



Master 1 d'informatique parcours ANDROIDE - UE Projet  
Année Universitaire 2021-2022

## **Carnet de bord**

### **les coulisses de la recherche documentaire**

Sujet : apprentissage social et imitation pour la robotique en essaim  
Encadrants : Nicolas Bredèche et Stéphane Doncieux

Dorian Lancelin, Alessia Loi

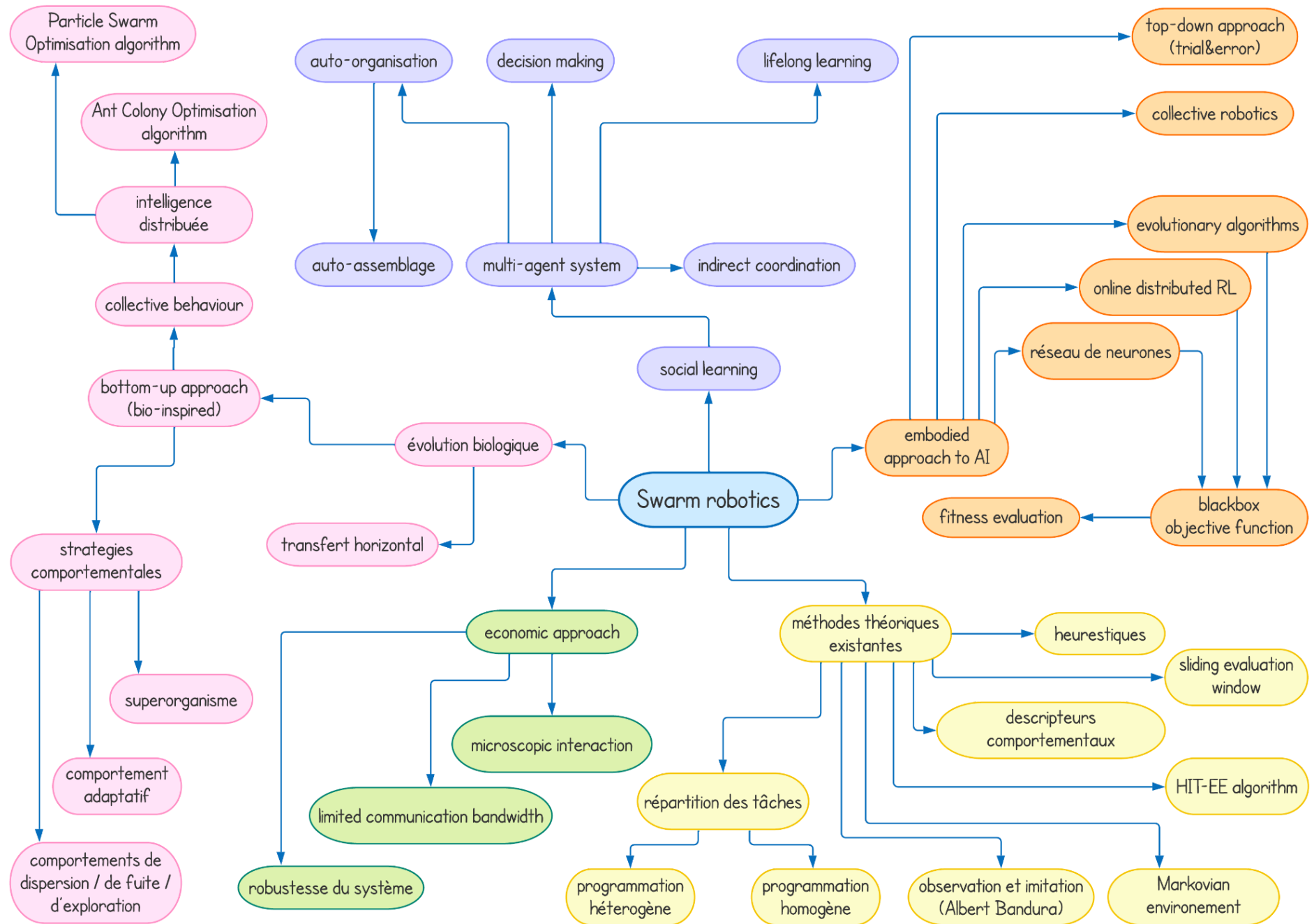
## **Introduction**

La robotique en essaim est un sous-domaine de la robotique collective qui désigne un ensemble de robots miniatures aux faibles capacités de calcul individuelles qui collaborent pour accomplir des tâches complexes. Ce domaine est très efficace pour la résolution de problèmes et la prise de décision, et présente des avantages aussi bien économiques qu'écologiques : ces essaims débarqueront peut-être bientôt dans les océans pour récolter les micros-plastiques par autoassemblage. Par contre, il manque une méthode théorique permettant de déterminer les meilleurs descripteurs comportementaux et comment les transmettre. L'objectif du projet est d'implémenter en Python ces descripteurs, en explorant les enjeux économiques et sociaux, afin d'observer la diffusion de compétences au sein d'une population et raisonner sur les stratégies qui en favorisent la convergence.

## Mots clés

Swarm robotics, swarm engineering, evolutionary robotics, collective robotics, social learning, on-line distributed reinforcement learning, embodied evolution, fitness function, environnement multi-robots, top-down approach (trial&error), bottom-up approach (bio-inspired), local interaction, self-organizing behaviors, swarm performance function, indirect coordination between agents, granular convection, collective sorting, collective behavior, decision making in multi-agent systems, Markovian environment, limited communication bandwidth, multiple selection pressures, lifelong learning, black-box objective function, microscopic interactions.


Performance globale de l'essaim, stratégies comportementales, transfert horizontal biologique, interactions entre robots, transfert direct de paramètres de contrôle, apprentissage par imitation, descripteurs comportementaux, diffusion de compétence (dans la population), apprentissage social, stratégie de sélection des individus à imiter, intelligence distribuée, capacités d'auto-organisation, capacités d'auto-assemblage, comportements émergents, communications locales sous forme d'infrarouge, flotte de drones (aériens, subaquatiques, ...), coopération entre robots, morphogenèse en robotique, comportement/fonctionnement adaptatif, comportements de dispersion / de fuite / d'exploration, prise de décision distribuée, robustesse du système, homogénéité de la programmation (définition de tâches identiques pour l'ensemble des individus), hétérogénéité de la programmation (définition de tâches spécialisées pour des sous-groupes d'individus), réseaux de neurones artificiels, systèmes hybrides animal-robot, superorganisme, métaheuristiques d'optimisation, algorithme Ant Colony Optimisation, algorithme Horizontal Information Transfer for Embodied Evolution, genome transfert, horizontal gene transfer (used by bacteria).



## Descriptif de la recherche documentaire

Pour trouver nos sources, nous avons dans un premier temps cherché un bref aperçu de l'état de la recherche sur la robotique en essaim dans les journaux traditionnels via Europresse mais également des vidéos de vulgarisation en passant par des moteurs de recherche classiques. Par rebond de thèmes en thèmes, on a ainsi pu se familiariser avec les enjeux liés à la robotique distribuée ainsi que ses objectifs à court et long terme. Durant cette phase de recherche nous avons noté les mots qui revenaient fréquemment, les algorithmes cités (à l'instar de l'algorithme des fourmis ou celui des bancs de poissons) et les noms de chercheurs impliqués. Puis nous avons mis en relation ce que nous avons appris avec l'énoncé de notre projet pour décider de ce que nous devions approfondir ou laisser de côté. C'est à cette période que nous avons eu notre premier entretien avec nos encadrants, qui nous ont donné les publications nécessaires pour bien initier notre projet. Dans un second temps, nous avons utilisé des bases de données de parutions scientifiques telles que Google scholar ou Web of Science, en cherchant les mots-clés notés précédemment. Nous sommes également passés par les pages officielles des chercheurs identifiés. Enfin, nous avons trié les articles par ordre de spécificité et par date.

## Bibliographie produite dans le cadre du projet

- [1] Nicolas Bredeche and Nicolas Fontbonne. 2022. Social learning in swarm robotics. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 377, 1843 (January 2022), 20200309. DOI:<https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0309>
- [2] Nebojsa Bacanin, Khaled Alhazmi, Miodrag Zivkovic, Kv Venkatachalam, Timea Bezdan, and Nebhen Jamel. 2021. Training Multi-Layer Perceptron with Enhanced Brain Storm Optimization Metaheuristics. *Comput. Mater. Contin.* 70, (October 2021), 4199–4215. DOI:<https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020449>
- [3] Alaa Iskandar and Béla Kovács. 2021. A Survey on Automatic Design Methods for Swarm Robotics Systems. *Carpathian J. Electron. Comput. Eng.* 14, 2 (December 2021), 1–5. DOI:<https://doi.org/10.2478/cjece-2021-0006>
- [4] Nicolas Martin. 2021. Robotique en essaim : tous pour un! *www.franceculture.fr*. Retrieved February 26, 2022 from <https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/essaim-de-robots>
- [5] Fouloscopie. 2021. Comment fonctionne un ESSAIM de robots ? . Retrieved February 20, 2022 from <https://www.youtube.com/watch?v=5CaVhGTG8eA>

- [6] Alexandre Couto. 2021. Grâce à la 5G, une robotique en essaim au service de la logistique. (March 2021). Retrieved February 26, 2022 from <https://www.industrie-techno.com/article/grace-a-la-5g-une-robotique-en-essaim-au-service-de-la-logistique.64269>
- [7] Delmarre Mégane. 2021. Comment des essaims de robots prennent des décisions. <https://www.larecherche.fr>. Retrieved February 26, 2022 from <https://www.larecherche.fr/technologie/comment-des-essaims-de-robots-prennent-des-decisions>
- [8] 2021. OFFSET Swarms Take Flight in Final Field Experiment. <https://www.darpa.mil>. Retrieved February 27, 2022 from <https://www.darpa.mil/news-events/2021-12-09>
- [9] Nicolas Fontbonne, Olivier Dauchot, and Nicolas Bredeche. 2020. Distributed On-line Learning in Swarm Robotics with Limited Communication Bandwidth. In *2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, IEEE, Glasgow, United Kingdom, 1–8. DOI:<https://doi.org/10.1109/CEC48606.2020.9185697>
- [10] Agnès Guillot and Jean-Arcady Meyer. 2020. *L’or vert: quand les plantes inspirent l’innovation / Agnès Guillot & Jean-Arcady Meyer*. CNRS éditions, Paris.
- [11] Dorigo, Marco, Guy Theraulaz, and Vito Trianni. 2020. Reflections on the future of swarm robotics. *Science Robotics* 5.49 : eabe4385.
- [12] Guy Theraulaz. 2020. L’intelligence collective des sociétés animales. *Langue et science, langage et pensée*, Colloque de rentrée du Collège de France, sous la direction de Jean-Noël Robert. ffhal-02993281f
- [13] Nicolas Bredeche. 2019. HIT-EE: a novel embodied evolutionary algorithm for low cost swarm robotics. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, ACM, Prague Czech Republic, 109–110. DOI:<https://doi.org/10.1145/3319619.3321928>
- [14] Catherine Simon. 2019. La France en panne de stratégie robotique. *Les Echos*. Retrieved February 26, 2022 from <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/la-france-en-panne-de-strategie-robotique-1026223>
- [15] Justin K. Pugh, Lisa B. Soros, and Kenneth O. Stanley. 2016. Quality Diversity: A New Frontier for Evolutionary Computation. *Front. Robot. AI* 3, (2016). Retrieved February 26, 2022 from <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2016.00040>
- [16] Jean-Baptiste Mouret and Stéphane Doncieux. 2012. Encouraging Behavioral Diversity in Evolutionary Robotics: an Empirical Study. *Evol. Comput.* 20, 1 (2012), 91–133. DOI:[https://doi.org/10.1162/EVCO\\_a\\_00048](https://doi.org/10.1162/EVCO_a_00048)

- [17] Pablo García-Sánchez, A. Eiben, Evert Haasdijk, Berend Weel, and Juan Merelo Guervós. 2012. Testing Diversity-Enhancing Migration Policies for Hybrid On-Line Evolution of Robot Controllers. 52–62. DOI:[https://doi.org/10.1007/978-3-642-29178-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29178-4_6)
- [18] Thomas Heams, Philippe Huneman, Guillaume Lecointre, and Marc Silberstein (Eds.). 2011. *Les mondes darwiniens*. Éditions Matériologiques. Retrieved February 20, 2022 from <https://www-cairn-info.accesdistant.sorbonne-universite.fr/les-mondes-darwiniens-volume-2--9782919694402.htm>
- [19] Nicolas Bredeche and Jean-Marc Montanier. 2010. Environment-Driven Embodied Evolution in a Population of Autonomous Agents. In *Parallel Problem Solving from Nature, PPSN XI*, Robert Schaefer, Carlos Cotta, Joanna Kołodziej and Günter Rudolph (eds.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 290–299. DOI:[https://doi.org/10.1007/978-3-642-15871-1\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15871-1_30)
- [20] Saleh Alaliyat, Harald Yndestad, and Filippo Sanfilippo. 2014. Optimisation Of Boids Swarm Model Based On Genetic Algorithm And Particle Swarm Optimisation Algorithm (Comparative Study). DOI:<https://doi.org/10.7148/2014-0643>
- [21] Eliseo Ferrante, Edgar Duéñez-Guzmán, Ali Emre Turgut, and Tom Wenseleers. 2013. GESwarm: grammatical evolution for the automatic synthesis of collective behaviors in swarm robotics. In *Proceeding of the fifteenth annual conference on Genetic and evolutionary computation conference - GECCO '13*, ACM Press, Amsterdam, The Netherlands, 17. DOI:<https://doi.org/10.1145/2463372.2463385>
- [22] Kazuhiro Ohkura, Toshiyuki Yasuda, and Yoshiyuki Matsumura. 2013. Generating Cooperative Collective Behavior in Swarm Robotic Systems. *J. Adv. Comput. Intell. Intell. Inform.* 17, 5 (2013), 699–706. DOI:<https://doi.org/10.20965/jaciii.2013.p0699>
- [23] Vito Trianni. 2008. *Evolutionary Swarm Robotics*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-3-540-77612-3>
- [24] J. Wawerla, G.S. Sukhatme, and M.J. Mataric. 2002. Collective construction with multiple robots. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2696–2701 vol.3. DOI:<https://doi.org/10.1109/IRDS.2002.1041677>
- [25] M. Dorigo and G. Di Caro. 1999. Ant colony optimization: a new meta-heuristic, *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99* (Cat. No. 99TH8406), pp. 1470-1477 Vol. 2, doi: 10.1109/CEC.1999.782657.
- [26] Ronald Kube and Hong Zhang. 1993. Collective Robotics: From Social Insects to Robots. *Adapt. Behav.* 2, (1993), 189–218.

## Évaluation des sources

**Source 1 :** Nicolas Bredeche. 2019. HIT-EE: a novel embodied evolutionary algorithm for low cost swarm robotics. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, ACM, Prague Czech Republic, 109–110. DOI:<https://doi.org/10.1145/3319619.3321928>

**Date/Fraîcheur :** 2019. Il existe un article plus récent décrivant le même algorithme HIT-EE d'intérêt (Nicolas Fontbonne, Olivier Dauchot, and Nicolas Bredeche. 2020. Distributed On-line Learning in Swarm Robotics with Limited Communication Bandwidth) mais l'article du 2019 en décrit une version simplifiée, plus utile pour comprendre le mécanisme de base.

**Pertinence.** L'article constitue un fondement pour notre travail, car il nous permet d'étudier l'algorithme HIT-EE (Horizontal Information Transfer for Embodied Evolution), important pour la mise en place des expériences à conduire dans le cadre du projet. En effet, l'algorithme HIT-EE permet de gérer la communication entre les robots de l'essaim, et représente le mécanisme évolutionniste de base activant la diffusion de compétences à l'intérieur de la population. L'article a donc un caractère technique et traite du transfert direct de paramètres de contrôle entre agents.

**Provenance.** L'article nous a été signalé par nos encadrants Nicolas Bredeche et Stéphane Doncieux. L'article est écrit à partir de la conférence GECCO '19 : Genetic and Evolutionary Computation Conference, organisée par l'Association for Computing Machinery. L'auteur est Nicolas Bredeche, professeur et chercheur spécialisé en architectures et modèles pour l'adaptation et la cognition de l'ISIR, l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique à Sorbonne Université.

**Rigueur du contenu.** La source a été écrite par l'un de nos encadrants, ce qui constitue la principale raison de notre confiance. L'article présente des erreurs d'orthographe et des imprécisions algorithmiques. Cependant, l'article est clair et constitue une source fondamentale pour notre travail. Les informations y contenues sont reproductibles, les paramètres et les résultats sont donnés. Les articles cités dans les références sont facilement repérables sur internet.

Même si l'article a été proposé et écrit par l'un de nos encadrants, nous avons gardé un regard critique sur la source ce qui nous a permis de repérer une erreur dans le pseudo-code de l'algorithme issu de l'article et réussir à l'implémenter correctement.

**Objectif.** Fournir un outil de base pour la communication directe entre agents et prouver qu'il fonctionne. L'objectif est purement technique et scientifique, pour documenter l'intervention effectuée à l'occasion de la conférence GECCO '19.

**Source 2 :** Thomas Heams, Philippe Huneman, Guillaume Lecointre, and Marc Silberstein (Eds.). 2011. *Les mondes darwiniens*. Éditions Matériologiques. Retrieved February 20, 2022 from <https://www-cairn-info.accesdistant.sorbonne-universite.fr/les-mondes-darwiniens-volume-2--9782919694402.htm>

**Date/Fraîcheur :** 2011. Le livre est un peu ancien (plus de 10 ans) mais offre un point de vue original entre sciences et philosophie que nous trouvons très intéressant pour la compréhension de la complexité du sujet.

**Pertinence.** L'information contenue dans le livre est parfois un peu trop générale pour notre travail, mais justement, à part les documents techniques, nous avons intérêt de bien comprendre les enjeux autour du sujet de recherche. Le domaine de la robotique en essaim est relativement récent et est né de la collaboration entre informaticiens et biologistes autour des années 2000. L'intelligence artificielle en général, dont la robotique en essaim fait partie, est née dans les années '50 grâce à la collaboration entre chercheurs et professionnels appartenant aux domaines les plus variés . C'est pour cela que nous avons intérêt à inclure dans notre bibliographique au moins un ouvrage à caractère interdisciplinaire.

Nous pensons que ces connexions peuvent nous aider à sortir du point de vue purement technique du travail demandé et stimuler la naissance d'idées créatives sur les dynamiques qui pourraient rythmer les micro-interactions d'un essaim.

**Provenance.** Le livre a été trouvé en effectuant une recherche sur la base de données Cairn et il est disponible pour consultation soit en ligne soit à la Bibliothèque des Licences de Sorbonne Université.


L'éditeur Éditions Matériologiques publie des ouvrages autour des sciences, de l'histoire et de la philosophie des sciences depuis 2010. Il a publié plus de 100 livres et 600 auteurs à ce jour.

Les 50 auteurs des différentes sections du livre sont principalement des enseignants-chercheurs, et parmi eux on a pu remarquer la présence de Nicolas Bredeche, ce qui a constitué une confirmation de la pertinence de l'ouvrage.



**Rigueur du contenu.** Ce livre de 692 pages présente une structuration claire organisée en macro-thèmes et sous-chapitres, ce qui permet une lecture aisée et ciblée sur les informations d'intérêt. Les informations sont vérifiables, car pour chaque article il y a une bibliographie dédiée, présentée de manière qu'il soit possible de distinguer si le document se trouve en ligne ou pas. Si le document est disponible en ligne, un lien est fourni. Les auteurs sont des enseignants-chercheurs, et pour chaque auteur, il y a une courte biographie et la liste d'une partie des ouvrages produits et disponibles sur Cairn ou sur un portail partenaire.

**Objectif.** Le livre veut explorer la théorie darwinienne de l'évolution sous une vision moderne à la lumière des dernières avancées informatiques et biologiques et des applications dans de très nombreux domaines. Le livre pose en conclusion des réflexions sur la théorie de l'évolution soutenue par le consensus scientifique en contraste avec le créationnisme, la croyance religieuse qu'une création divine est responsable de la vie et de l'univers.

**Source 3 :** Fouloscopie. 2021. *Comment fonctionne un ESSAIM de robots ?* . Retrieved February 20, 2022 from <https://www.youtube.com/watch?v=5CaVhGTG8eA>

**Date/Fraîcheur :** mai 2021. La vidéo est récente et il n'y a pas de mises à jour sur le même sujet mises en ligne par l'auteur à ce jour.

**Pertinence.** Le contenu du vidéo reprend les indications anticipées à l'oral par nos encadrants, en particulier il cite les premières expérimentations du domaine concernant les comportements de groupes de robots, tels que le déplacement d'objets dans une arène en suivant le stimulus d'une lumière. La vidéo fournit aussi des références intéressantes sur l'actualité du domaine : les personnages influents, les tendances récentes au niveau recherche ou applicatif (par exemple, l'auteur déclare qu'aujourd'hui la recherche se concentre plus sur la dynamique des vols d'oiseaux que sur la recherche du plus court chemin des fourmis) et les outils informatiques disponibles pour conduire ces expérimentations telles que le Robotarium. La bibliographie en description nous permet de vérifier les informations citées et aussi d'élargir notre recherche.

Enfin, la vidéo fournit une visualisation de plusieurs approches expérimentales, fournissant une image concrète d'un système (l'essaim) qu'on n'a pas encore eu l'occasion de voir ou tester.

**Provenance.** L’auteur est un divulgateur scientifique et un chercheur en sciences cognitives spécialisé en analyse des dynamiques des foules, il travaille dans le laboratoire de recherche à l’institut Max Planck de Berlin depuis plus de 10 ans. Avant les études en sciences cognitives, l’auteur était un ingénieur informaticien. Nous avons accès à sa thèse de doctorat et à son blog depuis la description de la vidéo. Il a publié le livre “Fouloscopie” aux éditions Humensciences. La vidéo est bien structurée et en général l’information y contenue nous semble cohérente avec les indications de nos encadrants, ce qui nous permet d’avoir confiance dans la source. La vidéo collectionne 28K likes, aucun dislike et l’auteur a 306K inscrits au canal, ce qui témoigne d’une bonne reconnaissance de la validité des contenus de la part du public web.

**Rigueur du contenu.** L’information offre un aperçu très large mais non suffisant sur le domaine, à approfondir. Les informations citées peuvent être explorées grâce à la bibliographie présentée en description de la vidéo. L’auteur semble être compétent et cite toujours ces sources. Son blog aussi est bien rédigé et structuré.

**Objectif.** La source a un but de vulgarisation, elle nous semble objective, nous ne détectons pas d’influences idéologiques particulières.