

# Coordination par envoi de signaux dans une population de robots

Sujet de thèse, campagne EDITE 2022-2023

Directeur de thèse: Nicolas Bredèche, ISIR, Sorbonne Université

## Contexte

Nous nous intéresserons aux mécanismes de coordination entre un grand nombre d'individus mobiles lorsque des signaux peuvent être échangés entre voisins. Nous considérons le cas où de tels signaux sont diffusés de proche en proche jusqu'à produire une réponse collective adaptée alors même que chaque individu n'a qu'une expérience limitée de son environnement (ex.: coordination entre cellules lors du développement de l'organisme, chasse coordonnée chez les animaux). Dans le cadre de cette thèse, nous souhaitons exploiter la coordination entre individus par envoi de signaux pour un essaim de robots aux capacités de communication limitée, mais suffisantes pour diffuser vers ses voisins des informations sur l'état local de l'environnement.

Nous souhaitons dans un premier temps mieux comprendre les conditions dans lesquelles l'utilisation de signaux explicites (a) enrichissant la perception individuelle de l'environnement par partage d'information et (b) permettant le déclenchement d'actions coordonnées (recrutement d'individus, déplacement collectif, etc.) peuvent être utilisés lors de la programmation du comportement individuel de chaque robot d'un essaim. Ensuite, nous étudierons comment un essaim de robots peut *apprendre* à exploiter efficacement un répertoire de signaux afin de réaliser collectivement une tâche, en particulier en opérant un compromis entre le coût temporel de diffusion d'information et la production d'une réponse rapide (en particulier dans un environnement dynamique).

Dans le cadre de la robotique en essaim, la vaste majorité des travaux théoriques et expérimentaux ce sont jusqu'ici concentrés sur le rapport coût/bénéfice de la communication et sur l'évolution de signaux ou de langage pour réaliser une tâche, en se concentrant particulièrement sur des interactions entre couple d'individus sur des échelles de temps longues. L'originalité de cette thèse est de considérer un essaim fluide, c'est à dire où les individus changent constamment de voisins, dans lequel l'utilisation de signaux doit être apprise alors même que les robots sont déjà déployés dans l'environnement. Cet apprentissage s'apparente à une forme d'apprentissage social artificiel, construit sur des échanges de robot à robot en fonction de leurs positions relatives.

## Objectif scientifique

Nous nous intéresserons en particulier à deux avantages de la communication par signal: (1) la possibilité de diffuser rapidement des informations compactes à travers l'essaim afin de permettre à chaque individu d'augmenter sa capacité à construire une représentation de l'état courant de l'environnement et (2) la possibilité d'émettre (et de recevoir) des requêtes à même de déclencher ou

moduler une réponse collective à partir d'une décision individuelle basée, et ce afin de réaliser des tâches nécessitant un haut niveau de coordination entre individus.

Après avoir identifié les conditions sous lesquelles l'usage de signaux de communications peut être bénéfique, nous nous intéresserons à la construction automatique de signaux (porteur d'information sur l'environnement ou de consigne agissant sur le comportement). Au delà de la construction de signaux simples, nous aborderons la notion de complexification de signaux et le lien avec la notion de culture cumulative, c'est à dire ici la construction de signaux permettant de produire des comportements de plus en plus complexes et efficaces au cours du temps.

En terme de méthode, il s'agira de développer des modèles computationnels d'apprentissage social et de communication afin de tester nos hypothèses, en particulier quant à l'influence de la densité de l'essaim et de l'aspect dynamique de l'environnement. Ces modèles seront ensuite implémentés sur un essaim de robots réels afin de valider expérimentalement la robustesse des algorithmes proposés en situation réel (en particulier du point de vue des contraintes sur les modes de communication).

## Environnement

La thèse se déroulera à l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR) sur le campus Pierre et Marie Curie de Sorbonne Université. Le/la futur·e doctorant·e sera intégré dans l'équipe et disposera d'un accès au cluster du laboratoire ainsi qu'à l'arène multi-robot que nous avons développés (~200 robots de petite taille développé spécifiquement pour nos expériences de robotique en essaim). Il/elle intègrera l'équipe AMAC (~10 permanents et ~20 doctorants, post-doctorants, ingénieurs et machine à café) dont la thématique porte sur la prise de décision et l'adaptation dans les systèmes artificiels et naturels.

## Profil recherché

Le/la candidat·e doit être diplômé·e d'un Master 2 ou diplôme d'ingénieur à la date de début de la thèse. Il/elle possède de bonnes connaissances en informatique, en particulier en programmation, des capacités de synthèse et une excellente rigueur méthodologique. Un intérêt pour les travaux pluri-disciplinaires, en particulier au croisement entre informatique, biologie du comportement et robotique, est souhaité. Le/la candidat·e devra faire preuve d'une bonne capacité d'autonomie et d'initiative. Un bon niveau d'anglais est requis (au moins B2).

## Références

- N. Bredeche, N. Fontbonne (2022) Social learning in swarm robotics. *Phil. Trans. R. Soc. B.*
- A. Whiten, D. Biro, N. Bredeche, E. C. Garland, S. Kirby (2022) The emergence of collective knowledge and cumulative culture in animals, humans and machines. *Phil. Trans. R. Soc. B.*
- M. Laidre, R. A. Johnstone (2013) Animal Signals. *Current Biology.*
- I. A. Martinez-Vaquero, F. C. Santos, V. Trianni (2020) Signalling boosts the evolution of cooperation in repeated group interactions. *Interface.*
- S. Mitri, D. Floreano and L. Keller (2011) Relatedness influences signal reliability in evolving robots. *Proc. Royal Society B.*
- S. Wischmann, D. Floreano; L. Keller (2012) Historical contingencies affects signaling strategies and competitive abilities in evolving populations of simulated robots. *PNAS.*

- A. Bernard, S. Wischmann, D. Floreano, L. Keller (2023) The evolution of behavioral cues and signaling in displaced communication. *PLoS Computational Biology*.
- D. Marocco, A. Cangelosi, S. Nolfi (2003) The emergence of communication in evolutionary robots. *Phil. Trans. R. Soc. A*.
- H. Lipson (2007) Evolutionary Robotics: Emergence of communication. *Current Biology*.
- D. Floreano, S. Mitri, S. Magnenat, L. Keller (2007) Evolutionary Conditions for the Emergence of Communication in Robots. *Current Biology*.
- C. J. Torney, A. Berdahl, I. D. Couzin (2011) Signalling and the Evolution of Cooperative Foraging in Dynamic Environments. *PLoS Computational Biology*.
- R. Haven Wiley (2006) Signal Detection and Animal Communication. *Advances in the Study of Behavior*
- E. A. Hebets, D. R. Papaj (2005) Complex Signal Function. *Behavioral Ecology and Sociobiology*.
- M. H. Christiansen, S. Kirby (2003) Language evolution. *Trends in Cognitive Science*.
- E. A. Di Paolo (1996) An investigation into the evolution of communication. *Adaptive Behavior*.
- M. Quinn (2001) Evolving communication without dedicated communication channel. *ECAL conference proceedings*.
- C. Ampatzis, E. Tuci, V. Trianni, and M. Dorigo (2006) Evolution of Signalling in a Group of Robots Controlled by Dynamic Neural Networks. *SAB conference proceedings*.
- M. Derex, R. Feron, B. Godelle, M. Raymond (2015) Social learning and the replication process: an experimental investigation. *Proc. R. Soc. B*
- John Maynard Smith and David Harper (2003) *Animal Signals*. Oxford University Press.
- J. W. Bradbury, S. L. Vehrencamp (2011) *Principles of Animal Communication* (2nd edition).