [1]). Le thème de l'adaptation sociale est aussi abordé dans le cadre du projet AS3 du PEPR O2R Robotique Organique (L. CAÑAMERO, J. BECKER), qui fait collaborer les ST de l'ingénierie et les SHS pour développer des robots socialement adaptés. D'autres part, la re-



connaissance d'intentions joue un rôle essentiel dans l'interaction sociale humaine et robotique, ainsi, L. COHEN travaille sur la capacité des robots à reconnaître et à produire des gestes dont l'intention est lisible par l'utilisateur [3].

D'autres travaux sont également liés à des problèmes sociétaux et à la santé. Le projet ANR ENHANCER (G. MOSTAFAOUI, 2022) propose l'utilisation d'un agent conversationnel animé pour améliorer la communication non verbale chez les patients atteints de schizophrénie. Un projet visant le développement d'outils numériques et interactifs basés sur de l'intelligence artificielle a été soutenu par CY Alliance en 2023 pour l'aide aux troubles du spectre autistique dans l'acquisition du langage (doctorant Raphaël D'URSO encadré par S. BOUCENNA et A. PITTI) en collaboration avec l'ISIR, et APHP et Design-STS. Enfin, une thèse en cours de recrutement dans le cadre de la ChPJ ARTSS (J. BECKER, 2023) s'intéresse aux médiations robotiques en soins de santé en s'appuyant sur l'approche ethnographique.

Axe 3 : robotique autonome bio-inspirée.

L'axe sur la robotique autonome et bio-inspirée constitue une autre originalité et une activité historique de l'équipe. Durant la période 2018-2024, la partie centrée sur la navigation (N. CUPERLIER) a réussi à passer l'échelle en termes de complexité, passant de petits robots en laboratoire aux véhicules autonomes réels évoluant sur de longues distances dans des environnements très dynamiques et non contrôlés, en partenariat avec l'institut pour la transition énergétique VEDECOM et conjointement avec l'équipe CELL ; 3 thèses ont été financées depuis 2016 (Mehdi ABDELWAHED, Sylvain COLOMER et Yoan ESPADA). L'équipe a montré son expertise et la robustesse de ses algorithmes inspirés de l'hippocampe des mammifères pour la reconnaissance visuelle des lieux

(thèses de Yoan ESPADA et Sylvain COLOMER encadrés par N. CUPERLIER, dont 2 papiers, à ICARCV16 et HBCR workshop2021, ont été récompensés par un *Finalist for Best Paper Award*), l'intégration de chemin (réalignement de la position sur une carte et modélisation du cortex restrosplénial, thèse de Mingda JU, encadré par P. GAUSSIÉ) et la navigation visuelle d'un véhicule autonome (développement d'une architecture de contrôle sensorimotrice adaptée : thèse de Sylvain COLOMER, financement de projet de valorisation SciTy porté par N. CUPERLIER pour 2024, brevet en cours de dépôt par l'institut VEDECOM). Ces algorithmes ont pour avantage d'avoir un apprentissage parcimonieux et rapide (IA frugale). Ceux-ci font également l'objet d'un transfert technologique pour une intégration sur circuits (Système hybride CPU-FPGA avec l'équipe CELL) à travers la structure CY Transfer. Les travaux visant à accroître l'autonomie des véhicules autonomes se poursuivent avec une nouvelle thèse débutée en 2024 et aussi financée par VEDECOM (encadrant N. CUPERLIER, doctorant M. THABET) portant sur la caractérisation de l'état du système et de la situation et l'apprentissage, Cette recherche est aussi actuellement appliquée à des drones aériens inspirée de la navigation de chauve-souris, avec une thèse financée par l'IAD (encadrants P. GAUSSIÉ, N. CUPERLIER, doctorant A. MOUBECHÉ). Enfin, toujours dans le contexte des drones et des véhicules autonomes, une autre thèse internationale IPAL (IRL du CNRS) avec Singapour (doctorant : G. KEIME) co-encadrée entre IPAL/CERCO (B. COTTEREAU) et ETIS (N. CUPERLIER) conduite dans le cadre du projet MINDEF SPACESNN, porte sur la conception d'une architecture neuronale pour la localisation visuelle via des SNN traitant le flux d'une caméra événementielle.

L'équipe (P. GAUSSIÉ, G. MOSTA-



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

FAOUI, A. PITTI) s'intéresse aussi au contrôle sensori-moteur humain et robotique, en mettant en avant diverses approches allant des théories comportementales sur les systèmes dynamiques aux modèles bayésiens (thèse de Lise Aubin) et de codage prédictif (thèse de Louis ANNABI) pour l'apprentissage et le contrôle sensorimoteur. Ces derniers modèles développent une vision probabiliste du contrôle, où l'erreur de prédiction sur la motricité est utilisée par un système d'inférence pour la correction et la planification. Ces modèles s'alignent sur les propriétés observées dans le contrôle humain. La startup Cobot-One, créée récemment (P. GAUSSIER et société Robocolle), applique des algorithmes bio-inspirés au contrôle (manipulation) robotique et propose un bras *compliant*, précis et commandable en force. Cette innovation a été sélectionnée en octobre 2024 parmi les 120 produits français du salon du ministre dans le cadre de la grande exposition « Fabriqué en France » au Palais de l'Élysée.

Le développement de ces modèles a permis leur application dans le contexte de partenariats extérieurs pour la compréhension de maladies cérébrales telle que la catatonie (ISIR), la prise d'objets sur robot (DIM RFSI, et entreprise Pollen Robotics) et la planification d'actions (collaboration avec TU Munich, et l'entreprise Expleo).

Ces modèles ont permis de développer une branche de recherche sur la conception et le design robotique, vers de la robotique souple, pour mettre en avant la bio-mécanique et les principes d'intelligence du corps. Un partenariat avec le laboratoire Brubotics de l'université de Bruxelles est en cours avec une thèse EUTOPIA co-tutelle (2021, Maxime MARCHAL, G. MOSTAFAOUI et T. VERSTRATREN) sur des moteurs électriques à raideur variable. ETIS participe en outre à l'action structurante 1 du PEPR O2R Robotique Organique (PITTI, CAÑAMERO) portant sur la

robotique souple et le design de robots poly-articulés et tenseurs.

Axe 4 : robotique et intelligence artificielle développementales. Enfin, le quatrième axe porte sur la robotique et l'intelligence artificielle développementales et l'apprentissage continu. Les progrès de l'apprentissage profond, des IA massives et des grands modèles de langages (LLM) basés sur une grande masse de données ont mis en évidence des problématiques majeures, toujours non-résolues en dépit de leur succès dans de nombreux contextes.

Dans une approche d'IA bio-inspirée et de robotique développementale, notre équipe s'intéresse plutôt à l'apprentissage continu, à partir de peu d'exemples (ou peu d'interactions avec le monde physique et social) et en temps réel, au rôle des interactions affectives et sociales dans le développement et l'apprentissage, à l'ancrage symbolique, et à résoudre le problème de l'oubli catastrophique. Une partie de nos travaux en robotique développementale, en partenariat avec VUB (thèse EUTOPIA co-tutelle de Z. LEMHAOURI, encadrants ETIS L. COHEN et L. CAÑAMERO, VUB Ann NOWÉ, 2021-2025), propose une architecture neuronale basée sur l'apprentissage par renforcement et la modélisation d'états affectifs, pour l'étude du développement (des premiers mots) du langage par un robot en interaction avec un humain, s'inspirant de la façon dont les enfants apprennent le langage en interaction avec leurs parents [9, 8]. En lien avec ce projet, une collaboration EUTOPIA avec l'Université de Göteborg (postdoc EUTOPIA-SIF et programme d'accueil d'étudiants en projet de fin d'année, L. CAÑAMERO ETIS et R. LOWE UG) étudie l'apprentissage mutuel entre l'humain et le robot. Cette collaboration a donné lieu à une publication [12] qui a reçu un prix (*Finalist for Best Paper Award*) à la *15th International Conference on Social Robotics (ICSR*



23).

Dans une autre recherche, une thèse en neurorobotique porte sur l'apprentissage par imitation de règles sensorimotrices en combinant des lois d'apprentissage par renforcement sans et avec modèle pour plus de robustesse dans la séparation des tâches apprises, et plus de flexibilité dans le choix des règles selon le contexte (thèse ED 2019, et collaboration avec Alois KNOLL, TUM Munich, à partir de 2020).

Dans le cadre de l'apprentissage par imitation en contexte d'interaction humain-robot, des recherches en robotique sociale (S. BOUCENNA) ont modélisé avec un robot la manière dont un enfant apprend à distinguer et à imiter des expressions faciales complexes [14].

Conclusion

L'équipe neurocybernétique s'attelle ainsi à proposer des modèles neuro-computationnels et robotiques bio-inspirés des structures, processus et dynamiques cognitives et affectives, ainsi que de leur développement et leurs troubles. Le but est de développer des systèmes capables de s'adapter et d'apprendre de façon autonome en interaction avec leur environnement physique et social (humain).

En termes de perspective, nous pensons que les questions de parcimonie, de frugalité, d'apprentissage continu en IA deviennent de plus en plus centrale pour permettre une évolution vers une intelligence réellement incarnée, capable d'apprendre au long cours ce qui nous semble être une voie prometteuse afin de relever les défis sociétaux et écologiques actuels. Là encore, nous considérons que les approches développementales bio-inspirées doivent nous guider dans le design des ces modèles.

Par ailleurs, en ce qui concerne la robotique, il nous semble que la robotique souple représente un futur exaltant pour la robotique, son avènement posant de nouveaux défis en termes de contrôle tout en ouvrant un tout

nouvel horizon en termes d'applications potentielles, améliorant toujours plus avant la cohabitation/interaction des systèmes robotiques avec l'humain.

Références

- [1] Mehdi Abdelwahed, Lounis Zerioul, Alexandre Pitti, and Olivier Romain. Using Novel Multi-Frequency Analysis Methods to Retrieve Material and Temperature Information in Tactile Sensing Areas. *Sensors*, 22(22) :8876, November 2022.
- [2] Stavros Anagnostou and Lola Cañamero. Towards an Affective Model of Norm Emergence and Adaptation. In *TSAR 2021 : RO-MAN Workshop on Robot Behavior Adaptation to Human Social Norms*, Bruxelles, Belgium, August 2021.
- [3] Jean-Marc Bah, Ghiles Mostafaoui, and Laura Cohen. A kinematic study on social intention during a human-robot interaction. In *2022 IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL)*, 2022 IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL), pages 202–207, Londres, United Kingdom, September 2022. IEEE.
- [4] Jean-Paul Banquet, Philippe Gaussier, Nicolas Cuperlier, Vincent Hok, Etienne Save, Bruno Poucet, Mathias Quoy, and Sidney I Wiener. Time as the fourth dimension in the hippocampus. *Progress in Neurobiology*, page 101920, October 2020.
- [5] Raphaël Bergoin, Alessandro Torcini, Gustavo Deco, Mathias Quoy, and Gorka Zamora-López. Inhibitory neurons control the consolidation of neural assemblies via adaptation to selective stimuli. *Scientific Reports*, 13(1) :6949, April 2023.



- [6] Mickaëlla Grondin-Verdon, Nezhil Younsi, Michele Grimaldi, Catherine I Pelachaud, Laurence Chaby, and Lola Canamero. Induction of the being-seen-feeling by an embodied conversational agent in a socially interactive context. In *IVA GALA*, University of Fukuchiyama, Fukuchiyama City, Kyoto, Japan, Japan, September 2021.
- [7] Imran Khan and Lola Cañamero. Adaptation-By-Proxy : Contagion Effect of Social Buffering in an Artificial Society. In *Artificial Life Conference proceedings, ALIFE 2021 : The 2021 Conference on Artificial Life*, page isal_a_00424, Prague, Online, Czech Republic, July 2021. MIT Press.
- [8] Zakaria Lemhaouri, Laura Cohen, and Lola Canamero. Affect-grounded Language Learning in a Robot. In *FEELCOG : The Role of Affect in the Development of Cognition, ICDL (International Conference on Development and Learning) 2021 Workshop*, Online, China, August 2021.
- [9] Zakaria Lemhaouri, Laura Cohen, and Lola Canamero. The Role of the Caregiver's Responsiveness in Affect-Grounded Language Learning by a Robot : Architecture and First Experiments. In *2022 IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL)*, pages 349–354, Londres, United Kingdom, September 2022.
- [10] Louis l'Haridon and Lola Cañamero. The effects of stress and predation on pain perception in robots. In *2023 11th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*, Boston, United States, September 2023.
- [11] Louis l'Haridon, Amanda C de C Williams, and Lola Cañamero. Wellbeing and the adaptive value of pain. AR4W : Affective Robotics for Well-being, October 2022. Poster.
- [12] Alva Markelius, Sofia Sjöberg, Zakaria Lemhaouri, Laura Cohen, Martin Bergström, Robert Lowe, and Lola Cañamero. A Human-Robot Mutual Learning System with Affect-Grounded Language Acquisition and Differential Outcomes Training. In *Lecture Notes in Computer Science*, volume 14454, Doha, Qatar, December 2023.
- [13] Alexandre Pitti, Mathias Quoy, Sofiane Boucenna, and Catherine Lavandier. Brain-inspired model for early vocal learning and correspondence matching using freeenergy optimization. *PLoS Computational Biology*, February 2021.
- [14] Paul Valentin, Sofiane Boucenna, Philippe Gaussier, and Alexandre Pitti. Robot recognizing vowels in a multimodal way. In *9th International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL-EpiRob)*, 9th International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL-EpiRob), pages 103–104, Oslo, Norway, August 2019.



■ Équipe ACIDE de l'ISIR

ISIR

CNRS, Sorbonne Université

https://www.isir.upmc.fr/isir_teams/acide/

Benoît GIRARD

benoit.girard@isir.upmc.fr

Mehdi KHAMASSI

mehdi.khamassi@upmc.fr

Présentation générale

Thématiques de recherche. L'équipe ACIDE de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR UMR 7222, CNRS/Sorbonne Université, Paris) étudie l'action, la cognition, l'interaction et la décision incorporées (*embodied*) : le comportement des agents est considéré comme partie prenante d'un environnement dynamique comportant d'autres agents. C'est une équipe profondément interdisciplinaire, alliant intelligence artificielle, robotique et neurosciences. Son projet s'articule autour de deux axes interdépendants :

- L'étude, par l'expérimentation et la modélisation, des capacités cognitives des humains et des animaux, en particulier les facultés de perception, d'interaction sociale, du fonctionnement moteur, de prise de décision et d'apprentissage. En effet, la perception et les interactions sociales nourrissent l'apprentissage, la prise de décision et les actions moteurs. Ces facultés sont abordées en situations normale et pathologique, à l'échelle individuelle ou collective, et par le biais de l'étude de pratiques humaines situées dans leur contexte. Ces travaux portent aussi sur la synthèse de fonctions cognitives, contribuant alors au domaine de l'IA. L'analyse et la modélisation de la dynamique neuronale proposent des implémentations informatiques de ces fonctions dans le cerveau.
- La conception de dispositifs d'interaction humain-machine (IHM) plus adaptés, transparents et personnalisés (agents conversa-

tionnels animés, robots), couvrant un large spectre de machines (ordinateurs, systèmes de réalité virtuelle) et de contextes (modulations émotionnelles, interactions multimodales, usages à domicile, e-santé).

Composition. L'équipe est composée de 13 membres permanents, trois émérites, et, en régime de croisière, des étudiantes et étudiants : en post-doctorat (une demi-douzaine), en doctorat (une vingtaine), ou en master (une dizaine). Les membres permanents sont affiliés à Sorbonne Université, au CNRS ou à l'INSERM :

- Malika AUVRAY, DR CNRS (CoNRS 26) ;
- Gilles BAILLY, DR CNRS (CoNRS 7) ;
- Nicolas BREDÈCHE, Pr SU (CNU 27) ;
- Romain BRETTE, DR INSERM (CSS 4) ;
- Baptiste CARAMIAUX, CR CNRS (CoNRS 07) ;
- Mohamed CHETOUANI, Pr SU (CNU 61) ;
- David COHEN, PUPH (CNU 49) ;
- Bruno DELORD, Pr SU (CNU 69) ;
- Benoît GIRARD, DR CNRS (CoNRS 7 & CID 51) ;
- Mehdi KHAMASSI, DR CNRS (CoNRS 7 & CID 51) ;
- Catherine PÉLACHAUD, DR CNRS (CoNRS 7) ;
- Heike STEIN, CR CNRS (CoNRS 26) ;
- Jean-Luc ZARADER, Pr SU (CNU 61).

Méthodologies. L'équipe met en œuvre un large spectre méthodologique en modélisation et en expérimentation, à de multiples niveaux,



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

autour d'un objet commun : la cognition incorporée. Elle s'appuie sur les champs d'expertises multidisciplinaires complémentaires de ses membres :

- la modélisation mathématique et informatique est une compétence forte de l'équipe, opérée à de multiples niveaux : de la biophysique cellulaire aux modèles cognitifs du comportement ;
- l'acquisition de données humaines (participants sains ou patients) passe par la conception d'expériences contrôlées en laboratoire ou à l'hôpital. En matière d'interactions humains-machines, cette acquisition s'appuie également sur l'analyse des comportements et pratiques sur le terrain, là où se révèle la réelle nature des usages ;
- l'acquisition de données non-humaines (comportement et électrophysiologie) s'appuie sur notre réseau de collaborations en France et à l'étranger. L'équipe a une activité expérimentale propre, autour d'un modèle unicellulaire de cognition incorporée (paramécie) ;
- d'autres outils informatiques issus de l'IA sont mis à contribution pour la conception de systèmes interactifs et robotiques : traitement du signal social et affectif, apprentissage automatique, supervisé et par renforcement, modèle génératif du comportement multimodal ;
- évaluation éthique des dispositifs de santé, en termes d'efficacité et de design.

Positionnement. L'équipe a un positionnement multidisciplinaire unique, qui allie neurosciences computationnelles, psychologie cognitive, psychiatrie, robotique sociale, IHM, agents conversationnels et éthique numérique.

– *Collaborations nationales* : affiliation à de multiples réseaux scientifiques nationaux (GDR, PEPR, CogGames), projets collaboratifs (ANR, PEPR, DIM C-BRAINS), collabo-

rations actives (Bordeaux, Lyon, Marseille, Saclay, Toulouse, etc.)

– *Collaborations internationales* : projets européens et internationaux (RIA, EIC, ANR-FWF, CNRS IRP) avec comme laboratoires et équipes :

- Neuro-robotique, neurosciences computationnelles, mais aussi neurosciences comportementales : Kenji DOYA (OIST, Japon) ;
- Développement cognitif de l'enfant : Andrew MELZOFF à l'*Institute for Learning & Brain Sciences* (University of Washington, USA) ;
- Agents conversationnels : Skipp RIZZO et Jonathan GRATCH (University Southern California, USA) ; Tim BICKMORE (Northeastern University, USA) ;
- Interaction Humain-Machine : HCI Stanford (USA) avec Sean FOLMER, James LAN-DAY et Maneesh AGRAWALA.

Activités en cours

La sélection suivante illustre les différents domaines d'activité de l'équipe.

Thèse d'Elisa MASSI. Thèse intitulée *Modeling hippocampal replay in spatial navigation with the theory of reinforcement learning : a neuroscientific and robotic approach* soutenue le 31 mars 2023.

Ce travail de thèse illustre l'interdisciplinarité de l'équipe : il comporte des contributions en IA pour la robotique (ayant donné lieu à une publication : Massi *et al.*, 2022, *Frontiers in Neurorobotics*), et en neurosciences computationnelles (article en préparation). Ces contributions ont un sujet unificateur : les parallèles entre les réactivations de l'hippocampe pendant le sommeil (dont les liens avec le renforcement chez la souris ont été montrés expérimentalement il y a quelques années) et les activations hors-lignes des différents types d'algorithmes d'apprentissage par renforcement.



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Cette étudiante a su couvrir un large spectre, depuis des expériences de robotique jusqu'à l'analyse et la modélisation de données comportementales fournies par nos collaborateurs expérimentalistes (équipe MOBs de l'ESPCI).

Article de Arrieta et al.. Cet article [1] illustre l'activité émergente dans l'équipe ACIDE portant sur l'éthique de l'IA, et dans ce cas particulier, sur l'explicabilité. Cet article conséquent se base sur un état de l'art pour définir de nouveaux concepts, établir une taxonomie et proposer une méthodologie pour les futures contributions du domaine.

Article de Ben Zion et al.. L'article [2] donne un exemple de contribution dans le domaine de la robotique en essaim, et plus précisément de la décision collective émergeant de la morphologie. Il est issu d'un projet de recherche collaboratif (ANR) avec une équipe de physiciens spécialistes de physique statistique et de matière active.

Recherches en santé. L'équipe mène un certain nombre de travaux de recherche en santé, qui contribuent en particulier à la modélisation informatique et l'interaction humain-machine en santé numérique, santé mentale et à l'assistance aux personnes en situation de handicap.

Voici quelques exemples : le syndrome catatonique fait l'objet de travaux cliniques et d'une modélisation à l'origine d'une nouvelle théorie ; la modélisation informatique du stress permet d'explorer de manière originale les pathologies borderlines de l'adolescence ; le développement de technologies pour l'identification de biomarqueurs numériques précoces de troubles du neurodéveloppement à partir de l'analyse des interactions parent-enfant en situation de jeu.

En résulte la création de dispositifs interactifs, pouvant participer au soin ou à l'amélioration

de la qualité de vie des patientes et patients, ou pouvant servir à la formation des personnels de santé. L'équipe a développé, seule ou avec des startups, plusieurs jeux sérieux pour améliorer les difficultés d'écriture, de lecture, les interactions sociales dans les troubles du neurodéveloppement, jeux sérieux qui sont utilisés dans les services hospitaliers. Elle a également conçu des objets multi-sensoriels pour les enfants déficients visuels. Leur efficacité est évaluée en combinant des méthodologies de la médecine fondée sur les preuves et celles des technologies de l'information et de la communication (LiLLab).

Conclusion

L'équipe contribue à de nombreux sous-domaines de l'IA, tels que l'apprentissage par renforcement, l'interface homme-machine, les robotiques sociale, en essaim, neuroinspirée, etc. Si les réseaux de neurones profonds peuvent être un outils dans ces contextes, ils ne sont pas l'alpha et l'omega de notre boîte à outils méthodologique.

Références

- [1] Alejandro Barredo Arrieta, Natalia Díaz-Rodríguez, Javier Del Ser, Adrien Benoit, Siham Tabik, Alberto Barbado, Salvador Garcia, Sergio Gil-Lopez, Daniel Molina, Richard Benjamins, Raja Chatila, and Francisco Herrera. Explainable artificial intelligence (xai) : Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible ai. *Information Fusion*, 58 :82–115, 2020.
- [2] Matan Yah Ben Zion, Jeremy Fersula, Nicolas Bredeche, and Olivier Dauchot. Morphological computation and decentralized learning in a swarm of sterically interacting robots. *Science Robotics*, 8(75) :eabo6140, 2023.



■ Équipe Brain & AI de Meta

*Brain & AI
Meta*

<https://www.linkedin.com/company/brain-and-ai-research-group>

Jean-Rémi KING

jeanremi.king@gmail.com

Présentation générale

The Brain & AI team is a team at FAIR (Meta) in Paris which aims to identify the brain and computational bases of human intelligence, with a focus on language. For this, they develop deep learning algorithms to decode and model brain activity recorded with MEG, EEG, electrophysiology and fMRI.

They work in tight collaboration with the École Normale Supérieure, CEA, BCBL and the Hospital of the Rothschild Foundation.

Current members are Jean-Rémi KING, Stéphane D'ASCOLI, Hubert BANVILLE, Jérémy RAPIN, Marlene CAREIL, Yohann BEN-

CHETRIT, Joséphine RAUGEL et Jarod LEVY.

The interested reader may refer to notable articles [1, 2]

Références

- [1] Jarod Lévy, Mingfang Zhang, Svetlana Pinet, Jérémy Rapin, Hubert Banville, Stéphane d'Ascoli, and Jean-Rémi King. Brain-to-text decoding : A non-invasive approach via typing, 2025.
- [2] J. Rapin and J.-R. King. Exca - Execution and caching. <https://github.com/facebookresearch/exca>, 2024.

■ Équipe « Transmission de l'information visuelle » de l'Institut de la Vision

*Institut de la Vision
Sorbonne Université, INSERM, CNRS
<https://www.institut-vision.org/>*

Oliver MARRE

olivier.marre@inserm.fr

Présentation générale

L'Institut de la Vision, situé à Paris, est l'un des principaux centres mondiaux dédiés à la recherche sur les maladies de l'œil et de la vision. Il se distingue par son approche pluridisciplinaire et translationnelle, réunissant chercheurs, cliniciens et industriels pour accélérer le passage des découvertes scientifiques aux applications concrètes pour les patients.

Grâce à des collaborations étroites avec des

institutions majeures (Sorbonne Université, INSERM, CNRS), l'Institut bénéficie d'une reconnaissance internationale et d'un fort soutien institutionnel. Il est également un acteur clé de l'innovation, à l'origine de nombreuses startups et avancées majeures, comme les premiers essais cliniques d'optogénétique.

Ses missions principales sont de comprendre les mécanismes des maladies visuelles, de développer de nouveaux traitements et dispositifs, et d'améliorer la qualité de vie des per-



sonnes malvoyantes. Premier centre européen de ce type, l'Institut de la Vision occupe une place centrale dans la recherche mondiale sur la vision, alliant excellence scientifique, innovation et engagement au service des patients.

Plusieurs projets en cours intègrent l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique. Ces outils sont principalement utilisés et développés par l'équipe Transmission de l'information visuelle, dirigée par Oliver MARRE (INSERM-DR) et comprenant Serge PICAUD (INSERM-DR), Ulisse FERRARI (CNRS-CR), Matthew CHALK (INSERM-CR), Matias GOLDIN (CNRS-CR) et Grégory GAUVAIN (SU-MdC).

Activités en cours

Nous les déclinons selon quatre projets en cours.

Comprendre la vision. Le traitement de l'information visuelle, de l'œil au cerveau, suit jusqu'à 40 types de canaux différents pour la détection du mouvement, le codage des couleurs et des contrastes, etc. Il reste encore à élucider comment les cellules rétiniennes extraient toutes ces informations à partir de signaux analogiques au niveau des photorécepteurs et les encodent en signaux numériques au niveau des cellules ganglionnaires de la rétine. De plus, la façon dont ces informations sont reformulées en images au niveau cérébral demeure énigmatique.

À l'Institut de la Vision, ces signaux sont étudiés chez les rongeurs et les primates non humains, *ex vivo* et *in vivo*, grâce à des technologies telles que les réseaux de multi-électrodes (MEA), l'imagerie biphotonique d'indicateurs calciques ou de capteurs de voltage, ou encore l'échographie fonctionnelle de la rétine ou du cortex. Cet enregistrement multiplexé de l'activité fonctionnelle de sortie peut être réalisé lors de la présentation de vidéos person-

nalisées (entrées), tout en interférant avec les neurones intermédiaires par des thérapies optogénétiques ou sonogénétiques. Ces données nous permettent de générer des modèles supervisés (principalement des réseaux de neurones convolutifs (CNN) et des processus gaussiens) pour construire des jumeaux numériques du système visuel. Nous avons également généré des modèles CNN avec des couches récurrentes pour reproduire la synchronisation.

Préserver la vision. Diverses pathologies entraînent des déficiences visuelles et la cécité par la perte des photorécepteurs et des cellules ganglionnaires de la rétine. L'œil est particulièrement bien adapté aux technologies innovantes (thérapies pharmacologiques, géniques et cellulaires) grâce à sa facilité d'accès mécanique et optique, son privilège immunitaire, sa petite taille et son espace relativement fermé. Des jumeaux numériques de patients sont générés pour prédire l'évolution des maladies rétinienues et catégoriser les indicateurs associés à ces progressions rapides.

Dans le cas de la myopie sévère, nous développons des modèles CNN de rétines myopes afin de caractériser leur activité anormale et de tester des hypothèses fonctionnelles. Nos analyses posent les bases pour développer des thérapies innovantes visant à stopper la croissance excessive de l'œil et à prévenir l'apparition de la myopie.

La thérapie génique vise à délivrer de l'ADN thérapeutique pour restaurer des fonctions chez les patients atteints de maladies héréditaires. Les vecteurs viraux adéno-associés (AAV) sont l'outil le plus prometteur pour délivrer du matériel génétique, et sont actuellement utilisés dans des dizaines d'essais cliniques. Cependant, les AAV naturels ne sont pas suffisamment efficaces pour cibler les neurones rétiniens et corticaux. À partir de données issues d'expériences de sélection (évolution di-



rigée), nous utilisons des modèles d'apprentissage automatique pour prédire les propriétés des mutants AAV et concevoir des candidats optimaux pour la thérapie génique.

Restaurer la vision. Lorsque les patients perdent leurs photorécepteurs (DMLA) ou leurs cellules ganglionnaires rétiniennes (glaucome, rétinopathie diabétique), la stimulation du circuit résiduel peut permettre de récupérer certaines fonctions visuelles chez les patients aveugles. Les nouvelles technologies développées à l'Institut de la Vision de Paris, telles que l'optogénétique ou la sonogénétique, pourraient offrir une meilleure acuité visuelle permettant la reconnaissance des visages et la locomotion autonome, rendant possible le retour à l'autonomie du patient.

La modélisation du traitement de l'information visuelle est nécessaire pour générer la stimulation à un niveau intermédiaire du circuit visuel. Des modèles préliminaires ont été mis en œuvre, notamment avec la caméra à événements. Ces aides à la mobilité et à la reconnaissance faciale recoupent souvent les algorithmes développés pour l'assistance à la sécurité ou la conduite autonome. Le défi réside également dans la conversion de l'information visuelle d'entrée en mode de stimulation, avec l'exigence d'un débit vidéo et d'une haute densité de pixels. Les stratégies précédentes souffraient d'une faible capacité à induire des perceptions liées au stimulus. Des processus gaussiens sont développés à partir de données psy-

chophysiques pour optimiser les protocoles de stimulation.

Collaborations françaises et internationales

L'Institut de la Vision, en collaboration avec l'hôpital ophtalmologique 15-20 de Paris et le laboratoire LIP6 de Sorbonne Université, porte avec Olivier MARRE un projet sur les jumeaux numériques de l'œil, au sein de PostGenIA@SU, l'un des projets Cluster-IA financés par l'État afin de développer l'IA en France.

Deux projets de l'Institut de la Vision, en collaboration avec des acteurs privés, et impliquant l'utilisation de l'IA pour traiter les données biologiques, ont été soutenus par la BPI. Le projet MYOPIAMASTER, réunit l'Institut de la Vision et ESSILOR et vise à comprendre et contrôler la myopie grâce à une approche innovante alliant optique, neurobiologie et intelligence artificielle. Le projet GEAR réunit l'Institut de la Vision, WhiteLab Genomics et ADLIN Science, et vise à accélérer le développement de thérapies géniques pour les pathologies ophtalmologiques, en libérant le potentiel de l'intelligence artificielle.

Le projet RETNET4EC, soutenu par l'ANR, est une collaboration internationale réunissant M. CHALK et O. MARRE avec T. EULER et P. BERENS (Université de Tübingen). L'objectif de ce projet est d'élucider comment les différentes étapes de traitement non linéaire dans la rétine permettent une codification optimale et efficace des signaux visuels.



■ Équipe Human Reinforcement Learning de l'ENS Paris

LNC2
INSERM, Université Paris Saclay
<https://lnc2.dec.ens.fr/fr>

Stefano PALMINTERI
stefano.palminteri@ens.fr

Présentation générale

La Human Reinforcement Learning (HRL) team est basée à Paris, au sein de l'École Normale Supérieure (Département d'Études Cognitives), sous l'égide de l'INSERM (Laboratoire de Neurosciences Cognitives et Computationnelles [LNC2]). L'équipe est soutenue par des financements de l'European Research Council (ERC) et de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

Nous étudions les mécanismes de l'apprentissage humain et de la prise de décision, en développant des ponts entre les neurosciences computationnelles et l'intelligence artificielle. Nous mobilisons des paradigmes expérimentaux issus de la psychologie cognitive et de la neuroéconomie, que nous combinons avec des outils modernes de modélisation issus de l'IA, tels que les modèles de renforcement et les grands modèles de langage.

Activités en cours

Raisonnement humain et machine : limites et comparaison. Dans une étude récente [4], nous avons comparé les capacités de raisonnement de modèles de langage (GPT-3, GPT-4 et d'autres) avec celles d'humains sur des tâches classiques de psychologie cognitive, telles que le *Cognitive Reflection Test* et les problèmes de conjonction (*Linda Problem*). Nos résultats montrent que si les premiers modèles de langage présentaient des erreurs similaires aux biais humains, les modèles plus récents surpassent les performances humaines et réduisent fortement ces erreurs. Nous avons

également exploré les effets des stratégies de *prompting* pour améliorer les performances des modèles — celles-ci fonctionnent de manière différenciée chez les IA et les humains, illustrant ainsi des divergences dans les mécanismes sous-jacents de résolution de problèmes.

Comprendre l'évolution et la robustesse des modèles de langage. Dans notre étude PHYLOLM [6], nous avons appliqué des méthodes inspirées de la phylogénie pour représenter les relations de "parenté" entre différents modèles de langage. En retraçant les lignées architecturales et en évaluant leurs compétences respectives sur des tâches de raisonnement, nous avons pu visualiser les trajectoires évolutives des LLM et prédire leur comportement sur des *benchmarks* cognitifs variés. Cette approche offre une lecture nouvelle de l'évolution rapide des modèles et de la diversité de leurs comportements cognitifs émergents.

En parallèle, nous avons développé la méthode LogProber [5], un outil original destiné à détecter la contamination des jeux de test par les corpus d'entraînement des LLM. Ce problème est crucial : les modèles étant souvent entraînés sur des corpus massifs et peu transparents, il devient difficile de garantir que les items des tests cognitifs n'ont pas été rencontrés lors de la phase d'apprentissage. LogProber utilise les probabilités des *tokens* pour évaluer la familiarité d'un modèle avec des séquences de texte spécifiques. Nous avons démontré que cet outil permet de détecter efficacement des cas de contamination sur des séquences de type question-réponse, fré-



quentes dans les évaluations psychologiques et les *benchmarks* d'apprentissage automatique.

Ces deux contributions visent un même objectif : améliorer la compréhension fine des modèles de langage actuels, tant sur leurs lignées d'évolution que sur la qualité de leur évaluation. Ensemble, elles participent à renforcer la rigueur méthodologique dans l'étude des capacités cognitives émergentes des IA.

Apprentissage par renforcement et biais cognitifs dans les LLM. Dans [1], nous avons montré que les LLM intègrent des signatures comportementales comparables aux biais d'encodage de la valeur relatifs chez l'humain. Cette étude, utilisant des paradigmes d'apprentissage de type bandit multibras, a révélé que les modèles, comme les humains, peinent à généraliser au-delà des contextes d'apprentissage initiaux lorsque les comparaisons de résultats sont rendues saillantes.

Réflexion épistémologique sur la cognition des machines. Nous contribuons également aux débats philosophiques sur la cognition artificielle. Dans [3], nous plaidons pour un critère empirique basé sur les observations comportementales pour juger de la conscience potentielle des IA. Et dans [2], nous examinons comment les biais cognitifs humains peuvent influencer les jugements extrêmes sur les capacités des LLM, appelant à une approche équilibrée entre prudence et curiosité scientifique.

Perspectives

Notre ambition est de continuer à explorer la double voie :

1. utiliser l'IA comme un outil pour mieux comprendre la cognition humaine, en exploitant les similitudes et différences comportementales observées ;

2. analyser les capacités cognitives émergentes des IA elles-mêmes, afin d'informer le développement responsable de ces technologies.

Nous souhaitons approfondir l'analyse des biais cognitifs dans les modèles de langage, développer des outils de cartographie dynamique de l'évolution des IA, et formaliser des méthodologies pour évaluer rigoureusement l'émergence de compétences cognitives complexes dans les architectures d'IA. Notre approche reste profondément interdisciplinaire, mobilisant des outils de la psychologie cognitive, des neurosciences computationnelles et de l'IA pour produire des connaissances à la fois théoriques et appliquées. Nous espérons ainsi contribuer au dialogue entre sciences humaines et technologies avancées, pour une meilleure compréhension mutuelle de l'intelligence naturelle et artificielle.

Références

- [1] William M. Hayes, Nicolas Yax, and Stefano Palminteri. Relative value encoding in large language models : A multi-task, multi-model investigation. *Open Mind*, 9 :709–725, 05 2025.
- [2] Stefano Palminteri and Giada Pistilli. Navigating Inflationary and Deflationary Claims Concerning Large Language Models Avoiding Cognitive Biases. arXiv, March 2025.
- [3] Stefano Palminteri and Charley M. Wu. NBeyond Computational Functionalism : The Behavioral Inference Principle for Machine Consciousness. arXiv, 2025.
- [4] Nicolas Yax, Hernán Anlló, and Stefano Palminteri. Studying and improving reasoning in humans and machines. *Communications Psychology*, 2, 2024.
- [5] Nicolas Yax, Pierre-Yves Oudeyer, and Stefano Palminteri. Assessing contamination in large language models : Introducing the logprober method. arXiv, 08 2024.



- [6] Nicolas Yax, Pierre-Yves Oudeyer, and Stefano Palminteri. PhyloLM : Inferring the phylogeny of large language models and predicting their performances in benchmarks (poster). In *The Thirteenth International Conference on Learning Representations*, 2024.



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Partie IV
Région Nouvelle-Aquitaine



■ Équipe CNAA du Neurocentre Magendie

Neurocentre Magendie
Université de Bordeaux

<https://neurocentre-magendie.fr/recherche/Herry/descriptionTeam.php>

Cyril HERRY

cyril.herry@inserm.fr

Présentation générale

L'équipe « Circuit neuronaux des apprentissages associatifs » se situe au sein du Neurocentre Magendie qui est un centre de recherche Inserm-Université de Bordeaux (U1215) fondé en 2007, institut de recherche multidisciplinaire dédié à l'étude intégrée des neurosciences, des pathologies neurologiques aux mécanismes cellulaires et moléculaires de l'activité neuronale, avec une attention particulière aux maladies psychiatriques. Le Neurocentre Magendie compte environ 200 chercheurs, enseignants-chercheurs, cliniciens, techniciens, postdoctorants, doctorants et étudiants en master, répartis dans 11 équipes de recherche et 6 plateaux techniques communs. Notre centre de recherche dispose de 12000 m² au cœur du campus de l'Université de Bordeaux. Associées au Neurocentre Magendie, 6 autres unités de recherche constituent le département Bordeaux Neurocampus, qui regroupe 700 personnes réparties dans 50 équipes. Le Neurocentre Magendie offre un environnement international, scientifiquement stimulant et très dynamique.

Composition de l'équipe. Elle comporte 23 personnes à la date de publication de ce Bulletin. Les membres statutaires sont :

- Dr Cyril HERRY (DR1 Inserm)
- Dr Cyril DEJEAN (CRCN Inserm)
- Dr Julien COURTIN (CRCN Inserm)
- Dr Thomas BIENVENU (MCU-PH)
- Delphine GIRARD (IE)

Plusieurs personnels non statutaires nous accompagnent dans la réalisation de notre acti-

vité de recherche que ce soit des techniciens de laboratoires (3), des étudiants de master (5), des doctorants (3) ou encore des postdoctorants (4) ou bien des cliniciens (3).

Notre équipe s'inscrit dans le champ disciplinaire des neurosciences des systèmes avec une composante fondamentale ainsi qu'une composante translationnelle. Nos centres d'intérêts gravitent autour de la dynamique des circuits neuronaux du cortex préfrontal et de l'amygdale au cours des comportements de peur et d'anxiété, des comportements appétitifs habituels et dirigés vers un but. Nos approches comprennent des outils d'analyse de l'activité neuronale en temps réel (électrophysiologie unitaire, imagerie calcique à résolution cellulaire), des outils mathématiques et informatiques d'analyse de ces signaux et des approches comportementales dédiées.

Plusieurs publications sélectionnées sur 53 publications sont données en fin de contribution : [1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10].

Activités en cours

Les sujets développés actuellement par nos équipes concernent notamment la prise de décision dans des conditions émotionnelles positives ou négatives, les mécanismes et les circuits neuronaux de la peur et de l'anxiété, la consolidation des apprentissages aversifs et les dynamiques neuronales sous-jacentes ainsi que les circuits et mécanismes neuronaux de l'action habituelle ou dirigée vers un but. Les approches utilisées au laboratoire se basent sur l'analyse dynamique des comportements,



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

les enregistrements électrophysiologiques et d'imagerie calcique chez l'animal libre de ses mouvements, ainsi que les méthodes computationnelles basées sur l'apprentissage automatique pour l'analyse des comportements et des dynamiques neuronales. Ces approches fondamentales sont complétées par des études cliniques basées sur les découvertes fondamentales du laboratoire au cours des dernières années. Nous avons notamment développé des études cliniques visant à caractériser chez le sujet anxieux une signature neuronale des états de peur et d'anxiété identifiée chez le rongeur en la présence d'oscillations préfrontales lentes centrées sur le 4 Hz. Nos publications récentes se basent sur l'utilisation d'outils informatiques de décodage de l'activité neuronale qui nous ont permis d'appréhender la dynamique des réseaux neuronaux du cortex préfrontal lors de tâches comportementales à complexité croissante combinant des stimuli avec une valence positive et négative de différentes intensités. Nous avons ainsi identifié la présence de signaux neuronaux codant pour des événements saillants, de valences opposées et de valeur différente. Nous avons constaté que, si une fraction similaire de neurones décodait les informations de valence et de valeur, et qu'une fraction mineure seulement décodait la saillance, un codage de la valeur des événements était observé à l'échelle de la population neuronale. De plus, différentes représentations de valeur d'une même valence se situaient dans des sous-espaces similaires de l'espace d'état neuronal, tandis que les valeurs de valence opposée étaient codées dans des sous-espaces orthogonaux, révélant ainsi la manière dont le cerveau stocke les informations associatives, appétitives et aversives dans les réseaux préfrontaux médians.

Plusieurs publications récentes sont données en fin de contribution : [6, 8, 11].

Conclusion

Nos perspectives se concentrent actuellement sur des approches de segmentation comportementale capables de capturer la dynamique comportementale et les variations moments après moments des états comportementaux. L'établissement de ces cartes comportementales dynamiques permettra ensuite d'appréhender la dynamique des circuits neuronaux préfrontaux et amygdaliens en relation à ces états comportementaux spécifiques. Ces approches nécessitent l'utilisation classique des outils informatiques comme l'apprentissage automatique (décodage neuronal), mathématiques basées sur l'analyse topologique multidimensionnelle et statistiques comme les modèles de Markov.

Références

- [1] Thomas C.M. Bienvenu, Cyril Dejean, Daniel Jercog, Bruno Aouizerate, Maël Lemoine, and Cyril Herry. The advent of fear conditioning as an animal model of post-traumatic stress disorder : Learning from the past to shape the future of ptsd research. *Neuron*, 109(15) :2380–2397, 2021.
- [2] Julien Courtin, Fabrice Chaudun, Robert R. Rozeske, Nikolaos Karalis, Cecilia Gonzalez-Campo, Hélène Wurtz, Azzedine Abdi, Jerome Baufreton, Thomas C. M. Bienvenu, and Cyril Herry. Prefrontal parvalbumin interneurons shape neuronal activity to drive fear expression. *Nature*, 505, 2014.
- [3] Cyril Dejean, Julien Courtin, Nikolaos Karalis, Fabrice Chaudun, Hélène Wurtz, Thomas C. M. Bienvenu, and Cyril Herry. Prefrontal neuronal assemblies temporally control fear behaviour. *Nature*, 535, 2016.
- [4] Nadine Gogolla, Pico Caroni, Andreas Lüthi, and Cyril Herry. Perineuronal nets pro-



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- tect fear memories from erasure. *Science*, 325 :1258–61, 10 2009.
- [5] Cyril Herry and Joshua P. Johansen. Encoding of fear learning and memory in distributed neuronal circuits. *Nature Neuroscience*, 17, 2014.
- [6] Daniel Jercog, Nanci Winke, Kibong Sung, Mario Martin-Fernandez, Claire Francioni, Domitille Rajot, Julien Courtin, Fabrice Chaudun, Pablo Jercog, Stephane Valerio, and Cyril Herry. Dynamical prefrontal population coding during defensive behaviours. *Nature*, 595 :1–5, 07 2021.
- [7] N. Karalis, C. Dejean, F. Chaudun, S. Khoder, RR. Rozeske, H. Wurtz, S. Bagur, K. Benchenane, A. Sirota, J. Courtin, and C. Herry. Internally generated 4 hz oscillations synchronize prefrontal-amygdala neuronal circuits during fear behaviour. *Nature Neuroscience*, 19, 2016.
- [8] Mario Martin-Fernandez, Ana Paula Menegolla, Guillem Lopez-Fernandez, Nanci Winke, Daniel Jercog, Ha-Rang Kim, Delphine Girard, Cyril Dejean, and Cyril Herry. Prefrontal circuits encode both general danger and specific threat representations. *Nature Neuroscience*, 26, 2023.
- [9] Robert R. Rozeske, Daniel Jercog, Nikolaos Karalis, Fabrice Chaudun, Suzana Khoder, Delphine Girard, Nanci Winke, and Cyril Herry. Prefrontal-periaqueductal gray-projecting neurons mediate context fear discrimination. *Neuron*, 97(4) :898–910.e6, 2018.
- [10] Philip Tovote, Maria Esposito, Paolo Botta, Fabrice Chaudun, Jonathan Fadok, Milica Markovic, Steffen Wolff, Charu Ramakrishnan, Lief Fenno, Karl Deisseroth, Cyril Herry, Silvia Arber, and Andreas Lüthi. Midbrain circuits for defensive behaviour. *Nature*, 534, 06 2016.
- [11] Nanci Winke, Cyril Herry, and Daniel Jercog. The geometry of appetitive-aversive value representations in medial prefrontal networks. *bioRxiv*, 2023.

■ Équipe GIN de l'Institut des Maladies Neurodégénératives

Institut des Maladies Neurodégénératives
Université de Bordeaux
<https://www.gin.cnrs.fr/fr/>

Michel Thiebaut DE SCHOTTEN
michel.thiebaut@gmail.com

Marc JOLIOT
marc.joliot@u-bordeaux.fr

Présentation générale

Notre équipe est principalement basée au sein du Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle (GIN), une unité de l'Institut des Maladies Neurodégénératives – UMR 5293, CNRS, CEA, Université de Bordeaux. Les membres permanents impliqués dans les travaux en intelligence artificielle sont Michel Thiebaut DE SCHOTTEN (également directeur du *Brain Connecti-*

vity and Behaviour Laboratory à Paris), Marc JOLIOT (également co-directeur du Ginesislab à Bordeaux), Ami TSUCHIDA et Thomas TOURDIAS (CHU Bordeaux).

Notre laboratoire se situe à l'intersection des neurosciences cognitives et computationnelles, avec un accent particulier sur l'intégration de méthodes avancées d'intelligence artificielle pour analyser l'imagerie anatomique et modéliser les interactions complexes entre



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

structure cérébrale, connectivité fonctionnelle et comportement. La spécificité du laboratoire réside dans l'acquisition et le traitement de cohortes d'imagerie en résonance magnétique anatomo-fonctionnelle [11]. L'étude de la cognition est abordée à la fois par l'analyse de fonctions spécifiques, telles que le langage [6], et via des approches globales, comme le « morphospace » [9] ou l'atlas des fonctions cognitives GINNA [5]. Concernant les pathologies, l'équipe s'intéresse particulièrement à la maladie des petits vaisseaux, tant sous un angle radiomique [1], que dans son interaction avec la génétique [3] ou dans le contexte de l'AVC. À ce titre, nous avons mené des études sur la prédiction des symptômes cognitifs post-AVC via le « disconnectome latent » [10] et sur l'application de l'apprentissage profond aux disconnectomes pour accélérer et améliorer les prédictions cliniques [7].

Activités en cours

Une première ligne de recherche, poursuivie par un doctorant, se concentre sur la radiomique longitudinale, c'est-à-dire l'application de méthodes de segmentation des lésions de la substance blanche et d'analyse de la connectivité fonctionnelle sur des données acquises chez les mêmes sujets, tout au long du vieillissement normal ou pathologique. Cette recherche vise à prédire l'état futur d'un individu en utilisant les données d'imagerie les plus anciennes possibles, afin d'intervenir préventivement pour contrer un vieillissement pathologique pouvant conduire à des événements majeurs comme un AVC ou une maladie neurodégénérative, telle que la maladie d'Alzheimer. La prédiction est également au cœur des travaux d'un autre doctorant, qui explore le lien entre les compétences cognitives, l'état de repos conscient [2] et la connectivité fonctionnelle.

Nos activités actuelles portent aussi sur le

développement et l'application de techniques de plongement dimensionnel, afin de capturer les propriétés émergentes, la duplicité des origines des observations cliniques, et de générer de nouvelles données prédictives. Parmi les doctorants récents ou en cours, les projets incluent le développement du *Disconnectome Symptoms Discoverer* (DSD), permettant de prédire les symptômes cognitifs à long terme après un AVC [10], l'utilisation de l'apprentissage profond pour générer rapidement des disconnectomes précis et améliorer les prédictions cliniques [7], la prédiction de cartes de biologie cellulaire à partir de l'imagerie cérébrale [8] et le développement de la méthode EMUSES, qui généralise ces approches à divers types de données, comme les images manuscrites, les visages ou encore les données cliniques [4].

Nous collaborons étroitement à l'international avec des institutions telles que l'Université de Padoue, le King's College London et la Radboud University. Notre équipe est également associée à l'entreprise Fealinx, avec laquelle nous développons des algorithmes d'apprentissage profond via le laboratoire Ginesislab, codirigé par Marc JOLIOT (GIN) et Philippe BOUTINAUD (Fealinx). Notre travail bénéficie de plusieurs valorisations, notamment via l'application web interactive du DSD, facilitant son usage clinique et académique, ainsi que par la mise à disposition de la suite logicielle de segmentation des lésions de la substance blanche, [SHIVA-AI](#).

Conclusion

Nos perspectives s'orientent vers l'approfondissement des méthodes intégratives et prédictives dans le domaine en pleine évolution de l'intelligence artificielle appliquée aux neurosciences. Nous visons à renforcer la robustesse, l'interprétabilité et l'applicabilité clinique de nos méthodes, notamment par l'utilisation croissante d'outils ouverts tels que EMUSES,



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

GINNA33, DSD et SHIVA-AI. Grâce aux projets RHU SHIVA et IHU BRAINVASC, nous avons sécurisé légalement l'accès à plus de 11 cohortes d'imagerie, représentant plusieurs dizaines de milliers de sujets. La combinaison de méthodes d'IA de pointe avec un corpus de données couvrant la vie adulte et de nombreuses pathologies offre des perspectives majeures pour améliorer la compréhension des mécanismes sous-jacents aux fonctions cognitives et aux maladies neurologiques, ouvrant la voie à une médecine de précision toujours plus fine et individualisée. À mesure que la complexité et la quantité de données disponibles augmentent, notre laboratoire continuera à jouer un rôle clé dans la structuration et l'interprétation scientifique de ces données, au service de l'innovation thérapeutique et du diagnostic précoce.

Références

- [1] Philippe Boutinaud, Ami Tsuchida, Alexandre Laurent, Filipa Adonias, Zahra Hanifehlou, Victor Nozais, Violaine Verrecchia, Leonie Lampe, Junyi Zhang, Yi-Cheng Zhu, Christophe Tzourio, Bernard Mazoyer, and Marc Joliot. 3d segmentation of perivascular spaces on t1-weighted 3 tesla mr images with a convolutional autoencoder and a u-shaped neural network. *Frontiers in Neuroinformatics*, 15, 2021.
- [2] Sandrine Cremona, Marc Joliot, and Emmanuel Mellet. Cluster-based characterization of consistencies in individuals' thought profiles at rest in a cohort of 1779 French university students. *Current Psychology*, December 2022.
- [3] Marie-Gabrielle Duperron, Maria J. Knol, Quentin Le Grand, Tavia E. Evans, Aniket Mishra, Ami Tsuchida, Gennady Roshchupkin, Takahiro Konuma, David-Alexandre Trégouët, Jose Rafael Romero, Stefan Frenzel, Michelle Luciano, Edith Hofer, Mathieu Bourgey, Nicole D. Dueker, Pilar Delgado, Saima Hilal, Rick M. Tankard, Florian Dubost, Jean Shin, Yasaman Saba, Nicola J. Armstrong, Constance Bordes, Mark E. Bastin, Alexa Beiser, Henry Brodaty, Robin Bülow, Caty Carrera, Christopher Chen, Ching-Yu Cheng, Ian J. Deary, Piyush G. Gampawar, Jayandra J. Himali, Jiyang Jiang, Takahisa Kawaguchi, Shuo Li, Melissa Macalli, Pascale Marquis, Zoe Morris, Susana Muñoz Maniega, Susumu Miyamoto, Masakazu Okawa, Matthew Paradise, Pedram Parva, Tatjana Rundek, Muralidharan Sargurupremraj, Sabrina Schilling, Kazuya Setoh, Omar Soukariéh, Yasuharu Tabara, Alexander Teumer, Anbupalam Thalamuthu, Julian N. Trollor, Maria C. Valdés Hernández, Meike W. Vernooij, Uwe Völker, Katharina Wittfeld, Tien Yin Wong, Margaret J. Wright, Junyi Zhang, Wanting Zhao, Yi-Cheng Zhu, Helena Schmidt, Perminder S. Sachdev, Wei Wen, Kazumichi Yoshida, Anne Joutel, Claudia L. Satizabal, Ralph L. Sacco, Guillaume Bourque, Quentin Le Grand, Mark Lathrop, Tomas Paus, Israel Fernandez-Cadenas, Qiong Yang, Bernard Mazoyer, Philippe Boutinaud, Yukinori Okada, Hans J. Grabe, Karen A. Mather, Reinhold Schmidt, Marc Joliot, M. Arfan Ikram, Fumihiko Matsuda, Christophe Tzourio, Joanna M. Wardlaw, Sudha Seshadri, Hieab H. H. Adams, Stéphanie Dchette, and the CHARGE consortium. Genomics of perivascular space burden unravels early mechanisms of cerebral small vessel disease. *Nature Medicine*, 29, 2023.
- [4] Chris Foulon, Marcela Ovando-Tellez, Lia Talozzi, Maurizio Corbetta, Anna Matsulevits, and Michel Thiebaut de Schotten. Emerging-properties mapping using spa-



- tial embedding statistics : Emuses. arXiv, June 2024.
- [5] Achille Gillig, Sandrine Cremona, Laure Zago, Emmanuel Mellet, Michel Thiebaut de Schotten, Marc Joliot, and Gael Jobard. Ginna, a 33 resting-state networks atlas with meta-analytic decoding-based cognitive characterization. *Communications Biology*, 8, 2025.
- [6] Loïc Labache, Bernard Mazoyer, Marc Joliot, Fabrice Crivello, Isabelle Hesling, and Nathalie Tzourio-Mazoyer. Typical and atypical language brain organization based on intrinsic connectivity and multitask functional asymmetries. *eLife*, 9 :e58722, oct 2020.
- [7] Anna Matsulevits, Pierrick Coupé, Huy-Dung Nguyen, Lia Talozzi, Chris Foulon, Parashkev Nachev, Maurizio Corbetta, Thomas Tourdias, and Michel Thiebaut de Schotten. Deep learning disconnectomes to accelerate and improve long-term predictions for post-stroke symptoms. *Brain Communications*, 6(5) :fcae338, 09 2024.
- [8] Eugene V. Mosharov, Ayelet M. Rosenberg, Anna S. Monzel, Corey A. Osto, Linsey Stiles, Gorazd B. Rosoklija, Andrew J. Dwork, Snehal Bindra, Alex Junker, Ya Zhang, Masashi Fujita, Madeline B. Mariani, Mihran Bakalian, David Sulzer, Philip L. De Jager, Vilas Menon, Orian S. Shirihai, J. John Mann, Mark D. Underwood, Maura Boldrini, Michel Thiebaut de Schotten, and Martin Picard. A human brain map of mitochondrial respiratory capacity and diversity. *Nature*, 641, 2025.
- [9] Valentina Pacella, Victor Nozais, Lia Talozzi, Majd Abdallah, Demian Wassermann, Stephanie Forkel, and Michel Thiebaut de Schotten. The morphospace of the brain-cognition organisation. *Nature Communications*, 15(1) :8452, September 2024.
- [10] Lia Talozzi, Stephanie J Forkel, Valentina Pacella, Victor Nozais, Etienne Allart, Céline Piscicelli, Dominic Pérennou, Daniel Tranel, Aaron Boes, Maurizio Corbetta, Parashkev Nachev, and Michel Thiebaut de Schotten. Latent disconnectome prediction of long-term cognitive-behavioural symptoms in stroke. *Brain : a journal of neurology*, 146, 2023.
- [11] Ami Tsuchida, Alexandre Laurent, Fabrice Crivello, Laurent Petit, Marc Joliot, Antonietta Pepe, Naka Beguedou, Marie-Fateye Gueye, Violaine Verrecchia, Victor Nozais, Laure Zago, Nathalie Tzourio-Mazoyer, Emmanuel Mellet, Stéphanie Debette, Christophe Tzourio, and Bernard Mazoyer. The MRi-Share database : brain imaging in a cross-sectional cohort of 1,870 university students. *Brain Structure and Function*, 226(7) :2057–2085, July 2021.



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

■ Équipe « Réseaux dynamiques de l'apprentissage procédural » de l'IMM

*Institut des Maladies Neurodégénératives
CNRS, Université de Bordeaux*

www.imn-bordeaux.org/equipes/physiologie-et-physiopathologie-des-fonctions-executives/

Nicolas MALLET

nicolas.mallet@u-bordeaux.fr

Arthur LEBLOIS

arthur.leblois@u-bordeaux.fr

Présentation générale

L'équipe « Réseaux dynamiques de l'apprentissage procédural » est une des équipes de l'Institut des Maladies Neurodégénératives (IMN), une Unité Mixte de Recherche (UMR 5293) associant l'Université de Bordeaux et le CNRS.

Notre objectif est de comprendre les mécanismes neuronaux sous-jacents aux fonctions exécutives cognitives et motrices. Nous nous intéressons principalement aux aspects physiologiques et physiopathologiques des processus de planification, de prise de décision et d'apprentissage moteur. Notre stratégie repose à la fois sur une approche systémique, centrée sur les interactions entre les différentes structures impliquées (cortex, noyaux gris centraux, thalamus, lobe temporal médian, etc.), et sur une approche translationnelle (du rongeur à l'humain, en conditions normales et pathologiques).

Dans ce cadre général, nous développons les axes de recherche suivants :

- Physiologie des processus décisionnels ;
- Physiologie de l'apprentissage moteur ;
- Propriétés dynamiques des boucles cortico-sous-corticales ;
- Physiopathologie de la maladie de Parkinson ;
- Physiopathologie de la dystonie et des TOC.

Nos études expérimentales sont guidées par une approche théorique *a priori* et affinée secondairement en fonction des données expéri-

mentales. Nous utilisons des méthodes informatiques basées sur la physique systémique et étudions spécifiquement les propriétés dynamiques des réseaux. Ce travail a été réalisé en étroite collaboration avec des théoriciens (David HANSEL, Yonatan LOEWESTEIN, Frédéric ALEXANDRE). Nos approches expérimentales vont de l'enregistrement juxtacellulaire chez l'animal anesthésié à l'enregistrement multi-électrodes chez l'animal éveillé et en comportement.

Afin d'analyser l'énorme quantité de données générées par nos enregistrements multi-électrodes, nous avons également développé nos propres outils d'analyse. De plus, nous tirons parti de notre expérience clinique pour répondre à des questions spécifiques chez le singe en développant des modèles non humains de plusieurs maladies (TOC, dystonie, épilepsie) à partir d'observations cliniques réalisées chez des patients.

Les membres de l'équipe sont : Nicolas MALLET, Arthur LEBLOIS (CR, CNRS, co-responsables), Marc DEFFAINS (CR CNRS), Alexis DUBREUIL (CR CNRS), Thomas BORAUD (DR CNRS), Pierre BURBAUD (PU-PH), Dominique GHUEL (PU PH), Jérôme AUPY (MCU PH).

Vous trouverez en fin de contribution une liste de publications représentatives.

Activités en cours

Simon DÉJEAN, doctorant supervisé par Alexis DUBREUIL, modélise les réseaux d'ap-



prentissage par renforcement dans les ganglions de la base, avec des réseaux artificiels du même type que ceux utilisés dans [3].

Elena NICOLLIN, co-supervisée par Nicolas MALLET et Arthur LEBLOIS, étudie le mécanisme de génération d'oscillation pathologique et la dynamique du réseau des ganglions de la base dans un modèle de réseau dont les poids et les constantes synaptiques sont extraits de données expérimentales. L'extraction des poids synaptiques à partir de données expérimentales combinant électrophysiologie et optogénétique est une approche nouvelle qui devrait permettre de mieux comprendre dans quel régime dynamique le réseau des ganglions de la base fonctionne chez l'animal, et pas simplement de faire des prédictions aveugles, pour avoir des réseaux artificiels dont le fonctionnement est plus proche de ce qui se passe dans le cerveau.

Carmen GUERRERO, doctorante sous la direction d'Arthur LEBLOIS, étudie la relation entre activité neuronale et chant. Un modèle de représentation du chant à basse dimension (production du chant avec un espace latent à faible dimension dans un réseau profond) sera utilisé pour mieux comprendre la relation entre chant et activité neuronale, et permettra de mieux comprendre la relation entre activité neuronale et comportement.

Réjane JOYARD (actuellement en Master) et Julien BRAINE (post-doc), sous la supervision de Nicolas MALLET, utilise des modèles d'IA pour traquer le comportement moteur des rats et souris en situation normale et pathologique, notamment pour mieux comprendre les dystonies (mouvements involontaires) qui apparaissent après traitement dans la maladie de Parkinson.

Conclusion

Nous nous attendons à développer des modèles d'IA plus proche des réseaux du cerveau,

et également à développer des outils d'IA qui permettent d'améliorer notre compréhension du cerveau grâce à des représentations du comportement et de l'activité neuronale plus précises. Il y a plusieurs perspectives en IA :

- Interactions IA et modélisation des circuits neuronaux : un axe (porté par Alexis DUBREUIL) consiste à étudier des réseaux artificiels qui apprennent des tâches classiques de neurosciences pour mettre en avant les mécanismes neuronaux permettant de résoudre ces tâches, afin de proposer des tests expérimentaux de ces prédictions et de vérifier que des mécanismes similaires sont mis en place dans les réseaux cérébraux ;
- Modélisation des voies motrices : utiliser les modèles d'apprentissage profond pour piloter la production motrice, et les substituer à la voie motrice descendante dans les réseaux d'apprentissage moteur (par exemple [8]) ;
- Modéliser les processus d'apprentissage moteur à l'aide de réseaux de neurones inspirés à la fois des neurosciences et des réseaux profonds de l'IA (par exemple [10]).

Références

- [1] Asier Aristieta, Massimo Barresi, Shiva Azizpour Lindi, Grégory Barrière, Gilles Courtand, Brice de La Crompe, Lise Guilhemsang, Sophie Gauthier, Stéphanie Fioramonti, Jérôme Baufreton, and Nicolas Mallet. A disynaptic circuit in the globus pallidus controls locomotion inhibition. *Current Biology*, 31, 2021.
- [2] Brice de La Crompe, Asier Aristieta, Arthur Leblois, Salma Elsherbiny, Thomas Boraud, and Nicolas Mallet. The globus pallidus orchestrates abnormal network dynamics in a model of Parkinsonism. *Nature Communications*, 11(1), March 2020.



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- [3] Alexis Dubreuil, Adrian Valente, Manuel Beiran, Francesca Mastrogiuseppe, and Srdjan Ostojic. The role of population structure in computations through neural dynamics. *Nature Neuroscience*, 25(6), 2022.
- [4] Dominique Guehl, Etienne Guillaud, Nicolas Langbour, Emilie Doat, Nicolas Auzou, Edouard Courtin, Olivier Branchard, Julien Engelhardt, Abdelhamid Benazzouz, Alexandre Eusebio, Emmanuel Cuny, and Pierre Burbaud. Usefulness of thalamic beta activity for closed-loop therapy in essential tremor. *Scientific Reports*, 13(1), 2023.
- [5] Shiran Katabi, Avital Adler, Marc Deffains, and Hagai Bergman. Dichotomous Activity and Function of Neurons with Low- and High-Frequency Discharge in the External Globus Pallidus of Non-Human Primates. working paper or preprint, November 2022.
- [6] Shiran Katabi, Avital Adler, Marc Deffains, and Hagai Bergman. Dichotomous activity and function of neurons with low- and high-frequency discharge in the external globus pallidus of non-human primates. *Cell reports*, 42(1), 2023.
- [7] Joachim Mazere, Bixente Dilharreguy, Gwenaëlle Catheline, Marie Vidailhet, Marc Deffains, Delphine Vimont, Bastien Ribot, Elodie Barse, Laura Cif, Bernard Mazoyer, Nicolas Langbour, Antonio Pisani, Michèle Allard, Frédéric Lamare, Dominique Guehl, Philippe Fernandez, and Pierre Burbaud. Striatal and cerebellar vesicular acetylcholine transporter expression is disrupted in human *dyt1* dystonia. *Brain*, 144(3) :909–923, 02 2021.
- [8] Silvia Pagliarini, Arthur Leblois, and Xavier Hinaut. Vocal imitation in sensorimotor learning models : a comparative review. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, November 2020.
- [9] Ludivine Pidoux, Pascale Le Blanc, Carole Levenes, and Arthur Leblois. A subcortical circuit linking the cerebellum to the basal ganglia engaged in vocal learning. *eLife*, 7, 2018.
- [10] Remya Sankar, Nicolas P. Rougier, and Arthur Leblois. Computational benefits of structural plasticity, illustrated in songbirds. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2021.

■ Équipe projet Inria « Mnemosyne » de l'IMN

Mnemosyne
Inria, Université de Bordeaux
<https://team.inria.fr/mnemosyne/fr/>

Frédéric ALEXANDRE
Frederic.Alexandre@inria.fr

Présentation générale

L'équipe **Mnemosyne** du centre Inria de l'Université de Bordeaux est composée de cinq chercheurs Inria : Frédéric ALEXANDRE (responsable de l'équipe), Xavier HINAUT, Chloé

MERCIER, Nicolas ROUGIER et Thierry VIÉVILLE). Elle fait partie du Laboratoire Bordeaux de Recherche en Informatique (LaBRI, UMR 5800 associée au CNRS, université de Bordeaux, Bordeaux INP). Elle est localisée sur le NeuroCampus de Bordeaux dans les locaux



de l'Institut des Maladies Neurodégénératives (IMN, UMR 5293 associée au CNRS et à l'université de Bordeaux).

Le but principal de l'équipe est de modéliser les fonctions cognitives supérieures, comme résultat de l'interaction entre différentes formes de mémoire. Ces fonctions cognitives sont relatives d'une part aux associations sensorimotrices, à la perception et à la prise de décision et d'autre part à la métacognition (raisonnement, créativité, langage). Les différentes formes de mémoire peuvent être explicites (sémantique, épisodique) ou implicites (procédurale, conditionnement).

Du point de vue des neurosciences, ces différentes formes de mémoire ont été associées à différentes structures cérébrales (cortex, hippocampe, ganglions de la base) que nous modélisons pour étudier comment leurs interactions participent à la réalisation de ces fonctions cognitives et permettent d'observer différents phénomènes (transfert, consolidation, imagination, délibération, confiance). Ces travaux sont réalisés en relation avec les neurosciences pour mieux comprendre certains mécanismes cérébraux. Ils permettent différentes applications médicales pour mieux comprendre des maladies neurologiques (TOC, épilepsie) et neurodégénératives (dont Parkinson et Alzheimer) ainsi que des troubles cognitifs (addiction, dépression) voire psychiatriques (schizophrénie).

Ces systèmes de mémoire peuvent aussi être vus comme des modèles d'agents intelligents, ce qui nous permet également de contribuer au domaine de l'intelligence artificielle, en proposant des modèles originaux bio-inspirés ou en comparant ces mécanismes à des modèles classiques de l'apprentissage automatique. Nous utilisons en particulier le cadre de l'apprentissage par renforcement pour la décision motivée et le cadre des *Echo State Networks* (*Reservoir Computing*) pour le traite-

ment d'informations séquentielles (dont le langage).

Outre les neurosciences, nous développons également les collaborations avec d'autres domaines scientifiques dont les sciences de l'éducation, la philosophie, le droit et nous avons une activité importante de médiation scientifique, en particulier pour présenter l'impact de ces sujets dans la société (voir [1, 5, 6] pour plus de détails).

Activités en cours

Modélisation de mécanismes d'apprentissage. Dans le cadre d'une action exploratoire Inria, BrainGPT, nous explorons l'association de grands modèles de langage (LLM) avec le paradigme du *Reservoir Computing* pour améliorer la plausibilité biologique de ce type de modèles et pour obtenir des modèles plus économes en calcul et en énergie. Ces travaux sont réalisés en association avec des neurologues de l'Université de Bordeaux, qui s'intéressent aux circuits cérébraux du langage.

Toujours avec le paradigme du *Reservoir Computing*, nous avons modélisé les mécanismes de mémoire de travail dans le cortex préfrontal et leur usage dans des tâches de calcul. Nous avons également modélisé le mécanisme de contrôle épisodique, c'est-à-dire la façon dont le rappel de mémoires épisodiques peut participer au contrôle cognitif.

Nous nous intéressons également à l'usage du formalisme de codage prédictif pour la réalisation de modèles génératifs et leur usage dans la consolidation, entre mémoire épisodique et mémoire sémantique.

Modélisation de la métacognition. Nous proposons de combiner des modèles de mémoire de travail dans le cortex frontal et de mémoire épisodique dans l'hippocampe pour réaliser des fonctions métacognitives. De telles fonctions doivent être capables d'analyser des



conflits de traitement et des erreurs pour inhiber des réponses élémentaires et les remplacer par des règles dépendantes du contexte. Nous appliquons ce type d'approche dans le projet ANR Courrier, qui traite du partage de travail entre humains et machines à partir de l'intention respective de ces agents et de la confiance qu'ils peuvent estimer.

Plus généralement, dans le cadre d'une équipe associée avec le CWI aux Pays-Bas, nous mettons sur pied un réseau international pour la définition de la métacognition, la spécification de ses mécanismes et la définition de tâches pour son évaluation.

Domaines d'application. Nous étudions particulièrement en ce moment deux domaines d'application de nos travaux. D'une part, en lien avec des laboratoires de sciences de l'éducation, nous nous intéressons à la résolution de problèmes dans un contexte éducatif et à l'usage de la créativité pour résoudre des problèmes mal définis.

D'autre part, avec des collègues juristes et de science des données, dans le cadre d'une action exploratoire de l'Université de Bordeaux, nous abordons des aspects plus éthiques de l'usage de ces modèles, en considérant en particulier les effets de surveillance qu'ils peuvent développer sur notre société. Dans ce cadre, nous avons créé un Observatoire de la Surveillance en Démocratie et organisons des rencontres multidisciplinaires sur ces thèmes.

Nous renvoyons le lecteur vers [2, 3, 4] pour plus de détails.

Conclusion

Nous sommes actuellement en train de préparer la proposition d'une nouvelle équipe, Braincraft, regroupant les mêmes chercheurs (avec Nicolas ROUGIER comme responsable), autour d'une problématique plus globale et plus

intégrative.

Au lieu de simplement participer au développement de mécanismes informatique fragmentés, nous proposons ici de mettre l'accent en priorité sur une approche intégrative, considérant en particulier que nous sommes capables de réaliser de façon cohérente et intégrée l'ensemble des mécanismes que nous avons évoqués ici et que ceci est le résultat à la fois de mécanismes phylogénétiques et ontogénétiques et du caractère incarné de notre cognition.

Le programme de travail que nous proposons pour les années à venir intègre donc des aspects évolutionnaires (modélisation comparative chez différents vertébrés), développementaux (établissement progressif de compétences) et écologiques (visant des problèmes réalistes et non des tâches artificielles de laboratoire).

Références

- [1] Frédéric Alexandre. A global framework for a systemic view of brain modeling. *Brain Informatics*, 8(1) :22, February 2021.
- [2] Hugo Chateau-Laurent and Frédéric Alexandre. Relating Hopfield Networks to Episodic Control. In *Proceedings Advances in Neural Information Processing Systems 37 (NeurIPS 2024)*, Vancouver, Canada, December 2024.
- [3] Snigdha Dagar, Frédéric Alexandre, and Nicolas P. Rougier. From concrete to abstract rules : A computational sketch. In *BI 22 - The 15th International Conference on Brain Informatics*, Padova, Italy, July 2022.
- [4] Subba Reddy Oota, Zijiao Chen, Manish Gupta, Bapi Raju Surampudi, Gaël Jobard, Frédéric Alexandre, and Xavier Hinaut. Deep Neural Networks and Brain Alignment : Brain Encoding and Decoding



- (Survey). *Transactions on Machine Learning Research Journal*, December 2024.
- [5] Remya Sankar, Nicolas P. Rougier, and Arthur Leblois. Computational benefits of structural plasticity, illustrated in songbirds. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 132 :1183–1196, 2021.
- [6] Anthony Strock, Xavier Hinaut, and Nicolas P. Rougier. A Robust Model of Gated Working Memory. *Neural Computation*, 32(1) :153–181, November 2019.



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Partie V
Région Occitanie



■ Groupe « Calculs neuronaux et perception visuelle » du cluster IA ANITI

ANITI, CerCo

Université de Toulouse

https://aniti.univ-toulouse.fr/fr_fr/cobots-with-conversation-cognition-and-perception/

Thomas SERRE

thomas_serre@brown.edu

Présentation générale

Le Groupe « Calculs neuronaux et perception visuelle » travaille sur la thématique « Perception avec et sans *Global Workspace* » de la chaire C3P0 du cluster IA Toulousain ANITI. Elle est composée de Thomas SERRE (Professeur, Brown University), Victor BOUTIN (CR CNRS, CerCo) et Bastien LELAN (Doc-torant).

Au sein d'ANITI nous collaborons sur de nombreux projets allant de la robotique à l'intelligence artificielle explicable. Nous sommes également étroitement intégrés au laboratoire principal du Pr. Thomas SERRE à la Brown University aux États-Unis, dont l'équipe se consacre au développement de modèles d'apprentissage profond inspirés des neurosciences pour la compréhension visuelle.

Activités en cours

Les travaux en psychologie menés au cours des dernières décennies ont montré que les tâches cognitives les plus complexes exigent de plus grandes capacités de généralisation et prennent plus de temps à résoudre [8]. Cela suggère que le cerveau alloue dynamiquement davantage de ressources de calcul aux tâches les plus exigeantes, ce qui se traduit par des temps de réaction plus longs. En revanche, les systèmes d'intelligence artificielle actuels, tels que ChatGPT, restent limités dans leur capacité à ajuster de manière flexible leur budget en calcul en fonction de la complexité des

tâches qui leur sont données. Dans ce projet, nous nous appuyons sur les récents progrès des *Energy-Based Models* (EBM) [4] pour développer un cadre théorique visant à caractériser la relation complexe entre la demande en calcul et le temps de réaction dans l'intelligence naturelle. Contrairement aux modèles classiques d'apprentissage profond fondés sur des associations fixes entre entrées et sorties, les EBM apprennent un « paysage énergétique » : un espace dynamique dans lequel différentes solutions correspondent à différents niveaux d'énergie, et où le modèle cherche à atteindre le point d'énergie minimale. Cette approche permet une exploration flexible de l'espace des solutions pour une nouvelle tâche. Il ne s'agit plus d'apprendre directement une solution, mais plutôt d'apprendre à apprendre. En formulant le raisonnement comme un problème de minimisation d'énergie, cette approche permet de concevoir des modèles de calcul capables d'ajuster dynamiquement leur budget en fonction de la complexité de la tâche, en mobilisant des procédures d'optimisation plus élaborées pour les paysages énergétiques plus complexes [3]. Pour plus de détail, nous renvoyons le lecteur vers des publications récentes : [1, 2, 5, 6, 7].

Conclusion

Nous entrons dans une ère où l'IA peut non seulement bénéficier des avancées en neurosciences, mais aussi contribuer à en accélérer la découverte. De nombreux défis subsistent, et



le cerveau humain reste une source inestimable d'inspiration pour repousser les limites de l'intelligence artificielle.

Références

- [1] Aarit Ahuja, Nadira Yusif Rodriguez, Alekh Karkada Ashok, Thomas Serre, Theresa Desrochers, and David Sheinberg. Monkeys engage in visual simulation to solve complex problems. *Current Biology*, 2024.
- [2] Yu-Ang Cheng, Ivan F Rodriguez Rodriguez, Sixuan Chen, Kohitij Kar, Takeo Watanabe, and Thomas Serre. RTify : Aligning deep neural networks with human behavioral decisions (poster). In *The Thirty-eighth Annual Conference on Neural Information Processing Systems*, 2024.
- [3] Yilun Du, Jiayuan Mao, and Joshua B. Tenenbaum. Learning iterative reasoning through energy diffusion. In *Forty-first International Conference on Machine Learning*, 2024.
- [4] Yilun Du and Igor Mordatch. Implicit generation and modeling with energy based models. In H. Wallach, H. Larochelle, A. Beygelzimer, F. d'Alché-Buc, E. Fox, and R. Garnett, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 32. Curran Associates, Inc., 2019.
- [5] Drew Linsley and Thomas Serre. Fixing the problems of deep neural networks will require better training data and learning algorithms. *Behavioral and Brain Sciences*, 46 :e400, 2023.
- [6] Drew Linsley, Peisen Zhou, Alekh Karkada Ashok, Akash Nagaraj, Gaurav Gaonkar, Francis E Lewis, Zygmunt Pizlo, and Thomas Serre. The 3d-PC : a benchmark for visual perspective taking in humans and machines. In *The Thirteenth International Conference on Learning Representations*, 2025.
- [7] Sabine Muzellec, Drew Linsley, Alekh Karkada Ashok, Ennio Mingolla, Girik Malik, Rufin VanRullen, and Thomas Serre. Tracking objects that change in appearance with phase synchrony. In *The Thirteenth International Conference on Learning Representations*, 2025.
- [8] Roger N. Shepard and Jacqueline Metzler. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972) :701–703, 1971.

■ Équipe NeuroIA du CerCo

CerCo
CNRS, Université de Toulouse
<https://cerco.cnrs.fr/en/neuro-ai-2/>

Timothée MASQUELIER
timothee.masquelier@cnrs.fr

Présentation générale

NeuroAI est une équipe qui incarne la polinisation croisée entre neurosciences et IA : nous utilisons l'IA moderne pour modéliser le traitement du cerveau et donner du sens aux données cérébrales, et nous utilisons notre

connaissance du cerveau pour améliorer l'IA.

L'équipe, très interdisciplinaire, comprend :

- quatre PI locaux, tous chercheurs du CNRS affiliés à la CID51 (biologie computationnelle) ou aux sections 7 (informatique) ou 26 (neurosciences) :



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- [Timothée MASQUELIER](#) (DR2),
 - [Rufin VANRULLEN](#) (DR1),
 - [Victor BOUTIN](#) (CRCN),
 - [Simon THORPE](#) (DRCE émérite).
- deux PI distants :
- [Arnaud DELORME](#) (DR2, Pr. UCSD),
 - [Thomas SERRE](#) (Pr. *Brown University*).
- une vingtaine d'étudiants et de postdocs.

NeuroAI est rattachée au Centre de Recherche Cerveau et Cognition ([CerCo](#)), et affiliée à l'école doctorale [Mathématiques, Informatique et Télécommunications de Toulouse](#). NeuroAI détient les seules chaires [ANITI](#) (*Artificial and Natural Intelligence Toulouse Institute*, le cluster IA toulousain) dans les laboratoires de la Faculté de Santé (attribuées à Rufin VANRULLEN et Thomas SERRE). Le lecteur trouvera ci-après quelques publications fondamentales : [1, 5, 7, 9, 12].

Activités en cours

NeuroAI travaille au carrefour entre les neurosciences et l'IA. D'une part, l'équipe utilise les outils modernes de l'IA pour modéliser plus précisément le traitement du cerveau – par exemple, le traitement visuel ou les simulations mentales – ou pour trouver des signatures neuronales dans de grandes quantités de données IRMf, EEG et MEG, et pour les relier aux caractéristiques du stimulus, à la perception, à la cognition, au comportement et au bien-être. D'autre part, tous les modèles d'IA récents sont des boîtes noires, dont la généralisation reste limitée et qui ont un coût de calcul énorme (énergie, puces, données, etc.) Un autre objectif est donc de s'inspirer du cerveau pour concevoir des modèles d'IA plus interprétables, plus robustes et plus frugaux, par exemple en incorporant des *spikes*, des représentations visuelles plus proches de l'humain ou une architecture cognitive, vrai-

semblablement utilisée par le cerveau et connue sous le nom de *Global Workspace*. Le lecteur trouvera quelques publications récentes : [2, 3, 4, 6, 8, 10, 11].

Ci-dessous, nous détaillons quatre de nos projets en cours qui illustrent notre positionnement scientifique :

Projet 1 : évaluation objective de l'audition et des prothèses auditives via les neurosciences et l'IA. PI : T. MASQUELIER, B. COTTEREAU (CERCO-SV3M) et R. VANRULLEN.

Ce projet est une collaboration avec le groupe de [Nathan WEISZ](#) en Autriche, et nous avons obtenu une ANR PRCI pour le financer. Brièvement, le projet vise à utiliser des enregistrements cérébraux – en particulier des électroencéphalogrammes (EEG) et des magnétoencéphalogrammes (MEG) – combinés à des algorithmes d'IA pour mieux détecter la perte d'audition et mieux la compenser grâce à des prothèses auditives. Le projet s'appuie sur une étude pilote menée par notre partenaire autrichien, dans laquelle les participants ont écouté de la parole dans un scanner MEG. Un modèle *backward*, basé sur de simples régressions de Ridge, a tenté de reconstruire le spectrogramme de la parole à partir du signal MEG. Cette étude a montré qu'une bande de fréquence mal reconstruite indique souvent que cette bande n'est pas bien perçue. Dans la première partie du projet, nous remplacerons la régression Ridge dans le modèle *backward* par des algorithmes d'apprentissage profond, ce qui devrait permettre une meilleure reconstruction du spectrogramme et, par conséquent, une évaluation plus précise de l'audition. Ensuite, nous remplacerons le MEG par l'EEG et nous comparerons les résultats. Dans la deuxième partie du projet, nous entraînerons des modèles *forward* pour prédire les signaux MEG et EEG à partir du spectrogramme. Ensuite, nous



connecterons les modèles *forward* et *backward* et introduirons un simulateur de prothèse auditive, dont les paramètres pourront être optimisés pour chaque patient. L'objectif est de réduire l'erreur de reconstruction du spectrogramme, ce qui pourrait potentiellement améliorer la perception auditive.

Projet 2 : entraînement d'un modèle fondamental EEG multi-tâches et multi-échelles pour améliorer la performance de la classification. PI : A. DELORME et T. MASQUELIER.

Ce projet propose de mettre au point un modèle fondamental EEG entraîné sur des ensembles de données importants et diversifiés grâce à de l'apprentissage auto-supervisé qui combine la reconstruction de signaux masqués et une fonction de coût contrastive. Inspiré par des approches telles que MAE et SimCLR, le modèle apprendra à reconstruire des segments masqués de données EEG tout en distinguant les vues augmentées du même signal, encourageant l'encodeur à capturer des représentations riches et généralisables de la dynamique EEG à travers les tâches, les fréquences et les configurations de canaux. L'entraînement sera effectué sur plusieurs ensembles de données couvrant une variété de tâches cognitives et cliniques, renforçant une structure multi-tâches et multi-échelles. Une fois entraîné, l'encodeur sera affiné sur des applications spécifiques telles que la détection des crises d'épilepsie ou la classification de la charge mentale de travail à l'aide de données étiquetées limitées. L'hypothèse de base est que les représentations apprises par le modèle de base conduiront à des performances de classification plus élevées et à une meilleure généralisation par rapport aux modèles formés uniquement sur des données spécifiques à une tâche.

Projet 3 : ingénierie-inverse de la généralisation chez l'homme grâce à l'IA générative. PI : V. BOUTIN, T. SERRE et R. VANRULLEN.

Ce projet utilise des modèles génératifs d'IA pour mieux comprendre comment le cerveau généralise si bien. Au cœur de cette hypothèse se trouve l'idée que le cerveau simule des scénarios plausibles en utilisant son propre modèle génératif pour généraliser. Pour tester cette hypothèse, nous étudierons les performances humaines dans des tâches de simulation mentale, telles que la rotation mentale, en modélisant à la fois les temps de réaction et la précision des prédictions. Nous proposons de modéliser la simulation mentale comme des trajectoires à travers un manifold appris, représentant l'événement le plus probable. Dans cette optique, le cerveau effectue des transitions entre des états mentaux susceptibles de se produire dans des contextes similaires. En comparant le comportement humain à celui des modèles génératifs, nous cherchons à découvrir les principes informatiques qui sous-tendent la généralisation. Cette recherche pourrait offrir de nouvelles perspectives sur la manière dont le cerveau prédit et s'adapte, et pourrait nous rapprocher de la construction de machines capables d'un raisonnement flexible et intuitif.

Projet 4 : architectures d'apprentissage profond inspirées du Global Workspace. PI : R. VANRULLEN.

Dans le cadre d'un projet ERC Advanced (GLoW), nous explorons les implications pour l'IA de l'architecture cognitive du *Global Workspace* (ou « espace de travail global »). Selon cette théorie, l'information provenant de différentes régions cérébrales, lorsqu'elle est sélectionnée par l'attention, converge vers un espace de représentation partagé, à partir duquel les signaux peuvent être redistribués (ou « broadcast ») à l'ensemble du cerveau. Nos



travaux montrent que l'entraînement de modèles d'IA basés sur cette architecture peut améliorer les capacités de l'IA (précision, robustesse, généralisation, efficacité d'échantillonnage) dans divers domaines, en ancrant l'information entre les modalités. L'espace de travail global, associé à un contrôleur d'attention dédié, pourrait également donner lieu à des modèles cognitifs plus flexibles : en recrutant des modules spécifiques (de représentation et/ou d'opération) dans le bon ordre, de nombreuses tâches séquentielles ou compositionnelles peuvent être réalisées par un seul système (c'est-à-dire, ce que certains auteurs appellent la cognition de « Système 2 »).

Conclusion

Les capacités de l'IA augmentent rapidement dans de nombreux domaines qui étaient considérés il y a peu comme intrinsèquement humains (par exemple, la compréhension et la production de langage naturel, la prise de décision dans les jeux stratégiques, la production de musique ou d'arts visuels). Il existe un débat connexe sur la possibilité que les systèmes d'IA actuels ou futurs puissent développer une forme d'expérience phénoménale ou de conscience. Les scientifiques de la neuroAI sont bien placés pour contribuer à ce débat. Des décennies de recherche en neurosciences sur les corrélats neuronaux de la conscience ont permis d'élaborer diverses théories sur la conscience dans le cerveau. Bien que ces théories ne fassent pas encore l'unanimité, elles ont toutes des implications pour l'émergence de la conscience de l'IA et constituent donc un support idéal pour aborder cette question d'un point de vue épistémologique. En collaboration avec des philosophes, des neuroscientifiques et des spécialistes de l'IA, nous avons entamé une discussion sur ce sujet qui devrait se poursuivre et s'intensifier au cours des prochaines années. Les théories de la conscience peuvent être traduites

en un ensemble d'indicateurs (liés à la fonction et/ou à l'architecture) qui peuvent être évalués dans les systèmes d'IA actuels et futurs. De cette manière, nous espérons fournir des informations concrètes sur la plausibilité de l'émergence de l'expérience phénoménale chez les agents artificiels. Cela devrait s'accompagner d'une réflexion sur les risques techniques, moraux et éthiques associés à certains systèmes d'IA avancés.

Références

- [1] Victor Boutin, Thomas Fel, Lakshya Singhal, Rishav Mukherji, Akash Nagaraj, Julien Colin, and Thomas Serre. Diffusion models as artists : are we closing the gap between humans and machines? In *Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning, ICML'23*. JMLR.org, 2023.
- [2] Victor Boutin, Rishav Mukherji, Aditya Agrawal, Sabine Muzellec, Thomas FEL, Thomas Serre, and Rufin VanRullen. Latent representation matters : Human-like sketches in one-shot drawing tasks (poster). In *The Thirty-eighth Annual Conference on Neural Information Processing Systems*, 2024.
- [3] Patrick Butlin, Robert Long, Eric Elmoznino, Yoshua Bengio, Jonathan Birch, Axel Constant, George Deane, Stephen Fleming, Chris Frith, Xu Ji, Ryota Kanai, Colin Klein, Grace Lindsay, Matthias Michel, Liad Mudrik, Megan Peters, Eric Schwitzgebel, Jonathan Simon, and Rufin VanRullen. Consciousness in artificial intelligence : Insights from the science of consciousness. arXiv preprint arXiv :2308.08708, 08 2023.
- [4] Benjamin Devillers, Léopold Maytié, and Rufin Vanrullen. Semi-Supervised Multimodal Representation Learning Through



- a Global Workspace. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 36(5) :7843 – 7857, May 2024.
- [5] Wei Fang, Zhaofei Yu, Yanqi Chen, Tiejun Huang, Timothée Masquelier, and Yonghong Tian. Deep residual learning in spiking neural networks. In A. Beygelzimer, Y. Dauphin, P. Liang, and J. Wortman Vaughan, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2021.
- [6] Ilyass Hammouamri, Ismail Khalfaoui-Hassani, and Timothée Masquelier. Learning delays in spiking neural networks using dilated convolutions with learnable spacings. In *The Twelfth International Conference on Learning Representations*, 2024.
- [7] Saeed Reza Kheradpisheh, Mohammad Ganjtabesh, Simon J. Thorpe, and Timothée Masquelier. Sdp-based spiking deep convolutional neural networks for object recognition. *Neural Networks*, 99 :56–67, 2018.
- [8] L. Maytié, B. Devillers, A. Arnold, and R. VanRullen. Zero-shot cross-modal transfer of reinforcement learning policies through a global workspace. *Reinforcement Learning Journal*, 3, 2024.
- [9] Furkan Ozcelik and Rufin VanRullen. Natural scene reconstruction from fMRI signals using generative latent diffusion. *Scientific Reports*, 13(1) :15666, September 2023.
- [10] Ulysse Rançon, Timothée Masquelier, and Benoit Cottureau. A general model unifying the adaptive, transient and sustained properties of ON and OFF auditory neural responses. *PLoS Computational Biology*, 20(8) :e1012288, 2024.
- [11] Dung Truong, Michael Milham, Scott Makeig, and Arnaud Delorme. Deep convolutional neural network applied to electroencephalography : Raw data vs spectral features. arXiv, 05 2021.
- [12] Rufin VanRullen and Ryota Kanai. Deep learning and the global workspace theory. *Trends in Neurosciences*, 44(9) :692–704, 2021.



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Partie VI
Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur



■ Équipe projet Inria « Biovision »

Biovision
Inria, Université Côte d'Azur
<https://team.inria.fr/biovision/>

Bruno CESSAC

bruno.cessac@inria.fr

Pierre KORNPROBST

Pierre.Kornprobst@inria.fr

Hui-Yin WU

hui-yin.wu@inria.fr

Présentation générale

La vision est une fonction essentielle pour percevoir notre monde et effectuer des tâches complexes. Elle est très sensible et très fiable, même si la plupart de ses données sont bruitées, changeantes et ambiguës. Cependant, la vision n'est pas toujours fonctionnelle. Bien que de nombreuses déficiences visuelles telles que la myopie, l'hypermétropie et la cataracte puissent être soignées par des lunettes, des lentilles de contact ou d'autres moyens tels que la médecine ou la chirurgie, les pathologies affectant la rétine, telles que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) et la rétinite pigmentaire (RP), ne peuvent pas être soignées avec ces traitements standard.

Dans ce contexte, les recherches de l'équipe de [Biovision](#) s'articulent autour du thème central de la vision biologique et de la perception, et de l'impact des conditions de basse vision. Notre stratégie repose sur quatre piliers : modéliser, aider au diagnostic, faciliter les activités visuelles comme la lecture et permettre la création de contenu personnalisé. Nous visons à développer la recherche fondamentale ainsi que le transfert de technologie le long de trois axes de recherche :

- **Axe 1** : modélisation de la rétine et du système visuel primaire ([Bruno CESSAC](#)) [1, 4, 5];
- **Axe 2** : diagnostic, réhabilitation et aides à la basse vision ([Pierre KORNPROBST](#));

- **Axe 3** : Analyse et création de médias visuels ([Hui-Yin WU](#)).

Activités en cours

Nous avons actuellement 3 chercheurs permanents et 5 doctorants ou post-doctorants. Nous décrivons ci-dessous quelques unes de nos activités liant neurosciences et intelligence artificielle.

Les ondes rétinienne en pré-entraînement pour la prédiction de flux optique .

Ce travail explore les approches possibles dans l'utilisation d'ondes rétinienne simulées (RWs) comme pré-entraînement pour les modèles de vision par ordinateur d'apprentissage automatique (ML) dans l'estimation du flux optique (OFE). Les ondes rétinienne sont l'un des premiers processus de développement du système visuel chez les mammifères, structurant la connectivité rétinienne et préparant ainsi la vision, y compris la détection des mouvements. Nous sélectionnons une architecture récente de ML sans transformeur, RAFT, et adoptons une stratégie d'apprentissage par transfert pour exploiter les ondes rétinienne afin d'améliorer les performances de l'OFE par le biais d'une tâche connexe. En outre, nous explorons une approche alternative qui estime un flux optique approximatif de RWs, permettant son application directe dans l'OFE. L'idée d'utiliser ces stimuli biologiques pour générer des données



d'entraînement plus accessibles afin d'améliorer les capacités de généralisation des modèles OFE montre cependant une efficacité limitée avec les deux approches. Le lecteur intéressé pour trouver plus de détails [ici](#).

La réalité virtuelle pour les données ouvertes sur le comportement humain. Ce travail se situe dans le cadre de l'ANR CREATIVE3D qui regroupe de l'expertise en informatique (Inria, CNRS I3S), sciences cognitives et neuroscience (laboratoires LAMHESS et CoB-TEK de l'Université Côte d'Azur) et les cliniciens (CHU Nice, Institut Claude Pompidou) pour étudier les comportements des personnes dans des scénarios écologiques de réalité virtuelle et comprendre l'impact de la basse vision simulée sur la navigation et l'interaction. Pour cet objectif, nous avons fait une étude de 40 personnes qui avaient pour tâche de traverser des rues virtuelles. À partir de cette étude, le jeu de données CREATIVE3D d'interaction humaine et de navigation est née. Le jeu de données comporte trois avancées majeures :

1. il s'agit le plus grande jeu de données de mouvement humain dans des scénarios entièrement annotés (40 heures, 2,6 millions de poses) ;
2. il est capturé dans des scènes 3D dynamiques avec des données multivariées (regard, physiologie et mouvement) ;
3. il étudie l'impact de conditions de basse vision simulées à l'aide d'un suivi oculaire dynamique dans des conditions de marche réelle et de marche simulée.

Des efforts considérables ont été faits pour assurer la transparence, l'utilisabilité et la reproductibilité de l'étude et des données collectées, même dans des conditions d'étude extrêmement complexes impliquant des interactions à 6 degrés de liberté et de multiples capteurs.

Le jeu de données [CREATIVE3D](#) [8] ainsi que le logiciel [GUSt-3D](#) [6] utilisés dans l'étude

sont disponible dans le cadre de sciences ouvertes. Nous espérons que cela permettra des études utilisant les mêmes protocoles ou des protocoles similaires d'être comparables aux résultats d'études existantes, et de permettre une analyse beaucoup plus fine des nuances individuelles du comportement de l'utilisateur.

Simulation et modélisation des trajectoires de marche en contexte. Nous évaluons le jeu de données CREATIVE3D sur une tâche de prédiction des trajectoires. Nous entraînons trois modèles différents – le perceptron multicouche (MLP), TRACK (RNN) [7] et GIMO (transformeur) [9] – sur des tâches avec des niveaux de complexité et des conditions de déficience visuelle variées. L'objectif est de comprendre l'impact de la diversité des données sur la capacité de modèles à extrapoler sur des conditions inconnues. Par exemple, les modèles qui ne sont entraînés que sur des données sans déficiences visuelles arrivent-ils à généraliser sur des données avec de la basse vision simulée ?

Nous avons montré qu'un modèle entraîné dans des conditions visuelles normales et sur des tâches simples ne se généralise pas sur des données de test avec des interactions complexes et des déficiences visuelles simulées, malgré l'inclusion du contexte de scène 3D et du regard de l'utilisateur [3]. En comparaison, un modèle entraîné dans des conditions visuelles et de tâches diverses est plus robuste, avec une réduction allant jusqu'à 84% de l'erreur de position et 9% de l'erreur d'orientation, mais avec le compromis d'une précision inférieure pour des tâches plus simples.

En continuation de ce travail, nous appliquons les méthodes de distillation de connaissance [2] pour étudier comment les informations capturées dans les environnements virtuels peuvent bénéficier de prédictions dans des situations plus réalistes où des informations détaillées sur le comportement des personnes ne



sont pas disponibles. Nous espérons que ce travail puisse bénéficier à des applications dans le monde réel, telles que la conduite autonome, et permettre une informatique contextuelle pour des scénarios et des populations diversifiés.

Conclusion

Dans le cadre de nos projets, nous avons identifié trois sujets potentiellement importants faisant le lien entre les neurosciences et l'IA.

1. **La vision par ordinateur inspirée par le système visuel biologique** : le système visuel humain est extrêmement efficace par rapport aux méthodes d'IA actuelles en termes d'entraînement et de consommation d'énergie. Il est également très dynamique, comme montre la capacité de la rétine à avoir des comportements de haut niveau tels que l'anticipation du mouvement et la détection d'erreurs dans cette anticipation. Nous pensons que la modélisation neuromimétique pourrait être une clé pour créer des systèmes de vision par ordinateur plus efficaces et plus robustes.
2. **Les environnements écologiques pour modéliser les vrais comportements** : nos travaux sur la réalité virtuelle ont ouvert la voie à l'observation et à la collecte de données réalistes sur les mouvements, l'attention et les émotions, qui reproduisent les réactions *in situ*. De tels ensembles de données constituent une source précieuse pour l'étude et la compréhension du comportement humain dans les sciences neurocognitives par le biais de l'analyse statistique et de la modélisation de l'IA.
3. **Biais qui viennent dans la manque de diversité dans les données d'entraînement** : les biais dans les jeux de données pour l'entraînement de modèles est un problème courant pour assurer le déploiement en toute sécurité de modèles d'IA dans les applications réelles. Cependant, la rareté des données qui prennent en compte les populations spécifiques, telles que les personnes souffrant d'un handicap visuel, fait qu'il est difficile de fournir des données d'entraînement diversifiées pour les modèles d'IA. Nous espérons que nos travaux sur les simulations du système visuel humain pour éclairer les expériences biologiques, ainsi que les études sur les conditions de basse vision simulées dans les environnements virtuels pour éclairer les algorithmes de prédiction de trajectoire, peuvent ouvrir des voies de recherche sur le problème des biais et de la diversité des données.

Références

- [1] Simone Ebert, Thomas Buffet, B.Semihcan Sermet, Olivier Marre, and Bruno Cessac. Temporal pattern recognition in retinal ganglion cells is mediated by dynamical inhibitory synapses. *Nature Communications*, 15(1) :6118, July 2024.
- [2] Franz Franco Gallo, Hui-Yin Wu, and Lucile Sassatelli. Cross-modal knowledge distillation for human trajectory prediction in virtual reality. In *European Conf. on Computer Vision (ECCV) CV4Metaverse workshop*, 2024.
- [3] Franz Franco Gallo, Hui-Yin Wu, and Lucile Sassatelli. Human trajectory forecasting in 3d environments : Navigating complexity under low vision. In *Proceedings of the 16th International Workshop on Immersive Mixed and Virtual Environment Systems*, pages 57–63, 2024.
- [4] Evgenia Kartsaki, Gerrit Hilgen, Evelyne Sernagor, and Bruno Cessac. How does the inner retinal network shape the ganglion cells receptive field : a computational study. *Neural Computation*, 36(6) :1041–1083, June 2024.



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- [5] Dora Matzakos-Karvouniari, Lionel Gil, Elaine Orendorff, Olivier Marre, Serge Picaud, and Bruno Cessac. A biophysical model explains the spontaneous bursting behavior in the developing retina. *Scientific Reports*, 9(1) :1853, February 2019.
- [6] Florent Robert, Hui-Yin Wu, Lucile Sassatelli, Stephen Ramanoel, Auriane Gros, and Marco Winckler. An integrated framework for understanding multimodal embodied experiences in interactive virtual reality. In *Proceedings of the 2023 ACM International Conference on Interactive Media Experiences*, pages 14–26, 2023.
- [7] Miguel Fabián Romero Rondón, Lucile Sassatelli, Ramón Aparicio-Pardo, and Frédéric Precioso. Track : A new method from a re-examination of deep architectures for head motion prediction in 360 videos. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(9) :5681–5699, 2021.
- [8] Hui-Yin Wu, Florent Robert, Franz Franco Gallo, Kateryna Pirkovets, Clément Quere, Johanna Delachambre, Stephen Ramanoël, Auriane Gros, Marco Winckler, Lucile Sassatelli, et al. Exploring, walking, and interacting in virtual reality with simulated low vision : a living contextual dataset. *Scientific Data*, 12(1) :330, 2025.
- [9] Yang Zheng, Yanchao Yang, Kaichun Mo, Jiaman Li, Tao Yu, Yebin Liu, C Karen Liu, and Leonidas J Guibas. Gimo : Gaze-informed human motion prediction in context. In *European Conference on Computer Vision*, pages 676–694. Springer, 2022.

■ Centre de Neurosciences Computationnelles de l'INT

Centre de Neurosciences Computationnelles
Institut de Neurosciences de la Timone
<https://connect-int.github.io/>

Laurent PERRINET
laurent.perrinet@univ-amu.fr

Présentation générale

Les recherches à l'interface entre l'intelligence artificielle (IA) et les neurosciences à l'Institut de Neurosciences de la Timone (INT) se concentrent dans le Centre de Neurosciences Computationnelles, ou en anglais *Computational Neuroscience Center* (CONNECT). Ce centre, qui fait office d'incubateur, vise à promouvoir les neurosciences théoriques et computationnelles.

Certains chercheurs dans les équipes de l'INT sont particulièrement impliquées dans l'animation de CONNECT, un aspect essentiel de leur mission.

- BaNCo : Étienne THORET ;
- BraiNets : Andrea BROVELLI, Emmanuel DAUCÉ, Matthieu GILSON, Bruno GIOR-DANO, Jean-Didier LEMARÉCHAL ;
- CoMCo : Bjørg KILAVIK, Simon NOUGARET, Nicolas MEIRHAEGHE ;
- InVibe : Fanny CAZETTES ;
- MeCA : Guillaume AUZIAS, Olivier COULON, Julien LEFÈVRE, Sylvain TAKERKART ;
- NeOpTo : Frédéric CHAVANE, Sophie DENÈVE, Anna MONTAGNINI, Laurent PERRINET ;
- Centre [IRM-INT](#) : Jean-Luc ANTON.



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Un centre multidisciplinaire. L'INT regroupe des activités de recherche fondamentale et clinique en neurosciences couvrant plusieurs échelles, du niveau cellulaire au niveau cognitif, et utilisant divers modèles animaux (rongeurs, primates non humains et humains). Ces dernières années, les neurosciences ont connu une véritable révolution grâce à des avancées technologiques majeures. Ces progrès technologiques permettent un accès toujours plus précis à l'activité neuronale et aux autres cellules du système nerveux central, avec un nombre croissant de cellules enregistrées et une résolution spatio-temporelle de plus en plus fine.

Collaboration entre théoriciens et expérimentateurs. Les expériences rendues possibles par ces avancées technologiques nécessitent une collaboration accrue entre expérimentateurs et théoriciens. Cette collaboration est essentielle non seulement pour l'analyse des vastes volumes de données collectées, mais aussi pour développer des modèles théoriques des fonctions biophysiques et comportementales. Le centre CONECT ambitionne de réunir théoriciens et expérimentateurs pour favoriser l'émergence de projets multidisciplinaires où la théorie joue un rôle central. Le centre vise également à former une nouvelle génération de neuroscientifiques qui possèdent une double culture, à la fois théorique et expérimentale.

L'impact de l'intelligence artificielle. L'émergence de l'IA a d'abord transformé les méthodes d'analyse de données, mais elle est désormais également utilisée comme modèle de traitement de l'information pour explorer la cognition. Cette approche permet de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux processus cognitifs et d'innover dans le domaine des neurosciences.

Activités en cours

Organisation de séminaires. Parmi ses actions phares, CONECT organise régulièrement des **séminaires**. Ces événements sont conçus autour des thématiques de recherche relatives aux projets nationaux et internationaux dirigés par des membres de l'INT ou qui les impliquent. Les séminaires visent à :

- favoriser les échanges interdisciplinaires (en réunissant des experts de différents domaines, ces séminaires encouragent le partage de connaissances et la collaboration) ;
- présenter les avancées récentes (en offrant une plateforme pour discuter des dernières découvertes et innovations en neurosciences computationnelles et en IA) ;
- stimuler de nouvelles idées (les discussions et les débats permettant d'explorer de nouvelles pistes de recherche et de développer des projets collaboratifs).

Actions de formation. En parallèle, CONECT met en place plusieurs initiatives de formation pour renforcer les compétences des étudiants et des chercheurs :

- contribution aux programmes de master :
 - master de neurosciences : formation approfondie en neurosciences avec une composante computationnelle,
 - master en IA & santé : application de l'IA sur données cliniques (neurologie, oncologie, immunologie, hématologie, etc.) ;
- cours spécialisés en IA aux niveaux doctoral et post-doctoral :
 - cours avancés permettant aux participants d'acquérir des compétences pointues en IA (réseaux profonds, inférence de modèles complexes), appliquées aux neurosciences ;
- *coding club* :



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- sessions pratiques de programmation : ateliers offrant des solutions concrètes pour résoudre des problèmes techniques, en mettant l'accent sur l'apprentissage par la pratique.

Axes thématiques de recherche. Les principales thématiques scientifiques de CONECT sont :

- réseaux impulsions profonds et codage neuronal :
 - étude des mécanismes de codage de l'information dans les réseaux neuronaux, en utilisant des modèles impulsions pour simuler l'activité neuronale ;
- réseaux neuronaux artificiels appliqués à la perception et cognition humaine et animale :
 - développement de modèles d'IA inspirés par les processus biologiques pour mieux comprendre la perception et la cognition ;
- réseaux dynamiques complexes et inférence :
 - développement de méthodes d'inférence et de la théorie de la complexité pour les réseaux neuronaux dynamiques, aux échelles microscopiques et macroscopiques ;
- biomarqueurs structurels et fonctionnels en neuroimagerie :
 - identification et analyse de biomarqueurs multimodaux à partir de données de neuroimagerie pour diagnostiquer et suivre les maladies neurologiques ;
- analyse de données complexes en électrophysiologie :
 - utilisation de techniques avancées d'analyse de données pour interpréter

les signaux électrophysiologiques complexes ;

- modélisation et analyse du développement cérébral :
 - développement d'algorithmes d'apprentissage sur graphes pour l'étude de la morphologie et de la connectivité corticales, analyse de grandes bases de données d'IRM cérébrales, application au développement, normal et pathologique, du cerveau ;
- impact environnemental de l'IA :
 - étude de la consommation énergétique de l'apprentissage profond et de l'impact environnemental associé, via des analyses de cycle de vie. Réflexions sur des stratégies de réduction.

Projets et collaborations. Projets nationaux et internationaux : participation à des projets collaboratifs financés par des organismes nationaux et internationaux (ANR, ERC, NeuroAI), visant à faire progresser les connaissances en neurosciences computationnelles.

Collaborations interdisciplinaires : partenariats avec d'autres institutions et laboratoires pour enrichir l'environnement de recherche et accélérer la diffusion de théories entre disciplines.

Exemples de projets.

- Modélisation et inférence de réseaux dynamiques complexes appliquée à la cognition et les neuropathologies (Andrea BROVELLI, Matthieu GILSON, 2 doctorant.e.s, 1 post-doc), en lien avec projets PEPR [Santé Numérique](#) et [EBRAINS](#).
- Analyse multimodale de biomarqueurs à partir de données de neuroimagerie, multi-omics et cliniques pour le trouble bipolaire (PEPR ProPsy), la sclérose en plaques, la



- sclérose amyotrophique latérale (Matthieu GILSON, 1 doctorant, 1 post-doc).
- Modèles événementiels bio-inspirés : Laurent PERRINET participe au projet Émergence, financé par l'ANR dans le cadre du PEPR IA (rojet financé par l'ANR-23-PEIA-0002). Ce projet vise à avancer les modèles émergents proches de la physique en explorant divers modèles de calcul et dispositifs physiques. L'équipe se concentre sur des modèles événementiels bio-inspirés et des solutions d'apprentissage automatique innovantes.
 - Apprentissage équitable multi-modal via l'apprentissage sur graphes : application à la modélisation du plissement cortical (projet ANR-23-CE23-0019, Sylvain TAKERKART, Olivier COULON, Guillaume AUZIAS).
 - Le projet FLAG-ERA HBP PrimCorNet a combiné travaux expérimentaux et de modélisation pour explorer comment les dynamiques locales et à grande échelle se forment au sein des réseaux corticaux visuo-pariéto-frontaux des primates. Le réseau de formation innovante (MSCA ITN) In2PrimateBrains, coordonné par des chercheurs de l'INT, a proposé un programme de formation, dédié à l'étude de la communication neuronale intra- et inter-aire dans le cerveau des primates non humains, en combinant approches expérimentales et computationnelles.
 - Le projet AMidex UNITAE (Julien LEFEVRE avec tous les laboratoires de Neuromarseille) a visé à s'interroger sur la place des neurosciences à l'anthropocène, la période de l'histoire géologique où les activités humaines exercent une influence visible sur la planète. En particulier, le recours à l'IA pose un certain nombre de questions sur l'impact environnemental mais aussi sur les changements de pratique de recherche et le risque d'une limitation de l'horizon épistémologique.
 - Modèles computationnels du traitement des sons naturels dans le cerveau humain : modèles d'intelligence artificielle biologiquement plausibles des réponses humaines à des sons isolés et à des scènes sonores mesurées par le comportement, l'électrophysiologie (MEG ; iEEG) et la neuro-imagerie (IRMf). Laboratoire virtuel international en collaboration avec Elia FORMISANO (Université de Maastricht) soutenu par : ANR-21-CE37-0027, NWO 406.20.GO.030, et ERC-2024-SyG NASCE (Proj. 101167313). 6 doctorant.e.s ; 4 post-docs.

Conclusion

L'intégration de l'intelligence artificielle dans les recherches en neurosciences à l'INT a déjà démontré son impact significatif et durable. L'IA ne se limite plus à un simple outil d'analyse de données ; elle est désormais un levier essentiel pour la modélisation et la compréhension des processus cognitifs. Les projets en cours, comme ceux concernant les réseaux dynamiques complexes et les modèles événementiels bio-inspirés, illustrent parfaitement cette synergie entre théorie et expérimentation.

La coordination à l'échelle de l'institut, facilitée par CONECT, a permis de créer un environnement propice à l'innovation et à la collaboration interdisciplinaire entre IA et neurosciences. Cette dynamique ouvre la voie à plusieurs perspectives intéressantes :

1. **Expansion** : L'extension de CONECT au-delà de l'INT pourrait attirer davantage de talents et diversifier les expertises, enrichissant ainsi les recherches menées dans le périmètre d'AMU. Cependant, il sera crucial de gérer cette croissance pour éviter une dilution des objectifs initiaux.
2. **Renforcement des partenariats** : Continuer à développer des collaborations natio-



nales et internationales, notamment dans le cadre de projets comme le PEPR IA et NeuroAI, pourrait offrir de nouvelles opportunités de financement et d'innovation.

3. **Émergence d'une équipe dédiée à l'IA :** Compte tenu des succès actuels, il est serait bénéfique qu'une équipe de recherche dédiée à l'intelligence artificielle en neurosciences

soit constituée à l'avenir, renforçant ainsi les collaborations et structurant les projets à long terme.

En somme, l'avenir de l'IA dans notre institut semble prometteur, avec un potentiel considérable pour influencer durablement le domaine des neurosciences computationnelles.

■ **Projet PRIME Algernon**

Algernon
CNRS, Université Côte d'Azur
<https://miti.cnrs.fr/prime/algernon/>

Ingrid BETHUS

Ingrid.Bethus@univ-cotedazur.fr

Patricia REYNAUD-BOURET

Patricia.REYNAUD-BOURET@univ-cotedazur.fr

Présentation générale

La Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires (MITI) du CNRS a labellisé en 2025 le Projet de recherche interdisciplinaire multi-équipes (PRIME) **Algernon** (AnaLyse de l'apprentissage et du langage grâce à la dynamique des Réseaux NeurONaux), qui rassemble des chercheuses et chercheurs de l'Université Côte d'Azur. Deux chercheuses en neurosciences sont à la tête de ce projet : Ingrid BETHUS, professeure à l'Université Côte d'Azur, chercheuse à l'Institut de Pharmacologie Moléculaire et Cellulaire (IPMC) rattaché à l'Institut de biologie du CNRS, et Patricia REYNAUD-BOURET, directrice de recherche au laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné (LJAD) rattaché à l'Institut de mathématiques du CNRS. Fanny MEUNIER (DR CNRS) et Raphaël FARGIER (CPJ Unica) du laboratoire Bases, Corpus, Langage (BCL), rattaché à l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS, et Étienne TANRÉ (CR Inria), laboratoire LJAD complètent l'équipe de chercheurs permanents d'Algernon.

Tous les membres du projet sont également dans l'Institut NeuroMod de l'Université Côte d'Azur qui a pour objectif de promouvoir la modélisation comme approche d'intégration des mécanismes cérébraux et des fonctions cognitives. Pour répondre à ce défi central de l'intégration en sciences cognitives, **NeuroMod** s'appuie sur les ressources interdisciplinaires disponibles avec plus de 250 chercheuses et chercheurs de 16 laboratoires de l'Université Côte d'Azur.

Les processus cognitifs qui régissent les processus d'apprentissage ou le traitement du langage sont composés de multiples opérations cognitives. Malgré de grandes avancées dans l'étude des processus complexes, leur enchaînement et leur dynamique (ordre, séquentialisation ou parallélisation, variabilité individuelle) restent encore sujets à débat. Ces multiples opérations sont sous-tendues par l'activité de réseaux neuronaux connectés dans le cerveau, mais les identifier dans des enregistrements de signaux de surface chez l'humain, comme ceux issus d'EEG, reste un défi.



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

A *contrario*, chez l'animal, et grâce à des méthodes invasives d'enregistrement profond, nous pouvons reconstruire la connectivité des réseaux neuronaux s'enchaînant au cours d'un processus cognitif mais sans réellement pouvoir les associer à des opérations cognitives spécifiques. Grâce à nos expertises en langage et cognition humaine, neurosciences cognitives expérimentales et mathématiques, l'ambition d'Algernon est de créer de nouveaux modèles mathématiques de la dynamique des réseaux de neurones sous-jacents et de nouvelles méthodes statistiques pour l'analyse des données expérimentales humaines et animales, qui permettront de tester des hypothèses cognitives fondamentales sur l'enchaînement des états cognitifs. Ces éléments permettront à leur tour d'apporter des informations cruciales à la spécification des modèles théoriques de l'apprentissage et du traitement du langage.

Activités en cours

Actuellement, neuf doctorantes et doctorants sont impliqués dans les recherches du projet Algernon, avec de nombreuses collaborations. Sans être exhaustifs, nous donnons un aperçu de leurs travaux.

À l'interface des mathématiques, de l'apprentissage automatique et de la biologie, Sophie JAFFARD termine actuellement sa thèse (co-encadrée par P. REYNAUD-BOURET et Samuel VAITER, LJAD) sur la modélisation mathématique de l'apprentissage neuronal. Elle est parvenue à montrer rigoureusement que les réseaux neuronaux artificiels, d'inspiration biologique, peuvent effectivement apprendre correctement les stimuli présentés. Cela permet d'approfondir la compréhension fine des mécanismes locaux, à l'échelle du neurone ou de la synapse, qui permettent un apprentissage global à l'échelle de l'individu.

Julien AUBERT, dans sa thèse soutenue en 2025 (co-encadrée par P. REYNAUD-

BOURET et Luc LEHÉRICY, LJAD) s'est intéressé à l'inférence statistique de la stratégie d'apprentissage utilisée par un individu au cours d'une tâche, à partir uniquement de l'observation des actions qu'il effectue. Il a proposé des garanties théoriques pour les méthodes statistiques d'estimation et de sélection de modèles dans un cadre où les hypothèses d'indépendance et de stationnarité ne sont pas satisfaites. Ces méthodes ont été appliquées dans des tâches concrètes de catégorisation chez l'humain et de *food replenishing* chez les céphalopodes.

Louis KOHLER poursuit l'étude de tels apprentissages individuels pour des expériences de résolutions de problèmes. Il a commencé sa thèse à l'automne 2024 (co encadrée par P. REYNAUD-BOURET et Margarida ROMERO, du Laboratoire d'Innovation et Numérique pour l'Éducation). Ce travail est en lien avec le projet Créacube qui développe des tâches de résolution de problème à partir de cubes robotiques.

Dans un travail impliquant la biologie, les mathématiques et les statistiques, Stefano SPAZIANI termine sa thèse (co-encadrée par P. REYNAUD-BOURET et I. BETHUS) dans laquelle il montre que les méthodes statistiques pour reconstruire la connectivité fonctionnelle cérébrale à partir de données discrètes (*spikes*) et de données continues (LFP) peuvent être appliquées avec succès au décodage de certaines tâches, comme des tâches spatiales chez le rongeur ou des tâches motrices élémentaires de l'interface cerveau-ordinateur via des enregistrements EEG, identifiant ainsi un état neurocognitif aux interactions dynamiques entre les zones cérébrales et les rythmes cérébraux.

Maxime VILLET a soutenu sa thèse en 2024 (encadré par I. BETHUS, IPMC). Il a notamment collecté les données d'activité unitaire (*spikes*) et les rythmes profonds (LFP) à partir desquelles Stefano SPAZIANI a recons-



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

truit la connectivité fonctionnelle du réseau. Il a également mis en évidence le désengagement du réseau préfrontal au profit d'un réseau striato dépendant au cours d'une tâche de mémoire de travail chez la souris grâce à des outils de chimie génétique.

Benjamin AZOULAY termine sa thèse (co-encadrée par I. BETHUS et Hélène MARIE, IPMC) co-financée par la Fondation Alzheimer. Il étudie dans la pathologie Alzheimer la modification du réseau hippocampo-préfrontal au cours de tâches mnésiques et sociales et pendant les phases de sommeil. Pour cela, il enregistre au cours des tâches et pendant le sommeil les rythmes (LFP) dans ces deux régions et analyse les interactions locales et entre ces régions des rythmes thêta et gamma.

Théo LEBLANC a commencé à l'automne 2024 une thèse (co-encadrée par P. REYNAUD-BOURET et Vincent RIVOIRARD, Ceremade, Dauphine) dans laquelle il propose et étudie le caractère multi-échelle de l'activité cérébrale, allant du neurone individuel, modélisé par des processus de Hawkes, aux zones corticales dont l'activité présente des oscillations. Il développe des modèles stochastiques couplant ces activités à des échelles très différentes. L'objectif est de construire des procédures d'estimation de la connectivité fonctionnelle dans le cadre de ces très grandes dimensions. Ensuite, il sera question de faire le lien entre ces modèles et les phénomènes de multifractalité observés dans les signaux EEG.

Toujours en 2024, Grégorio REBECCHI commence sa thèse (co-encadrée par P. REYNAUD-BOURET et I. BETHUS) financée par le PEPR Math-Vives dans laquelle il étudie les phénomènes de plasticité synaptique sur des organoïdes issus de cellules souches neuronales. Ainsi, il peut stimuler et enregistrer simultanément de façon peu invasive ces réseaux et voir la répercussion sur la plasticité synaptique. Ces travaux sont également liés à une collaboration

entre Algernon et l'entreprise suisse Finalspark.

Giulio MASSARI a commencé sa thèse en octobre 2023 (co-supervision F. MEUNIER et R. FARGIER) centrée sur les processus qui sous-tendent la production du langage et leur organisation dans le temps. Mêlant des approches psycho- et neuro-linguistiques, il étudie les interactions entre différents niveaux de traitement, par exemple les niveaux visuo-conceptuel et phonologique qui sont traditionnellement repoussés aux deux extrêmes du processus de production, mais davantage liés dans le cas de la production de mots iconiques (congruence entre la forme visuelle et la forme sonore d'un mot). L'utilisation de l'EEG à haute-densité a pour objectif de situer dans le temps et l'espace les signatures électrophysiologiques de ces interactions entre niveaux de traitement.

Conclusion

L'équipe travaille à la mise au point d'une méthode de détection des états cognitifs basée sur les enregistrements neuronaux de surface et profond (EEG, LFP, multi-unitaire). Dans un premier temps, il faut identifier et définir les états cognitifs importants pour l'apprentissage. Cette définition devrait permettre de poser et tester un certain nombre d'hypothèses cognitives (traitement sériel versus parallèle, rôle des différentes aires au cours de la dynamique des processus d'apprentissage et de production de langage) et d'y répondre de manière quantifiée en prenant en compte la variabilité individuelle. Un deuxième résultat attendu est une meilleure compréhension de l'enchaînement des processus lorsque le résultat, la latence de la réponse, varie.

En particulier, dans le contexte de l'apprentissage animal ou humain, nous nous attendons à observer des états cognitifs distincts ou apparaissant dans un ordre différent, suggérant la mise en place de stratégies individuelles d'ap-



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

prentissage. Ensuite, nous pourrions mettre en regard ces stratégies individuelles et d'autres facteurs comme le type de tâche, le type de pathologie (modèle animal), la vitesse d'apprentissage, etc. Ainsi, le décodage de la dynamique fine de l'apprentissage d'un point de vue spatio-temporel pourra en découler.

À l'heure actuelle, les approches neurocognitives utilisent uniquement les données neuronales lorsque les réponses attendues sont obtenues, principalement à cause des limites des outils statistiques à disposition. Cette approche qui permet de mieux détecter comment les états cognitifs varient avec la réponse est un prérequis pour mieux détecter ces états lorsque

la bonne réponse n'est pas donnée et donc contribuera aux modèles utiles pour les approches *neurofeedback*. Cette portée neurocognitive des résultats ne pourra être atteinte qu'en définissant mathématiquement les mesures neuronales comme un « système dynamique stochastique multi-échelles » pour lequel les outils d'apprentissage automatique vont permettre une détection et les outils de mathématiques théoriques une meilleure compréhension du système à travers les échelles qui ne sont que partiellement observées. En particulier, l'originalité des modèles développés sera d'aller de l'échelle neuronale à l'échelle comportementale.



AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Comptes rendus de journées, événements et conférences



■ HumaniSIA : 7ème Journée Commune AFIHM-AFIA

Par

Fabrice JAOUËN

Junia

co-organisateur AFIA

fabricejaouen@yahoo.com

Bruno FRUCHARD

INRIA - Lille

co-organisateur AFIHM

bruno.fruchard@inria.fr

Introduction

La 7^e journée commune de l'AFIHM (Association Francophone de l'Interaction Humain-Machine) et de l'AFIA s'est déroulée le 10 mars 2025 dans les locaux de l'INRIA à Villeneuve d'Ascq.

Cette édition 2025 de la journée commune AFIHM-AFIA était une première pour le nouveau Collège de l'AFIA, HumaniSIA (Humanités, Société et IA). Il s'agissait en effet de sa toute première activité officielle, sur le thème « Société et Intelligence artificielle ».

Programme de la journée

Le programme de la journée a volontairement été éclectique et a cherché à réunir des chercheurs et chercheuses issus de l'université comme de l'entreprise. La trentaine de personnes présentes ce jour-là ont pu entendre les intervenants suivants :

- *IA Générative : quand les sciences humaines s'en mêlent!*, par Alexandra DELMAS et

Juliette MASSART (Onepoint) ;

- *L'IA générative, la création et le droit d'auteur*, par Céline CASTETS-RENARD (Université d'Ottawa et Université de Toulouse-Capitole – ANITI) ;
- *Quels rôles peut jouer l'IA en matière de répression pénale?*, par Jean-Claude PLANQUE (Université de Lille) ;
- *Pratique et politique de l'intelligence artificielle dans l'art*, par Sarah FDILI ALOUI (University of the Arts London) ;
- *IA Explicable : fondements et applications*, par Samia CHEHBI GAMOURA (Université de Strasbourg – EM Strasbourg) ;
- *Comment appréhender les résultats complexes des modèles intégrés de transformation du climat?*, par Thierry CHEVALIER (CapGemini).

Ces interventions ont été complétées par des temps de débats sur les thèmes suivants.

- Créer et juger avec l'IA : quels coûts et quelles conséquences ?
- Comment s'approprier l'IA pour créer et expliquer des phénomènes complexes ?

L'ensemble des interventions peut être trouvée sur [la page dédiée à cette journée](#).

Nous remercions l'AFIA et l'AFIHM pour leur soutien dans l'organisation de cette journée, mais aussi l'INRIA qui nous a accueillis dans ses locaux et l'Université de Lille qui a aidé à son financement.



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Thèses et HDR du trimestre

Si vous êtes au courant de la programmation de soutenances de thèses ou HDR en Intelligence Artificielle cette année, vous pouvez nous les signaler en écrivant à redaction@afia.asso.fr.



■ Thèses de Doctorat

Badreddine FARAH

« Extraction d'informations dans les réseaux sociaux par apprentissage de représentations textes/images : application à la gestion des catastrophes naturelles »

Supervision : *Guillaume CLEUZIOU*
Adel HAFIANE

Le 08/01/2025, à l'Université d'Orléans

Ali El Hadi ISMAIL FAWAZ

« Deep learning for time series analysis with application on human motion »

Supervision : *Germain FORESTIER*
Jonathan WEBER
Maxime DEVANNE

Le 08/01/2025, à l'Institut Universitaire de Technologie de Mulhouse

Amir Hosein VALIZADEH

« Apprentissage des réseaux bayésiens causaux avec identification des facteurs confondants latents et ses applications à un problème médical »

Supervision : *Christophe GONZALES*
Stéphane BURTEY
Stéphane DELLIAUX

Le 09/01/2025, à Aix-Marseille Université

Sarah BENIKHLEF

« Federated learning of Bayesian networks preserving privacy for personalised medical applications »

Supervision : *Philippe LERAY*
Guillaume RASCHIA

Le 10/01/2025, à Nantes Université

Huu-Tu DANG

« Simulation et prédiction des dynamiques de foules denses »

Supervision : *Benoit GAUDOU*
Nicolas VERSTAEVEL

Le 16/01/2025, à l'Université Toulouse Capitole

Thibault BAÑERAS-ROUX

« Analyse et compréhension de l'évaluation des systèmes de reconnaissance automatique de la parole : vers des métriques intégrant la perception humaine »

Supervision : *Richard DUFOUR*
Jane WOTTAWA
Mickaël ROUVIER

Le 17/01/2025, à Nantes Université

Volodimir MITARCHUK

« Saturation des réseaux neuronaux récurrents : expressivité, apprenabilité et généralisation »

Supervision : *Rémi EYRAUD*
Amaury HABRARD

Le 17/01/2025, à l'Université Jean Monnet

Kevin RIOU

« Embodiment- and environment-agnostic imitation learning for robots: integrating human pose-based action recognition with language and vision models »

Supervision : *Patrick LE CALLET*

Le 21/01/2025, à Nantes Université



Simon DELARUE

« Learning on graphs : from algorithms to socio-technical analyses on AI »

Supervision : *Thomas BONALD*

Le 28/01/2025, à l'Institut polytechnique de Paris

Pierre FERNANDEZ

« Watermarking across modalities for content tracing and generative AI »

Supervision : *Teddy FURON*

Matthijs DOUZE

Le 28/01/2025, à l'Université de Rennes

Jose A. HERNANDEZ GONZALEZ

« OVD-SaaS : une architecture de microservices pour des applications industrielles d'intelligence artificielle »

Supervision : *Miguel COLOM*

Le 28/01/2025, à l'Université Paris-Saclay

Zineb ZIANI

« AI and HPC convergence for enhanced anomaly detection »

Supervision : *Nahid EMAD PETITON*

Mondher AYADI

Le 29/01/2025, à l'Université Paris-Saclay

Alexandre DURRMEYER

« Utilisation de réseaux de neurones pour l'apprentissage de règles géométriques de division cellulaire »

Supervision : *Philippe ANDREY*

Jean-Christophe PALAUQUI

Le 30/01/2025, à l'Université Paris-Saclay

Giulia MANARA

« Logique linéaire : élimination parallèle des coupures et calcul comme déduction pour le pi calcul »

Supervision : *Thomas EHRHARD*

Lorenzo TORTORA DE

FALCO

Le 31/01/2025, à l'Université Paris Cité

Insaf NAHRI

« Mise en œuvre des techniques de traitement du langage naturel pour l'extraction et la formalisation automatique d'exigences dans le domaine de la construction »

Supervision : *Philippe VÉRON*

Romain PINQUIÉ

Le 31/01/2025, à l'ENSAM Paris

Celia KESSASSI

« Modelling the induction of social stress in immersive virtual reality simulations »

Supervision : *Caroline CAO*

Mathieu CHOLLET

Cédric DUMAS

Le 03/02/2025, à l'École nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire

Marina BOUDIN

« Approche computationnelle pour le repositionnement de médicament au travers d'une perspective holistique avec les graphes de connaissances (OREGANO) »

Supervision : *Gayo DIALLO*

Fleur MOUGIN

Le 10/02/2025, à l'Université de Bordeaux



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Hajar HAMMOUCH

« Application of advanced artificial intelligence models to manage irrigation using sensor data and satellite images »

Supervision : *Mounim EL YACOUBI*
Hassan BERBIA

Le 24/02/2025, à l'Institut polytechnique de Paris

Abir BOULIF

« Apport de l'intelligence artificielle au diagnostic automatisé des arythmies »

Supervision : *Mustapha OULADSINE*
Stéphane DELLIAUX

Le 27/02/2025, à Aix-Marseille Université

Syed Muhammad Raza NAQVI

« Exploration des LLM et de l'XAI sémantique pour les capacités des robots industriels et les connaissances communes en matière de fabrication »

Supervision : *Mohamed Hedi KARRAY*
Linda ELMHADHBI

Le 27/02/2025, à l'Université de Toulouse

Alexis LE BESNERAIS

« Le rôle des processus prédictifs dans l'agentivité individuelle et sociale et leur effet sur la perception »

Supervision : *Ouriel GRYNZSPAN*

Le 06/03/2025, à l'Université Paris-Saclay

Kai ZHANG

« Planification basée sur l'apprentissage pour la navigation parmi des obstacles déplaçables sous incertitude »

Supervision : *David FILLIAT*

Le 12/03/2025, à l'Institut polytechnique de Paris

Valeriya STRIZHKOVA

« Reconnaissance des émotions à l'aide du deep learning »

Supervision : *François BRÉMOND*
Antitza DANTCHEVA

Le 14/03/2025, à l'Université Côte d'Azur

Gautier HAMON

« Vers des dynamiques ouvertes en vie artificielle et intelligence artificielle : une perspective eco-evo-devo »

Supervision : *Clément MOULIN-FRIER*

Le 17/03/2025, à l'Université de Bordeaux

Marianne ABI KANAAN

« AI-enhanced emergency call handling : development of multimodal machine learning models »

Supervision : *Jean-François COUCHOT*
Talar ATÉCHIAN
Rony DARAZI

Le 18/03/2025, à l'Université Marie et Louis Pasteur

■ Habilitations à Diriger les Recherches

Nous n'avons malheureusement pas eu connaissance ce trimestre d'HDR dans le domaine de l'IA.

N'hésitez pas à nous envoyer les informations concernant celles dont vous avez entendu parler. (redaction@afia.asso.fr).



À PROPOS DE L'AFIA

L'objet de l'AFIA, Association Loi 1901 sans but lucratif, est de promouvoir et de favoriser le développement de l'Intelligence Artificielle (IA) sous ses différentes formes, de regrouper et de faire croître la communauté française en IA et, à la hauteur des forces de ses membres, d'en assurer la visibilité.

L'AFIA anime la communauté par l'organisation de grands rendez-vous. Se tient ainsi chaque été une semaine de l'IA, la Plate-forme IA (PFIA 2023 à Strasbourg, PFIA 2024 à La Rochelle, PFIA 2025 à Dijon) au sein de laquelle se tiennent la Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle (CNIA), les Rencontres des Jeunes Chercheurs en IA (RJCIA) et la Conférence sur les Applications Pratiques de l'IA (APIA) ainsi que des conférences/journées thématiques hébergées qui évoluent d'une année à l'autre, sans récurrence obligée.

Ainsi, PFIA 2025 a hébergé du 30 juin au 4 juillet 2025 à Dijon, outre la 28^e CNIA, les 23^{es} RJCIA et la 11^e APIA : les 6 conférences CAp, IC, JFPC, JFSMA, JIAF et SFC, 4 journées thématiques (Défense & IA, Humanité & IA, Société & IA, IA en BFC), 6 ateliers thématiques (ACAI, GDR RADIA, IN-OVIVE, Jeux & IA, MAFTEC, Santé & IA), et plusieurs tutoriels hébergés.

Fort de soutien de ses 497 adhérents à jour de leur cotisation en juillet 2025, l'AFIA assure :

- le maintien d'un site Web dédié à l'IA reproduisant également les Brèves de l'IA ;
- une *journée industrielle* « Forum Industriel en IA » (FIIA 2025) ;
- une *journée recherche* « Perspectives et Défis en IA » (PDIA 2024) ;
- une *journée enseignement* « Enseignement et Formation en IA » (EFIA 2023) ;
- une « École Saisonnière en IA » (ESIA2025, précédente édition en 2023) ;
- la remise annuelle d'un *prix de thèse* en IA ;
- le soutien à 7 collèges ayant leur propre activité :
 - collègue *Création d'Événements Collaboratifs*,

Inclusifs et Ludiques en IA (octobre 2021),

- collègue *Humanités, Société et Intelligence Artificielle* (janvier 2025),
- collègue *Industriel* (janvier 2016),
- collègue *Représentation et Raisonnement* (avril 2017),
- collègue *Science de l'Ingénierie des Connaissances* (avril 2016),
- collègue *Systèmes Multi-Agents et Agents Autonomes* (janvier 2017),
- collègue *Technologies du Langage Humain* (juillet 2019) ;
- la parution trimestrielle des *Bulletins* de l'AFIA ;
- un lien entre ses membres et sympathisants sur les réseaux sociaux *LinkedIn*, *Facebook* et *Twitter* ;
- le *parrainage* scientifique, mais aussi éventuellement financier, d'événements en IA ;
- la diffusion mensuelle de *Brèves* sur les actualités de l'IA en France (*abonnement* ou *envoi* à la liste) ;
- la réponse aux consultations officielles ou officieuses (Ministères, Missions, Organismes) ;
- la réponse aux questions de la presse, écrite ou orale, également sur internet ;
- la divulgation d'offres de *collaborations*, de *formations*, d'*emploi*, de *thèses* et de *stages*.

L'AFIA organise aussi des *journées communes* avec d'autres associations. Pour 2025 : *Société & IA* avec AFIHM; *MAFTEC 12* avec GDR RADIA.

Enfin, l'AFIA encourage la participation de ses membres aux grands événements de l'IA, dont PFIA. Ainsi, les membres de l'AFIA, pour leur inscription à PFIA, bénéficient d'une réduction équivalente à deux fois le coût de leur adhésion, leur permettant d'assister à PFIA 2025 sur 5 jours au tarif de 138€ TTC !

Rejoignez-vous aussi et *adhérez* à l'AFIA pour contribuer au développement de l'IA en France. L'adhésion peut être individuelle ou au titre de personne morale. Merci également de susciter de telles adhésions en diffusant ce document autour de vous !



CONSEIL D'ADMINISTRATION

Benoit LE BLANC, président
Thomas GUYET, vice-président
Isabelle SESÉ, trésorière
Grégory BONNET, secrétaire
Pierre MONNIN, porte-parole
Dominique LONGIN, rédacteur
Jean-Guy MAILLY, webmestre

Autres membres :

Azzedine BENABBOU (invité), Zied BOURAOUI,
Gayo DIALLO, Domitile LOURDEAUX, Davy
MONTICOLO, Jose MORENO Gauthier PICARD,
Valérie REINER, Céline ROUVEIROL, Fatiha SAÏS,
Ahmed SAMET, Thierry VIDAL.

COMITÉ DE RÉDACTION

redaction@afia.asso.fr

Grégory BONNET
Rédacteur en chef adjoint
resp-gt-redaction@afia.asso.fr

Caio CORRO
Rédacteur

Gaël LEJEUNE
Rédacteur

Dominique LONGIN
Rédacteur en chef
resp-gt-redaction@afia.asso.fr

LABORATOIRES ET SOCIÉTÉS ADHÉRANT COMME PERSONNES MORALES

Airbus, Ardans SA, Berger-Levrault, CEA, IBM France, CRIL, Crédit Agricole Leasing & Factoring, Dassault Aviation, Centralesupelec, EMSE, ENIB, ENSC, Eurodecision, GREYC, HEUDIASYC, ICUBE, IMT Mines Alès, Inrae, Inria, INSERM, IRISA, IRIT, ISAE Supaero, L3I, LAAS-CNRS, LABRI, LAMIH, LAMSADE, LGP, LICIS, LIMOS, LIP6, LIPADE, LIPSTIP, LIRIS, LIRMM, LIS, LISN, LITIS, Logilab, LORIA, LRE, Magellan, MISTEA, NetPilote, Newcleo SA, ONERA, Société Générale, TETIS, Thales Research and Technology, Université Gustave Eiffel.

■ Pour contacter l'AFIA

Président

Benoit LE BLANC
ENSC, Bordeaux-INP
109 avenue Roul, 33400 Talence
Tél. : +33 (0) 5 57 00 67 00
president@afia.asso.fr

Serveur WEB

<http://www.afia.asso.fr>

Adhésions, liens avec les adhérents

Isabelle SESÉ
tresorier@afia.asso.fr

■ Calendrier de parution du Bulletin de l'AFIA

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Réception des contributions	15/12	15/03	15/06	15/09
Sortie	31/01	30/04	31/07	31/10