

## Sujet de Thèse 2021-2024

### Réalité Augmentée et interfaces tangibles pour la supervision et l'interaction avec des essaims de robots

**Directeurs de thèse :** Vincent Rodin (PR UBO), INUIT, pôle Interactions, Lab-STICC  
et Gilles Coppin (PR, IMT-A), pôle Interactions, Lab-STICC

**Co-encadrants :** Jérémy Rivière (MCF UBO), INUIT, pôle Interactions, Lab-STICC  
Sébastien Kubicki (MCF ENIB), INUIT, pôle Interactions, Lab-STICC  
Etienne Peillard (MCF IMT-A), INUIT, pôle Interactions, Lab-STICC

#### Résumé

Les essaims de robots sont des systèmes composés d'un grand nombre de robots de petite taille autonomes, contrôlés notamment par des algorithmes bio-inspirés et des Systèmes Multi-Agents. De par la nature de ces algorithmes, les essaims de robots montrent des propriétés d'auto-adaptation et de résilience qui sont extrêmement utiles, mais qui rendent toute supervision et tout contrôle par un opérateur humain très difficile. Le premier challenge est la visualisation simultanée des comportements d'un nombre élevé de robots, et la compréhension des liens qui unissent ces comportements et le comportement global, *complexe* de l'essaim. Le second challenge consiste à interagir de manière efficace et naturelle avec l'essaim, malgré la complexité de son comportement et sa nature distribuée, qui rendent les moyens d'interagir avec lui limités. Cette thèse propose d'utiliser d'une part la Réalité Augmentée (RA) comme aide à la supervision du comportement de l'essaim et de sa dynamique, et d'autre part des interfaces tangibles pour interagir, et contrôler, l'essaim. La RA pourrait permettre à l'opérateur de visualiser, de manière non-intrusive, les mécanismes sous-jacents au comportement global de l'essaim, à partir d'informations locales, agrégées, provenant des différents robots. Les interfaces tangibles pourraient permettre à l'opérateur d'interagir directement avec les robots, considérés comme des interacteurs, ou leur environnement immédiat, au niveau « micro », pour contrôler le comportement de l'essaim au niveau « macro ». L'objectif final de la thèse est la mise en place d'une méthode générique de supervision et de contrôle d'essaims de robots, mise en œuvre dans plusieurs applications concrètes, et validée expérimentalement.

**Financement envisagé : 50 % CDE UBO / 50% ARED Région Bretagne**

#### I. Contexte, problématique et état de l'art

Les récents progrès technologiques permettent de mettre au point des robots de taille et de coût réduits. Une conséquence implicite de ces progrès sont des systèmes composés d'un grand nombre de petits robots qui collaborent de manière autonome dans diverses applications [8]. Ces essaims de robots (*robot swarms*), en lien direct avec les Systèmes Multi-Agents (SMA), sont difficiles à mettre en place, car ils se construisent en partant du comportement d'un robot (dépendant de son état à l'instant  $t$ , de ses perceptions, et de ses capacités d'actions), le comportement global de l'essaim émergeant des interactions locales entre ces robots. Pour ces raisons, leur déploiement dans l'industrie comme dans des applications concrètes tarde à venir.

Non seulement la conception d'un essaim de robots efficace est difficile, mais toute une partie de la recherche se concentre depuis plusieurs années sur la mise en place d'un contrôle efficace de l'essaim par un utilisateur, pour l'intégration efficace des superviseurs humains, des opérateurs, et des coéquipiers [2]. En effet, la problématique consiste à trouver, d'une part, des moyens d'observation qui permettent à un opérateur de superviser un essaim de robots, dont le comportement global est complexe, *i.e.* émergent des comportements et interactions de chacun des robots [10], et d'autre part, des moyens de l'influencer ou de le contrôler, autrement dit d'interagir avec l'essaim.

Dans le cadre de cette thèse nous proposons d'étudier 1) l'utilisation de la Réalité Augmentée (RA) comme aide à l'observation et à la compréhension du comportement de l'essaim et de sa dynamique, et 2) l'utilisation d'interfaces tangibles (TUI : *Tangible User Interface*) pour interagir, et contrôler, l'essaim, dont

le comportement est défini par un SMA (exploration collective, mouvements coordonnés, allocation de tâches etc.)

D'un côté, la Réalité Augmentée (RA) est devenue un domaine de recherche multidisciplinaire populaire au cours des dernières décennies. Elle a été utilisée dans différentes applications pour améliorer le retour visuel des systèmes d'information. Des ordinateurs plus rapides, des caméras de pointe et des algorithmes novateurs incitent les chercheurs à élargir les domaines d'application de la RA. En robotique, la RA agit comme un nouveau moyen de visualisation, d'interactions et d'échanges d'informations avec des systèmes autonomes augmentant l'efficacité de l'interaction homme-robot (HRI). Dans l'interaction avec les essaims de robots, elle est majoritairement utilisée comme un moyen d'étendre virtuellement leur environnement [7].

D'un autre côté, depuis plus de 20 ans maintenant, les interfaces tangibles (TUI : Tangible User Interface en anglais) suscitent l'intérêt des chercheurs en Interaction Homme-Machine (IHM) au vu de leurs avantages théoriques et des nouvelles possibilités d'interactions qu'elles proposent. La définition qu'en donnent Ishii et Ullmer [3] est très succincte mais facilement compréhensible : il s'agit de manipuler des objets réels qui sont intégrés dans un environnement virtuel. En d'autres termes, l'information numérique est directement palpable par les mains de l'utilisateur ou est perceptible par les sens périphériques. Dès lors, de nombreuses applications (au sens TUIs) ont vu le jour en particulier en s'appuyant sur l'usage de petits robots en guise d'objets tangibles (autonomes) dans divers contextes (éducation, jeu, etc.) [3-6].

## II. Objectifs de la proposition et méthodologie

Dans le cadre de cette thèse, l'équipe INUIT du Lab-STICC a fait l'acquisition d'une vingtaine de robots MONA [11]. Les porteurs de cette thèse proposent de mettre en commun leurs compétences dans l'utilisation de SMA et des systèmes complexes pour contrôler ces robots, et dans l'utilisation de nouveaux moyens d'interactions en particulier tangibles et en Réalité Augmentée entre un utilisateur humain et l'essaim de robots dans son ensemble. Un premier stage de Master 2, dont l'objectif est d'élaborer une preuve de concept (démonstrateur) mêlant SMA, interfaces tangibles et RA, démarre en février 2021.

La question à laquelle cette thèse se propose d'apporter une réponse est la suivante : comment influencer / contrôler de façon naturelle et efficace un essaim de robots dont le comportement global est *complexe* ?

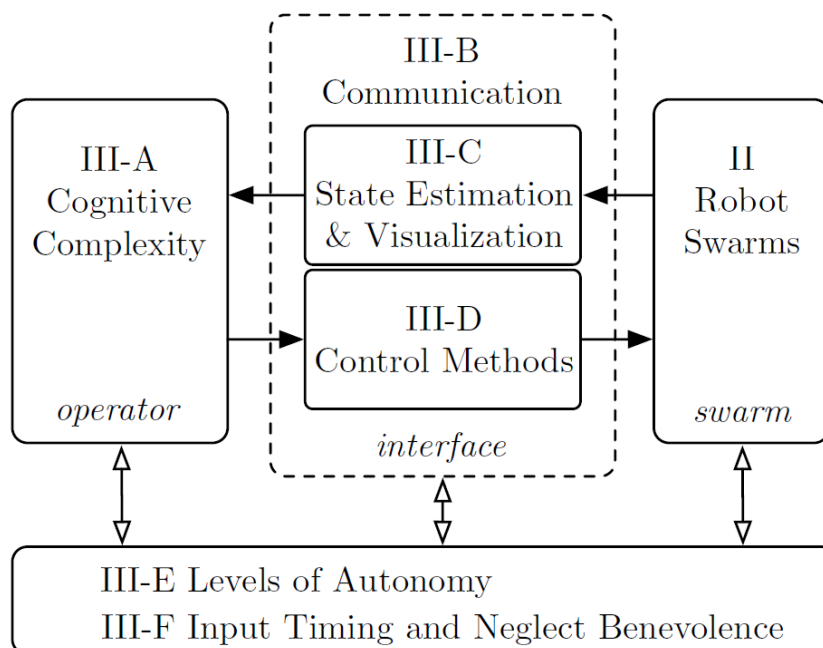


Figure 1 : Interagir efficacement avec un essaim de robots comporte plusieurs verrous. Tirée de [10].

Répondre à cette question implique que l'on adresse deux verrous scientifiques principaux.

**Le premier verrou** (III-C sur la Figure 1) consiste à donner à l'opérateur une compréhension de l'état et de la dynamique de l'essaim de robots. Avant toute tentative de contrôle de l'essaim, il est en effet primordial que l'opérateur ait une idée claire de ce que les robots sont en train de faire, de leur efficacité et de leur avancée dans la résolution du problème [1]. Or, d'une part le nombre élevé de robots peut rendre difficile, sinon impossible la supervision (visualisation et compréhension) du comportement de l'essaim [2] (comme on peut le voir sur la Figure 2).

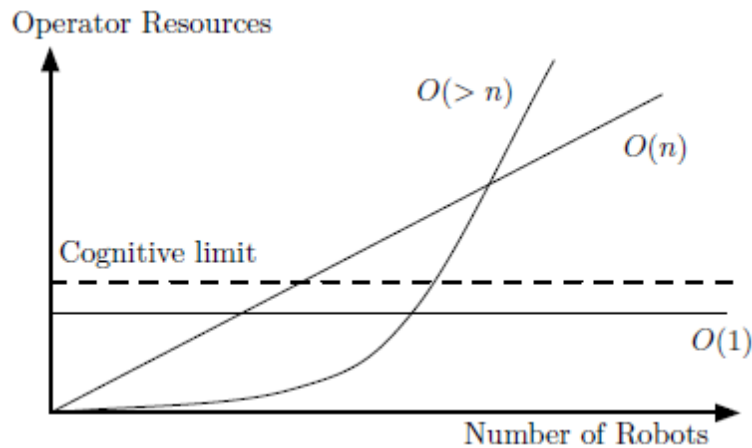


Figure 2 : Les ressources cognitives de l'opérateur humain mises en relation avec le nombre de robots à superviser.  
Tirée de [10].

D'autre part, le fait que le comportement global de l'essaim émerge des interactions locales entre les robots (et donc de leur comportement individuel) rend également très compliquée sa supervision, mais aussi le contrôle de l'essaim. Ce genre de système *complexe* peut en effet avoir des mécanismes d'auto-organisation, d'auto-adaptation, ou émergents, qu'une influence extérieure mal effectuée pourrait perturber.

Pour répondre au premier verrou scientifique identifié, il est indispensable de s'intéresser aux informations locales provenant des robots (le niveau « micro ») et à ses liens avec le comportement de l'essaim (le niveau « macro »). Pour ne pas submerger l'opérateur d'informations, la réduction du bruit, l'agrégation et la fusion de ces informations « micro » en une information du niveau « macro » pour réduire la complexité sont des solutions privilégiées. Ce que nous proposons est d'utiliser la RA pour permettre à l'opérateur de visualiser les mécanismes sous-jacent aux comportements complexes de l'essaim, comme son auto-organisation.

**Le deuxième verrou** (III-D sur la Figure 1) concerne la mise en place de moyens d'interagir avec l'essaim de robots qui soient intuitifs, ergonomiques et efficaces ou encore naturels. Ce verrou est également fortement connecté à la complexité du comportement de l'essaim et à sa nature distribuée : propager un ordre de haut niveau à tous les robots, alors même que ces robots n'ont a priori pas conscience du comportement de haut niveau de l'essaim, paraît contreproductif. De plus, des problèmes d'atteignabilité de tous les robots, au même moment, se posent avec cette méthode (encombrement de bande passante, délais, pertes de données). Plusieurs travaux se sont intéressés à l'influence de l'essaim via des modifications de son environnement [10], notamment des balises qui peuvent modifier le comportement des robots à proximité.

Nous proposons de répondre au deuxième verrou par le biais des interfaces/interactions tangibles. L'utilisateur (opérateur) pourrait simplement interagir avec les robots ou avec les objets de l'environnement en les touchant, déplaçant, secouant, etc. Ces interfaces tangibles pourront être les robots eux-mêmes, considérés comme des interacteurs aux effets spécifiques. De cette façon, l'opérateur interagit avec les robots du niveau « micro » pour contrôler le comportement de l'essaim au niveau « macro ».

A partir de la littérature et de scénarios concrets, une méthode générique de supervision et de contrôle des essaims de robots sera proposée, et implémentée sur ces scénarios. Le tableau 1 montre un exemple d'applications possibles.

Comportement multi-agents	Rôle du tangible	Rôle de la RA
Formation de pattern / auto-assemblage de formes	Définir une nouvelle structure que les robots doivent former en manipulant directement certains robots / des signaux dans l'environnement	Montrer les mécanismes sous-jacent à l'auto-organisation des robots en la nouvelle structure : attraction / répulsion, feedbacks positifs et négatifs etc.
Exploration collective	Définir la nouvelle zone à explorer par les robots en manipulant des signaux dans l'environnement	Montrer les mécanismes sous-jacent à l'auto-organisation des robots dans l'exploration : frontières suivies, communication etc.
Transport collectif	Déposer de nouveaux objets encombrants que les robots doivent transporter à un endroit	Montrer les zones de dépôt des objets les plus adaptées, et les mécanismes sous-jacent à la coordination des robots : communication, synchronisation etc.
Déplacement collectif	Définir la forme du mouvement des robots (flocking ...) en manipulant directement certains robots / des signaux dans l'environnement	Montrer les mécanismes sous-jacent à l'auto-organisation des robots en la nouvelle structure : attraction / répulsion, directions suivies etc.

Tableau 1 : exemples d'applications possibles

Pour valider cette méthode, une évaluation du contrôle d'un essaim de robots, dans une ou plusieurs des applications, par un panel d'utilisateurs jouant le rôle d'opérateurs sera effectuée. Cette évaluation devra suivre par exemple la démarche scientifique proposée par l'équipe COMEDIA du Lab-STICC pour juger de la qualité de la visualisation et des interactions de l'utilisateur avec l'essaim.

### III. Références

- [1] Chen, T., Campbell, D., Gonzalez L. F. and Coppin, G. (2015). Increasing Autonomy Transparency through capability communication in multiple heterogeneous UAV management, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Hamburg, 2015, pp. 2434-2439
- [2] Coppin, G., and Legras, F. (2012). Autonomy Spectrum and Performance Perception Issues in Swarm Supervisory Control, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 3, pp. 590-603, March 2012
- [3] Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems* (pp. 234-241). ACM.
- [4] Krzywinski, A., Mi, H., Chen, W., & Sugimoto, M. (2009). RoboTable: a tabletop framework for tangible interaction with robots in a mixed reality. *Advances in Computer Entertainment Technology*.
- [5] Pedersen E., W. and Hornbæk K. (2011). Tangible bots: interaction with active tangibles in tabletop interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2975–2984.

- [6] Le Goc, M., Kim, L., H., Parsaei, A., Fekete, J. D., Dragicevic, P. and Follmer, S. (2016). Zooids: Building Blocks for Swarm User Interfaces. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 97–109.
- [7] Makhataeva, Zhanat; Varol, Huseyin A. (2020). "Augmented Reality for Robotics: A Review." *Robotics* 9, no. 2: 21.
- [8] Schranz, M., Umlauft, M., Sendel, M., Elmenreich, W. (2020). Swarm Robotic Behaviors and Current Applications, 2020. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, art. no. 36.
- [9] Tinguy, X.D., Howard, T., Pacchierotti, C., Marchal, M., & Lécuyer, A. (2020). WeATaViX: WEearable Actuated TAngibles for VIRTUAL Reality eXperiences. EuroHaptics.
- [10] A. Kolling, P. Walker, N. Chakraborty, K. Sycara and M. Lewis (2016). "Human Interaction With Robot Swarms: A Survey" in *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 46, no. 1, pp. 9-26
- [11] Arvin, F., Espinosa, J., Bird, B. et al. (2019) "Mona: an Affordable Open-Source Mobile Robot for Education and Research". *J Intell Robot Syst* 94, 761–775 (2019).L