

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2025-27**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DTIS/SAPIA

Tél. : 01 80 38 65 69

Responsable(s) du stage : Stéphane Herbin

Email : stephane.herbin@onera.fr

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Intelligence Artificielle et Décision

Type de stage :  Fin d'études bac+5  Master 2  Bac+2 à bac+4  Autres

### Intitulé : Réseaux de neurones biologiquement inspirés pour les applications d'Intelligence Artificielle

#### Contexte

Les approches contemporaines d'Intelligence Artificielle (IA) sont dominées par l'apprentissage profond (« Deep Learning ») : elles reposent sur une architecture de réseaux de neurones « feed-forward » de très grande taille (plusieurs millions à milliards de paramètres), des grandes quantités de données et une optimisation par descente de gradient stochastique. Ces approches ont démontré une certaine efficacité sur un grand nombre de tâches d'IA, par exemple en vision par ordinateur ou traitement du langage naturel. Cependant, bien qu'inspirés originellement par le fonctionnement du cerveau — ce sont des réseaux de neurones — ils sont aussi caractérisés par un certain nombre de limitations par rapport aux systèmes biologiques : ils sont globaux, souvent limités à une unique tâche, peu économes en calcul et énergie, ont des capacités limitées d'adaptation à de nouvelles situations, sont difficiles à interpréter et expriment mal l'incertitude.

Dans ce stage, on se propose d'étudier une alternative aux architectures profondes de réseaux de neurones exploitant ce que l'on appelle le *codage prédictif* [1]. Il s'agit d'une théorie qui postule que le cerveau, et par extension les réseaux de neurones artificiels, fonctionne en élaborant de manière continue des hypothèses sur le monde, des *prédictions*, et en les ajustant en fonction des nouvelles informations qu'il reçoit [2]. L'objectif du réseau n'est pas de traiter des données (entrée/sortie), mais de maintenir un modèle capable de prédire les expériences perceptives.

Un certain nombre de modèles ont été proposés dans la littérature, soit inspirés directement de la biologie [3], [4], [5], [6], soit issus de considérations informationnelles comme le modèle JEPa [7]. Ils ont été utilisés en particulier pour des applications de vision par ordinateur [8], [9], [10].

De par leur structure bouclée [11], ces modèles sont cependant plus complexes à mettre en œuvre que les réseaux de neurones profonds classiques. Un des objectifs du stage sera d'évaluer la capacité de ces modèles à passer à l'échelle lorsque la quantité de données ou la complexité du problème augmentent.

#### Travail envisagé

L'objectif du stage est d'évaluer l'un des modèles de la littérature, de l'appliquer à la vision par ordinateur, et d'évaluer certaines de ses propriétés attendues (adaptation à de nouvelles conditions, contrôle de l'incertitude ou de la nouveauté).

Après une phase de bibliographie, le travail du stage consistera principalement à adapter un article sélectionné dans l'état de l'art, à coder la méthode, par exemple en utilisant les environnements de programmation disponibles [12], [13] et à l'évaluer sur des données réelles.

#### Références

- [1] R. P. Rao et D. H. Ballard, « Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects », *Nature neuroscience*, vol. 2, n° 1, p. 79, 1999.
- [2] K. Friston, « The free-energy principle: a unified brain theory? », *Nature reviews neuroscience*, vol. 11, n° 2, p. 127, 2010.
- [3] B. Millidge, A. Seth, et C. L. Buckley, « Predictive Coding: a Theoretical and Experimental Review », 12 juillet 2022, *arXiv*: arXiv:2107.12979. doi: 10.48550/arXiv.2107.12979.
- [4] B. van Zwol, R. Jefferson, et E. L. van den Broek, « Predictive Coding Networks and Inference Learning: Tutorial and Survey », 22 juillet 2024, *arXiv*: arXiv:2407.04117. doi: 10.48550/arXiv.2407.04117.

- [5] T. Salvatori *et al.*, « Brain-Inspired Computational Intelligence via Predictive Coding », 15 août 2023, *arXiv*: arXiv:2308.07870. doi: 10.48550/arXiv.2308.07870.
- [6] A. Ororbia, A. Mali, A. Kohan, B. Millidge, et T. Salvatori, « A Review of Neuroscience-Inspired Machine Learning », 16 février 2024, *arXiv*: arXiv:2403.18929. doi: 10.48550/arXiv.2403.18929.
- [7] Y. LeCun, « A Path Towards Autonomous Machine Intelligence Version 0.9. 2, 2022-06-27 », 2022.
- [8] W. Lotter, G. Kreiman, et D. Cox, « Deep predictive coding networks for video prediction and unsupervised learning », in *ICLR*, 2017.
- [9] M. W. Spratling, « A hierarchical predictive coding model of object recognition in natural images », *Cognitive computation*, vol. 9, n° 2, p. 151-167, 2017.
- [10] H. Wen, K. Han, J. Shi, Y. Zhang, E. Culurciello, et Z. Liu, « Deep Predictive Coding Network for Object Recognition », in *Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning*, J. Dy et A. Krause, Éd., in *Proceedings of Machine Learning Research*, vol. 80. Stockholmsmässan, Stockholm Sweden: PMLR, juill. 2018, p. 5266-5275. [En ligne]. Disponible sur: <http://proceedings.mlr.press/v80/wen18a.html>
- [11] A. M. Bastos, W. M. Usrey, R. A. Adams, G. R. Mangun, P. Fries, et K. J. Friston, « Canonical microcircuits for predictive coding », *Neuron*, vol. 76, n° 4, p. 695-711, 2012.
- [12] Björn van Zwol, Ro Jefferson, et Egon L. van den Broek, *PRECO, Library for Predictive Coding Networks (PCNs) and Predictive Coding Graphs (PCGs) in Python*. (2024). [En ligne]. Disponible sur: <https://github.com/bjornvz/PRECO>
- [13] R. Rosenbaum, « On the relationship between predictive coding and backpropagation », *PLOS ONE*, vol. 17, n° 3, p. e0266102, mars 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0266102.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

**Méthodes à mettre en oeuvre :**

- |   |  |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation        |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale        | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

**Durée du stage :** Minimum : 4 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : Printemps-été 2025

**PROFIL DU STAGIAIRE**

Connaissances et niveau requis : Intelligence Artificielle, Mathématiques, Deep Learning, Vision par ordinateur, Modèles biologiquement inspirés	Ecoles ou établissements souhaités : Master 2, 3 <sup>ème</sup> année d'Ecole d'ingénieur
---	--