

# Recherche de consensus en robotique en essaim

Carnet de bord

LY Jean-Baptiste  
M1 ANDROIDE

encadré par  
BREDECHE Nicolas et MAUDET Nicolas

Avril 2020

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Les mots clés retenus</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Descriptif de la recherche documentaire</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Evaluation des sources</b>	<b>8</b>
4.1	Première source choisie . . . . .	8
4.2	Deuxième source choisie . . . . .	10
4.3	Troisième source choisie . . . . .	11
	<b>Bibliographie</b>	<b>12</b>

# Chapitre 1

## Introduction

Mon sujet de projet s'intéresse au problème du *best-of-n* en robotique en essaim. Le problème du *best-of-n*, consiste à une prise de décision collective au sein d'un ensemble de robots aux capacités de communication et de calcul limitées. Parmi  $n$  options disponibles, l'essaim doit choisir l'option qui offre la meilleure solution possible afin de satisfaire leurs besoins actuels.

L'objectif de ce projet est d'étudier l'émergence de consensus au sein de l'essaim, c'est-à-dire une prise de décision collective résultant à un accord commun parmi tous les agents. Le sujet s'inspire du comportement collectif des insectes sociaux tels que les abeilles et les fourmis. Il permet alors de fusionner plusieurs domaines ensemble tels que les systèmes multi-agents, l'éthologie et la biologie.

Le projet sera mené tout d'abord sur le simulateur Kilombo, et enfin sur robots réels (une centaine de Kilobots), disponibles à l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR).

Dans un premier temps, il s'agit d'implémenter un algorithme existant permettant d'atteindre de manière distribuée un consensus entre deux ressources. Dans un second temps, on implémentera un algorithme d'apprentissage afin d'évaluer les difficultés que peuvent poser l'apprentissage de consensus.

L'espace de recherche sera défini à partir des comportements de phototaxis (les robots se dirigent vers une source de lumière), anti-phototaxis (les robots fuient la lumière) et déambulation libre (les robots se dirigent de manière aléatoire). Il s'agira d'apprendre les conditions de transitions entre chaque comportement. On s'intéressera d'abord au cas où l'essaim doit se regrouper autour de la ressource de plus grande valeur, puis le cas où l'essaim doit distribuer ses forces au pro-rata de la valeur de chaque ressource.

Ce projet inclut ces trois articles et se basera sur ces derniers :

\* Valentini et al. (2016) Collective decision with 100 Kilobots : Speed versus accuracy in binary discrimination problems. AAMAS.

\* Valentini et al (2017) The best-of-n problem in robot swarms : Formalization, state of the art, and novel perspectives. Frontiers in AI and Robotics.

\* Bredeche et al. (2012) Environment-driven distributed evolutionary adaptation in a population of autonomous robotic agents. MCMDS.

## Chapitre 2

# Les mots clés retenus

Mes mots clés retenus sont essentiellement en anglais car les résultats sont beaucoup plus riches et intéressants avec cette langue. Les voici : swarm robotic, consensus, best-of-n, kilobots, kilombo, collective decision-making, self-organization, majority rule, voter model, k-unanimity, Gillepsie algorithm, chemical reaction network, neural network, swarm intelligence, kilobots, kilombo, top-down design, bottom-up design, symmetry breaking, synergic, antagonistic.

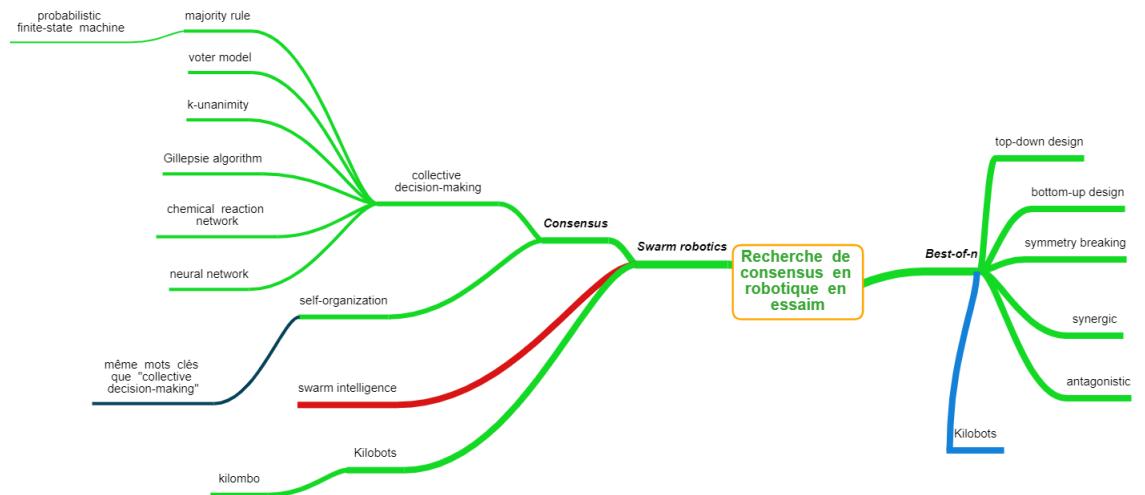
Ils ont été choisis au fur et à mesure de mes recherches approfondies et des lectures d'articles.

Ci-dessous se trouve ma mindmap. J'ai utilisé plusieurs couleurs afin de détailler mes recherches.

Les branches vertes sont les pistes principales naturellement dégagées initialement grâce à la description du projet, et aux articles donnés par mes professeurs.

Les branches de couleur bleue sont des bonnes pistes déduites par les mots clés des branches vertes, mais doivent se combiner avec les mêmes mots clés que ces dernières.

La branche en rouge représente une piste beaucoup trop vaste et moins pertinente que les autres, malgré l'ajout et la combinaison de d'autres mots clés avec.



## Chapitre 3

# Descriptif de la recherche documentaire

Tout d’abord, mon sujet de projet inclut trois articles. Deux sont disponibles sur le site de la *HAL* et le dernier sur le site de l’article *Frontiers in Robotics and AI*.

Ces trois articles, rédigés en anglais, m’ont poussé à continuer mes recherches principalement dans cette même langue. De plus, plusieurs « keywords » furent indiqués dans ces articles, ainsi je les ai utilisés sur *Google Scholar* pour approfondir mes recherches (recherches par rebond).

Ensuite, pour m’assurer de la crédibilité de mes sources, j’ai utilisé les citations présentes dans ces trois articles, c’est-à-dire leur bibliographie, pour trouver d’autres articles permettant d’éclaircir certains points obscurs.

Ainsi, je me suis mis ensuite à rechercher les articles par auteur. C’est-à-dire qu’en connaissant le domaine des travaux de certains chercheurs et leur notoriété, je trouvais des articles en tapant directement leur nom dans les sites de recherche. Généralement, ils étaient des contributeurs de la conception des Kilobots de mon projet, mais aussi les auteurs des articles donnés par mes professeurs.

Ces recherches m’ont fait découvrir le site *ResearchGate* qui a l’avantage d’être gratuit et légal alors que *Web of Science* est payant (bien que cela soit, certes, gratuit pour nous les étudiants de l’université). J’ai donc retrouvé principalement les autres articles nécessaires sur cette base de données. Néanmoins tout n’était pas dessus, je suis donc allé sur le site d’archives *arXiv* pour les trouver.

Enfin, j’ai utilisé la même méthode de recherche pour copier les parties de code nécessaires au projet.

Au fil de mes recherches, je les enregistrerais sur la plateforme *Zotero*, ce qui me facilita la mise en norme ACM et la synchronisation de mes références lors de l'élaboration de la bibliographie.



## Chapitre 4

# Evaluation des sources

### 4.1 Première source choisie

\* Judhi Prasetyo, Giulia De Masi, Pallavi Ranjan, and Eliseo Ferrante. *The Best-of-n Problem with Dynamic Site Qualities : Achieving Adaptability with Stubborn Individuals*. Swarm Intelligence 5, 3 (2011), 305–327. 11th International Conference, ANTS 2018, Rome, Italy, October 29–31, 2018, Proceedings. . 239–251..

#### Description de la manière dont j’ai trouvé cette source :

J’ai recherché les termes clés « Best-of-n Problem » sur Google Scholar, puis je l’ai téléchargée sur le site *Research Gate*.

#### Date/Fraicheur :

Publication en octobre 2018, pas de mise à jour depuis.

#### Pertinence :

Le contenu de l’article m’a permis d’avoir une solution pour un de mes problèmes concernant le pro-rata. Cela m’a permis d’étudier une nouvelle forme d’émergence de consensus. L’article se concentre sur une stratégie et me donne ses analyses. Ainsi il participe bien à la contribution de mon projet.

**Provenance :**

Un des auteurs de l'information, Eliseo Ferrante, cité plus de 2500 fois selon *Google Scholar* et chercheur en Robotique en essaim, fait partie des auteurs ayant contribué à l'article donné par mes professeurs. Les autres auteurs sont des chercheurs dans le même domaine et possèdent des sites officiels de leur université. Cet article a été recherché sur *Google Scholar*, mais téléchargé sur le site *Research Gate*, un site de publication et de partages d'articles scientifiques utilisé par de nombreux chercheurs. Ainsi les auteurs sont bien qualifiés pour parler du sujet, et la plateforme de publication est fiable.

**Rigueur du contenu :**

D'après *Google Scholar*, l'article a été cité 4 fois, ce qui montre à la fois que l'article n'a pas été souvent cité, en comparaison à d'autres articles de ma bibliographie comme la source [3] qui a été citée 99 fois. Néanmoins, cela est dû simplement à la publication récente de l'article, il y a deux ans. Donc se baser sur le nombre de citations n'est pas judicieux dans ce cas. Néanmoins en regardant la bibliographie de l'article, la crédibilité est présente car on peut constater des références aux articles de base de mon projet, en plus d'avoir le même auteur.

**Objectif :**

Cette source d'information a été produite dans le but d'étudier une nouvelle émergence de consensus dans le même cadre que mon projet, en mettant en place des agents qui ne changent pas de comportement. Il s'agit d'une publication de recherche, ayant pour but d'approfondir les connaissances communes des chercheurs dans le domaine de la robotique en essaim.

## 4.2 Deuxième source choisie

\* Matthew George Stender. 2018. *Adapting canonical particle swarm optimization to a swarm of Kilobots in event location tasks*. Master's thesis. Western Carolina University (WCU), Cullowhee, North Carolina, USA. <http://libres.uncg.edu/ir/wcu/f/Stender2018.pdf>

### Description de la manière dont j'ai trouvé cette source :

Tout d'abord, cette source est une thèse. J'ai recherché sur Google du code pour m'en inspirer, en utilisant des mots clés comme « Kilobot kilombo », puis j'ai trouvé le code nécessaire dans la thèse, et donc en parallèle aussi la thèse elle-même.

### Date/Fraicheur :

Avril 2018, aucune mise à jour depuis.

### Pertinence :

Le contenu de la thèse qui m'a été le plus utile, est la partie où est présent le code. Cela m'a permis d'en copier et de m'en inspirer pour ma partie applicative.

### Provenance :

En faisant des recherches, l'auteur de la thèse n'est pas renommé, mais son code fonctionne. De plus, sa directrice de thèse possède une page officielle sur le site de son université *Western Carolina University*. Concernant la véracité de la thèse, elle est justement citée sur le site de sa directrice de thèse, ce qui valide la crédibilité du document. La thèse fut récupérée sur le site *libres.uncg.edu*, qui appartient à l'université en question. Tout cela montre que la source est correcte.

### Rigueur du contenu :

En plus de la provenance décrite précédemment juste au-dessus, le code est vérifiable par test. Pour les autres données, on ne peut faire que confiance à la crédibilité de la provenance, car personne encore n'a cité la thèse d'après *Google Scholar*, mais cela peut être dû une fois de plus à la date de publication récente.

### Objectif :

L'article a été écrit dans le cadre d'une thèse.

### 4.3 Troisième source choisie

\* Gabriele Valentini, Heiko Hamann, and Marco Dorigo. *Self-organized Collective Decision Making : The Weighted Voter Model*. 2014.

#### Description de la manière dont j'ai trouvé cette source :

Afin d'approfondir mes recherches sur un point du sujet, je suis allé chercher la référence de cet article dans la bibliographie présente à la fin d'un des articles donnés par mon sujet.

#### Date/Fraicheur :

Janvier 2014, pas de mise à jour depuis.

#### Pertinence :

L'article m'a été utile pour trouver une nouvelle stratégie d'émergence de consensus. Ainsi j'ai pu la tester dans mon cadre applicatif.

#### Provenance :

Les auteurs de cet article sont les mêmes que ceux qui ont écrit les articles indiqués par mes professeurs, en plus d'être dans la bibliographie de ces articles. Cela me permet de rester dans le même cadre tout en m'assurant de la véracité des documents, mais aussi de la qualification et de la légitimité des auteurs. De plus, l'article est récupérable directement sur le site *Iridia*, qui est le site officiel du laboratoire de recherche d'Intelligence artificielle de l'*Université Libre de Bruxelles*. Ce qui m'aassure d'une certaine sécurité vis-à-vis de la véracité du document.

#### Rigueur du contenu :

Les données sont vérifiables par expérimentation, les expériences présentes dans l'article sont reproductibles dans le cadre de mon projet. D'après *Google Scholar*, l'article a été cité 57 fois, en plus d'être présent sur le site *Iridia* comme dit précédemment.

#### Objectif :

Cette source d'information a été produite dans le but d'étudier une nouvelle émergence de consensus dans le même cadre que mon projet, en mettant en place un autre moyen de négociation entre agents. Il s'agit d'une publication de recherche, ayant pour but d'approfondir les connaissances communes des chercheurs dans le domaine de la robotique en essaim.

# Bibliographie

- [1] Gabriele Valentini, Eliseo Ferrante, and Marco Dorigo. *The Best-of-n Problem in Robot Swarms : Formalization, State of the Art, and Novel Perspectives*. Front. Robot. AI 4, (2017). DOI :<https://doi.org/10.3389/frobt.2017.00009>
- [2] Gabriele Valentini, Eliseo Ferrante, Heiko Hamann, and Marco Dorigo. *Collective decision with 100 Kilobots : speed versus accuracy in binary discrimination problems*. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 30, 3 (2016), 553–580. DOI :<https://doi.org/10.1007/s10458-015-9323-3>
- [3] Nicolas Bredeche, Jean-Marc Montanier, Wenguo Liu, and Alan F.T. Winfield. *Environment-driven distributed evolutionary adaptation in a population of autonomous robotic agents*. Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems 18, 1 (February 2012), 101–129. DOI :<https://doi.org/10.1080/13873954.2011.601425>
- [4] Fredrik Jansson, Matthew Hartley, Martin Hinsch, Ivica Slavkov, Noemí Carranza, Tjelvar S. G. Olsson, Roland M. Dries, Johanna H. Grönqvist, Athanasius F. M. Marée, James Sharpe, Jaap A. Kaandorp, and Verónica A. Grieneisen. *Kilombo : a Kilobot simulator to enable effective research in swarm robotics..* arXiv :1511.04285 [cs] (May 2016). <http://arxiv.org/abs/1511.04285>
- [5] M A Montes De Oca, E E Ferrante, A A Scheidler, C C Pincioli, M M Birattari, and M M Dorigo. *Majority-rule opinion dynamics with differential latency : a mechanism for self-organized collective decision-making*. Swarm Intelligence 5, 3 (2011), 305–327. DOI :<https://doi.org/10.1007/s11721-011-0062-z>
- [6] Judhi Prasetyo, Giulia De Masi, Pallavi Ranjan, and Eliseo Ferrante. *The Best-of-n Problem with Dynamic Site Qualities : Achieving Adaptability with Stubborn Individuals*. Swarm Intelligence 5, 3 (2011), 305–327. 11th International Conference, ANTS 2018, Rome, Italy, October 29–31, 2018, Proceedings. . 239–251.

- [7] Alexander Scheidler, Arne Brutschy, Eliseo Ferrante, and Marco Dorigo *The  $k$ -Unanimity Rule for Self-Organized Decision-Making in Swarms of Robots*. IEEE Transactions on Cybernetics 46, 5 (2016), 1175–1188. DOI :<https://doi.org/10.1109/TCYB.2015.2429118>
- [8] Mohammad Divband Soorati, Mary Katherine Heinrich, Javad Ghofrani, Payam Zahadat, and Heiko Hamann. *Photomorphogenesis for robot self-assembly : adaptivity, collective decision-making, and self-repair*. Bioinspir. Biomim. 14, 5 (July 2019), 056006. DOI :<https://doi.org/10.1088/1748-3190/ab2958>
- [9] Matthew George Stender. 2018. *Adapting canonical particle swarm optimization to a swarm of Kilobots in event location tasks*. Master’s thesis. Western Carolina University (WCU), Cullowhee, North Carolina, USA. <http://libres.uncg.edu/ir/wcu/f/Stender2018.pdf>
- [10] Vito Trianni, Daniele De Simone, Andreagiovanni Reina, and Andrea Baronchelli. *Emergence of Consensus in a Multi-Robot Network : from Abstract Models to Empirical Validation*. 2016. IEEE Robot. Autom. Lett. 1, 1 (January 2016), 348–353. DOI :<https://doi.org/10.1109/LRA.2016.2519537>
- [11] Gabriele Valentini, Heiko Hamann, and Marco Dorigo. *Self-organized Collective Decision Making : The Weighted Voter Model.* 2014.
- [12] Harvard University (2014) Kilobot-labs [Source code] <https://github.com/acornejo/kilobot-lab>
- [13] Fredrik Jansson, Matthew Hartley, Martin Hinsch, Ivica Slavkov, Noemí Carranza, Tjelvar S. G. Olsson, Roland M. Dries, Johanna H. Grönqvist, Athanasius F. M. Marée, James Sharpe, Jaap A. Kaandorp, Verónica A. Grieneisen (2018) Kilombo [Source code] <https://github.com/JIC-CSB/kilombo>
- [14] Matthew George Stender. 2018. *Adapting canonical particle swarm optimization to a swarm of Kilobots in event location tasks*. Master’s thesis. Western Carolina University (WCU), Cullowhee, North Carolina, USA. [Source code] <http://libres.uncg.edu/ir/wcu/f/Stender2018.pdf>
- [15] Joe MacInnes (2018) Phagobot [Source code] <https://github.com/joemac875/phagobot>
- [16] Michael Crosscombe (2017) Kilobeas [Source code] <https://github.com/toohuman/kilobeas>
- [17] Daniel Carrillo-Zapata, James Sharpe, Alan F. T. Winfield, Luca Giuglioli, and Sabine Hauert (2019) Functional morphogenesis [Source code] [https://github.com/Danixk/Functional\\_morphogenesis](https://github.com/Danixk/Functional_morphogenesis)

- [18] Ivica Slavkov, Daniel Carrillo-Zapata, Noemí Carranza, Xaver Diego, Fredrik Jansson, Jaap A. Kaandorp, Sabine Hauert, James Sharpe (2018) Turing morphogenesis [Source code] [https://github.com/Danixk/Turing\\_morphogenesis](https://github.com/Danixk/Turing_morphogenesis)