

---

# AUTO-ORGANISATION DÉCENTRALISÉE MULTI-CARTES

équipe BISCUIT, Loria

*Encadrement* : Hervé Frezza-Buet (HDR), Yann Boniface  
Herve.Frezza-Buet@centralesupelec.fr & Yann.Boniface@loria.fr

---

## 1 Contexte

### 1.1 Calcul non conventionnel pour la robotique

L'équipe BISCUIT<sup>1</sup>, récemment créée au sein du laboratoire Loria, rassemble des chercheurs intéressés par l'informatique non conventionnelle. Cette équipe souhaite étudier de nouveaux paradigmes computationnels pour s'attaquer à des problèmes difficiles comme la robotique autonome, le calcul cognitif situé, etc. La pertinence de ces paradigmes non conventionnels vient de l'idée que le cerveau est plus performant que la technologie humaine pour contrôler des agents autonomes (animaux). De plus, même si cela prête à controverse (Jones, 2000), lorsque des architectures du système nerveux plus récemment évoluées, comme le cortex, sont prises en compte, il apparaît que la génétique code le développement anatomique de systèmes assez homogènes, systèmes qui sont ensuite adaptés lorsque l'animal interagit avec le monde (Miller et al., 2001; Ballard, 1986; Stavrinou et al., 2007). Lorsqu'ils sont considérés comme des solutions biologiques à des problèmes de robotique, les cerveaux montrent que calculer en rassemblant une grande population de petits circuits élémentaires de calcul (par exemple les micro-colonnes dans le cortex (Mountcastle, 1997)) est un moyen robuste et efficace de contrôler les agents artificiels. Mais, la reproduction des capacités de calcul des cerveaux n'étant pas encore atteinte, les chercheurs en informatique ne comprennent pas totalement ces phénomènes.

L'équipe BISCUIT s'attache à « *faire réellement quelque chose avec des populations de calcul spatialisées et Décentralisées (SDP)*<sup>2</sup> », plutôt que de modéliser avec précision les structures du cerveau. Le sujet de thèse de doctorat proposé est un pas de plus dans cette direction.

### 1.2 Auto-organisation

Parmi toutes les caractéristiques qui peuvent être transférées de la biologie à l'informatique, ce doctorat souhaite mettre l'accent sur l'auto-organisation, à la suite de la démarche fondatrice de Kohonen (Kohonen, 1997) qui s'est inspiré de labiologie du cortex, pour son modèle de cartes auto-organisatrices (SOM) qui est aujourd'hui un algorithme d'apprentissage artificiel éprouvé pour l'apprentissage non supervisé. Les travaux antérieurs des membres de l'équipe portent également sur l'auto-organisation, en insistant sur une approche plus spécifiquement SPD (Alecú et al., 2011), approche qui n'est pas centrale dans les SOMs classiques. L'idée est de considérer les modules SPD auto-organiseurs comme des blocs élémentaires de calcul pour les architectures multicartes (Ménard and Frezza-Buet, 2005). La manière dont plusieurs modules d'auto-organisation doivent être connectés reste un problème crucial de cette approche, sachant qu'ils peuvent également être connectés à eux-mêmes, de manière récursive. Ils sont alors en mesure de traiter la nature temporelle de l'information (Khouzam and Frezza-Buet, 2013). Ces travaux antérieurs ont actuellement deux limitations principales. Ils n'ont été appliqués qu'à des problèmes jouets de « preuve de concept » et ils nécessitent une grande quantité de calculs parallèles (Gustedt et al., 2010), puisque les mécanismes intrinsèques reposent sur des populations à grande échelle d'unités

---

1. Bio-Inspired Situated Cellular and Unconventional Information Technology

2. Spatialized and Decentralized Population

de calcul élémentaires. Cela restreint fortement la possibilité d’explorer des architectures composées de nombreux modules SPD.

### 1.3 Robotique

Ce doctorat n’est pas une contribution à la robotique, puisque le but est d’aborder le calcul SPD plutôt que de fournir à un robot des capacités qui dépassent celles de l’état de l’art. Néanmoins, un défi pour cette thèse sera d’utiliser un véritable robot comme plate-forme de validation. Pour ce faire, la `smartroom` de CentralSupélec sera disponible : les applications aux drones<sup>3</sup> ou aux robots roulants<sup>4</sup> peuvent être facilement accessibles, en utilisant ROS<sup>5</sup>.

## 2 Objectifs

Comme nous l’avons déjà écrit, les modules d’auto-organisation ont déjà été abordés au sein de l’équipe, en se concentrant sur le calcul de populations à grains fins. Mais comprendre comment les architectures multi-modules peuvent être mises en place n’est pas encore compris. L’objectif de la thèse est de s’appuyer sur l’analogie de ces modules avec les SOMs (Baheux et al., 2014) afin de construire des architectures multi-cartes avec de nombreux composants et d’analyser leur comportement dynamique. Des approches multicartes de l’auto-organisation ont été proposées dans la littérature (Johnsson et al., 2009), ainsi que des approches récurrentes pour le traitement temporel (Voegtlin, 2002; Hagenbuchner et al., 2001), mais le nombre de modules impliqués reste faible : dans les contributions où il est supérieur à un, il reste toujours inférieur à trois.

La thèse devra également inclure une validation expérimentale robotique, comme nous l’avons déjà mentionné. Cela signifie que l’auto-organisation devra se faire au fil de l’eau, au cours de l’interaction entre le robot et son environnement. Traditionnellement, les SOMs sont utilisées *hors ligne*, sur des ensembles de données collectées à l’avance. En effet, pour les SOMs, la décorrélation temporelle entre les échantillons de données est cruciale pour la convergence. Par exemple, si une SOM est alimentée par la sortie de capteurs d’un robot qui s’est arrêté, elle peut recevoir les mêmes informations au cours de nombreux pas de temps consécutifs. Du point de vue des SOM classiques, cela signifie que la distribution des entrées devient constante puisque les entrées alimentant la SOM avant l’arrêt ne sont pas stockées et n’ont donc plus aucune chance d’être soumises au modèle. Dans ce cas, l’ensemble des unités SOM convergent progressivement vers la valeur d’entrée courante, provoquant un *oubli catastrophique* de ce qui a été appris au cours des mouvements précédents. Ce problème, grossièrement illustré ici, est fondamental pour tout système d’apprentissage en temps réel, et est bien plus qu’un problème technique de paramétrage de carte auto-organisatrices. Des modifications des SOM ont été proposées par les membres de l’équipe (Rougier and Boniface, 2011) pour aborder cette question au niveau d’une unique SOM. L’extension de cette approche à des modules SDP multiples et récursifs est un autre défi du travail de thèse proposé.

## 3 Conditions de travail et compétences souhaitées

Le doctorant sera accueilli au Loria, laboratoire bi-localisé à Nancy et Metz<sup>6</sup>. Il ou elle travaillera sur les deux sites, à sa convenance, sous la supervision de Hervé Frezza-Buet et Yann Boniface. Une collaboration scientifique avec les autres membres de l’équipe est attendue, ainsi que des discussions scientifiques plus générales et des collaborations avec d’autres membres du laboratoire. La durée prévue du doctorat est de trois ans.

Des références à la biologie devant être prises en compte, un goût pour l’innovation et les approches pluridisciplinaires est attendu. De bonnes compétences en programmation sont également requises. L’équipe fournira un ensemble d’outils de programmation, de plates-formes robotiques et tout le soutien humain nécessaire pour les aspects techniques, ce qui permettra au doctorant ou

---

3. Quadricoptères Parrots

4. Kheperas, turtlebots

5. voir [www.ros.org](http://www.ros.org).

6. Sur le campus messin de CentralSupélec.

à la doctorante de se concentrer sur les questions scientifiques. Être à l'aise avec le C++ serait un plus, la production du code se fera sous linux.

## Références

- Alecu, L., Frezza-Buet, H., and Alexandre, F. (2011). Can self-organization emerge through dynamic neural fields computation ? . *Connection Science*, 23(1) :1–31.
- Baheux, D., Fix, J., and Frezza-Buet, H. (2014). Towards an effective multi-map self organizing recurrent neural network. In *European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning*, ESANN 2014 proceedings, pages 201–206.
- Ballard, D. H. (1986). Cortical connections and parallel processing : Structure and function. *Behavioral Brain Science*, 9 :67–129.
- Gustedt, J., Vialle, S., Frezza-Buet, H., Sitou, D. B., and Fressengeas, N. (2010). InterCell : a Software Suite for Rapid Prototyping and Parallel Execution of Fine Grained Applications. In *PARA 2010 conference : State of the Art in Scientific and Parallel Computing*.
- Hagenbuchner, M., Tsoi, A. C., and Sperduti, A. (2001). A supervised self-organizing map for structured data. In *Advances in Self-Organising Maps*, pages 21–28.
- Johnsson, M., Balkenius, C., and Hesslow, G. (2009). Associative self-organizing map. In *proceedings of the International Joint Conference on Computational Intelligence (IJCCI)*, pages 363–370.
- Jones, E. G. (2000). Microcolumns in the cerebral cortex. *PNAS*, 97(10) :5019–5021.
- Khouzam, B. and Frezza-Buet, H. (2013). Distributed recurrent self-organization for tracking the state of non-stationary partially observable dynamical systems. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, 3 :87–104.
- Kohonen, T. (1997). *Self Organizing Maps*. Springer. Second Edition.
- Ménard, O. and Frezza-Buet, H. (2005). Model of multi-modal cortical processing : Coherent learning in self-organizing modules. *Neural Networks*, 18(5-6) :646–655. extended version of *Coherent learning in cortical maps : A generic approach*, IJCNN'05.
- Miller, K. D., Simons, D. J., and Pinto, D. J. (2001). Processing in layer 4 of the neocortical circuit : New insights from visual and somatosensory cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 11 :488–497.
- Mountcastle, V. B. (1997). The columnar organization of the neocortex. *Brain*, 120 :701–722.
- Rougier, N. P. and Boniface, Y. (2011). Dynamic Self-Organising Map. *Neurocomputing*, 74(11) :1840–1847.
- Stavrinou, M. L., Penna, S. D., Pizzella, V., Torquati, K., Cianflone, F., Franciotti, R., Bezerianos, A., Romani, G. L., and Rossini, P. M. (2007). Temporal dynamics of plastic changes in human primary somatosensory cortex after finger webbing. *Cerebral Cortex*, 17(9) :2134–2142.
- Voegtlin, T. (2002). Recursive self-organizing maps. *Neural Networks*, 15(8-9) :979–992.