

SORBONNE UNIVERSITÉ
PROJET ANDROIDE

M1 ANDROIDE

Implémentation sur robots réels de comportements collectifs en essaim

lien du github

Etudiants :

Corcoral Thomas
Sabatino Francesco
Toullalan Antoine
Zarrouk Yaël

Encadrant :

Nicolas Bredeche

Semestre de printemps 2022



Année : 2021 - 2022

Table des Matières

1	Introduction	4
2	Etat de l'art	5
2.1	Robot et robotique	5
2.2	La robotique en essaim	5
3	Robots	8
3.1	Mona	8
3.2	E-Puck	9
3.3	Elisa 3	9
4	Simulation	11
4.1	Webots	11
4.2	Comportements	12
4.2.1	Evitement	12
4.2.2	Dispersion	12
4.2.3	Déplacement d'agrégat	13
4.2.4	Agrégation	14
5	Implémentation sur robots réels	16
5.1	Expériences	16
5.2	Reality Gap	16
5.3	Résultats	17
5.3.1	Suivi de mur	17
5.3.2	Suivi de leader	18
5.3.3	Agrégation	19
5.3.4	Evitement	20
6	Conclusion	21
7	Remerciements	22
A	Annexes	24

Table des figures

2.1	Robots logistiques produits par Boston Dynamics.	6
2.2	Kilobots qui coopèrent et collaborent pour acquérir un comportement collectif.	6
3.1	Déclinaison du robot Mona avec 2 cartes.	8
3.2	Robot E-puck.	9
3.3	Robot Elisa-3 sur un socle de recharge.	10
4.1	Modélisation du robot Mona et du robot Elisa.	11
4.2	Comportement d'évitement des robots Mona et Elisa en simulation	12
4.3	Comportement de dispersion des robots Elisa en simulation	13
4.4	Déplacement d'agrégat en simulation de robots Elisa.	13
4.5	Agrégation contrôlée par les communications des Elisa.	14
4.6	Traçage des déplacements des robots Elisa.	15
5.1	Robot Elisa : suivi de mur.	17
5.2	Suivi de leader avec le robot Elisa (gauche) et le robot Mona (droite).	18
5.3	aggregation avec les Robots Elisa (Gauche) et les robots Mona (Droite)	19
5.4	Cas d'interblocage entre deux robots Mona	19
5.5	Evitement avec le robot Elisa (gauche) et le robot Mona (gauche).	20
A.1	Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement d'agrégation. .	24
A.2	Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement d'évitement. .	24
A.3	Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement de dispersion.	25
A.4	Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement de suivi de leader.	25

1 | Introduction

Ce rapport intervient dans le cadre de la réalisation d'un projet de première année de master informatique spécialité ANDROÏDE à Sorbonne Université. Le but de ce rapport est d'expliquer la démarche mise en place, tant du point de vue théorique qu'expérimental.

Le sujet est le suivant : implémentation sur robots réels de comportements collectifs en essaim.

L'objectif de ce projet est de manipuler des robots utilisés en laboratoire pour développer à partir de comportements individuels simples, des comportements de groupes dit "essaims", plus intéressants et complexes. Nous verrons au cours de ce rapport toute la démarche mise en place pour arriver à reproduire les comportements espérés.

Dans un premier temps, il a fallu que nous comprenions le concept d'essaim en nous intéressant à la discipline à travers divers articles et thèses sur le sujet.

Ensuite, nous n'avions malheureusement pas suffisamment de robots pour que chacun puisse faire des tests dessus. Nous nous sommes donc intéressés pour la première fois à la simulation à l'aide d'un logiciel nommé Webots.

Enfin, nous verrons comment nous sommes passés de la simulation à la réalité et étudierons les résultats obtenus.

2 | Etat de l'art

2.1 Robot et robotique

Le terme « robot » apparaît pour la première fois dans la pièce de théâtre de science-fiction R.U.R (Rossum's Universal Robots), écrite en 1920 par l'auteur Karel Čapek¹. Le terme « robot » fut inventé par son frère Josef à partir du mot tchèque « robota » qui signifie « travail, besogne, corvée ».

Un robot est un automate possédant des capteurs (caméras...), des actionneurs (roues motrices, bras, jambes, ...) et un système logique. Il a été conçu dans le but d'accomplir des tâches dans un domaine précis, des actions humaines. Il est capable d'extraire des informations à partir de son environnement et d'utiliser ses connaissances pour décider comment agir.

En 1942, le terme « robotique » apparaît dans le livre Runaroud d'Isaac Asimov² où il énonce les trois lois de la robotique qui deviendront célèbres dans ses œuvres de science-fiction. La robotique est l'ensemble des études et des techniques visant à mettre au point des systèmes aptes à remplacer ou à prolonger des opérations humaines. De nos jours, on trouve la robotique dans des domaines divers et variés : domestique, médicale, militaire, scientifique, industrielle, transport, l'amusement et l'éducation, l'exploration de l'espace, du ciel, du sol ou encore des océans, ...

2.2 La robotique en essaim

Notre projet est tourné autour d'une branche particulière de la robotique : les essaims. En robotique classique, on dispose de robots de taille moyenne ou grande, souvent spécialisés dans leur tâche et disposant d'une capacité d'action et de calcul importante. De plus, ce sont généralement des robots agissant seuls, ou en groupe de façon hiérarchisée, avec un chef guidant les autres. Les exemples les plus parlants de robots modernes travaillant selon un schéma classique sont les robots produits par Boston Dynamics.

1. Écrivain tchécoslovaque du 20ème siècle
2. Écrivain américano-russe et professeur de biochimie

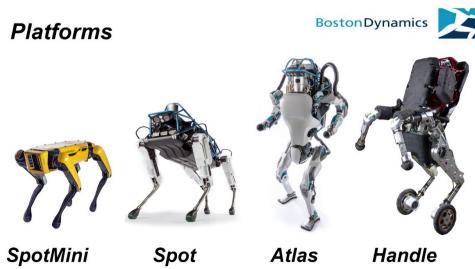


FIGURE 2.1 – Robots logistiques produits par Boston Dynamics.

En comparaison, la robotique en essaim utilise des robots de petite taille, généralement pas plus grands que la paume de la main, disposant de capacités de calcul très réduites, et qui agissent en groupe, généralement plusieurs dizaines de robots. Souvent, les robots n'ont qu'une vision très limitée de leur environnement, les comportements conçus pour des essaims sont donc principalement réactifs, c'est-à-dire qu'ils vont dépendre directement de la perception de l'environnement de chaque robot.

Ces robots sont capables d'explorer collectivement un espace, de coordonner leurs mouvements, ou encore de se répartir dynamiquement des tâches. La robotique en essaim se concentre principalement sur des mécanismes biologiques au sein d'un collectif robotique.

La différence majeure entre la robotique classique et la robotique en essaim est donc la façon dont les robots prennent les décisions, la robotique classiquement ayant un système de décision centralisé (un décideur pour un robot ou un groupe de robots), alors que la robotique en essaim se base sur un système de décision distribué (chaque robot adapte sa décision en fonction de celle des autres).

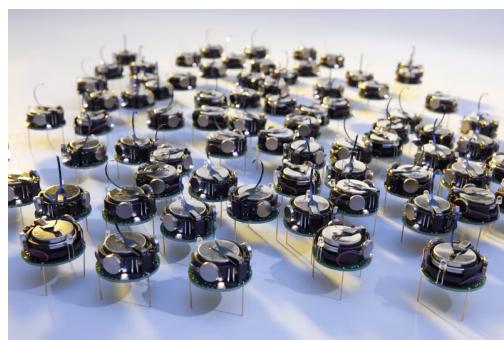


FIGURE 2.2 – Kilobots qui coopèrent et collaborent pour acquérir un comportement collectif.

Une partie importante de la robotique en essaim est le contrôle du mouvement, le but étant d'avoir des comportements qui placent l'essaim dans une position particulière, ou qui permettent à un groupe de robots de se déplacer ensemble.

Définition : "La robotique en essaim est l'étude de la manière dont un grand nombre d'agents relativement simples physiquement peuvent être conçus de telle sorte qu'un comportement collectif souhaité émerge des interactions locales entre les agents eux-mêmes et l'environnement. »

Les fondements de ces comportements ont été établis notamment par Maja Matarić[1] et James McLurkin[2], pour leurs thèses en 1998 et 2004 respectivement, où ils proposent des comportements permettant de contrôler le déplacement de robots en essaim.

Nous avons sélectionné quelques-uns de ces comportements pour les implémenter sur robots réels , parmi lesquels :

- **Agrégation** : les robots se réunissent à partir d'une position initiale quelconque.
- **Dispersion** : les robots s'éloignent le plus possible des autres.
- **Suivi de leader** : les robots suivent un autre robot dès qu'ils en détectent un.
- **Beeclust** : les robots cherchent à s'arrêter en aggrégat sur l'emplacement le plus lumineux.

Dans la recherche, plusieurs comportements plus développés ont été introduits, par exemple l'alignement qui permet aux robots dans un essaim de s'orienter vers la même cible, ainsi que des comportements résistant aux pannes dans certains robots du réseau. Il est également possible d'exploiter la communication entre robots de l'essaim, en introduisant un protocole de communication similaire au morse, par exemple. Plusieurs articles discutent les lois fondamentales décrivant les aspects essentiels du mouvement collectif. Ils y présentent également des expériences, des méthodes mathématiques et des modèles de simulation[3].

3 | Robots

Tout au long du projet, nous avons été amenés à utiliser 3 robots différents, chacun avec ses spécificités, ses avantages et ses inconvénients.

3.1 Mona

Le robot Mona est un robot spécifiquement développé pour être utilisé dans la recherche en robotique en essaim. C'est un robot circulaire de 8 cm de diamètre, avec 2 roues et 5 émetteurs-récepteurs infrarouges placés le long de la moitié avant du robot. Il est dépourvu de capteur sur toute la partie arrière.



FIGURE 3.1 – Déclinaison du robot Mona avec 2 cartes.

Ce robot est le plus gros des 3, il est également le plus lent. Ses grandes roues et sa vitesse réduite lui permettent une meilleure précision et un mouvement fluide. Certaines particularités de ce robot prévoient déjà de devoir adapter l'implémentation des algorithmes choisis.

L'inconvénient principal est l'absence de capteur sur toute la moitié arrière du robot, limitant grandement son champ de vision. Bien que cela ne doive pas poser de problèmes pour éviter des obstacles, cela risque de limiter la performance de comportements comme la dispersion.

3.2 E-Puck

Ce robot a été lancé en 2005 par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et GC-tronic. L'objectif principal de ce projet conjoint entre GCtronic et l'EPFL est de développer un robot mobile miniature à des fins éducatives au niveau universitaire.



FIGURE 3.2 – Robot E-puck.

Nous avons étudié la seconde version du robot sortie en 2018. C'est de loin le robot avec le système embarqué le plus complet. En effet, il intègre directement un programmeur et un débogueur.

Nous ne nous sommes pas attardés sur ce robot car sa programmation était complexe, en comparaison aux deux autres qui pouvaient directement être programmés avec Arduino. De plus, le laboratoire n'en avait pas suffisamment pour réaliser des implémentations de comportements en essaim.

3.3 Elisa 3

Le Elisa 3 est un robot circulaire fabriqué par GCTronic se déplaçant à l'aide de 2 roues de petite taille, situé au centre sur le bord extérieur. Cette première particularité rend sa rotation très efficace. Il dispose de plusieurs capteurs, dont des capteurs de distance IR, un accéléromètre et une radio RF.

Contrairement au Mona, les capteurs de distance de l'Elisa lui donnent des informations à 360°, ce

qui s'avèrera très pratique dans les comportements de dispersion, ou de mouvement en groupe. Il mesure 5cm de diamètre pour 3cm de hauteur, ce qui le rend considérablement plus petit qu'un robot Mona, par exemple. Ses petites roues très puissantes le rendent également beaucoup plus tonique.

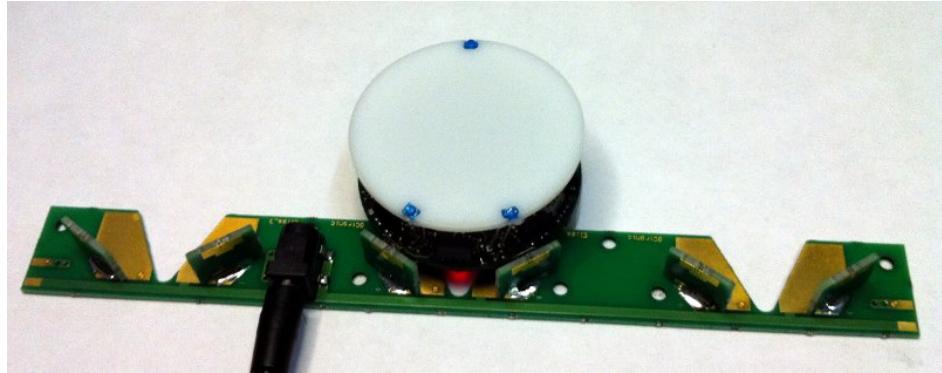


FIGURE 3.3 – Robot Elisa-3 sur un socle de recharge.

4 | Simulation

La simulation s'est imposée au tout début du projet car nous n'avions pas suffisamment de robots pour que tous les membres du groupe puissent s'exercer. Nous avons donc cherché un logiciel pour réaliser des simulations.

4.1 Webots

Webots est un simulateur de robot 3D gratuit et open-source. Comme l'E-puck, il a été développé à l'EPFL (par le Dr Olivier Michel).

Ce logiciel possède plusieurs avantages, le premier est que la modélisation est relativement rapide et simple à prendre en main (des tutos sont disponibles). De plus, les robots de GCTronic sont déjà inclus dans Webots donc pour le E-puck et le Elisa nous n'avions pas besoin de les modéliser.

Cependant, concernant le robot Mona, aucun modèle n'existeit sur Webots. Nous avons donc dû le modéliser. Afin de le représenter, nous sommes partis d'un disque respectant les dimensions du robot Mona. Ensuite, nous lui avons ajouté une texture afin qu'il soit plus réaliste.

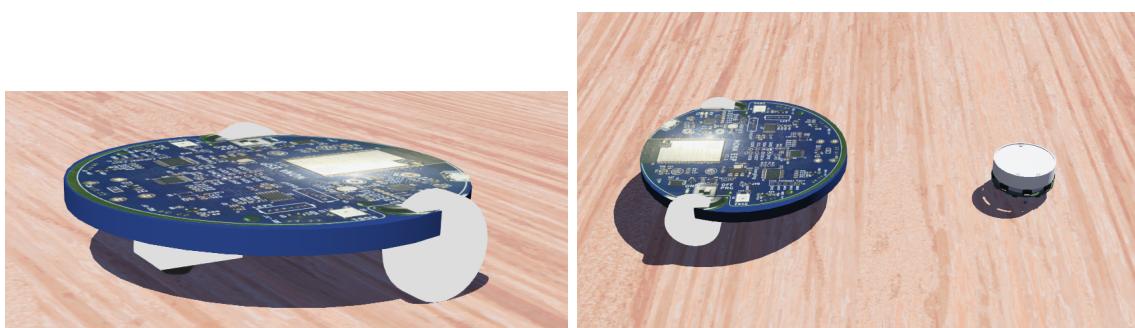


FIGURE 4.1 – Modélisation du robot Mona et du robot Elisa.

Afin que le robot puisse réagir à son environnement, il faut y rajouter un bounding box afin qu'il réagisse aux contacts physiques avec les murs ou les autres robots. Ensuite, il faut ajouter tous les éléments qui le composent et les configurer afin qu'ils se rapprochent au mieux du robot réel. Les roues doivent respecter les bonnes dimensions et les moteurs la bonne puissance. Quant aux

capteurs infrarouges, il faut que leur portée soit similaire aux vrais robots tout comme le bruit qui peut les affecter. Tous ces éléments sont essentiels à une bonne représentation virtuelle du robot.

4.2 Comportements

L'objectif principal du projet étant de réaliser des comportements issus de thèses sur des robots réels, il a fallu que nous apprenions à maîtriser ces comportements et à les adapter à nos robots. Nous définirons et présenterons donc ces différents comportements ainsi que les résultats observés sur les robots Mona et principalement le robot Elisa.

4.2.1 Evitement

Ce comportement est le comportement le plus basique pour tout robot, il consiste simplement à réagir au moindre obstacle et à l'éviter. L'algorithme proposé par Maja Matarić est disponible en annexe[A.2]

Son principe est purement réactif, lorsqu'un robot détecte un obstacle, il tourne pour l'éviter, en choisissant la direction qui ne contient pas d'obstacles. S'il détecte des obstacles sur l'avant et des deux côtés, il fait demi-tour.

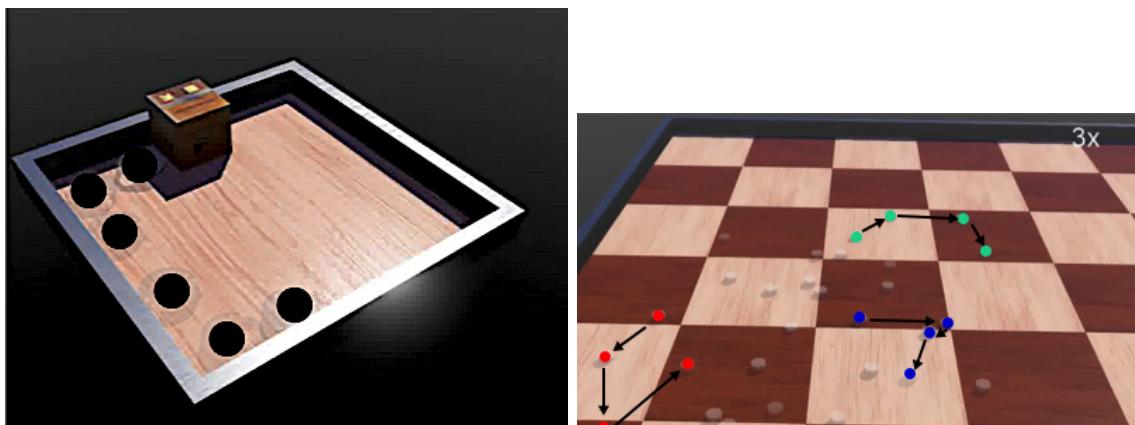


FIGURE 4.2 – Comportement d'évitement des robots Mona et Elisa en simulation

4.2.2 Dispersion

Ce comportement consiste, à partir d'une situation initiale où les robots sont réunis, à faire en sorte qu'ils se dispersent, c'est-à-dire s'éloigner le plus possible les uns des autres. Il peut être intéressant en application réelle, en cherchant à explorer de façon efficace un environnement sans connaissances préalables, par exemple.

Pour se disperser, chaque robot tente de partir dans la direction opposée de chaque robot voisin, en tournant tant qu'il détecte un obstacle (robot) à l'avant ou sur les côtés. Une limite à cela est que

c'est complètement dépendant du champ de vision de chaque robot. Nous avons pu constater que parfois, deux robots partaient dans une direction similaire, tout en ne se détectant pas l'un l'autre, à cause de la portée trop faible de leurs capteurs.



FIGURE 4.3 – Comportement de dispersion des robots Elisa en simulation

4.2.3 Déplacement d'agrégat

Ce comportement vise à ce que les robots se déplacent en groupe, en gardant une distance plus ou moins constante entre chaque robot. Pour ce faire, on considère un robot comme un mur en mouvement, en se souvenant de la position de chaque mur à un certain instant, et en vérifiant sa présence à l'instant suivant. S'il a disparu, cela signifie que c'est un robot qu'il faut donc suivre. Si un mur reste immobile trop longtemps, on peut supposer que c'est un vrai mur donc il faut que les robots l'évitent.



FIGURE 4.4 – Déplacement d'agrégat en simulation de robots Elisa.

4.2.4 Agrégation

Ce comportement initialement issu de la thèse de Maja Matarić[A.1] est relativement simple. Le but est de regrouper tous les robots entre eux, de former des groupes fixes. Afin d'améliorer ce comportement, nous avons eu l'idée d'utiliser les émetteurs/récepteurs radio disponibles sur les Elisa-3. En effet, sans ces communications un robot peut seulement réagir à un élément en face de lui, il ne fait donc aucune distinction entre un mur et un autre robot. Lors de la détection d'un mur, un robot émet donc un signal radio et vérifie la présence d'un autre signal radio, si c'est le cas cela signifie que le mur était en réalité un robot, sinon c'est bien un mur.

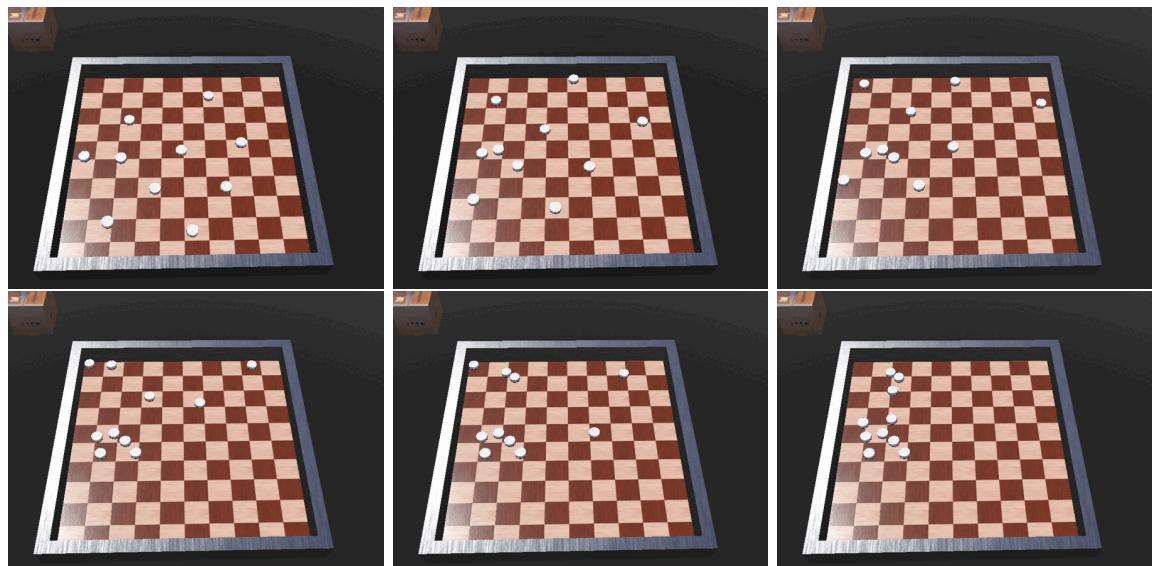


FIGURE 4.5 – Agrégation contrôlée par les communications des Elisa.

Afin d'observer les déplacements des robots nous avons réalisé un traçage de ces derniers.

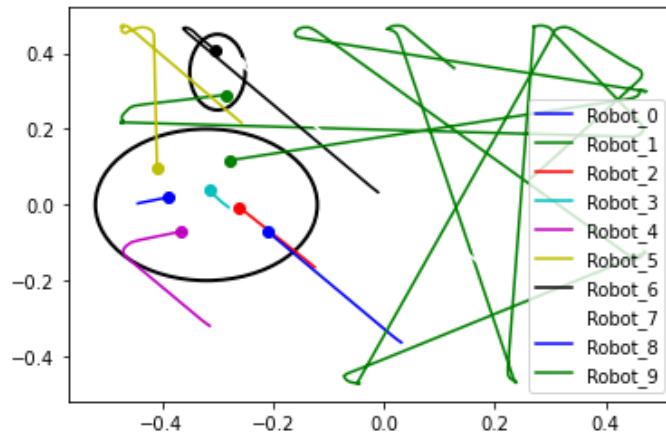


FIGURE 4.6 – Traçage des déplacements des robots élisa.

Ici, chaque trace colorée représente un robot, qui est représenté par un point lorsqu'il se met à l'arrêt. Nous constatons que lorsqu'un robot ne trouve pas d'autres robots ou d'agrégat, le robot bascule en mode exploration avec un évitement des murs.

Cependant, lorsque le robot reçoit des communications et donc se rapproche d'autres robots, il s'arrête. Sur la figure ci-dessus, on peut voir se former deux agrégats, un en haut à gauche et un au centre, à gauche.

5 | Implémentation sur robots réels

Nous avons implémentés certains comportements sur les robots Mona et Elisa. Certaines de ces expériences ont bien mis en évidence le comportement implémenté, mais la plupart du temps, nous avons été confrontés à un "Reality Gap" plus ou moins grand, qui caractérise la différence entre le comportement d'un robot en simulation et son comportement sur un vrai robot. Malgré la précision des simulateurs modernes, il existe de nombreuses inconsistances dans une expérience réelle, dues notamment à des imperfections sur les montages des robots ; il faudra donc prendre ça en compte en implémentant un comportement pour un robot réel.

5.1 Expériences

Nous avons choisi d'implémenter les comportements déjà codés dans la partie simulation pour mesurer le Reality Gap, c'est à dire pour les robots Elisa : suivi de mur, suivi de leader, agrégation, évitement (de robots et de murs).

Pour les robots Mona nous avons implémenté les comportements d'évitement et de suivi de leader.

Pour représenter les vidéos que nous avons fait des robots lors de ces expériences, nous avons choisi de colorier chaque robot dans une couleur particulière et de superposer (avec de la transparence) des images prises à intervalles de temps réguliers dans la vidéo.

5.2 Reality Gap

Tout d'abord, afin de pouvoir programmer les robots, il a fallu utiliser Arduino et plusieurs problèmes non présents en simulation ont été rencontrés.

Premièrement, il nous a fallu prendre en main le logiciel et réussir à établir une communication entre le robot et l'ordinateur. Pour le robot Mona, nous n'avons rencontré qu'un problème logiciel de permission d'utilisateur, réglé à l'aide d'une simple commande, l'API fournie était claire et simple d'utilisation avec un comportement directement écrit en Arduino.

En revanche, pour le robot Elisa, l'API fournie était très peu détaillée et nous a causé des problèmes. La seule ressource disponible était un code Arduino permettant d'activer plusieurs mode prédéfinis par GCTronic. Pour modifier cela il a fallu directement écrire nos comportements en C et ensuite modifier le code Arduino pour pouvoir appeler nos comportements au bon moment.

De nombreuses différences entre la simulation et l'implémentation sur robots réels ont été observés concernant les robots Elisa et Mona.

Pour les robots Elisa, il y a notamment une asymétrie au niveau de la position des moteurs, lorsque le robot est censé aller tout droit, il va au contraire avancer en arc de cercle plus ou moins resserré. Cela peut s'expliquer par le fait que les robots Elisa ont des petites roues (environ 1cm de diamètre) qui ne sont pas toujours bien alignées avec l'axe de rotation (une roue peut être à une hauteur différente de l'autre roue), cela résulte en une trajectoire en arc de cercle au lieu d'une trajectoire droite. Le comportement de chaque robot est donc dépendant de la position de ses roues et aucune correction rapide ne peut être apportée à ce problème car une compensation dynamique est nécessaire. Nous évoquerons des solutions éventuelles dans la partie suivante.

Pour les robots Mona que nous avons utilisés, il y avait aussi une différence entre les senseurs infrarouges de la simulation et dans la réalité. En effet, lors de l'implémentation réelle, les robots Mona ne repèrent les murs ou les autres robots que lorsqu'ils sont très proches ce qui limite leur capacité à les éviter ou à suivre d'autres robots. Nous avons donc limité leur vitesse assez fortement afin d'éviter ce biais, qui est quand même resté assez présent. De plus, l'orientation des capteurs/récepteurs IR est aléatoire selon les robots et ils doivent quelques fois être redirigés pour ne plus avoir, par exemple, leur propre carte dans le faisceau des capteurs et donc penser détecter constamment un mur alors qu'ils se détectent en fait eux-mêmes.

5.3 Résultats

Nous présentons ici les résultats des expériences d'implémentation sur robots réels :

5.3.1 Suivi de mur



FIGURE 5.1 – Robot Elisa : suivi de mur.

Ce comportement s'exécute assez bien, nous voyons que le robot suit bien le mur mais la vitesse est assez lente pour éviter que le robot s'en éloigne à cause de la sensibilité des capteurs. En ce qui concerne les robots Mona, le suivi de mur est très compliqué. En effet, le robot ne possédant pas de capteur latéral à proprement parler, il ne parvient pas à se diriger parallèlement au mur et va souvent converger vers celui-ci. Il convient donc de modifier l'implémentation du comportement pour prendre en compte cette particularité.

5.3.2 Suivi de leader

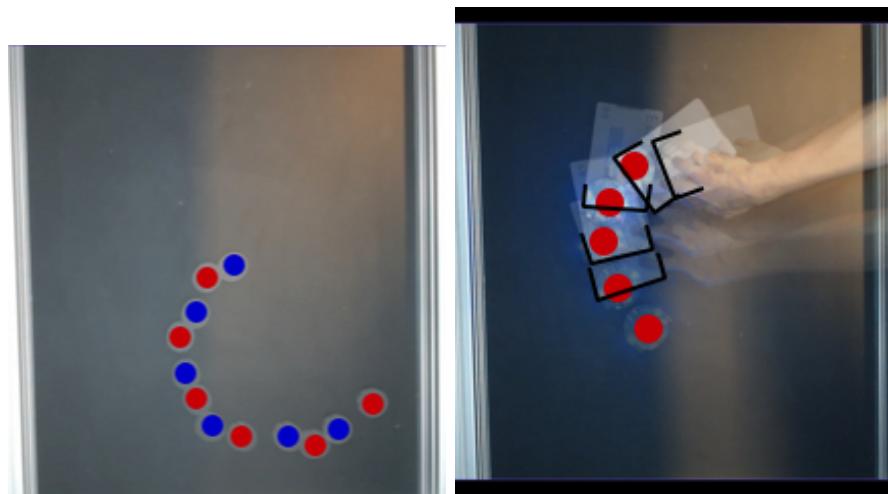


FIGURE 5.2 – Suivi de leader avec le robot Elisa (gauche) et le robot mona (droite).

Ce comportement s'exécute correctement, nous voyons ici le leader en bleu et le suiveur en rouge, la trajectoire du leader évite bien le mur et conserve une trajectoire en arc de cercle. Cette trajectoire spécifique n'est pas dûe au code, en effet, la vitesse de chaque moteur est la même. Cependant, en application de légers défauts (une roue plus haute que l'autre) entraîne le robot dans une telle trajectoire. Cela pourrait être corrigé et amélioré grâce à l'accéléromètre présent dans le robot Elisa. Il est donc possible d'améliorer ce comportement. Cette solution n'est cependant pas généralisable à tous les robots car comme nous allons le voir le problème pour le robot Mona est différent.

Pour ce qui est du Mona, les capteurs ne sont pas toujours bien positionnés pour détecter le leader. En effet, la surface de détection du leader (arrière du robot) n'étant pas pleine (uniquement quelques mm d'épaisseur), les capteurs IR ne le détectent pas systématiquement. Afin d'observer le comportement, il a été décidé de guider le robot à l'aide d'une boîte en carton. De ce fait nous observons tout de même un comportement très propre même dans les virages. Cependant, si la vitesse du leader devient trop élevée, le robot suiveur le perd de vue car la portée des capteurs est

très faible et le robot ne se déplace pas assez vite.

5.3.3 Agrégation

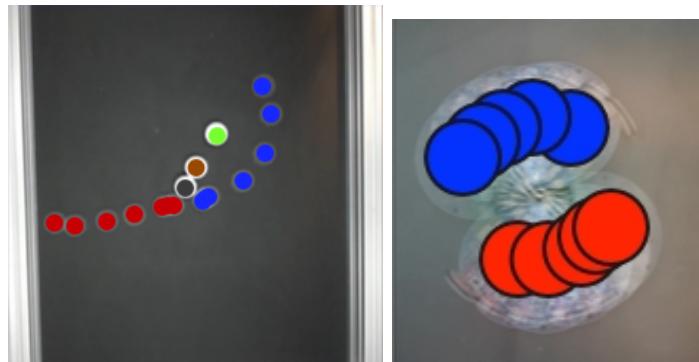


FIGURE 5.3 – aggregation avec les Robots Elisa (Gauche) et les robots Mona (Droite)

Ce comportement s'exécute avec moins de succès même si nous avons mis en œuvre des exemples où cela marchait car nous voyons dans le cas des robots Elisa que les robots rouge et bleu s'agrègent bien aux robots immobiles vert, marron et noir. Néammoins, la plupart du temps, les robots ne repèrent pas assez rapidement les autres robots et les dépassent sans s'arrêter ou s'immobilisent devant un mur.

Pour ce qui est des robots Mona, nous avons eu quelques problèmes dûs au manque de capteurs et à la disposition de leurs roues, menant à un interblocage : nous voyons que les 2 robots Mona dans l'exemple s'agrègent bien l'un à l'autre mais ils ne s'arrêtent pas, ils continuent de tourner face-à-face (voir images ci-dessous).

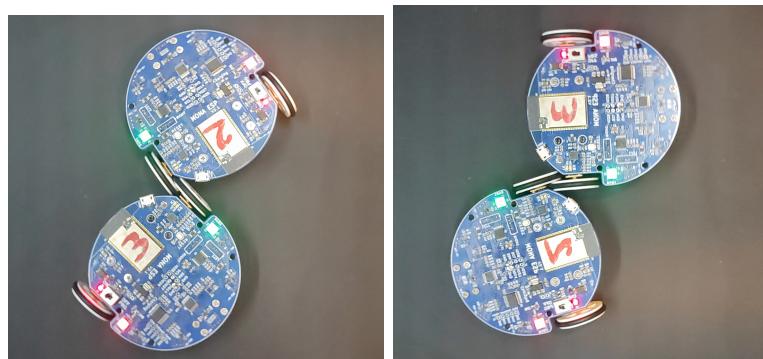


FIGURE 5.4 – Cas d'interblocage entre deux robots Mona

5.3.4 Evitement

Ici, on observe deux schémas complètement différents. Concernant les Elisa, 5 robots sont positionnés dans l'arène. 3 d'entre eux tournent tout simplement sur eux-mêmes ceci étant dû au problème cité précédemment qui devra être amélioré avec une compensation active des vitesses de rotation des moteurs en fonction des valeurs de l'accéléromètre. Si l'on observe les deux autres robots (bleu et rouge), on constate que leurs trajectoires changent lorsqu'ils se rapprochent, les robots effectuent une rotation afin de s'éviter.

Pour les robots Mona, leur comportement est plus évident à analyser. Mise à part le moteur HS du robot bordeaux en haut à droite, tous les robots se déplacent selon une trajectoire rectiligne jusqu'à ce qu'ils croisent un autre robot ou bien un mur. Cependant, quelques fois les robots ne réagissent qu'après une collision, à cause de la faible portée des capteurs. Pour corriger ce problème survenu également chez les Elisa, il est possible de réduire la vitesse des robots bien que les collisions puissent également jouer un rôle dans le comportement des robots. En effet, la forme d'un robot aura une conséquence directe sur son comportement en cas de collision ce qui peut être intéressant à observer et à maîtriser, dans le cas de conceptions de nouveaux robots par exemple.

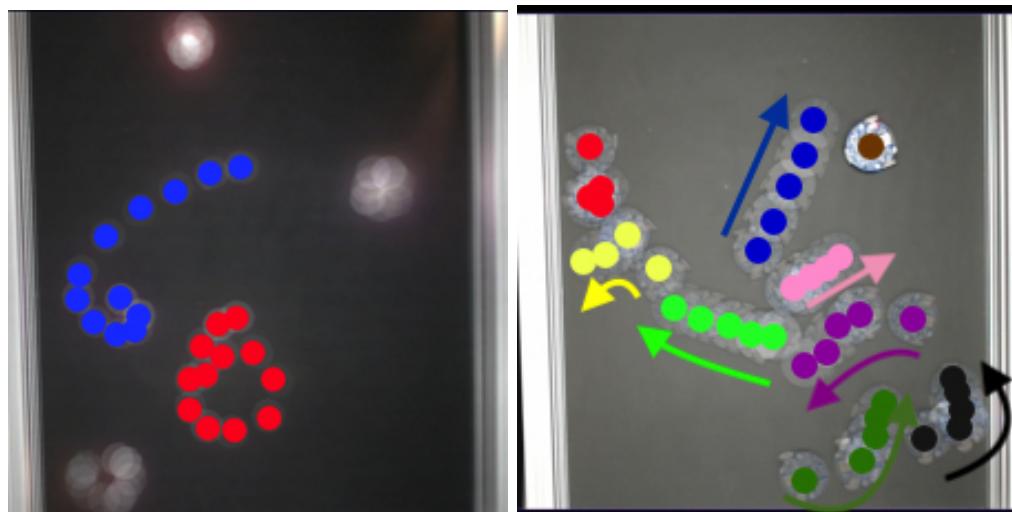


FIGURE 5.5 – Evitement avec le robot Elisa (gauche) et le robot Mona (gauche).

6 | Conclusion

Ce projet visait à identifier, simuler et implémenter des comportements de robots en essaim en s'inspirant des thèses de M. Matarić et J. McLurkin, sous la supervision de N. Bredeche.

Durant la première phase du projet, nous avons découvert la littérature et la documentation liée à notre sujet, puis nous les avons analysées, en gardant en tête l'objectif de ce projet, pour choisir les comportements adaptés et amorcer la phase de développement.

Nous avons ensuite élaboré des solutions pour chacun des comportement déterminés précédemment. Lors du début du projet, nous nous sommes dirigés vers la simulation afin de pouvoir faire avancer au mieux le projet tout en respectant les contraintes de disponibilités des robots du laboratoire. L'un des objectifs du travail a été d'adapter les solutions issues de la littérature scientifique à nos robots dans un premier temps en simulation pour ensuite réaliser l'implémentation directement sur les robots réels. C'est à ce moment que nous avons pris conscience de la complexité de la robotique dans un usage réel et plus précisément de la robotique en essaim. Nous nous sommes heurtés à de nombreuses difficultés et nous avons dû modifier plusieurs parties de nos algorithmes pendant les démonstrations afin de pouvoir présenter des comportements corrects.

Nous avons implémenté plusieurs comportements de robotique en essaim et nous nous sommes également ouverts à l'amélioration et l'adaptation de ces comportements. Nous avons également exploité lors de simulation des améliorations modernes de ces comportements avec notamment l'implémentation de communication à courte portée pour l'agrégation ou bien encore un déplacement de robots groupés, afin de fusionner plusieurs comportements identifiés par M. Matarić.

Enfin, bien que nos comportements ne soient pas parfaits, les résultats obtenus permettent de mettre en évidence différentes problématiques concrètes de la robotique en essaim. Il pourrait être intéressant de modifier les comportements pour les améliorer spécifiquement sur chaque robots comme par exemple diriger le robot Elisa dynamiquement à l'aide de son accéléromètre.

7 | Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre encadrant Nicolas Bredeche pour son implication, son soutien et ses conseils avisés tout au long de la réalisation de ce rapport. Nous tenons également à le remercier pour son partage de connaissances sur la robotique et plus particulièrement la robotique en essaim. Pour la mise à disposition de tout le matériel (robots, arène, webcam...) nécessaire à la réalisation de cette étude nous permettant de réaliser un travail intéressant tout en nous orientant pour la suite de nos études.

Bibliographie

- [1] Maja J Mataric. Interaction and intelligent behavior. thesis (ph. d.). *Massachusetts Institute of Technology*, 1994.
- [2] James McLurkin. Stupid robot tricks : A behavior-based distributed algorithm library for programming swarms of robots. (s.m.) thesis. *Massachusetts Institute of Technology*, 2004.
- [3] Anna Zafeiris Tamás Vicsek. Collective motion. *Physics Reports*, 517(3) :71–140, 2012.
- [4] Barbara Webb. Can robots make good models of biological behaviour ? *Behavioral and Brain Sciences*, 24(6) :1033–1050, 2001.
- [5] Daniela Rus et Gaurav S. Sukhatme Lynne E. Parker. Multiple mobile robot systems. *Springer Handbook of Robotics*, pages 1335–1384, 2016.
- [6] Zhong-yang Zheng Ying Tan. Research advance in swarm robotics. *Defence Technology*, 1(9) :18–39, 2013.
- [7] Iñaki Navarro et Fernando Matía. An introduction to swarm robotics. *ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Madrid*, 2012.
- [8] Maja J. Mataric. A distributed model for mobile robot environment-learning and navigation. *Departement of Electrical Engineering and Computer Science, Massashussets Institute Of Technology*, 1990.
- [9] Vijay Kumar Nathan Michael, Jonathan Fink. Experimental testbed for large multirobot teams. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 1(15) :53–61, 2008.
- [10] Daniel Yamins James McLurkin. Dynamic task assignment in robot swarms. *Robotics : Science and Systems*, (8), 2005.
- [11] Maja J. Mataric. Integration of representation into goal-driven behavior-based robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 3(8), 1992.

A | Annexes

```

Aggregate:
If 0 agents are within d_aggregate
    turn toward the local Centroid_aggregate, go.

Otherwise, stop.

```

FIGURE A.1 – Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement d'agrégation.

```

Avoid-Everything-Else:
If an obstacle is within d_avoid
    If an obstacle is on the right only, turn left, go.

    If an obstacle is on the left only, turn right, go.
    After n consecutive identical turns, backup and turn.

    If an obstacle is on both sides, stop and wait.
    If an obstacle persists on both sides,
        turn randomly and back up.

```

FIGURE A.2 – Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement d'évitement.

```

Neighbor-Disperse:
If 1 or 0 neighbors are within d_disperse
stop.

Find n nearest neighbors within d_disperse
Compute the angle between them,
Compute the negative of the bisector,
align the agent in that direction and go forward.

```

FIGURE A.3 – Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement de dispersion.

```

Follow:
If another agent is within d_follow
    If an agent is on the right only, turn right.

    If an agent is on the left only, turn left.

    If an agent is newly in front
        keep going and count time.

    If an agent is in front persistently
        stop for an instant.

```

FIGURE A.4 – Pseudo-code issue de la thèse de Maja Matarić pour le comportement de suivi de leader.