

Année universitaire 2022-2023

ANThropology : Des fourmis au centre d'une production scientifique qui en dépend

Ethnographie de laboratoire au CRCA de Toulouse



Photo 1 : Fourmi cataglyphis velox sur une trackball avec holder fixe (Source : https://antnavigation.files.wordpress.com/2020/07/cropped-cropped-cata_trackball-erc-logo.png)

Présenté par Théo Chadelle

Sous la direction de Laurent Gabail, maître de conférences Ut2j, LISST-Cas
et de Anne-Sophie Giraud, chargée de recherche CRCN

Mémoire présenté le 15/09/2023 devant :

- Laurent GABAIL, co-directeur du mémoire
- Anne-Sophie GIRAUD, co-directrice du mémoire

*Mémoire de Master 2 mention **Anthropologie**
Parcours Anthropologie Sociale et Culturelle*

INTRODUCTION :	4
• Contexte et entrée sur le terrain	4
• Présentation du contenu du mémoire	5
• Intérêts et méthodes de ce travail	6
A - Comment gérer ces fourmis et travailler sur elles ?	8
I - Les vraies fourmis et les scientifiques dans les salles de manips	8
a - Quels objectifs de recherche ?	9
b - Observation directe des fourmis	14
c - Manipuler les fourmis	17
d - Expérimenter sur les fourmis	19
i - Apprendre à expérimenter	20
ii - Adapter les outils	21
• S'adapter à l'expérience	21
• Un bricolage de précision	23
e - Les pratiques dépassent les frontières théoriques	26
II - Les fourmis numérisées et les scientifiques au bureau	29
a - Travail sur les données	30
b - Produire des résultats grâce à ces fourmis numérisées pour les partager	37
III - Les fourmis numériques et les scientifiques toujours au bureau	39
a - Quels objectifs ?	39
b - Utilisation de ces modèles	42
B - Comment les scientifiques agissent et collaborent avec ces fourmis ?	45
I - Fourmis de laboratoire	45
a - Individualisation des vraies fourmis et relations directes	45
b - Limites des espaces	47
i - Des frontières clairement définies	48
ii - Mais des frontières parfois poreuses	48
II - Fourmis numérisées	52
a - Individualisation des fourmis numérisées	52
b - Relations directes avec les fourmis numérisées	53
III - Fourmis numériques	54
a - Considération des fourmis numériques	55
b - Individualisation des fourmis numériques	57
C - Quelle est l'importance de l'éthologie dans cette production scientifique ?	59
I - Ce que l'éthologie implique	59
a - Quel genre de savoir pour quel type de témoin	59
b - Collaboration avec les fourmis	62
II - L'éthique joue aussi sur les comportements des scientifiques	66
III - Comportement hors du laboratoire	71
CONCLUSION :	73
Bibliographie	78

Résumé :

Ce mémoire traite des relations et interactions entre des scientifiques éthologues et des fourmis qu'elles étudient en laboratoire. Leur manière de faire science et leurs pratiques dépendent de la collaboration avec ces fourmis, et cet écrit s'attelle à montrer comment les fourmis jouent un rôle dans cette production scientifique. D'un côté, les pratiques éthologiques et donc leur manière de faire de la science influent sur le comportement des scientifiques envers les fourmis et leur manière de les considérer. De l'autre, leur façon de considérer ces fourmis et les interactions qui en découlent, notamment liées à leur éthique et à la démarche éthologique, influent sur leur manière de faire de la science. Il en ressort une agentivité des fourmis dans cette production scientifique, et des relations d'interdépendance, qui induisent des comportements de soins de la part des scientifiques et une subjectivation des insectes principalement au nom du bon déroulement de la production scientifique.

Mots clefs : laboratoire, éthologie, fourmis, agentivité animale, relations humains/non-humains

Remerciements :

Je tiens à remercier grandement les personnes qui m'ont accueillies et acceptées dans leur groupe et dans leur quotidien de scientifiques. Je les remercie de m'avoir donné de leur temps et d'avoir supporté ma présence qui pouvait pourtant leur sembler étrange au premier abord. Merci donc à Antoine pour l'intérêt qu'il a porté à mon projet et ce avant même que je n'entre dans leur laboratoire, merci à Océane, Erwan et Sepee pour avoir accepté avec bienveillance mon œil curieux qui s'imposait durant leurs travaux. Un remerciement particulier à Léo, mon colocataire, qui m'a donné le premier l'opportunité d'effectuer ces recherches, et sans qui ce travail n'aurait pu débuter. Il a qui plus est été un conseiller permanent, au quotidien, dont les échanges ont nourri mes réflexions et qui m'ont permis de vérifier de très nombreuses informations avec une grande efficacité et rapidité. Un luxe particulier auquel peu d'étudiant.es ethnographes ont accès. Merci aussi aux autres membres du groupe Emerg-ant qui furent de passage pour toujours s'être intéressés à ma présence et à mon travail, ainsi qu'aux autres membres du laboratoire qui m'ont accueilli ponctuellement le temps de quelques heures pour me montrer leur travail, et merci à tous.tes celles et ceux qui, autour de nombreuses discussions, étaient intrigué.es par mon travail, alimentant mes réflexions par leurs questions. Je remercie aussi les institutions qui m'ont ouvert leurs portes, le Centre de Biologie Intégrative, le Centre de Recherche sur la Cognition Animale, l'Université Paul Sabatier et le CNRS, ainsi que l'équipe de recherche Explain dont les directeurs m'ont accompagné dans les démarches pour officialiser ma venue au laboratoire.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude envers mes deux co-encadrant.es, Laurent Gabail et Anne-Sophie Giraud, qui m'ont guidé dans mes recherches avec intérêt et dévouement, et qui ont su me pousser comme parfois calmer mes ardeurs, alimenter ma motivation, me rassurer, et m'orienter sur un chemin praticable, donnant du sens à mon travail. Merci au temps qu'ielles ont consacré à nos entretiens et échanges par mail, et aux lectures de mes textes accompagnées de retours plus que constructifs, nourrissant mes réflexions tout au long de ces deux ans de master. Ielles ont su me mettre à l'aise et me donner confiance en mes capacités, me permettant de poser mes idées et de les rendre intelligibles.

Je remercie enfin mes colocataires qui m'ont soutenu, et qui ont accepté et supporté mes nombreuses retraites dans ma chambre lorsque j'en avais besoin, et m'ont offert des moments de détente nécessaires lorsque j'acceptais d'émerger de cet ermitage. Avoir été bien entouré au quotidien pendant ces deux années m'a clairement aidé à me motiver et à redescendre en pression lorsque ce besoin se faisait sentir.

INTRODUCTION :

- **Contexte et entrée sur le terrain**

Depuis que j'ai quitté mes études de physique fondamentale pour rejoindre l'anthropologie, j'ai été tenté par les interdisciplinarités, et particulièrement pour ce qui est des disciplines qui semblent les plus éloignées, les plus séparées dans le monde académique : les sciences *dures* et les sciences sociales. En réfléchissant à un sujet pour mon master, j'ai d'abord été inspiré par des premières lectures d'anthropologie des sciences, particulièrement par un article traitant de la cosmologie de la science occidentale d'un point de vue anthropologique, de la même manière que les différentes visions du monde ont pu être traitées au travers de cette discipline : "Cosmos connections" (Houdart et Jungen, 2015). Pourquoi ne pas alors faire une ethnographie sur un terrain de ces sciences occidentales ? Je réalisai ensuite à quel point les réflexions de l'anthropologie alimentaient des discussions que je pouvais avoir avec d'autres étudiant.es sur des sujets de physique, de biologie ou d'autres de ces disciplines, et vice versa. Et particulièrement avec mon désormais colocataire, qui démarrait à ce moment une thèse en éthologie. Ces nombreuses discussions révélaient des points communs entre nos deux disciplines, ce qui nous passionnait : les rapports entre humains et non-humains, les différentes visions de la vie, de la nature, le point de vue de l'animal et son *umwelt*, l'éthique... Tant de questions abordées maintes fois par l'anthropologie au travers de la vaste altérité de notre monde, qui ici étaient situées dans un contexte particulier : l'éthologie. L'idée de tourner mon projet de master autour d'un terrain de biologie me tentait alors de plus en plus. Lui-même étant intéressé par les sciences sociales, je lui proposai finalement de choisir son laboratoire comme terrain de recherche, au Centre de Recherche sur la Cognition Animale (CRCA), situé dans un bâtiment comprenant d'autres laboratoires : le Centre de Biologie Intégrative (CBI), à l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

J'avais donc déjà un premier contact, ce qui me facilita les choses. Je connaissais leur sujet de recherche : les fourmis, et j'avais déjà eu l'occasion de rencontrer certains de ses collègues. Il ne me restait plus qu'à prendre contact avec la hiérarchie de ce laboratoire pour officialiser ma venue, ce qui se fit assez naturellement pour les deux directeurs d'équipe que j'ai rencontrés, puisque accueillir des étudiants dans leur laboratoire n'a rien d'inhabituel. J'ai cependant dû dissiper quelques inquiétudes d'organisation, les convaincant que je n'aurai pas une place de stagiaire, et qu'ils n'avaient donc pas à m'attribuer à un.e chercheur.e pour qu'elle m'accompagne dans ce projet, comme c'est le cas normalement pour n'importe quel.le stagiaire. Cela prit un peu de temps et plusieurs échanges de mails, mais après les avoir finalement rencontrés en face à face, ils acceptèrent de me laisser parcourir leur laboratoire, me faisant simplement signer une convention

d'accueil. Je pris alors contact avec les collègues de mon colocataire (lui était en arrêt de travail à cette période, je ne pouvais pas simplement l'accompagner pour qu'il m'introduise) pour leur proposer ma présence, et je commençai mes observations sur leur lieu de travail.

J'ai ainsi limité mon travail à un petit groupe de recherche composé, au moment de mon arrivée, d'un chercheur dirigeant le projet de recherche, un post-doctorant, un doctorant et trois stagiaires. Elles travaillent sur les fourmis, et sur une espèce en particulier : *cataglyphis velox* (Cf *Photo 1*). Ces éthologues cherchent à comprendre comment ces fourmis apprennent à se repérer dans leur environnement, et ce au travers des trajectoires qu'elles empruntent en explorant et en cherchant de la nourriture. Elles étudient ainsi la façon dont les comportements de ces fourmis peuvent émerger des mécanismes neurologiques et des stimulus/réponses que permet leur écologie, d'où le nom choisi pour ce projet de recherche : Emerg-ant.

Cette petite équipe est vue par beaucoup comme atypique (mais pas forcément unique), que ce soit par les membres de ce groupe ou par les autres membres du CRCA. Il y a tout d'abord une ambiance très détendue entre le chercheur qui dirige le projet et ses étudiant.es qui semble être enviée par de nombreux.ses stagiaires. Parfois qualifié.es de "punk", voire d' "anarcoco" par certain.es (le plus souvent avec bienveillance et envie), leurs manières d'échanger tendent vers l'égalité et l'horizontalité, et Antoine, le directeur du projet, explique qu'il préfère avoir une équipe réduite afin de pouvoir garder ce type de rapports, de travailler à "échelle humaine"¹ et de garder une bonne entente, souvent entretenue par des invitations à boire des bières lors des différentes réunions qu'ielles organisent entre elles et eux, que ce soit au pied du laboratoire comme dans des bars ou encore chez les un.es et les autres. Une très bonne entente se lit donc facilement dans cette équipe, et malgré le fond sérieux de leurs échanges, la forme de leur quotidien est souvent légère et laisse toujours la place à la bonne humeur et à la rigolade, comme entre ami.es. Il y aurait beaucoup d'anecdotes à donner pour décrire ces rapports qui sortent de l'imaginaire que l'on peut avoir d'un laboratoire, voire tout simplement de bureaux. Je ne reviendrai cependant pas beaucoup plus en détail sur le caractère atypique de ce groupe au cours de cet écrit car ce n'est pas le sujet de cet écrit. Mais il me semblait tout de même important de donner rapidement ce contexte qui donne l'ambiance générale dans laquelle travaillent ces scientifiques, et à laquelle ielles semblent très attaché.es, redoutant pour certain.es de futurs stages ou thèses dans des équipes et des ambiances différentes.

¹ Entretien avec Antoine, le 18 mai 2022. J'emploierai tout le long de ce texte cette police pour les verbatims venant directement des interlocuteurs et interlocutrices de mon terrain, qu'ils soient issus de mon carnet de terrain ou d'entretiens enregistrés.

- **Présentation du contenu du mémoire**

Ces scientifiques travaillent donc sur les fourmis. A quel point travaillent-ielles avec ces fourmis ? La production de leur science ne peut se faire sans elles. Et il se trouve qu'au-delà de travailler avec des fourmis, ces scientifiques produisent aussi des assemblages numériques et numérisés grâce à des manipulations statistiques et des simulations avec lesquelles ielles travaillent. En effet, il y a dans leurs recherches une grosse part d'informatique dont ielles vont user pour obtenir des résultats. Les données acquises lors des expérimentations sur les fourmis vont engendrer des copies numérisées partielles de ces fourmis, et les scientifiques travaillent aussi sur ces êtres numérisés. De plus, en parallèle des expériences, ielles conçoivent des simulations numériques afin de modéliser une partie du comportement des fourmis. Ces scientifiques produisent ainsi des êtres numériques qui représentent certaines facettes des fourmis avec lesquelles ielles travaillent. Les membres d'Emerg-ant se retrouvent ainsi à composer non plus seulement avec de vraies fourmis, mais aussi avec des fourmis numérisées et numériques. Ainsi, je décrirai dans mon écrit le travail qu'ielles effectuent et les relations qu'ielles ont avec ces trois groupes de fourmis.

Je présenterai d'abord leur façon de travailler sur les fourmis : les objectifs qu'ielles cherchent à atteindre, ce qu'ielles font avec ces fourmis, comment ielles s'en servent et quels outils ielles utilisent pour cela.

Puis je parlerai de ce que tout cela engendre comme relations entre les scientifiques et les fourmis, ainsi que les considérations qu'ont les premières envers les dernières. Comment les scientifiques voient-ielles ces fourmis, qu'elles soient de chitine et d'hémolymphe (pour ne pas dire de chair et de sang), ou qu'elles soient virtuelles ?

Enfin, je traiterai de l'importance de leur discipline, l'éthologie, dans leur manière de faire de la science et donc de gérer leurs fourmis, afin de révéler quels comportements de la part de ces scientifiques sont dus à leur discipline, à leur éthique, ou simplement à leur passion.

- **Intérêts et méthodes de ce travail**

L'importance de l'étude des relations avec les non-humains a souvent été soulignée par les sciences sociales, mettant l'accent sur l'utilité de "l'exploration des « rôles » multiples des « non-humains » du point de vue des individus et des collectifs humains dont les outils des sciences humaines et sociales permettent de rendre compte" (Houdart et Thierry, 2011, p.9). Ces non-humains façonnent nos sociétés, et la réalité humaine comprend les relations que nous avons avec eux, relations que nous avons nous-mêmes créées et intégrées à nos fonctionnements, de la même façon que toute autre forme d'activité humaine : "la réalité humaine, en prise sur des milieux

qu'elle aménage et qui la menacent, se différencie et se consolide, prend consistance à travers toute cette activité que les sciences humaines et sociales peuvent observer et décrire, et au sein de laquelle les relations entre humains et non-humains jouent un rôle capital" (Houdart et Thierry, 2011, p.8). Nous façonnons nos environnements et nos sociétés aussi à l'aide de ces non-humains variés, décrits notamment par les nombreux.ses auteurs et autrices du livre de Sophie Houdart et Olivier Thierry comme partie prenante de nos activités. Ielles traitent ici de nombreuses formes de non-humains : architectures, divinités, matériaux, procédures, objets techniques,... et aussi bien sûr les animaux, que nous aimons ou tuons, avec lesquels nous travaillons et sur lesquels nous expérimentons.

Ces relations avec les animaux ont cependant longtemps été traitées autour de l'humain, et certain.es ont critiqué cette approche, souhaitant ce renouveau de mettre les non-humains au centre des études. C'est ce que font les auteurs et autrices du livre cité précédemment, et ce au travers de nombreuses disciplines, et c'est ce que soutiennent d'autres, comme Eric Baratay qui appelle à "traquer l'animal acteur" et à "une histoire animale des animaux" (Baratay, 2012), ou encore Dominique Lestel, Florence Brunois et Florence Gaunet qui considèrent que "nous avons encore besoin de travaux qui tentent de rendre compte des vies partagées qui se développent entre humains et animaux. Étudier simplement l'effet de l'un sur l'autre n'est pas suffisant" (Lestel, Brunois et Gaunet, 2006, p.156). L'étude des relations que nous entretenons avec les non-humains ne doit donc pas se limiter à une description unilatérale de l'humain vers l'animal, qui laisse l'humain au centre de ces relations, et limite la capacité des sciences sociales à voir l'animal comme acteur de nos activités. Dans le monde scientifique, l'animal est souvent décrit par les sciences qui l'utilisent comme un outil expérimental, alors qu'il a pourtant une agentivité bien plus grande qu'un outil, et pousse les scientifiques à s'adapter à leurs cobayes bien plus qu'ielles n'ont à le faire avec un microscope ou un tournevis : "une relation qui ne peut se résumer à un dualisme sujet/objet, mais qui engage véritablement les chercheurs" (Brives, 2017, p.38). Les chercheur.es sont de fait amené.es à s'engager dans des modes de relations qui découlent de ce qu'ielles attendent de leurs animaux cobayes, relations autrement plus riches que ce que proposerait un simple objet inerte, et qui poussent les scientifiques à adopter certains comportements et à faire des choix.

C'est ce que j'ai tenté de faire dans cet écrit : garder la fourmi au centre de cette ethnographie et en déduire un fonctionnement scientifique engendré par leur présence. Intégrer la fourmi dans cette science, comme actrice de la production scientifique : "L'« organisme expérimental » [...] devient un véritable « partenaire de recherche » avec lequel il faut composer, qui apprend [...] autant qu'on apprend de lui" (Houdart *in* Houdart et Thierry, 2011, p.196). Et cela est d'ailleurs un des sujets sur lequel les scientifiques que j'ai observé.es travaillent : comprendre comment la fourmi apprend. Il faut donc lui apprendre pour apprendre d'elle et avec elle. Tout cela

par une ethnographie du détail, pas des généralités, sans donc y chercher les grandes ontologies auxquelles pourraient se rattacher la science, et plutôt même les laisser de côté pour ne pas tomber dans les présupposés naturalistes qui pourraient pousser à préjuger les relations humains/non-humains que l'on pourrait penser trouver dans un laboratoire : "Considérer la nature des dispositifs d'expérimentation plutôt que les protocoles, les pratiques (situées) plutôt que les représentations, les communautés de pratique plutôt que les paradigmes, des actions techniques distribuées plutôt que contrôlées, de petits récits plutôt que de grandes explications : tels sont quelques-uns des déplacements auxquels convie la sociologie des sciences" (Houdart *in* Houdart et Thierry, 2011, p.194). Je cherche donc ici à décrire les relations par la pratique de la science, où plutôt décrire la pratique de la science pour en comprendre les relations. Comprendre les pratiques avant de décrire les idées, afin de mettre en lumière les mécanismes qui créent ces relations entre scientifiques et animaux, et les actions quotidiennes qui en découlent, pour comprendre comment les fourmis agissent, modèlent cette production scientifique spécifique, comme l'explique Bruno Latour, un des pionniers de l'ethnographie de laboratoire, sans même parler de relations aux animaux : "Au lieu de nous précipiter dans l'esprit, pourquoi ne pas regarder d'abord les mains, les yeux et le contexte matériel de ceux qui savent" (Latour, 1987, p.83). Je précise que je parle ici d'agentivité des fourmis, mais loin de moi l'idée de défendre cependant une intentionnalité de la part des fourmis de faire de la science. Fourmis actrices d'une production, mais pas conscientes de leur participation.

A - Comment gérer ces fourmis et travailler sur elles ?

I - Les vraies fourmis et les scientifiques dans les salles de manip

J'emploie ici le terme de "vraies fourmis" comme les scientifiques les désignent parfois lorsqu'ielles les comparent aux fourmis numérisées ou numériques. Elles comprennent les fourmis de laboratoire et les "fourmis de terrain". Les premières sont celles présentes au laboratoire, celles sur qui les membres d'Emerg-ant expérimentent au quotidien. J'ai moi même choisi cette appellation pour les désigner, les scientifiques de cette équipe ne faisant pas particulièrement la distinction dans leur vocabulaire. Les secondes sont celles que les membres d'Emerg-ant vont observer directement sur le terrain, le plus souvent en Andalousie. Ielles vont occasionnellement (au mieux une fois par an) dans la campagne sévillane pour faire des expériences directement sur place, et "récolter" des colonies de *cataglyphis velox* selon les besoins. Toutes les fourmis

cataglyphis velox sur lesquelles elles expérimentent viennent donc de ce terrain et sont transportées jusqu'à Toulouse pour être introduites en laboratoire. N'ayant, à mon grand désarroi, pas eu l'occasion de les accompagner lors d'une de ces expéditions (aucune n'a été organisée durant la période de mon Master), je ne parlerai que très peu de ces moments de terrain, et réduirai donc principalement ces vraies fourmis à des fourmis de laboratoire.

Tout se passe ici dans la section du laboratoire réservée aux "salles de manips", où l'équipe Emerg-ant a à sa disposition deux salles face à face où ses membres font leurs expériences, en plus des animaleries partagées entre les différentes équipes où sont stockées et nourries les différentes espèces d'animaux du CRCA. Ainsi les membres d'Emerg-ant ont plusieurs colonies de fourmis disponibles dans une de ces animaleries, et en intègrent dans leurs salles de manips pour expérimenter dessus, installant alors l'entièreté de la colonie. Lorsque l'anthropologue étranger aux activités de cette équipe que j'étais est rentré la première fois dans leur salle de manip principale, difficile de décrypter les installations qui y étaient présentes. Une grosse installation cylindrique et opaque branchée à un ordinateur, des petits flacons de peinture et du petit matériel divers éparpillé sur les plans de travail, etc. Il aurait sûrement été impossible de concevoir les activités qui pouvaient bien se dérouler dans cette salle si je n'avais pas pris connaissance de leurs travaux au préalable. Si une colonie de fourmis, cloisonnées dans un coin de la pièce, n'était pas visible, il serait improbable de déduire d'un seul coup d'œil sur quoi travaillent ces scientifiques.

Ces vraies fourmis sont LE sujet de recherche principal du groupe de recherche Emerg-ant. Ce sont elles que ces scientifiques étudient, en essayant de comprendre leurs comportements. Elles sont leur point de départ, la raison pour laquelle elles font ces recherches en particulier, et tous les moyens développés pour faire ces recherches découlent de cet objet de recherche. Les membres d'Emerg-ant interagissent d'abord avec elles directement pour ensuite utiliser des artefacts et aboutir à des relations médiatisées par des outils utiles à la production de données scientifiques.

a - Quels objectifs de recherche ?

Mais tout d'abord, quels sont les objectifs de l'équipe Emerg-ant ? Qu'est-ce qui les pousse à faire telle ou telle expérience, et à quelle question cherchent-elles à répondre grâce à ces expériences ? Le projet de recherche de cette équipe a pour but de mieux comprendre le lien entre les dynamiques neurales et les décisions comportementales quand ces fourmis naviguent dans leur habitat naturel. Au travers notamment des capacités visuelles à reconnaître un environnement, elles cherchent à comprendre la manière dont elles sont capables d'apprendre de longues routes et de retourner à leur nid. C'est pourquoi Antoine, le directeur de recherche de ce projet, a choisi de se concentrer sur une espèce, *cataglyphis velox*, qui a de grandes capacités visuelles, et qui se repère

principalement grâce à ces dernières, et non pas grâce à l'odorat comme peuvent le faire de nombreuses autres espèces de fourmis. Elles cherchent à saisir les relations complexes entre le cerveau, le corps et l'environnement, et ainsi comprendre comment des comportements peuvent émerger de ces mécanismes et de ces relations entre les différentes composantes impliquées dans la navigation des fourmis.

Pour arriver à leur fin, les membres d'Emerg-ant vont mettre en place des "set-ups" d'expérimentation, et choisir, voire concevoir, des outils pour leur permettre d'acquérir des données qui pourront les aider à répondre à leurs questions. Au sein du laboratoire, leur but est de proposer aux fourmis un environnement semblable à leur environnement naturel, afin d'observer leurs comportements comme si elles étaient dans leur milieu d'origine, mais avec l'avantage d'avoir une maîtrise bien supérieure sur cet environnement artificiel. Pour cela, elles font appel à la Réalité Virtuelle (qu'elles désignent plus communément "VR" pour Virtual Reality). Cette VR leur permet d'étudier la navigation des fourmis malgré un espace limité qu'est le laboratoire, et ce en ayant les moyens de modifier à leur souhait les paramètres de cette nouvelle réalité.

Cette technologie se décompose en deux outils principaux. Le premier est la *trackball* (Cf *Photo 1 et 2*). C'est cet outil qui leur permet d'acquérir leurs données, enregistrant les déplacements de la fourmi qui est maintenue dessus. Elle est composée d'une boule de polystyrène, posée dans une demi-sphère en métal reliée à une petite pompe qui va injecter une fine couche d'air sous la boule, la soulevant ainsi en permanence. Avoir cette boule de polystyrène sur coussin d'air permet aux fourmis de se déplacer facilement, sans frottement ni résistance, et ainsi entraîner la boule sous leurs pas. Autour de cette boule sont disposés des capteurs, sur deux axes, permettant de traduire les déplacements de la boule, et donc ceux de la fourmi sur celle-ci, en coordonnées. Ces coordonnées permettent ensuite de reconstituer numériquement les trajets empruntés par la fourmi lors des expériences. Ainsi, une fois la fourmi sur sa *trackball* intégrée dans un environnement, qu'il soit virtuel ou non (j'entends ici que sur le terrain, les scientifiques peuvent simplement placer la *trackball* directement au sol), la fourmi se déplacera "comme dans un jeu vidéo", les scientifiques comparant souvent cette *trackball* à un "joystick pour fourmis". Cet outil sera donc inséré dans différents "set-ups" selon l'environnement qui sera choisi pour telle ou telle expérience. La conception de cette *trackball* ne vient pas de cette équipe. C'est un outil qui est utilisé chez de nombreuses espèces de petits animaux, et qui a été adapté à la fourmi par un de leur contemporain : Hansjuergen Dahmen, un biologiste qui travaille aussi sur la navigation des fourmis en sciences cognitives, et qui l'a conçue notamment pour être intégrée dans un environnement en Réalité Virtuelle.

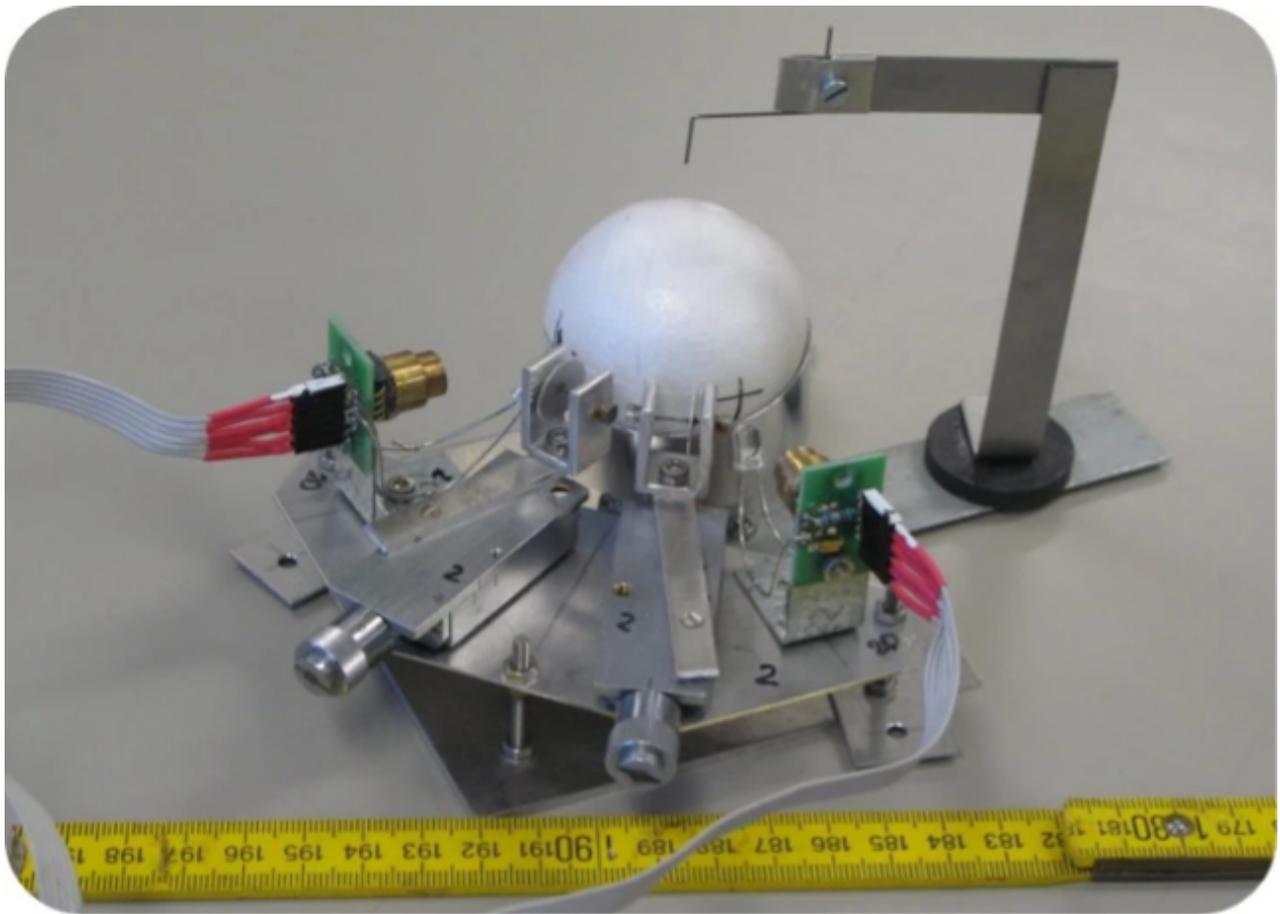


Photo 2 : La Trackball sortie de sa boîte (Source : <https://antnavigation.wordpress.com/research/>)



Photo 3 : Salle VR avec à droite, le set-up de réalité virtuelle, et à gauche, le logiciel permettant de le contrôler (Crédit : Erwan Tilly)



Photo 4 : Intérieur de l'arène VR avec la trackball en son centre (Crédit : Erwan Tilly)



Photo 5 : Logiciel de contrôle de la VR avec à droite la représentation de la trajectoire empruntée par la fourmi (Crédit : Erwan Tilly)

Le deuxième outil impliqué dans cette réalité virtuelle est "l'arène VR", constituée d'un écran cylindrique qui projette un environnement qui est donc virtuel, et où la trackball est placée au centre (Cf photo 3 et photo 4). La fourmi se retrouve donc au milieu de ce cylindre, et voit l'environnement défilé en cohérence avec ses propres mouvements sur la trackball. L'arène et la trackball sont directement reliées à un logiciel (conçu par un précédent doctorant) qui permet l'acquisition des données, et où sont codés l'environnement virtuel, ainsi qu'une interface permettant à l'utilisateur.ice de modifier certains paramètres de cet environnement, et de voir en temps réel la trajectoire de la fourmi testée (Cf photo 5). Le ou la scientifique qui utilisera cet outil pourra ainsi choisir quoi afficher – allant de formes géométriques simples pour tester les différences de comportements face à des raies noires et blanches horizontales ou verticales par exemple, à un

environnement réaliste et complexe – ou même de modifier la façon dont va être renvoyé le paysage à la fourmi en fonction de ses déplacements, par exemple si la fourmi tourne dans un sens, le paysage tourne dans le sens inverse de ce qu'elle devrait observer, et à une vitesse différente de ce qui serait cohérent.

Un des intérêts de ce “set-up” de VR, toujours dans la volonté de reconstitution de l'environnement, et de reproduire les paramètres qui sont en jeu dans la partie visuelle de l'*umwelt* de leurs fourmis. L'*umwelt*, littéralement “environnement” ou plus justement “monde propre”, est un terme qui a d'abord été utilisé par le biologiste Jacob Von Uexküll pour désigner l'environnement sensoriel propre à une espèce ou un individu. Voici un exemple de cet auteur qui représente concrètement ce que cela peut impliquer : “Parmi les animaux [...], les corps célestes sont essentiellement différents. Quand les moustiques dansent au coucher de soleil, ils ne voient pas notre gros soleil humain, qui se couche à six kilomètres, mais des petits soleils de moustiques qui se situent aux abords d'un demi-mètre. La lune et les étoiles sont absentes du ciel des moustiques” (Von Uexküll, 2001 [1936]). En éthologie, l'appréhension de l'*umwelt* est un principe fondamental, et Von Uexküll l'est tout autant :

“En éthologie c'est la première chose qu'on t'apprend, chaque espèce a son monde propre et tu peux pas faire les mêmes expériences pour chaque espèce, tu pars du principe qu'elle va pas voir les choses comme toi tu les vois, donc comme n'importe quelles autres espèces les voient, et faut que t'adaptes tes expériences”²

De nombreuses expériences ont été faites en amont pour comprendre quels éléments étaient nécessaires pour que la fourmi perçoive cet environnement virtuel comme un environnement réel, et qu'elle s'y déplace de la même façon. Image fixe ou dynamique, environnement complexe ou simple, bandes noires et blanches... tant de paramètres affichés sur cet écran LED et comparés pour comprendre ce qu'il faut pour que la fourmi se déplace comme dans la nature. Mais cette arène a été achetée, produite par une entreprise, et il y a un hic. Le défaut d'acheter des outils préconçus par des entreprises est qu'ils ne sont pas toujours parfaitement adaptés au contexte dans lequel on souhaite les utiliser, et malheureusement, il n'existe pas d'entreprise spécialisée dans la conception d'outils destinés à l'étude de la navigation des fourmis. Ici, le panneau LED émet de la lumière comprise dans le spectre visible par l'œil humain (un écran LED rouge/vert/bleu classique comme dans nos télévisions, bien qu'avec une résolution bien inférieure comme on peut s'en rendre compte sur la *photo 4*), et ne comprend donc pas de lumière UV pourtant observable par la fourmi. De plus, leurs fourmis sont capables de voir la polarisation de la lumière UV (observant une direction de cette lumière, impossible à voir pour un œil humain), polarisation qui est importante pour que la

² Entretien avec Océane, le 8 avril 2022

fourmi se repère dans son environnement. La reproduction complète de l'*umwelt* visuel de ces fourmis n'est donc pas possible avec ce "set-up", et en conséquence, certaines expériences ne sont pas faisables, ou pas pertinentes. Pour prendre un exemple et sans rentrer dans les détails, cette polarisation de la lumière est importante dans la capacité de la fourmi à rentrer au nid. Ainsi, des expériences d'apprentissage de trajets par les fourmis qui sont par exemple faites sur le terrain ne sont pas possibles à reproduire avec ce "set-up". Les scientifiques sont donc contraint.es de penser des expériences où l'absence d'UV n'affectera pas le comportement des fourmis et les résultats qui sortiront de l'expérience, ou doivent tout du moins prendre en compte cette absence. On oublie ici la capacité d'apprentissage pour observer plutôt des réactions directes à un type d'environnement projeté : comment réagira la fourmi si l'image est fixe, si l'image tourne plus ou moins vite que ses déplacements réels, ou si l'image tourne dans le sens opposé à ses déplacements... Bref, des tests de stimulus/réponses qui permettront d'avoir des résultats cohérents et exploitables malgré cette absence d'UV. Mais il y a la volonté d'obtenir une arène qui comprendra l'émission d'un spectre correspondant à ce qu'observe réellement la fourmi, et ainsi se rapprocher de son véritable *umwelt*. Antoine se bat depuis un certain temps pour débloquer un budget afin d'acquérir ce nouveau "set-up", et il l'a enfin reçu récemment. Ielles pourront alors aller plus loin dans la reproduction de cet *umwelt*, et donc dans leurs expériences de laboratoire.

b - Observation directe des fourmis

Les myrmécologues d'Emerg-ant savent observer leurs fourmis dans le cadre de leurs expérimentations, que ce soit en laboratoire comme sur le terrain. Que ce soit pour apercevoir les fourmis en elles-mêmes ou pour repérer si elles sont blessées, leur œil s'éduque à force de travailler avec elles. En effet, il arrive que des fourmis s'échappent et se retrouvent au milieu des couloirs ou des salles de manipulation, et repérer ces petites fourmis sur un sol grisâtre n'est pas forcément aisé. Lors de mes premiers jours de terrain, j'étais impressionné de voir comment ces scientifiques pouvaient repérer une fourmi à plusieurs mètres au beau milieu d'un couloir, et quelques mois plus tard, un stagiaire qui venait d'arriver m'a fait cette même remarque lorsque j'ai vu une fourmi sur le sol, à quelques mètres de nous : "t'as l'œil !" ³ me dit-il. L'œil s'habitue donc à voir ces fourmis et s'instruit à les repérer de plus en plus loin. Mais leur œil s'éduque aussi à repérer si une fourmi est blessée (que ce soit par l'expérimentateur.ice ielle-même ou autrement) et qui ne se déplace pas comme une fourmi saine. Ielles savent donc par la pratique repérer un comportement anormal qui suggère que la fourmi ait été blessée, et qu'elle ne sera donc pas exploitable pour les expériences. Cela leur permet de gagner du temps, évitant alors d'attendre de se rendre compte qu'il

³ Extrait de carnet de terrain du 28 avril 2022

y a un problème en observant les données acquises par la suite. En effet, j'ai pu voir la différence entre un.e expérimentateur.ice expérimenté.e qui repère directement les blessures, et un.e stagiaire plus novice qui n'en est pas encore capable, ou qui peut être n'y fait tout simplement pas attention. Par exemple, l'un de ces stagiaire encore en apprentissage, ne se rendait pas compte lorsqu'il avait blessé une fourmi qu'il manipulait, l'intégrant malgré tout à l'expérience, et ce n'est qu'une fois les données présentées à ses collègues plus expérimenté.es qu'ielles lui signalaient qu'il devait y avoir un problème avec telle ou telle fourmi.

Cette observation permettant de diagnostiquer l'état de la fourmi a rendu évident au premier abord un rapprochement à faire avec ce que Barbara Pentimalli appelle "l'œil diagnostique" qui se développe dans un contexte médical, afin d'être capable de diagnostiquer l'état des patient.es (Pentimalli, 2020). Mais ce qu'elle nous présente dans son ethnographie hospitalière est un œil comme outil principal et nécessaire que les étudiant.es se doivent de développer "pour apprendre à ne voir, repérer et donner du sens qu'aux indices significatifs d'une pathologie" (*Ibid.*, p. 1), et qui de plus implique une observation médiatisée par des technologies d'imagerie médicale. Chez ces médecins, l'établissement d'un diagnostic est central. Il est un objectif en soi, et cela passe par l'observation, par cet "œil diagnostique". Contrairement à ces médecins, les myrmécologues auquel.les nous nous intéressons ici n'accordent pas du tout la même importance à cet œil diagnostique. Il n'est pas une nécessité, mais un élément pratique qui simplifiera l'expérimentation dans un contexte d'observation directe, à l'œil nu, des fourmis de laboratoire.

De plus, les scientifiques d'Emerg-ant savent repérer des comportements saillants. En effet, ielles apprennent avec un peu de pratique, sans que cela leur soit formellement transmis, à repérer un comportement particulier qui sera bénéfique au déroulement de l'expérience, ou au contraire, le ralentira. Typiquement, une fourmi qui fait de nombreux allers-retours entre une source de nourriture et le nid, ou qui ramassera directement les "cookies" que leur proposeront les scientifiques (ielles nomment *cookie* ce qui aujourd'hui peut être n'importe quelle source de nourriture choisie, mais continuent à utiliser ce terme par habitude), sera plutôt choisie face à une fourmi qui ne bouge pas beaucoup et qui reste aux alentours de l'entrée du nid. On retrouve alors des points communs avec ce que Sophie Houdart présente dans un contexte d'observation directe du comportement des drosophiles (Houdart, 2007). Les scientifiques qu'elle décrit dans son ethnographie observent directement le comportement sexuel des drosophiles, notent leurs observations, et les comparent à des observations qui ont été catégorisées, schématisées. On a donc ici une observation qui est formalisée au sein même d'un protocole expérimental, donc comme un outil produisant des données, alors que chez Emerg-ant, elle ne sert qu'à l'expérimentateur ou l'expérimentatrice seul.e et est complètement informelle. Elle lui sert à avancer plus efficacement, mais sans elle, des données seraient tout de même produites. Je n'ai jamais vu au laboratoire de

protocoles expérimentaux visant à repérer certains comportements pour ne travailler que sur ceux-là. Les membres d'Emerg-ant m'ont cependant rapporté que sur le terrain, il leur arrive de reproduire à la main les trajets empruntés par les fourmis dans une zone donnée, et observent donc à l'œil nu les déplacements des fourmis pour produire des données qui seront exploitées plus tard.

Ainsi, contrairement à d'autres domaines de la biologie, ou simplement à d'autres manières de faire des études comportementales, les scientifiques d'Emerg-ant n'ont pas à savoir repérer de saillance visuelle particulière chez les fourmis de laboratoire, et l'observation directe n'est pas au cœur de leur pratique de laborantines. Elles ne décrivent pas leurs corps, ou ne décrivent pas leur comportement ou d'autres caractéristiques par une observation directe. On peut prendre l'exemple contraire des levuristes qui doivent quant à elles et eux repérer "des détails minuscules, d'une incroyable finesse" et ainsi avoir un "œil instruit" (Brives, 2017, p.47) qui est en lui-même un outil nécessaire aux protocoles expérimentaux et à l'acquisition de données. Pour ces levuristes, "les techniques ne se suffisent pas à elles-mêmes. Elles ne sont rien, ne permettent pas à la levure de répondre aux questions qu'on lui pose, si le chercheur n'a pas « l'œil averti », ce qui implique de bien maîtriser l'instrument [le microscope], mais aussi de connaître et de respecter les levures" (Brives, 2017, p.47). Chez les membres d'Emerg-ant, les techniques d'expérimentation semblent se suffire à elles-mêmes pour atteindre leurs objectifs, et l'observation directe ne servira qu'à améliorer la manière dont elles conduisent leurs expériences, rendant les expérimentateurs et expérimentatrices plus efficaces.

Dans ce contexte, auprès de ces fourmis de laboratoire, il est difficile de retrouver des "*organized ways of seeing*" (Goodwin, 1994, p.606) que nous rapporte Charles Goodwin, "que tout novice doit apprendre au cours de ses études et par le travail" (Pentimalli, 2020, p.4) dans le contexte médical par exemple. Pourtant, comme je l'ai montré, on retrouve certains éléments de ces manières d'*organiser les moyens de voir* chez ces autrices et auteurs que j'ai cités. Mais cette "vision professionnelle" (*Ibid*, p.2) n'est pas ici un prérequis comme il peut l'être dans d'autres domaines, et n'a pas du tout la même importance. Contrairement à ces scientifiques qui ont besoin d'expertiser leur regard pour accomplir leur travail, les membres d'Emerg-ant n'observent directement ces fourmis de laboratoire que dans un sens pratique, pour faciliter leur travail, mais ce n'est pas une nécessité pour l'accomplissement de leurs expériences. Cette observation n'est pas transmise formellement comme peuvent l'être d'autres éléments, par exemple la manière de manipuler les fourmis, et je n'ai entendu personne de cette équipe appuyer le fait que cette vision professionnelle était nécessaire. On a alors simplement des *ways of seeing*, mais pas organisés. Des techniques d'observation informelles qui semblent se développer d'elles-mêmes, qui émergent naturellement de leurs pratiques. Je regrette cependant de ne pas avoir pu étudier la question sur

leur terrain, lorsqu'ielles vont directement observer et récolter les fourmis dans la nature, hors du laboratoire. Quelle est ici l'importance de l'observation ? Que ce soit pour repérer les colonies à étudier et récolter, ou pour observer directement, à l'œil nu, les trajectoires empruntées par les fourmis, il est probable que la vision professionnelle ait ici un intérêt tout autre.

Finalement, pour conduire leurs expériences en laboratoire, les scientifiques d'Emerg-ant s'en remettent à des outils pour acquérir des données et observer les comportements. Ielles mettent en place des dispositifs qui enregistrent ces comportements et se doivent alors d'apprendre à utiliser ces dispositifs et à préparer les fourmis pour les y intégrer.

c - Manipuler les fourmis

Pour expérimenter sur ces fourmis, les scientifiques d'Emerg-ant doivent les manipuler, que ce soit pour les préparer à l'expérience ou pour les placer dans les "set-ups" conçus pour ces expériences. Ielles doivent ainsi apprendre comment les manipuler sans risque, et maîtriser certains gestes techniques. Chaque fourmi choisie pour être "testée" doit être "marquée" à la peinture pour être identifiée. Un code couleur est ainsi mis en place, permettant de reconnaître les fourmis testées, à tester ou re-tester, individualisant ainsi les fourmis (par exemple, O/YG signifie Orange / Yellow Green, et correspondra à la fourmi ayant un point orange sur le thorax, et un point jaune et un point vert sur l'abdomen). Les expérimentateurs et expérimentatrices remplissent ainsi un tableau présentant une longue série de codes couleurs, cochant les cases correspondantes au fur et à mesure lorsqu'une nouvelle fourmi est marquée, signalant ainsi que tel ensemble de couleur est déjà utilisé. Ainsi, si ielles sont plusieurs à travailler sur une même colonie de fourmis pour différentes expériences, ce marquage leur permet de reconnaître "leurs fourmis". Par exemple, Océane, stagiaire en Master à mon arrivée, maintenant doctorante, s'était pour une expérience réservée la couleur orange (sur le thorax, donc la première lettre du code) pour la colonie concernée, simplifiant alors la reconnaissance des fourmis qu'elle a testées, et qu'elle devra retester : "les oranges, c'est mes fourmis"⁴. Dès mes premiers jours au laboratoire, j'ai pu suivre Océane lors de ses expériences, et la voyait, avec une certaine fascination, peindre ces tout petits êtres à la main. En effet, au vu de la taille de ces fourmis, leur manipulation demande précision et délicatesse. D'un geste assuré, elle attrapait les fourmis qu'elle choisissait, puis, à l'aide d'une petite tige en métal semblable à une aiguille, positionnait les fourmis en maintenant leurs pattes entre ses doigts, de façon à ce qu'elles soient contentonnées d'une manière à ce qu'elles ne bougent pas lors de l'opération (ou le moins possible), et ne soient pas blessées, présentant alors l'ensemble de leurs

⁴ Extrait du carnet de terrain du 24 février 2022

dos, prêts à être peints. Ensuite, en usant de cette même aiguille comme d'un pinceau, elle déposait trois gouttes de peintures, une sur le thorax, deux sur l'abdomen, reproduisant ainsi le code couleur correspondant. Les nouveaux et nouvelles stagiaires sont donc formé.es à cette manipulation par les autres scientifiques qui la maîtrisent et qui sont disponibles sur le moment (cela peut donc être des stagiaires simplement plus expérimenté.es). Mais l'apprentissage se fait surtout par la pratique. Joris, stagiaire de licence 3 que j'ai vu arriver et que j'ai donc vu se former à ces manipulations, a passé plusieurs jours à se concentrer sur le marquage des fourmis, enchaînant cette opération sur de nombreuses fourmis, avec pour seul but de maîtriser cette opération. C'est la première chose à maîtriser avant de se lancer dans l'expérimentation en elle-même. Ce marquage implique d'abord de ne pas les blesser, et c'est une inquiétude à dépasser pour les stagiaires débutant.es. Ces stagiaires m'ont assez rapidement exprimé cette inquiétude de blesser les fourmis : Océane me disait ainsi que "au début, j'avais peur de leur faire mal, mais on comprend que si on les attrape par les pattes, ça craint rien"⁵, ou encore Erwan, un autre stagiaire de Master lors d'un entretien : "au début j'étais pas hyper serein"⁶. En effet, pour qui n'est pas habitué.e à ces manipulations, moi y compris, cela semble assez brutal au vu de la taille de ces fourmis qui semblent très fragiles, et j'étais au début impressionné de les voir les maintenir fermement, les peindre avec un objet qui pourrait les transpercer au premier tremblement, tout cela avec assurance, et finalement sans les blesser. Pourtant, ces stagiaires expérimenté.es m'expliquent que si ielles respectent cette manière de les maintenir, ielles ne vont ni leur faire mal, ni les blesser, et qu'avec un peu de pratique, ce n'est plus une inquiétude : "après au bout de dix minutes j'me suis dit, ah ouais effectivement elles résistent plutôt bien au truc"⁷. Ces manipulateurs et manipulatrices n'hésitent donc plus à attraper les fourmis du bout des doigts une fois qu'ielles connaissent leur résistance, et à les contraindre pour les empêcher de bouger.

Pourtant, la délicatesse reste de mise, car bien qu'elles soient en effet moins fragiles que ce que l'on peut appréhender en les voyant, elles restent de petits insectes qu'on pourrait écraser sans aucun effort. Il peut ainsi arriver de les blesser malgré tout lors des manipulations si on n'est pas assez délicat. Cette délicatesse semble d'ailleurs être prise en compte dans la qualité du ou de la scientifique au sein de cette équipe, puisque blesser les fourmis, voire les tuer, deviendront vite des reproches si cela est récurrent. Océane, considérée comme une scientifique très délicate par ses pairs, n'hésitait pas à me partager des critiques destinées à un stagiaire de passage avec qui elle a dû régulièrement travailler pendant plusieurs semaines, et qui a engendré la mort, ou au moins des

⁵ Extrait de carnet de terrain du 24 février 2022

⁶ Entretien avec Erwan, le 3 mai 2022

⁷ *Ibid.*

blessures envers de nombreuses fourmis. Ce stagiaire était largement considéré comme peu délicat, et les conséquences de ses propres manipulations lui ont souvent donné droit au titre de “bourrin”.

Mais au-delà du fait de les blesser, cette délicatesse est aussi importante au vu de la précision nécessaire lors du marquage des fourmis. En effet, il faut faire attention à ce que la peinture soit correctement posée sur les fourmis, afin qu'elle ne gêne pas leurs mouvements. Si la peinture s'étend sur les pattes, la fourmi perdra en mobilité, ce qui n'est bien sûr pas souhaitable pour les expériences, mais aussi dans une moindre mesure pour son propre confort. Cette erreur peut souvent se produire lorsque la technique n'est pas encore maîtrisée, et j'ai pu ainsi voir Joris être confronté de nombreuses fois à ce cas de figure à ses débuts, devant ensuite user d'une encore plus grande délicatesse pour gratter l'excédent de peinture à l'aiguille sans risquer de blesser les fourmis, créant en lui un certain stress et un agacement à ne pas réussir correctement l'opération. Et la précision de la pose de la peinture peut aller encore plus loin. Pour les besoins d'une expérience, Océane devait, en plus de marquer les fourmis qu'elle testait, masquer un œil de ces fourmis en y déposant une goutte de peinture, puis, une fois la fourmi testée, retirer cette peinture toujours en utilisant une aiguille. On imagine bien ici la précision extrême nécessaire à peindre l'œil d'une fourmi d'une dizaine de millimètres avec pour seuls outils ses doigts et une longue aiguille, puis de retirer cette peinture avec cette même aiguille, et tout ça sans la blesser. Au-delà d'une délicatesse qu'on lui reconnaît facilement, c'est ici la pratique et la répétition des gestes qui ont permis à Océane d'exécuter ce type d'opération de manière assurée, et avec une réussite quasi permanente. C'est ainsi que tout.e expérimentateur ou expérimentatrice finit par maîtriser la manière de manipuler les fourmis afin de les préparer aux expériences : en pratiquant et en répétant. Et avant même de se lancer dans l'expérimentation en elle-même, ces scientifiques doivent être capable d'obtenir des fourmis exploitables et prêtes à être testées, signifiant donc des fourmis qui sont en aussi bonne santé qu'avant leur manipulation, et équipées de ce qu'il faut pour être intégrées à l'expérience.

d - Expérimenter sur les fourmis

Une fois ces manipulations maîtrisées, l'utilisation des différents outils d'expérimentation demande aussi un apprentissage. En arrivant comme stagiaire novice, on ne sait pas utiliser les outils à disposition, et ils sont pour la plupart des “boîtes noires”, terme que j'emprunte notamment à Bruno Latour et Steve Woolgar (Latour et Woolgar, 2013 [1979] ; Latour, 1987), et que les membres d'Emerg-ant utilisent parfois d'elleux-mêmes. Comme peut l'être un ordinateur pour le commun des mortels, une boîte noire correspond à tout artefact dont, malgré la connaissance de son utilisation, voire sa maîtrise totale, son fonctionnement reste inconnu, et pour le comprendre si on

n'est pas son ou sa concepteur.ice, il faudrait ouvrir cette boîte noire. Il n'est donc pas nécessaire pour les scientifiques de comprendre le fonctionnement de ces outils pour savoir les utiliser. Cependant, c'est en les utilisant et en ouvrant petit à petit les boîtes noires qu'ils représentent pour les novices que, à terme, les scientifiques se rendent capables de s'adapter aux outils et notamment à leurs imprévus, mais aussi d'adapter les outils à leurs expériences. De plus, comme le précise Charlotte Brives en prenant l'exemple du microscope, c'est en connaissant le contenu d'une boîte noire que l'on peut s'assurer de son bon fonctionnement, et donc s'assurer que ce qu'elle nous renvoie est correct : "si l'on veut être sûr de ce qu'on observe, il faut savoir comment, précisément, on l'observe. Dans ce cadre, le microscope ne peut rester pour le biologiste cellulaire la boîte noire qu'il est devenu pour beaucoup de praticiens. Celle-ci doit être ouverte, les potentialités de l'objet comprises et explorées" (Brives, 2017, p.47).

i - Apprendre à expérimenter

Mais pour les nouveaux et nouvelles arrivant.es au sein de l'équipe Emerg-ant, il est d'abord nécessaire d'apprendre à utiliser ces outils. Pour la *trackball*, il faut savoir y placer la fourmi, demandant encore de savoir la manipuler, afin qu'elle soit maintenue grâce à un aimant et une goutte de peinture magnétique déposée au même moment et de la même façon que lors de son marquage, à la base du thorax. Une fois la fourmi placée au centre de l'arène VR, il faut savoir utiliser le logiciel d'acquisition qui y est relié. Mais finalement, une fois la manipulation des fourmis maîtrisée, ces opérations ne sont pas si complexes, et il suffira qu'un.e expérimentateur.ice plus expérimenté.e montre simplement au ou à la novice comment utiliser ces outils dans le contexte de l'expérience qu'elle doit mener. Cependant, utiliser ce dispositif de VR dans un cas précis, quand on a dicté quels paramètres rentrer dans le logiciel pour une expérience en particulier, n'équivaut pas à maîtriser l'outil. En effet, cela ne suffit pas à pallier aux problèmes qui pourraient se présenter, comme des bugs dans l'acquisition des données, ou des bugs liés à l'exécution du logiciel. Ici, les stagiaires novices devront appeler à l'aide leurs collègues plus expérimenté.es lorsqu'elles rencontrent des imprévus dans le déroulement de leur expérience. Océane a par exemple eu l'occasion d'ouvrir la boîte noire que représentait ce logiciel d'acquisition lorsqu'elle trouvait que ses données manquaient de cohérence, formulant l'hypothèse qu'un des lasers qui repère les mouvements de la *trackball* n'est pas calibré correctement. Antoine a alors recalibré l'appareil avec elle, ce qui les a poussé à ouvrir le code du logiciel, pour modifier certaines valeurs qui concernent cette calibration, et regarder comment elle est calculée, quelles formules sont

inscrites pour la gérer. Cela a donc permis à Océane de voir comment était conçue cette partie du code, et pourra une prochaine fois être autonome sur ce type de problème.

Et c'est alors avec la pratique, et grâce à l'accompagnement de leurs collègues, que les novices comprendront petit à petit le fonctionnement des outils, et ouvriront les boîtes noires, ce qui leur permettra de gagner en autonomie, en efficacité et améliorer leur confiance en ce que ces outils leur donnent comme résultats. Bruno Latour et Steve Woolgar nous expliquent que les sociologues des sciences doivent ouvrir les boîtes noires construites par les scientifiques, au moment de leur conception (Latour et Woolgar, 2013 [1979]), et c'est en partie ce que j'ai essayé de faire avec parfois certaines difficultés, et sans jamais être capable d'explorer la totalité de ces boîtes noires. Mais en pratique, je n'ai pas pu assister à la conception de toutes leurs boîtes noires, comme c'est le cas de ce logiciel d'acquisition. Alors j'ai plutôt profité des moments d'entretiens et de discussions plus informelles pour les comprendre, mais surtout, j'ai pu observer les scientifiques les ouvrir par eux et elles mêmes, au fur et à mesure de leurs interactions avec ces artefacts. Ouvrir les boîtes noires pour en comprendre le contenu n'est donc pas réservé à l'anthropologue, et c'est en suivant les scientifiques le faire d'elles-mêmes, en les observant trébucher sur des obstacles qui les forceront à les ouvrir, que l'anthropologue peut aussi en apercevoir le contenu.

ii - Adapter les outils

- *S'adapter à l'expérience*

Adapter ou construire un "set-up" pour une expérience est très difficile à faire seul.e en tant que stagiaire novice. On ne connaît pas le matériel disponible, ni comment l'utiliser. C'est en faisant, et en ouvrant les boîtes noires, accompagné par des collègues plus expérimenté.es, qu'on apprend l'environnement du laboratoire et ses possibilités, quelles personnes peuvent aider et fournir du matériel pour créer ou adapter un "set-up". Lorsqu'une nouvelle expérience doit être mise en place, il est régulier de devoir adapter un "set-up" existant, voire de le concevoir de toute pièce car ceux déjà présents ne répondent pas aux besoins de cette expérience, ou tout simplement afin de permettre aux stagiaires de faire plusieurs expériences en parallèle sans avoir à attendre qu'un "set-up" soit disponible. Un stagiaire novice doit alors être accompagné pour concevoir ces nouveaux "set-ups" et ainsi lui montrer ce que le laboratoire peut offrir comme matériel, tandis que si le ou la scientifique est plus expérimenté.e, ielle connaîtra mieux le laboratoire et sera ainsi plus autonome. Par exemple, des arènes différentes de celle de l'écran LED ont été utilisées, et j'ai pu voir deux de ces différents "set-ups" se construire.

Le premier permettait à Erwan, stagiaire de master, de faire une expérience en même temps qu'Océane qui utilisait l'arène VR déjà en place, et respectait finalement le même principe que celle-ci : recréer des environnements dans lesquels se déplacent les fourmis. Erwan étant plutôt spécialisé en écologie et évolution, Antoine lui proposa une expérience qui collerait plus à ces sujets : comparer les trajectoires de différentes espèces de fourmis face à différents motifs, plutôt que de se concentrer sur une seule espèce comme elles ont l'habitude de le faire. Il a ainsi recréé un cylindre avec deux abat-jours superposés dans lesquels il a introduit une *trackball* (plusieurs *trackballs* étant disponibles au laboratoire). Le paysage présenté aux fourmis était des feuilles de papier avec des motifs imprimés (entièrement noir, entièrement blanc, des raies blanches et noires...) qu'il plaçait contre les parois intérieures des abat-jours. Il alternait ainsi les différents motifs pour un même individu, puis plusieurs individus par espèce, et enregistrait grâce à la *trackball* les coordonnées des différentes trajectoires. L'étape suivante fut de faire tourner cet environnement. Erwan conçut donc un mécanisme à l'aide de pièces de vélo pour faire tourner les abat-jours à la main et compléter ainsi les données de son expérience. Ici, les pièces (abat-jours et pièces de vélo) sont achetées, mais le "set-up" est construit par le stagiaire lui-même. N'étant pas un stagiaire fraîchement arrivé, il a pu être relativement autonome sur cette conception, mais il a dû tout de même questionner ses collègues pour connaître les possibilités des pièces disponibles, et ce qu'il devait ou pouvait acheter à l'extérieur.

Le second "set-up" construit était nécessaire car elles voulaient faire une expérience qui utilise la polarisation de la lumière UV. Le panneau LED n'émettant pas dans ce spectre, il ne pouvait être utilisé, et il fallait alors s'adapter pour pallier à ce défaut que présente cet outil ingénierisé par une entreprise en bricolant une autre arène avec ce que le laboratoire a à offrir comme matériel. Léo, qui était en pleine thèse, et Joris, un stagiaire de L3, trouvèrent alors un large cylindre en PVC dans une salle du laboratoire pour l'utiliser comme nouvelle arène. Ce cylindre est refermé par un cadre où est disposé un filtre polarisant la lumière dans une direction particulière, et une lampe émettant dans tout le spectre de la vision de la fourmi est suspendue au-dessus. Ainsi, la fourmi introduite dans le "set-up" verra son environnement (qui est ici un fond noir uni) éclairé par un soleil artificiel, mais la polarisation de la lumière suivra une direction choisie par les scientifiques en fonction de la position du nid par rapport à l'arène. Le but est d'observer quelles directions vont suivre les fourmis en essayant de rentrer au nid, et ce en fonction de la direction de la polarisation qui leur est donnée, à savoir que, dans leur milieu naturel, ces fourmis ont la capacité de rentrer en ligne droite vers le nid une fois leur phase d'exploration terminée. Mais ici, vont-elles suivre la direction de la polarisation imposée ou non ? Elles cherchent ici à comprendre l'importance de cette polarisation dans la capacité des fourmis à rentrer directement au nid.

Mais parfois, certaines tentatives ne mènent à rien, et les idées de “set-up” ne fonctionnent pas. Un après-midi, Erwan et Sepee, un post-doctorant, ont été missionnés par Antoine pour concevoir rapidement un prototype qui leur permettrait d’observer les mécanismes de défense des fourmis lorsqu’elles se sentent attaquées. L’idée est de mettre en mouvement un disque qui va s’approcher de la fourmi, ce qui devrait entraîner une posture de défense. Essayant de fabriquer quelque chose avec les moyens du bord, en arpentant les placards du laboratoire pour trouver des ustensiles tels que deux tiges filetées, du fil de pêche et un couvercle en plastique pour le disque, ils n’arrivèrent pas à obtenir le moindre résultat, peut être par manque de conviction de l’utilité de cette expérience, mais aussi par manque de matériel adéquat. Ils abandonnèrent assez vite considérant qu’ils n’avaient pas ce qu’il fallait sous la main pour arriver à leurs fins. Malgré la bonne connaissance du laboratoire de ces deux scientifiques, le bricolage improvisé n’a ici pas suffi.

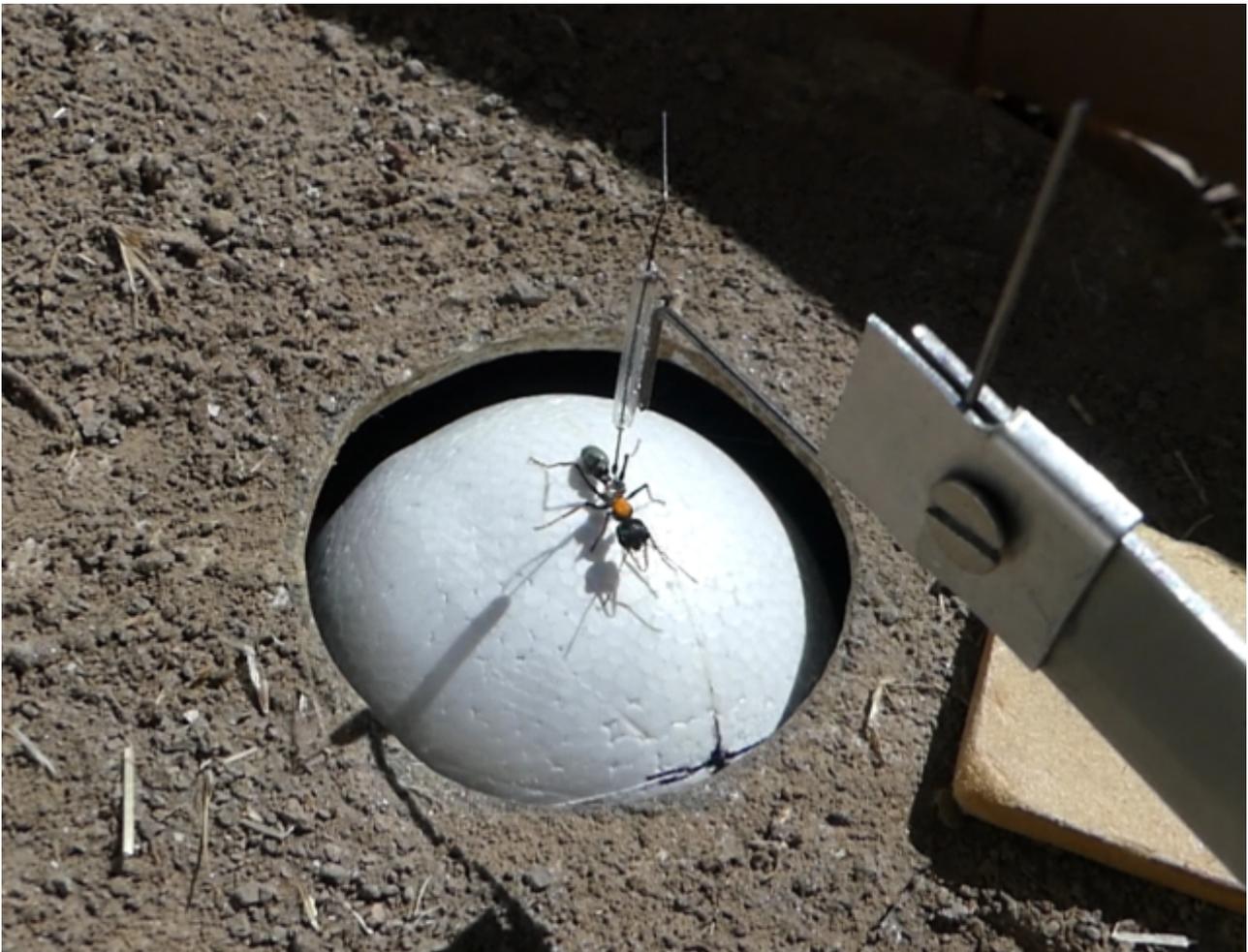


Photo 6 : Une fourmi sur une trackball avec holder mobile (Source : <https://antnavigation.wordpress.com/research/>)

- *Un bricolage de précision*

On voit ici l'importance du bricolage dans la conception de ces "set-ups", et il est un autre outil qui exprime à quel point la conception leur demande parfois une grande précision, ce qui n'exclut pas l'aspect de bricolage. Au-dessus de la *trackball*, il y a le *holder*, qui permet de maintenir la fourmi dessus (Cf *Photo 1 et Photo 6*). C'est au bout de ce *holder* qu'est suspendu un petit aimant qui permet d'y fixer la fourmi. Cet outil n'est en soit pas non plus conçu par les membres d'Emerg-ant, mais ce sont elles qui le construisent, et il leur a fallu le construire à leur façon, avec leurs moyens techniques et le matériel auquel elles avaient accès, l'adaptant qui plus est au corps de leurs fourmis en particulier. En effet, les espèces de fourmis sont très nombreuses et très variées, de par leur taille et leur forme. Ainsi un *holder* ne sera pas forcément aussi bien adapté à une espèce qu'à une autre.

Pour commencer, le groupe d'Emerg-ant utilise deux types de *holder* qu'elles choisiront en fonction de ce qu'elles souhaitent mesurer comme mouvements : un fixe, que l'on peut voir sur la *Photo 1*, et un mobile, sur la *Photo 6*. On peut voir que sur le *holder* fixe, la tige de carbone où est fixé l'aimant est elle-même fixée à une bandelette de papier. Ce type de *holder* permet ainsi une mobilité verticale, mais pas de mobilité rotative. La mobilité verticale est le minimum nécessaire pour que la fourmi ne se retrouve pas plaquée, ou au contraire suspendue trop haut sur la *trackball*, ce qui lui offre une mobilité plus confortable, et s'adapte aussi aux différentes tailles des individus. Seulement ici, si la fourmi tourne, elle entraînera forcément la boule avec elle, et cela permettra à l'expérimentateur.ice de contrôler où la fourmi regarde, et savoir, par exemple, dans quelle direction de l'environnement virtuel elle regarde. Le *holder* mobile quant à lui est composé d'un petit cylindre en verre fixe (un capillaire en verre), où est insérée la tige en carbone, ce qui permet à cette tige de tourner sur elle-même, laissant ainsi une mobilité de rotation supplémentaire à la fourmi (Cf *Photo 6 et Figure 1*). La tige peut aussi monter et descendre dans ce cylindre, offrant la même mobilité verticale que le *holder* fixe. Ainsi, la fourmi sera libre de tourner sans avoir à entraîner la boule avec elle.

L'utilisation de cette *trackball* et de ces *holder* est assez récente au sein d'Emerg-ant (quelques années tout au plus), et c'est Léo qui s'est retrouvé à construire des *holder*, enchaînant les prototypes pour arriver à des versions utilisables avec leurs fourmis en particulier. Les objets composant ces *holder* sont vraiment minuscules (on peut avoir une idée de l'échelle avec la règle disposée sur la Photo 2), l'aimant mesurant par exemple aux alentours d'un millimètre, et la construction de cet outil demande donc une grande minutie. Léo, qui a une tendance à trembler lorsqu'il effectue des tâches aussi précises, insistait fortement sur cette minutie nécessaire, s'impressionnant lui-même de réussir à réaliser ces *holder*, lui qui, il l'avoue lui-même, n'est pas quelqu'un de particulièrement délicat hors du laboratoire. En construisant ensuite un *holder* devant nous (deux stagiaires et moi), il a clairement démontré que cela nécessitait une précision impressionnante. L'aimant est fixé à la colle sur une ficelle, qui sera elle-même collée à la tige en carbone afin que l'aimant soit suspendu. Cette ficelle est un fil dentaire qui est effiloché pour ne garder que deux ou trois brins. Il faudra donc manipuler ce fil extrêmement fin, donnant déjà une bonne idée de la minutie nécessaire. Mais ça ne s'arrête pas là : l'objectif est de faire des nœuds avec cette ficelle afin de s'assurer que la colle adhère correctement (les nœuds en eux-même ne servent donc pas à fixer ou attacher quoique ce soit, mais seulement à servir de point d'ancrage à la colle). Ces nœuds sont chacun une superposition de plusieurs nœuds. Il faut donc réussir, à l'aide d'une aiguille, à refaire un nœud exactement au même endroit que le précédent, et cela plusieurs fois par groupe de nœuds. Sachant que si un nœud est serré au mauvais endroit, il est quasiment impossible de le détacher et il n'y a plus qu'à recommencer toute l'opération. De plus, il faut faire trois de ces groupes de nœuds, très peu écartés au vu de l'échelle générale de l'objet, afin de laisser du mou à l'aimant, car si l'aimant était simplement fixé à la tige de carbone, la fourmi n'aurait que

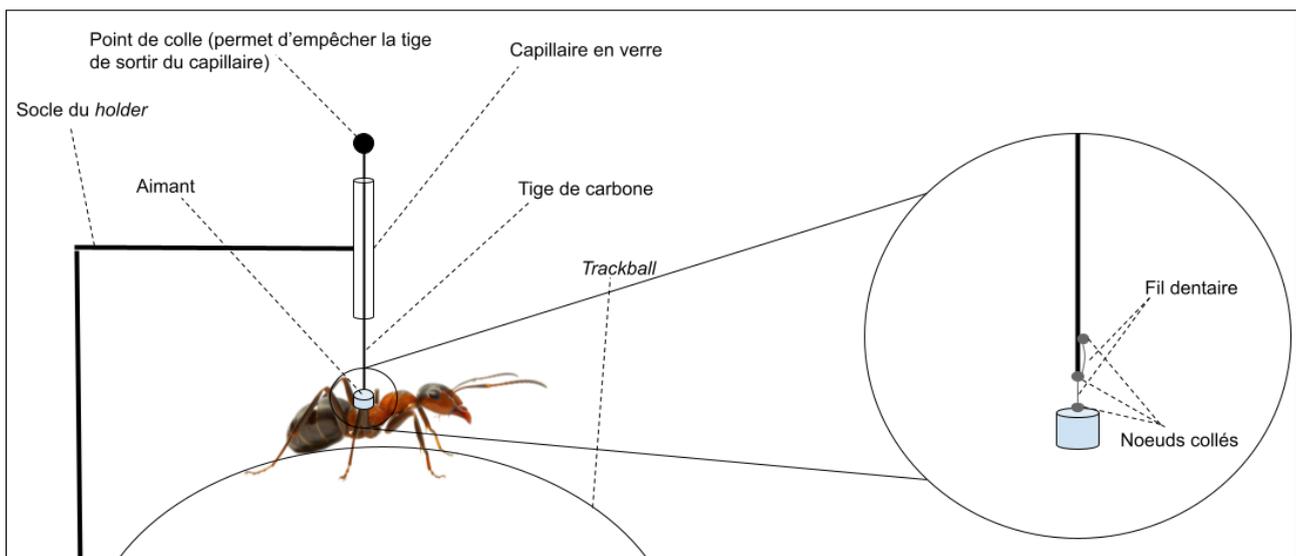


Figure 1 : Schéma d'un holder mobile (échelle non respectée)

trop peu de liberté de mouvement et serait finalement plaqué contre la *trackball*. Mais inversement, s'il y a trop de mou, la fourmi pourra se décentrer de la *trackball* et fausser les données. Cette série de trois groupes de nœuds permet donc de stabiliser l'aimant et la ficelle comme souhaité. Léo nous partageait alors une astuce qu'il avait développée au fur et à mesure pour réaliser cette suite de nœuds : fixer un aimant à chaque bout de la ficelle afin de pouvoir les manipuler à l'aide d'aiguilles, ce qui semblait effectivement plus aisé que de le faire avec les doigts. Et d'autres éléments sont à prendre en compte, comme la forme du capillaire de verre (pour les *holders* mobiles) qui est coupé à partir d'un grand capillaire (ces capillaires sont achetés et peuvent avoir de nombreuses utilisations différentes) et façonné au chalumeau. S'il est mal façonné, il ne sera pas droit et empêchera la tige de carbone de glisser correctement, ce qui gênera encore une fois les mouvements de la fourmi.

Si j'ai eu l'occasion d'assister à cette construction, c'est parce qu'Erwan, lors de son expérience où il testait différentes espèces de fourmis, s'est retrouvé à manipuler une espèce plus petite et de forme différente que la normale, et son *holder* n'était alors plus adapté. L'aimant était trop gros et gênait alors les déplacements de la fourmi, n'étant pas adapté non seulement à sa taille, mais aussi à sa forme, la plaquant contre la *trackball*. Il a alors fallu refaire un *holder* avec un aimant plus petit. Léo étant le seul de l'équipe à savoir les construire, il a dû venir le faire pour Erwan, ce dernier lui proposant d'abord qu'il lui explique rapidement comment faire pour qu'il puisse être autonome, il se rendit vite compte que ce n'était pas une option. Léo exprima alors son dépit d'avoir à construire un *holder* sans que ce soit prévu, car il savait que cela lui prendrait beaucoup de temps, et effectivement, plusieurs heures sont passées avant d'avoir un *holder* utilisable. Échouant parfois à faire un nœud correctement, où à façonner le capillaire de verre, il a nécessité plusieurs tentatives, puis plusieurs tests et modifications avant d'obtenir un *holder* adapté aux besoins de l'expérience concernée. Mais désormais, Erwan, ainsi qu'Océane et moi-même qui étions là pour observer, connaissons bien mieux le fonctionnement de cet outil et avons encore ouvert une boîte noire, se retrouvant capables de s'essayer à leur confection.

On observe donc une progression vers le cœur de la pratique, qui consiste en partie à maîtriser l'utilisation comme le fonctionnement des outils. Les doctorant.es et post-doctorant.es finissent par connaître l'ensemble des possibilités que fournissent les outils et l'environnement du laboratoire, avec parfois certaines limites. Léo et Antoine étaient présents lors de la création du logiciel d'acquisition et ont aidé à sa conception, ils le connaissent donc très bien, et sont les références lorsqu'il y a des soucis avec l'utilisation de cet outil. Les stagiaires et doctorant.es suivant.es, bien qu'ielles apprennent petit à petit son contenu, ne le maîtriseront probablement jamais aussi bien que ses concepteurs. Ce logiciel est un héritage des scientifiques précédent.es, de

la même façon que certains outils théoriques produits par les pairs qu'ielles utilisent sans forcément connaître les détails de leur fonctionnement.

e - Les pratiques dépassent les frontières théoriques

Comprendre la conception de leurs outils m'a permis d'avoir une réflexion sur la manière dont les scientifiques d'Emergent brisent certaines idées que l'on peut se faire du monde scientifique. A part cette arène VR qui comprend un écran LED et les ordinateurs qu'ielles utilisent, artefacts achetés après conception auprès d'entreprises, leurs outils sont construits à partir de petits éléments, parfois en détournant des objets qui n'étaient pas prévus pour leur utilisation finale. Les spécificités auxquelles ielles doivent répondre pour leurs expériences les poussent à ce bricolage, à cet aspect *Do It Yourself* auquel ielles semblent attachées, afin d'adapter leurs outils au contexte. Mais c'est aussi par efficacité, pour avancer sans attendre qu'ielles se prêtent au bricolage. Le parallèle est d'ailleurs facile à faire avec le domaine artistique. Dany Massicotte l'a ainsi expérimenté durant sa maîtrise en arts visuels sur le sujet de "l'ingénierie du bricolage" : "Bricoler à l'improviste – avec les moyens du bord – est pour moi une façon économique et rapide d'entamer la mise en forme d'une vision" (Massicotte, 2022, p.11). Et c'est effectivement cela qu'ielles font dans ce laboratoire. Créer de manière efficace, donc de façon économique et rapide, sans espérer l'existence préalable de l'outil parfait, et sans attendre qu'une entreprise extérieure conçoive cet outil, afin de visualiser comment leur expérience pourra se dérouler. Seulement ici, le bricolage reste tout aussi présent dans le produit final, là où Dany Massicotte s'en sert simplement pour des maquettes. Sûrement que la différence d'importance apportée à l'esthétique a son rôle à jouer là-dedans...

On est ici assez éloigné de l'imaginaire d'ingénierie de pointe que l'on prête bien souvent au monde de la science. Ces termes de "bricolages", "DIY", "avec les moyens du bord" ou "avec des bouts de ficelles" (littéralement pour le *holder*), que les membres d'Emergent utilisent plutôt fièrement, ne semblent effectivement pas correspondre avec l'idée d'ingénierie de précision que l'on peut se faire vulgairement en pensant à la science. Lévi-Strauss avait lui-même établi cette frontière entre "science et bricolage" (Lévi-Strauss, 1962, *in* Latour, 1987), découlant des frontières entre pensée domestiquée et pensée sauvage, ou des dualismes comme celui entre nature et culture. Et d'autres auteurs ont continué à séparer le monde de la science au reste de la société : les divisions "de Garfinkel entre raisonnement quotidien et raisonnement scientifique (1967), de Bachelard entre esprit présocratique et esprit scientifique (1934, 1967), ou même de Horton entre refus des contradictions et acceptations des contradictions (1977, 1982)" (Latour, 1987, p.81). Mais depuis, bon nombre d'autres auteurs et autrices se sont accordés sur le fait que ces coupures

épistémologiques n'ont pas lieu d'être dans les sociologies des sciences, comme Bruno Latour, ou encore Charlotte Brives qui l'exprime au travers d'une ethnographie sur des levuristes (Brives, 2017). Et même Philippe Descola l'écrit à propos de la frontière entre humains et non-humains, malgré ses grandes ontologies et l'attribution générale du naturalisme aux sciences occidentales, nuanciant tout de même sur l'idée de retranscrire la pensée des sujets concernés : "Un sociologue des sciences peut bien encourir la critique de Latour s'il croit que les humains et les non-humains existent dans des domaines séparés, il n'en reste pas moins fidèle à l'une des dimensions de son objet ; un ethnologue qui penserait que les Makuna ou les Chewong croient une telle chose trahirait la pensée de ceux qu'il étudie" (Descola, 2005, p.163). Bruno Latour nous expliquait dans sa critique des modernes (en opposition aux prémodernes, catégorie elle-même construite par ces premiers) que nos sociétés occidentales n'ont sans cesse séparé ces catégories de nature et culture dans leurs discours, permettant de s'opposer aux prémodernes qui mélangent tout et ainsi asseoir leur supposée supériorité, alors que finalement, les modernes remélangent toutes ces catégories dans leurs pratiques (Latour, 2006 [1991], pp.24-25). Et Charlotte Brives, en s'appuyant sur ces propos, en déduit ainsi que ces Grands Partages restent présents dans les discours des scientifiques, mais pas dans leurs pratiques : "ils ne font pas ce qu'ils disent qu'ils font, ils disent maintenir la société et la nature clairement séparées, mais passent leur temps à produire des hybrides" (Brives, 2017, p.36). Comme nous le disent tous ces auteurs et autrices, l'anthropologie a ici la tâche de déceler les différences entre pratiques et discours, et révèle ainsi que ces dualismes et frontières peuvent effectivement se retrouver dans les discours scientifiques, mais beaucoup moins lorsqu'on s'intéresse à leurs pratiques.

Et je retrouve sur mon terrain ces réflexions, bien que les scientifiques soient ici conscients que leurs pratiques vont parfois au-delà de ces frontières, et ce notamment sur cette notion de bricolage. Leurs discours externes, dans leurs articles ou lors de conférences, peuvent continuer à entretenir ces frontières, comme celle des humains/non-humains par exemple. De par des normes du monde académique, et d'un élitisme parfois imposant, elles ne vont pas se vanter dans leurs articles de pratiquer le bricolage pour monter leurs expériences. De la même façon, lorsqu'Antoine va présenter son projet de recherche devant de grandes institutions pour demander des financements, il ne va pas mettre en avant cette notion de bricolage qui pourrait briser la vision romantique de ce que devrait faire un.e chercheur.e selon ces institutions. Pour les autres frontières qui sont comme une évidence pour la communauté biologiste internationale, on ne va pas se risquer à les briser dans un article pour se voir refuser la publication. Ce genre de discours qui mettent en branle les paradigmes bien ancrés de la biologie se doivent d'être bien armés s'ils veulent espérer être acceptés, ou au moins discutés. Mais leurs discours internes disent autre chose. Leur relation avec le bricolage, que ce soit par la pratique ou par ce qu'elles en disent, exprime le fait que la science

n'est pas qu'ingénierie. Elles utilisent souvent ce terme de DIY avec une fierté qui se sent. Réussir à produire de la science avec des bouts de ficelles est quelque chose qui semble les enchanter, mais qu'elles ne semblent pas mettre en avant lors des présentations de leurs travaux à leurs pairs, hormis lors de discussions informelles, hors du cadre établi par les formats officiels de présentations des travaux. Et au travers de ces discussions informelles avec des scientifiques extérieur.es à Emerg-ant, j'ai vite compris qu'elles étaient loin d'être les seul.es à user de ce bricolage. Donc pour ce qui est du partage entre bricolage et ingénierie, leurs pratiques ne semblent pas différer de leurs discours, en tout cas à petite échelle. Guillaume Pelletier, philosophe et historien des sciences biologiques qui dit lui aussi que "la distinction claire entre la rationalité de l'ingénieur et l'exploration bricoleuse du monde vivant est plus brouillée que l'on voudrait le croire", semble apercevoir dans le domaine de la biologie de synthèse (un domaine qui par son simple nom joue avec les frontières du vivant) que "certains éléments indiquent que la biologie de synthèse pourrait s'orienter vers une reconnaissance de cette dimension technique non réductible à la science. Il est de plus en plus admis que même les composantes standardisées fournies aux biologistes de synthèse ont généralement besoin de ce genre d'intervention bricoleuse lorsqu'elles doivent être assemblées dans un système complexe" (Pelletier, 2020, pp.162-163). Il s'appuie ici sur des articles spécialisés dans ce domaine venant de revues scientifiques telles que *Nature* et qui abordent ce sujet. On a donc là un exemple d'un discours scientifique à grande échelle qui assume depuis une dizaine d'années le fait que les pratiques diffèrent des précédent discours sur une frontière entre ingénierie et bricolage. Certain.es scientifiques cherchent ici à aligner leur discours à leurs pratiques, notamment pour les soutenir et ainsi gagner en efficacité car, comme ce sont ces pratiques qui sont couramment utilisées, autant leur donner de la valeur pour qu'elles puissent mieux fonctionner.

Les biologistes, y compris les membres d'Emerg-ant, semblent donc s'intéresser à ces frontières, et sont conscient.es que leurs pratiques sont telles qu'elles sont. Des pratiques basées sur les pensées de ces modernes qui excluent notamment la nature de leurs civilisations, basées sur une ontologie naturaliste qui entretient tous ces dualismes. Charlotte Brives, Bruno Latour et d'autres ont raison d'appuyer le fait qu'il faut faire la différence entre les discours et les pratiques, et les biologistes semblent le faire aussi d'elles-mêmes. Malgré une norme dans la présentation des résultats, et dans la manière de concevoir la biologie, la nature, les non-humains, etc, les discours au sein même de la biologie restent mouvants. Sur un autre sujet que l'ingénierie et le bricolage, Benoît Goetz nous explique d'un point de vue plus philosophique comment les biologistes s'emploient souvent à se mettre à la place des animaux qu'elles étudient, à appréhender l'*umwelt* d'un animal, et ainsi franchir cette frontière humains/non-humains (Goetz, 2007). En effet, on parle ici de pratiques. Les biologistes cherchent à se mettre à la place des animaux qu'elles étudient.

Mais la façon dont les membres d'Emerg-ant me parlent de cet *umwelt*, comme une chose primordiale en éthologie qui les pousse à concevoir leurs expériences autour de cette notion, semble indiquer que leur discours concorde avec cette pratique, bien qu'ielles ne le formalisent pas sous les termes de "franchir une frontière". Et Vinciane Despret le montre aussi en nous expliquant comment la réflexion biologiste a pu changer pour appréhender par exemple autrement le concept de territoire chez les oiseaux, bien que cette réflexion ne soit pas unanime (Despret, 2019). Il y a au moins autant de biologistes différent.es qu'il y a de pratiques différentes. Certain.es adaptent leurs discours, d'autres non.

Nous verrons par la suite que les membres d'Emerg-ant jouent aussi avec des frontières qui sont plus propres à leur travail, et que là aussi, il y a une distinction entre les discours et les pratiques. Les frontières que l'on pourrait penser comme évidentes entre les vraies fourmis et les fausses fourmis, entre les êtres biologiques et les êtres numériques, sont aussi parfois transgressées. Quittons alors les salles de manips pour aller maintenant dans les bureaux, la seconde section du CRCA bien distincte de la première, afin de passer à ces fourmis numérisées, et de commencer à aborder ce monde immatériel avec lequel les scientifiques d'Emerg-ant travaillent énormément.

II - Les fourmis numérisées et les scientifiques au bureau

Ici, pas d'insectes, ou en tout cas aucuns de vivants. En entrant dans le bureau d'Emerg-ant, on comprend très vite, même sans aucune culture scientifique, que le sujet tourne autour des insectes, et plus particulièrement des fourmis. En effet, une gigantesque fourmi dessinée en détail sur la fenêtre face à la porte frappe le regard dès l'entrée. Et le reste de la décoration n'est pas moins explicite : des dessins et photos d'insectes traînent sur les bureaux et sur les murs, et certains cadavres bien conservés sont exposés ici et là comme objets de curiosité. En plus des livres rangés dans les étagères qui ont des titres révélant le centre d'intérêt des occupant.es du bureau, on sait très vite où on met les pieds.

Contrairement aux salles de manips, pas de machines ou d'outils étranges, pas de matériel divers dont l'utilité reste flou pour les néophytes, seulement des ordinateurs, du papier et quelques tableaux blancs. Et pour un étranger au monde de la biologie, ce n'est clairement pas grâce à ce qui y est inscrit que l'on peut comprendre ce qu'il se passe dans ce bureau. Figures, courbes, formules et lignes de codes, autant d'inscriptions étranges et incompréhensibles qui ne permettent en aucun cas à l'anthropologue étranger de cerner le sens de leur contenu sans d'abord s'intéresser à d'où elles viennent. J'ai beaucoup parlé des outils qu'utilise l'équipe Emerg-ant pour faire leurs expériences sur les fourmis de laboratoire. C'est grâce à ces outils qu'ielles acquièrent des données, et non pas

grâce à leur œil comme j'ai pu le signifier plus tôt, et donc grâce à eux qu'ielles produisent des fourmis numérisées. Les données acquises lors des expériences sont numérisées et compilées pour reproduire numériquement ce qu'il s'est passé lors de ces expériences. Les fourmis numérisées sont donc l'ensemble de ces données réorganisées, qui sont ramenées au bureau pour reconstruire une partie des vraies fourmis dont elles sont issues sur les ordinateurs. On pourrait alors voir ces fourmis numériques comme une projection simplifiée de leurs homologues réels, comme un aplanissement des comportements, passant à une dimension inférieure.

a - Travail sur les données

Les données avec lesquelles ielles vont travailler sont principalement acquises grâce à l'ensemble *trackball* / logiciel d'acquisition. Cet ensemble rentre dans le cadre des "inscripteurs", longuement traités par Bruno Latour et Steve Woolgar (Latour et Woolgar, 2013 [1979], Latour, 1987) et qui désignent les appareils qui sont "capables de transformer une substance matérielle en un chiffre ou un diagramme" (Latour et Woolgar, 2013 [1979], p. 42). Ils empruntent ici au philosophe Jacques Derrida la notion d'inscription, qui "désigne une opération antérieure à l'écriture. Elle sert ici à résumer toutes les traces, tâches, points, histogrammes, nombres enregistrés, spectres, pics, etc" (Latour et Woolgar, 2013 [1979], p.35). Appliqué dans leur cas pour des appareils traduisant des protéines ou autres molécules en données, j'utiliserai ce terme de la même façon en considérant qu'ici, ils transforment des comportement en données. C'est pendant les phases d'expérimentation que les comportements des fourmis sont traduits en données par ces inscripteurs, en un langage exploitable et avec lequel les scientifiques peuvent travailler. Contrairement aux laboratoires des années 70 comme celui étudié par Bruno Latour et Steve Woolgar où l'inscription des données sur papier était un corps de métier spécifique, les scientifiques ont aujourd'hui bien souvent remplacé ces techniciens par des inscripteurs capables d'enregistrer numériquement les comportements, et de les inscrire directement dans des tableaux pré-classés. Les inscriptions ainsi rangées sont alors affichées sur les ordinateurs des scientifiques, outil de travail de prédilection qui permettra de manipuler ces données.

Mais les irréductibles papiers et stylos ne sont pas devenus pour autant totalement obsolètes. Déjà, le brouillon reste un outil de réflexion de base, et on voit toujours quelques feuilles volantes ou un cahier traîner aux abords de ces ordinateurs, affichant des inscriptions qui cette fois n'arborent pas la même organisation. Mais au-delà de ces classiques brouillons, les scientifiques d'Emergent font encore souvent appel à ces outils élémentaires sur le terrain pour transcrire leurs données. Comme il l'est signifié jusque sur leur site internet à propos de leur travail de terrain, "de

très nombreuses expériences peuvent être réalisées avec juste un tube, un stylo et du papier”⁸, et leur amour du terrain semble bien être en partie lié à cette simplicité, de la même façon qu’ielles sont attachées à leurs méthodes de bricolage. Ainsi, il leur arrive sur le terrain de recopier à la main les trajectoires empruntées par les fourmis lors de leurs expériences, et ces trajets seront ensuite scannés une fois de retour au laboratoire afin d’être traduits en coordonnées pour être exploitables numériquement (tâche fastidieuse où ielles doivent cliquer à la souris le long de chaque trajet). Mais revenons justement à notre laboratoire, où les “stylos et papiers” ne restent pas non plus exclus. Lors des expériences, les membres d’Emerg-ant rangent tous les individus testés sur une “feuille d’expérience” en suivant leur code couleur, ainsi que tous les paramètres appliqués sur chaque individu, sous forme de tableaux (*Cf Figure 2*). Ielles ne rangent ici pas les résultats de leurs expériences, mais seulement les conditions, leur permettant au besoin de noter des commentaires liés à un individu, un comportement particulier qui ne peut être relevé par les inscripteurs, mais aussi de s’y retrouver le temps de l’expérimentation, ainsi que de pouvoir comparer les données déjà numérisées par la *trackball* si la moindre vérification est nécessaire. On a donc ici un outil pratique, de détail, qui ne leur servira qu’indirectement à leur travail sur les données.

⁸ <https://antnavigation.wordpress.com/>

Exp N° 27**Marine**

Ant	RE	Gains	LE	Gains	BE	Gains	<u>Commentarie</u>
O/YG	3 RC	-1,5,3,B,0,-3,1	1 WC	5,0,B,-3,1,3,-1	2 WC	0,-1,5,B,3,1,-3	2 : 1mn30, freeze
O/YB	2 WC	B,0,5,-3,-1,1,3	3		1 RC	1,-1,3,B,5,-3,0	
O/YW	3 WC	3,-1,5,B,-3,0,1	2 RC	-3,1,0,3,B,5,-1	1 RC	5,3,0,B,-1,1,-3	1 : Dropped cookie
O/YS	3		1 RC	5,-1,3,1,0,B,-3	2 WC	-1,5,3,B,0,-3,1	
O/BG	1 RC	-3,5,B,0,1,-1,3	2 WC	0,B,-1,5,3,1,-3	3		Dead in the nest

Légende :

RC, WC = Refused cookie, Wanted cookie : Marine leur propose un bout de nourriture au moment où elle les pose sur la *trackball*

RE, LE, BE = Right eye covered, Left eye covered, Both eyes opened. Les chiffres dans ces colonnes correspondent à l'ordre dans lequel ces paramètres ont été appliqués.

freeze = la fourmi s'arrête de bouger. Lorsque cela arrive, ielles vont souffler rapidement dessus, ce qui généralement la remet en mouvement

Dropped cookie = la fourmi a lâché le *cookie* pendant l'acquisition

Figure 2 : Exemple de feuille d'expérience

De la même façon, les données numériques enregistrées par les inscripteurs sont rangées sous formes de tableaux. L'acquisition est lancée pour un individu et une condition, puis pour chaque condition, et on passe à un autre individu, créant une nouvelle ligne dans le tableau, voir un nouveau fichier de données. Reprenons ici l'exemple de l'expérience d'Océane lorsqu'elle devait masquer les yeux des fourmis à la peinture. Elle doit pour chaque fourmi testée faire une acquisition avec l'œil droit couvert, une autre avec l'œil gauche couvert, et une troisième avec aucun œil couvert, servant de témoin. L'ordre de ces paramètres est choisi de manière aléatoire afin de supprimer des biais potentiels lié à un ordre particulier, ou de les repérer si ces biais sont significatifs. Ensuite, au cours de chaque acquisition, qui dure environ 15mn, elle modifie le "gain"

de rotation, qui correspond à la façon dont la fourmi aura le contrôle de son environnement virtuel. Pour cette expérience, les fourmis n'ont jamais de contrôle de translation, c'est à dire qu'elles ne pourront pas se déplacer dans l'environnement, mais seulement tourner sur elle-même. Ce gain n'affecte pas les capacités mécaniques de la *trackball*, laissant donc la possibilité à la fourmi de se déplacer librement sur celle-ci, mais affecte les mouvements de l'environnement sur l'écran. Ainsi, un gain de rotation de 0 fixera l'image sur l'écran quels que soient les mouvements de la fourmi, un gain de 1 renverra à la fourmi une rotation de l'image qui correspond à ses mouvements réels, un gain de 2 fera tourner l'image deux fois plus vite que les mouvements réels, un gain de -1 inversera la rotation, etc... Les fourmis ne devant pas pouvoir effectuer de translation dans cet environnement pour cette expérience, le gain de translation est fixé à 0. On perçoit ici un peu mieux les contraintes qu'il est possible d'appliquer avec ce logiciel de réalité virtuelle et quels types de données sont ainsi produits. Océane applique pour chaque acquisition une série de différents gains, série identiques pour chaque individu testé, mais appliquée dans un ordre aléatoire là aussi. Une fois qu'un nombre suffisant de fourmis ont été testées, les données extraites de ces tests sont analysées. On essayera alors de trouver des règles caractérisées par ces données, cherchant à repérer comment les fourmis ont répondu à la question posée par l'expérience. Sur cette expérience, et sans trop rentrer dans les détails, la question était de savoir s'il y avait un lien entre les oscillations de la fourmi (ses rotations régulières), et son champ de vision disponible : pour faire simple (voir grossier, car pour en arriver à cette expérience, il lui a fallu prendre en compte des mécanismes neurologiques et écologiques complexes liés aux déplacements de la fourmi), est-ce que si la fourmi voit plutôt à droite, elle tournera plus à droite ?

Les données ainsi inscrites et rassemblées représentent UN aspect, une facette d'un comportement. Chaque série de données est donc la copie numérique d'une portion de vraie fourmi, la version numérisée de ce qu'elle a accompli durant l'expérience, contrainte par les conditions qui lui ont été imposées. Et ce sont ces fourmis numérisées qui serviront de médium de travail, sous forme d'un langage informatique, et qui subiront les manipulations mathématiques des scientifiques grâce à des logiciels de codage informatique spécialisés dans les manipulations statistiques (le plus utilisé chez cette équipe s'appelle "R"), afin de justifier les résultats que les scientifiques apportent. Les données numérisées étant toutes chiffrées, puisqu'elles sont représentables soit par des coordonnées, soit par des quantités, on pourra y appliquer toutes sortes de manipulations mathématiques plus ou moins complexes, et ainsi construire des modèles statistiques. Typiquement, le type de modèle statistique le plus basique est de chercher une moyenne ou une médiane par exemple, donnant une information sur le paquet de données, mais sans décrire une relation entre différentes variables. Ensuite, de nouvelles transformations sont nécessaires pour répondre aux questions posées par les scientifiques. Concrètement, elles représentent par exemple leurs données

en un nuage de points, placés sur des axes correspondants aux grandeurs qu'elles ont mesurées lors de l'expérience, permettant alors de montrer une relation entre différentes variables. Elles vont ensuite essayer de décrire cette relation en cherchant une droite, ou une courbe, qui va passer le plus proche de ces points, correspondant le plus classiquement à un modèle linéaire. Ce modèle va ainsi décrire la relation entre les différentes variables de l'expérience. Par exemple, trouver une droite va indiquer une relation de proportionnalité entre les deux variables. Ce type de modélisation est une base pour tout ce qui appelle à faire des études statistiques sur n'importe quel sujet, quelque chose que l'on apprend très tôt dans les formations correspondantes. Bien souvent, les scientifiques ont des hypothèses sur ce que vont être les réponses apportées par ces modèles avant même de démarrer leurs expériences. Et le but des expériences est finalement de démontrer ces hypothèses, ou bien de les invalider. Léo, doctorant depuis trois ans dans l'équipe et qui aura d'ailleurs terminé sa thèse au moment où vous lirez ces lignes, m'expliquait comment elles pouvaient procéder en me prenant un exemple hors contexte mais simple : celui de la culture du maïs. La question est de savoir si l'ajout d'un engrais a un effet sur la pousse de la plante :

“Quand t'arrives sur le terrain, t'as des hypothèses, et c'est ces hypothèses que tu vas vérifier statistiquement. Ces hypothèses vont te permettre de *designer* un set-up expérimental. Ma question c'est est-ce que l'engrais a un effet sur ma culture ? Ton set-up expérimental ça va être : ok je vais prendre un champ où je vais mettre de l'engrais, un autre champ, je vais pas mettre d'engrais. Et la façon de le prouver c'est que t'as une hypothèse nulle : y'a pas eu d'effet ; et une hypothèse alternative, y a eu un effet. Et ensuite tu fais soit des stats, entre guillemets classiques, de comparaison de moyenne, soit si tu veux des modèles un petit peu plus chiadés, tu vas faire des modèles linéaires et tout ça, qui peuvent prendre en compte plusieurs variables. Typiquement, tu veux peut-être contrôler que ton champ de maïs, il a eu le même taux d'exposition de soleil, donc ça tu vas le mesurer, et tu vas pouvoir le mettre dans ton modèle. Et en fait ça se trouve à la fin, c'est que l'ensoleillement qui va jouer, et pas du tout ton engrais. Donc tu vas jouer comme ça en fait. Et c'est une simplification de la réalité parce que tu vas quand même prendre qu'un certain nombre de données. Tu peux pas tout relever de la variabilité de la nature, donc ton modèle statistique, c'est déjà une simplification aussi tu vois. Et tu choisis les paramètres selon ce qui te semble être pertinent.”⁹

On retrouve ici l'idée de base de ce qu'est un modèle : une simplification de la réalité. Comme on le voit dans l'exemple que m'a donné Léo, il n'est pas possible de relever tous les paramètres que

⁹ Entretien avec Léo du 30 novembre 2022

l'environnement présente. Les paramètres choisis seront donc de fait loin d'être exhaustifs, ce qui engendre une version simplifiée, édulcorée de la réalité, mais qui doit rester en partie représentative de cette réalité, ou tout du moins représentative des paramètres influant sur le phénomène que l'on étudie. Et cette simplification se fait dans le cas des modèles statistiques par le choix des paramètres à mesurer, en fonction des questions que l'on se pose, mais aussi des réponses que l'on pense pouvoir y apporter.

Mais comme il nous l'explique, des transformations plus complexes peuvent être nécessaires pour répondre à certaines questions. Il me donne ici un exemple lié à leur travail :

“Par exemple sur les oscillations [les fourmis ont une tendance à osciller dans différentes situations, notamment lorsqu'elles cherchent leur chemin], on a des données de trajectoire, mais en tant que tel ça répond pas à ma question : est-ce que les fourmis oscillent régulièrement ? Donc faut trouver une métrique descriptive pour arriver à le montrer. Et typiquement, dans l'analyse de signal, pour voir si quelque chose est régulier ou pas, au niveau des oscillations, tu fais une *Fourier* [type de transformation mathématique très utilisée dans beaucoup de domaines qui révèle le *spectre* d'un *signal*, révélant notamment si la fonction de départ est périodique ou pas]. Et donc là, en ce sens, c'est pas que tu transformes tes données, tu extraies une métrique de second ordre dans tes données, au même titre qu'une moyenne, une médiane.”¹⁰

On comprend ici que lorsque les scientifiques mettent en place leurs modèles statistiques, elles choisissent, à taton ou plus directement si le choix est évident, un type de transformation mathématique qui permettra d'extraire une grandeur particulière de leurs données, et ainsi répondre à leur question de départ.

On retrouve alors une forme de vision professionnelle dont j'ai déjà parlé plus tôt dans le contexte des expérimentations. Mais ici, il semble bien plus important d'avoir cet “œil instruit” dont nous parlent Barbara Pentimalli et Charlotte Brives notamment. Savoir, à partir de l'imagerie que procure les ordinateurs, repérer des résultats significatifs face à ces nuages de points, leur permet d'anticiper les lois mathématiques qui les décrivent au mieux, et ainsi les appliquer pour révéler les règles qui régissent les données récoltées par les inscripteurs. En manipulant ces données, elles apprennent à repérer des saillances visuelles, afin d'en extraire des résultats, et les mettre en forme pour qu'ils soient lisibles et compréhensibles par d'autres (*Cf Figure 3*). On apprend aussi pendant les formations des étudiant.es à lire ces mises en forme, ces courbes et diagrammes pour en comprendre le sens et ce qu'ils contiennent comme informations.

¹⁰ Entretien avec Léo du 30 novembre 2022

L'image ci-dessous (Cf Figure 3) a par exemple pour but de représenter le fait que “les fourmis avec un gain de 0 se comportent de manière similaire que quand elles sont avec un gain négatif” (Dauzere-Peres, Wystrach, 2023). Difficile d’obtenir cette conclusion lorsqu’on observe simplement les figures A et B de cette image, vu qu’elles affichent des résultats qui semblent assez

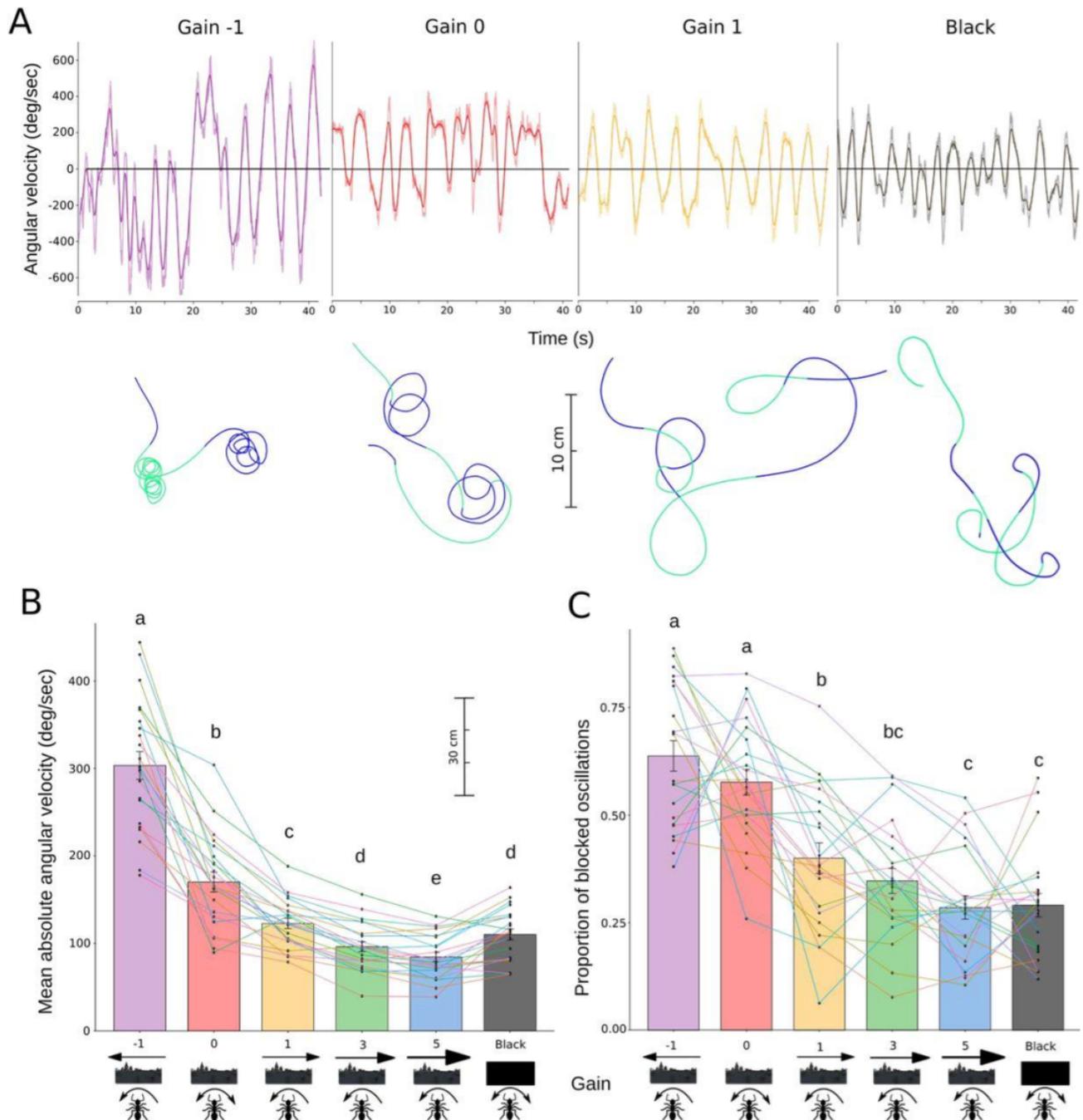


Figure 3 : Image titrée “Ants with a gain of 0 behave similarly than when they are with a negative gain” extraite d’un article d’Océane. Source : Dauzere-Peres, Wystrach, 2023

différents entre les fourmis soumises à un gain négatif et celles soumises à un gain de 0. Mais Océane, qui a produit cette image pour un article dans le cadre de sa thèse, a su repérer dans les trajectoires (dont on voit des exemples sur l’image) que les fourmis avec un gain de -1, comme avec un gain de 0 ont une tendance à bloquer leurs rotations, tournant continuellement dans le même

sens. Elle s'est ainsi employée à montrer ce phénomène grâce à un modèle statistique qui lui a permis de produire la figure C, montrant effectivement que les fourmis soumises à ces deux conditions ont une proportion à bloquer leurs oscillations significativement plus proches que pour les autres conditions, et ainsi justifier sa conclusion que ces deux conditions entraînent un comportement similaire.

b - Produire des résultats grâce à ces fourmis numérisées pour les partager

Ces modèles statistiques ont donc une vocation descriptive, mais aussi démonstratrice. Comme un langage permettant aux scientifiques de se comprendre au travers des descriptions des relations entre différentes variables, s'expliquant les un.es les autres au travers de ces figures comment ielles ont atteint les conclusions proposées. Un langage qui permet de produire des résultats, et de les démontrer, apportant alors des réponses à leurs questions de départ.

Et ce sont à partir des fourmis numérisées qu'ielles produisent ce langage. Ielles les exploitent, d'abord sous forme de données brutes, simplifiées en suites de chiffres classées relativement à des conditions choisies, pour ensuite reconstruire les comportements qui ont été enregistrés par les inscripteurs. La montée en complexité de leurs manipulations permet alors de relever des comportements plus précis, produisant des reflets partiels des fourmis de laboratoire. Je reprends alors ici l'image de cet aplanissement : on passe d'êtres complexes, en 3D – les fourmis de laboratoire – à des être moins complexes, retranscrits en 2D – les fourmis numérisées – ciblant alors des aspects particuliers, dans des conditions particulières, du comportement de cette première catégorie.

Ces opérations les mènent alors à produire des résultats qu'ielles pourront partager, puisqu'ils sont désormais traduits en ce langage scientifique. Ce sont en effet principalement ces fourmis sous forme numérisée qui sont discutées dans les articles ou lors de tout type de conférence. D'abord en interne, grâce à la collaboration qu'il y a entre les membres d'Emerg-ant. Chaque doctorant.e ou stagiaire mène ses propres expériences liées aux questions de départ qui leurs sont propres, mais collaborent tout de même. Travaillant sur ces fourmis numérisées dans le même bureau, ielles échangent facilement sur leurs difficultés, demandent des conseils, se partagent des outils statistiques ou des manières de les construire grâce au langage informatique... Qui plus est, Antoine, le directeur de recherche, passe plusieurs fois par semaine avec pour seul but de suivre leurs avancements et de les aider si ielles en ont besoin. Des conversations spontanées ont alors souvent lieu dans ce bureau, où les scientifiques discutent de leurs projets respectifs, font des liens entre leurs réflexions, et partagent tout ce qui pourrait aider à l'avancement de chacun et chacune.

Il semble aussi que lors des expéditions de terrain, les expériences sont bien plus collaboratives, et le partage au quotidien est bien plus important au vu du simple fait qu'ielles vivent ensemble pendant plusieurs semaines. Malgré mon absence sur ce terrain, ce sont des choses qu'ielles m'ont souvent exprimé, faisant alors les louanges du travail en équipe, et des moments particuliers qu'ielles peuvent partager lors de ces "petites aventures". Un ensemble de circonstances qui participe au fait qu'ielles ont le sentiment que c'est sur le terrain que leur recherche est la plus productive. De plus, les articles sont d'abord relus entre eux et elles avant d'être soumis à la publication, et principalement pour le directeur de recherche pour qui il est primordial de lire ce que produisent ses étudiant.es et de les aider à l'améliorer, les ayant accompagné.es tout le long de cette production.

Mais au-delà de cette informalité du quotidien, des moments plus formels les amènent à partager ces résultats de manière plus organisée. De temps en temps, le groupe de recherche se rassemble dans une petite salle de réunion pour organiser des "journal club". Accompagné.es de quelques bières afin de garder une atmosphère détendue malgré l'officialité de la chose, ielles partagent leurs résultats les plus récents au travers d'exposés avec des diaporamas comme support. L'objectif est, au-delà de se tenir au courant du travail accompli par les collègues, de discuter ces résultats, et de réfléchir ensemble à comment aller plus loin. Ielles discutent ainsi, a posteriori de chaque exposé, de potentielles expériences qui permettraient de continuer à avancer, où de différentes approches statistiques qui permettraient de tirer certaines conclusions des manipulations des données.

Puis ce partage se poursuit en externe, à différentes échelles, et ici principalement de manière organisée. Au sein du CBI, différentes occasions ont lieu pour les scientifiques de présenter leurs résultats sous forme d'exposés, que ce soit des réunions d'équipe (l'équipe à l'échelle supérieure d'Emerg-ant, qui n'est en fait qu'un projet de recherche qui est sous la direction d'une équipe comprenant plusieurs de ces projets), ou lors de "talks" organisés ponctuellement dans les salles de conférence du CBI. Il y a aussi des discussions informelles, mais elles sont bien moins présentes qu'au sein du groupe Emerg-ant, puisqu'à cette échelle, les scientifiques ne passent pas autant de temps ensemble. Mais Antoine a depuis quelques mois rendu plus fréquentes ces occasions. Il organise pour cela une fois par mois des "CRCApéros", où durant une heure, des membres du laboratoire défilent en faisant des exposés de huit minutes sur leur travail, et où il n'y a pas de temps consacré aux classiques questions post-présentation. Le public est alors incité à réserver ces dernières pour un second temps : autour d'un apéro. Antoine cherche ici à mettre en valeur ces temps informels pour discuter du travail de chacun.e, désignant avec humour la boisson comme "lubrifiant social". Je ne serais pas capable de m'avancer sur l'efficacité de ces rencontres

en termes de partage des résultats, mais ce qui est sûr c'est que cela crée du lien, et il l'avoue lui-même, c'est plutôt cet objectif qui est recherché.

Le partage des résultats continue ainsi jusqu'à l'échelle internationale, que ce soit lors de séminaires où les membres d'Emerg-ant se propose de participer dès qu'ielles pensent que leur présence est pertinente – plutôt réservés aux doctorant.es et chercheur.es, Léo a par exemple l'année passée participé à un séminaire en Californie, et un autre au Portugal – et bien sûr au travers des articles, la forme la plus aboutie et la plus valorisée.

Mais ces fourmis numérisées ne sont pas les seules à jouer un rôle dans la production de leur science, bien que ce soit surtout elles qui soient présentées. Les membres d'Emerg-ant se servent aussi beaucoup de modélisations plus complètes, semblables à des simulations, où ielles construisent ici de toutes pièces des êtres numériques grâce au langage informatique.

III - Les fourmis numériques et les scientifiques toujours au bureau

Ces fourmis numériques sont donc issues de modèles informatiques que les scientifiques créent de toutes pièces. Ces simulations servent d'outil de compréhension, comparant les comportements des fourmis de laboratoire analysés grâce aux modèles statistiques à ceux des fourmis numériques dans des situations similaires. A partir de connaissances déjà acquises lors d'observations et d'expériences, ou grâce aux travaux d'autres scientifiques, ces modèles sont construits grâce à des algorithmes qui appliquent certaines règles pour obtenir un comportement particulier, reproduisant ainsi les situations dans lesquelles les vraies fourmis sont introduites lors des expériences.

a - Quels objectifs ?

Le but de ces modèles est de comprendre les mécanismes des comportements étudiés. En tentant de reproduire ces comportements, on cherche à savoir quelles sont les règles qui poussent à tel ou tel comportement. Si une fourmi numérique n'agit pas de la même manière qu'une fourmi de laboratoire dans une même situation, on déduira que les règles instaurées dans la modélisation ne sont pas représentatives de la réalité. Au cours d'un entretien, Léo, qui après trois ans de thèse a produit plusieurs de ces modèles, a su me distinguer deux objectifs différents pour ces modèles, deux types de modélisation qui n'ont pas la même fonction :

“T'as un modèle descriptif qui va essayer de comprendre qu'est-ce qui influe sur ton comportement, et un modèle mécanistique qui va essayer d'expliquer comment ton comportement il émerge depuis le cerveau.”¹¹

Pour le premier type, le modèle descriptif, on cherche à reproduire un phénomène, un comportement qui émerge de mécaniques neurales, sans chercher à reproduire cette mécanique. On conçoit seulement ce qui nous intéresse pour répondre à la question de départ. On peut se servir d'un objet dont on connaît la fonction, sans forcément connaître son fonctionnement (ou même si on le connaît, on ne s'y attarde pas). En somme, on utilise des boîtes noires pour comprendre un comportement, sans chercher à expliquer ce qu'il y a dans cette boîte noire : “genre le cerveau on sait qu'il fait ça, donc on va le modéliser comme ça et on s'en fiche de la boîte noire dedans”¹². Ielles appellent aussi ce type de modélisation un *toy model*. Léo me l'explique plus précisément lorsqu'on aborde leurs travaux sur les oscillations des fourmis :

“Là ce qu'on a fait c'est juste un *toy model*, c'est à dire que c'est un *proof of concept* qui est basé sur ce qu'on connaît un petit peu, mais qui n'a pas prétention à reproduire tous les comportements dans leur finesse. Typiquement nous on a les oscillations des fourmis, et ça on a montré expérimentalement que c'était produit à l'intérieur du corps de l'animal, c'est le cerveau qui va dire de manière régulière "tourne gauche, tourne droite, tourne gauche, tourne droite, tourne gauche, tourne droite...". Et au-dessus viennent se greffer des stratégies de plus haut niveau, où ça va être modulé par exemple par la familiarité ou des choses comme ça. Nous notre *toy model* c'est vraiment juste pour dire : ok, on sait que y'a des sorties motrices dans le cerveau, et que au vu de l'architecture ça pourrait être apte à faire du gauche-droite.”¹³

Ces *toy models* ont donc vocation à reproduire un comportement de la manière la plus directe possible, en réduisant la problématique à ‘on veut que ça fasse ça’, et pas ‘pourquoi ça fait ça’. On cherche donc simplement à vérifier, par un “*proof of concept*”, que l'on a bien compris ce qui pousse les fourmis à avoir tel comportement dans une situation donnée, que ce soient des processus neurologiques, ou des influences de l'environnement. Si le modèle ne correspond pas à la réalité, c'est que les éléments que l'on pensait jouer un rôle dans ces comportements ne sont pas les bons, ou bien qu'il en manque.

¹¹ Entretien avec Léo du 30 novembre 2022

¹² *Ibid.*

¹³ *Ibid.*

Le deuxième type de modèle, celui qui est mécanistique, a lui pour objectif de comprendre 'pourquoi ça fait ça'. On va ici essayer de reconstruire des parties de l'architecture du cerveau, afin de reproduire des comportements, de les faire émerger du modèle, de la même façon qu'ils émergent chez les vraies fourmis, grâce à l'architecture de leur cerveau. On n'essaye donc pas ici de reproduire directement un comportement, mais de faire en sorte que les comportements se construisent tout seuls, de par la logique de la construction du modèle : "le cerveau, on sait qu'il est *wire* [entendre ici câblé, construit] comme ça, est-ce qu'on arrive à reproduire la diversité de comportements avec ce type d'architecture ?"¹⁴. On veut ici reproduire ce que l'on connaît de la réalité, pour observer si ce que fait le modèle correspond à cette réalité, et ainsi vérifier si on a bien compris comment est construit le cerveau. On ne cherche plus seulement à comprendre ce qui pousse les fourmis à agir ainsi, mais plutôt comment elles y sont poussées.

Léo prend l'exemple du travail de Ludo, stagiaire de master en informatique. Il a été intégré dans l'équipe avec pour objectif de créer un modèle mécanistique afin de comprendre comment les fourmis peuvent reconnaître des environnements, ou comment certains éléments de leur cerveau jouent un rôle dans la reconnaissance d'endroits familiers. N'expérimentant jamais sur les fourmis de laboratoire, il s'est consacré pendant son stage à produire ce modèle, et sa question de départ le forçait à rentrer dans le détail de l'architecture d'une partie du cerveau :

"La question de Ludo c'était est ce que avec l'architecture du cerveau de l'insecte, et comment ça fonctionne, on arrive à créer des *place cells* [pour faire simple, des cellules qui permettent de reconnaître un endroit familier en particulier] ? Donc là t'es obligé d'aller dans le détail des compartiments du cerveau, comment c'est connecté"¹⁵.

Etant donné que personne n'a pu reproduire le cerveau d'une fourmi dans sa totalité car bien trop complexe, on ne peut s'appuyer sur un modèle exhaustif déjà existant pour répondre à une question en particulier. Ludo cherche donc à reproduire une partie de ce cerveau, seulement quelques mécanismes parmi d'innombrables autres, connectés à d'autres parties du cerveau qui ont leurs propres fonctions. Ces mécanismes secondaires, étant nécessaires au bon fonctionnement de ce que l'on souhaite reproduire, pourront alors encore une fois être utilisés comme des boîtes noires : on reproduira leur fonction, mais pas leur architecture. Ludo n'a par exemple pas reconstruit l'ensemble de l'architecture des éléments du cerveau liés au traitement des informations visuelles. Il s'est concentré sur ce qui importait pour expliquer les mécanismes liés à la familiarité de l'environnement, mais ne pouvait pas pour autant concevoir son modèle sans y intégrer l'ensemble de ces fonctions liées à la vision de la fourmi. Si ses fourmis numériques ne voient rien, elles ne

¹⁴ Entretien avec Léo du 30 novembre 2022

¹⁵ *Ibid*

risquent pas de reconnaître quoi que ce soit. Il lui fallait donc reproduire une fonction leur permettant de voir, sans pour autant reproduire son fonctionnement réel. La construction de ces modèles est donc compartimentée : un de ces compartiment sera celui qu'on souhaite étudier, et on reproduira alors son architecture, et les autres ne seront que des fonctions, sans chercher à détailler leur fonctionnement.

b - Utilisation de ces modèles

Ici, le modèle de Ludo ne sera pas comparé aux expériences, c'est seulement un modèle théorique qui propose une explication. Mais les autres membres de l'équipe qui expérimentent font aussi des modèles numériques, et comme on l'a vu, elles les construisent pour les comparer à leurs observations sur les vraies fourmis. Une phrase que j'ai entendu plusieurs fois et qui semble être une base dans l'utilisation de ces modèles est que "les expériences nourrissent les modèles et les modèles nourrissent les expériences"¹⁶. Ces simulations vont donc principalement servir à comparer ce que l'on observe dans la réalité, et ce qui se passe lorsqu'on reproduit un comportement grâce à des algorithmes. Dans un sens, ils permettront d'expliquer les observations issues de l'expérience, et dans l'autre, à prédire ce qu'il peut se passer si on met un individu dans telle ou telle condition grâce à une architecture qui fera émerger des comportements, et ainsi adapter les conditions de l'expérience pour observer ces comportements. Léo me décrivait ce travail comme une boucle :

"Tu vas avoir ton modèle [...] qui va te donner des résultats, et si t'as déjà fait une expérience, tu vas pouvoir valider ou invalider déjà ton modèle à cette étape là. Si c'est validé ben tu continues, et typiquement ton modèle tu vas le placer dans une situation que t'as pas encore expérimentalement testé. Et ça va te donner des prédictions expérimentales et tu vas pouvoir faire une expérience qui va pouvoir valider, et là dans ton expérience tu vas voir si ça refait comme le modèle, ou pas, et tu vas pouvoir réajuster ton modèle, et faire cette boucle indéfiniment quoi."¹⁷

Et parfois, ces prédictions ne sont pas attendues, et un simple *toy model* peut finalement prédire des phénomènes auxquels les scientifiques n'avaient pas pensé. Léo me raconte une anecdote sur un de ses modèles où il cherchait à reproduire les mouvements d'oscillations dans les déplacements des fourmis :

¹⁶ Extrait du carnet de terrain du 19 mai 2022

¹⁷ Entretien avec Léo du 30 novembre 2022

“Mon modèle, il avait pas le but de faire de prédiction, clairement. Même si bizarrement, on a réussi à en sortir avec. Genre un truc qu'on s'attendait pas, on parlait d'optimisation [des trajets], [...] et en fait on a remarqué que, aux fins des virages, y'avait des pauses, et c'est là où tu [la fourmi] passais le plus de temps. Donc t'as une vitesse faible, et quand tu redémarras ton virage c'est là où tu passes en direction du but, et c'est là où t'accélères. Donc ça optimise le mouvement en avant, et en fait le modèle il refaisait quand même la même chose, sans mettre de hautes stratégies au-dessus [donc sans avoir à construire une architecture qui induirait ces hautes stratégies]. Du coup on a eu une petite prédiction faite par le modèle qu'on a pu vérifier dans nos données, et vice-versa quoi, et qui valide un peu le modèle.”¹⁸

Ici, Léo ne cherchait pas à faire émerger des comportements à partir d'une architecture neuronale, et pourtant il a pu observer chez ses fourmis numériques un comportement qu'il n'avait pas repéré chez les vraies fourmis. Cette observation inattendue l'a poussé à chercher ces informations dans les données qu'il avait acquises auprès des fourmis de laboratoire en y appliquant de nouveaux modèles statistiques. Cette nouvelle analyse lui a permis de montrer que ce qui se produisait dans son modèle se produisait aussi dans ses expériences. Ce genre d'événement montre de plus qu'un modèle est solide, et qu'il décrit relativement bien la réalité. Pour ces *toy model* qui sont des modèles descriptifs, cette solidité tient donc à la qualité de cette description. Et lorsqu'elle va au-delà des premières attentes, elle conforte le ou la scientifique dans l'idée que son modèle a été pensé correctement.

On a donc ces modèles descriptifs qui sont d'abord utilisés pour reproduire et confirmer les observations issues des expériences. Et parfois, ils outrepassent leur objectif initial. Les modèles mécanistiques vont quant à eux directement servir à prédire le comportement des vraies fourmis. Les prédictions ainsi vérifiées vont permettre de comprendre les mécanismes qui entrent en jeu dans l'émergence d'un comportement. Si la simulation colle à la réalité, c'est que les mécanismes reproduits dans le modèle semblent être les bons, sinon, c'est qu'il en manque, ou qu'ils n'ont pas d'importance dans ce comportement.

Pour parler cette fois de ce deuxième type de modèle, je vais prendre un exemple de comparaison entre un modèle et une expérience que Léo a repris jusque dans sa soutenance de thèse. C'est lors de cette soutenance que cet exemple m'a frappé comme étant très parlant de l'utilité que peut avoir un modèle de ce genre, et j'ai donc souhaité le reprendre ici. Mais rentrons ici un peu dans le détail de l'expérience qui y est liée et qu'elles ont effectuée sur le terrain. Afin

¹⁸ Entretien avec Léo du 30 novembre 2022

d'observer le comportement des fourmis lorsqu'elles se trouvent écartées du trajet qu'elles empruntent entre une source de nourriture et leur nid, les expérimentateur.ices attrapent une fourmi sur ce trajet pour la placer dans une zone délimitée qu'elle ne connaît pas, et la laissent tourner jusqu'à ce qu'elle atteigne la périphérie de cette zone par hasard pour la remettre sur son trajet. Elles réitèrent ensuite cette opération avec la même fourmi et la même zone. Les scientifiques voulaient ici vérifier si la fourmi est capable après quelques-unes de ces itérations d'atteindre cette périphérie plus efficacement pour se retrouver sur le trajet de son nid. Et c'est ce qu'il se passe. Dès la deuxième itération, la fourmi reconnaît la zone et se rappelle que c'est en atteignant un certain point qu'elle a par la suite pu rejoindre son nid. Elle optimise alors son trajet pour rejoindre ce point en périphérie et ne rentre plus dans une phase de recherche, elle sait désormais où elle va.

Les scientifiques ont par la suite conçu un modèle informatique qui décrit le fonctionnement de cette mémoire, reproduisant les éléments du cerveau qui selon eux et elles entrent en jeu dans ce comportement qu'elles ont pu observer chez les fourmis de terrain en se basant sur leurs expériences passées, et sur la littérature scientifique sur le sujet. Mais une fois ce modèle construit, les fourmis numériques qui en furent issues ne se comportaient pas comme les fourmis de terrain. Ici, à chaque fois, les fourmis entrent en phase de recherche et n'optimisent pas leurs trajets vers la périphérie. La mémoire de ces fourmis est ici inhibée, alors que ce n'est pas le cas chez les vraies fourmis. Les résultats de ce modèle les ont poussé.es à déduire qu'il devait y avoir d'autres mécanismes en jeu pour que cette mémoire ne s'inhibe pas, mais lesquels ? D'autres expériences ont alors été pensées pour tester ces mécanismes et ainsi améliorer leur modèle, ce qui devrait leur permettre de comprendre comment le cerveau de la fourmi permet ici de ne pas inhiber la mémoire. Elles savent cependant, après différentes tentatives, que leur système de Réalité Virtuelle ne permet pas de travailler sur la mémoire visuelle, probablement à cause du manque d'UV comme je l'expliquais lors de la description de ce "set-up". Ne pouvant pas aller sur le terrain à volonté pour faire de nouvelles expériences en conditions réelles, c'est pour réfléchir à ces problématiques de mémoire que Léo et Joris ont conçu le "set-up" impliquant la polarisation de la lumière UV que j'ai aussi décrit plus tôt. Ils cherchaient en fait à savoir ce que l'équipe est capable de faire en laboratoire pour répondre à ces questions.

On a donc ici une expérience qui a permis de concevoir un modèle, qui lui-même a nourri la conception de nouvelles expériences, et qui à leur tour permettront d'améliorer le modèle. Une boucle, comme me le décrivait Léo, qui a déjà donné des résultats, et dont la progression reste à suivre.

Les scientifiques se servent alors de ces modèles dans leurs articles et leurs présentations pour appuyer leurs arguments, mais aussi pour montrer les limites des déductions qu'elles ont pu

faire grâce aux expériences, et éliminer des possibilités dans les mécanismes des comportements. Typiquement, l'exemple que j'ai ici décrit leur permet de prouver que les éléments du cerveau qu'elles ont reproduits dans leur modèle ne suffisent pas à la fourmi pour se rappeler de ses trajets en toute circonstance. Reste encore à explorer quels sont alors ces mécanismes.

B - Comment les scientifiques agissent et collaborent avec ces fourmis ?

I - Fourmis de laboratoire

a - Individualisation des vraies fourmis et relations directes

Comme on l'a vu, les scientifiques peignent les fourmis en respectant un code couleur, ce qui leur permet de les reconnaître. Mais au-delà de ça, les scientifiques savent repérer des comportements saillants, et apprennent à repérer un comportement particulier qui sera bénéfique au déroulement de l'expérience, ou au contraire, le ralentira. Une fourmi qui fait de nombreux allers-retours pour ramener de la nourriture au nid sera vite considérée comme "déter", motivée, et sera une candidate de choix pour être testée. Océane avait ainsi pour une expérience retenu une fourmi qui accomplissait les tâches demandées avec une grande efficacité. Chaque jour, elle attendait sa sortie du nid pour expérimenter sur elle dès que c'était possible. Mais après plusieurs jours sans la voir apparaître, elle commençait à s'inquiéter et ouvrit la colonie pour la chercher. En cherchant son code couleur spécifique, elle finit par trouver son cadavre. Elle fut ainsi très déçue de la découvrir ainsi, car les données qu'elle avait acquises grâce à cet individu efficace ne servait maintenant plus à rien, puisqu'elle n'avait pas eu le temps de faire tous les tests requis sur cette fourmi. Double peine donc : des données perdues, et une fourmi motivée disparue. Mais au-delà de ce code couleur, les scientifiques peuvent être capables de reconnaître un individu en particulier grâce à son comportement, rendant le marquage à la peinture presque accessoire :

"Quand tu commences à peindre les fourmis individuellement, très très vite tu les reconnais pas à la couleur mais au comportement. La peinture ça a été juste une sorte d'échafaudage, ça permet de savoir « ah oui c'est celle-là, c'est celle-là », mais après l'avoir vue 4, 5 fois, et d'avoir interagit avec elle, tu la reconnais d'hyper loin à où elle va se positionner, comment elle se déplace, et là tu vois vraiment des personnalités qui sortent quoi"¹⁹

¹⁹ Entretien avec Antoine, 18 mai 2022

Antoine va jusqu'à utiliser le terme de personnalité, exprimant clairement une individualisation des fourmis. Ainsi, bien que cela ne serve pas directement au protocole de l'expérience, elles finissent par repérer les fourmis individuellement en travaillant avec elles, et en dégagent des personnalités propres à certains individus. Cette pratique peut s'intégrer dans les théories de Goodwin sur les visions professionnelles : la catégorisation de ces comportements et personnalités ressemble à un "système de codage" (Goodwin, 1994), organisant les fourmis et leurs comportements en "objets de connaissance" (*Ibid.*). Ces comportements sont "mis en lumière" (*Ibid.*), et explicités : "où elle va se positionner, comment elle se déplace", et le marquage des fourmis jouera sur cette catégorisation, servant de "production et d'articulation de représentation matérielle" (*Ibid.*), les aidant à repérer ces individus, puis oublié pour laisser place à la reconnaissance de la personnalité.

La personnalisation de certains individus que l'on reconnaîtra par son comportement (ou par défaut grâce à la peinture) créera un attachement envers ces individus si son comportement est positif pour l'expérience, ou à l'inverse, un détachement s'il est négatif. Une fourmi "déter" sera appréciée, tandis qu'une fourmi agressive, qui ne cesse de mordre lors des manipulations, ralentissant l'expérience, sera dépréciée, comme la fourmi "fainéante" qui n'accomplit pas les tâches qu'on attend d'elle. Une empathie envers ces fourmis apparaît alors lorsqu'on leur fait "subir" certaines expériences, et cette empathie dépend du comportement attendu pour l'expérience scientifique. J'entend ici l'empathie de la même manière que Catherine Rémy : "comme la tentative de s'identifier à l'animal qui est alors perçu comme un être intelligent" (Rémy, 2009, p.13), et pour aller plus loin, de ressentir une certaine compassion envers l'animal. Un comportement qui dessert l'expérience, menant donc à un détachement envers la fourmi, tendra vers une "distance objectivante" (*Ibid.*). "L'alternative entre empathie et distance objectivante, comme l'ont souligné Christian Bessy et Francis Chateauraynaud, « est un problème posé aux acteurs eux-mêmes : les personnes seraient capables de passer d'un régime à l'autre selon leurs préoccupations pratiques »" (Bessy et Chateauraynaud, 1995 *in* Rémy, 2009, p.13). Ce rapport empathique ou distancié semble donc dépendre de l'intérêt de l'expérience. Mais pas seulement, car l'empathie dépasse l'échelle de l'individu et semble être présente de manière constante lorsque les scientifiques considèrent les fourmis cobayes dans leur ensemble. Lors d'une expérience menée par Océane, où elle modifie dans l'arène VR la façon dont va se déplacer l'environnement par rapport aux mouvements de la fourmi (par exemple, un paramètre était de faire tourner l'environnement dans le sens inverse de ce que fait réellement la fourmi), Océane et Erwan discutent de ce que peuvent ressentir les fourmis. Ce dernier me dit que ce doit être "horrible d'être dans la machine" [de VR], "ça doit être

fuckant”²⁰. L’un dit que ça doit être encore plus horrible quand la fourmi n’a aucun contrôle sur son environnement, l’autre pense l’inverse. Et Océane conclut en disant que “de toute façon, tout ce que je leur fait faire là est horrible”²¹. Ainsi, les scientifiques peuvent tendre vers une distanciation objectivante pour certains individus, mais elle ne sera jamais totale au vu de cette empathie permanente envers le groupe, bien qu’elle ne soit pas toujours exprimée et qu’elle soit présente à des degrés différents selon la situation. La simple inquiétude de blesser des fourmis en les manipulant, avant même de se mettre à les individualiser par leur comportement, montre que cette empathie est présente.

Catherine Rémy décrit ces différents rapports à l’animal, qu’elle nomme “cadrages”, au travers de situations différentes (abattoir, clinique vétérinaire et laboratoire). Mais les ethnographies qu’elle présente implique la mise à mort de beaucoup des ces animaux, ce qui semble nécessiter un détachement pour être accomplie. Elle décrit ce détachement par un cadrage objectivant, qui “fait de l’animal une entité insensible et passive” (Rémy, 2009, p.22). Mais pour Emerg-ant, la mise à mort n’est pas nécessaire, et elle est même à éviter. Cette objectivation ne semble ainsi pas présente puisqu’un comportement naturel est de plus souhaité, poussant toujours les scientifiques à considérer les fourmis comme les êtres vivants sensibles qu’elles sont dans leur milieu naturel. Elles sont donc cadrées par un processus de subjectivation, qui “renvoie au fait de considérer l’être individuel comme le support d’une action, d’une influence” (*Ibid.*). Les distanciations engendrées par le comportement négatif de certains individus ressemble finalement plus à une subjectivation négative, puisque les scientifiques les considèrent tout de même comme des êtres influant sur leurs expériences. La fourmi “agressive”, la “fainéante” ou la “ salope ” qui ne cessera de s’échapper de son espace dédié, ou qui ne se laissera pas attraper pour être testée, sera ainsi subjectivée négativement. Et inversement, la fourmi “déter”, ou la “docile” sera subjectivée positivement. Tant d’adjectifs qui révèlent le caractère positif ou négatif de cette subjectivation, et cette dichotomie sera toujours en rapport à l’intérêt de l’expérience ou de la gestion du laboratoire. La frontière entre subjectivation positive et négative peut cependant être floue, comme pour des fourmis qui auront un comportement inexplicable, empruntant des trajectoires contradictoires avec tout ce que font ses congénères. On pourra s’attacher à ces fourmis car elles ont un caractère atypique qui intrigue et peut amuser, voir fasciner, mais cet attachement sera hors du contexte expérimental, puisque pour l’expérience, elles seront inutiles, faussant les résultats apportés par ses congénères, et seront donc ici subjectivées négativement, laissées de côté.

²⁰ Extrait de carnet de terrain du 24 février 2022

²¹ *Ibid.*

b - Limites des espaces

i - Des frontières clairement définies

L'espace dédié au fourmis de laboratoire est clairement défini. Tout d'abord, comme on l'a vu, les fourmis sont confinées dans les animaleries et dans les salles de manipulation, comme l'ensemble des animaux du CRCA, et sont ainsi exclues des bureaux. Mais leur espace est de plus restreint à leurs colonies respectives, construites artificiellement par les membres d'Emerg-ant. Pour les *cataglyphis velox* sur lesquelles elles expérimentent au quotidien, leurs colonies sont en deux parties. La première est une "zone de fourragement" faite avec un bac à litière pour chat, garni de terre, sable et petit gravier, un échantillon du sol venant de leur milieu d'origine. C'est dans ce bac que les fourmis ont de la nourriture à disposition, permettant aux fourmis fourrageuses de se nourrir elles-même et de ramener de la nourriture au nid pour le reste de la colonie. Elles sont ainsi nourries en permanence par deux tubes disposés dans chaque zone de fourragement, l'un contenant de l'eau, et l'autre une solution d'eau sucrée. Ces tubes sont bouchés par une boule de coton qui permettra aux solutions d'atteindre les fourmis par capillarité, sans risquer qu'elles se noient. Trois fois par semaine, un.e des membres d'Emerg-ant s'attèle à la tâche de nourrir ces fourmis, renouvelant le stock de ces tubes, et leur donne aussi des vers de farine qui sont élevés au sein même de l'animalerie. Trois vers de farine par colonie (avec parfois du rab pour les colonies les plus peuplées), qui sont découpés en petits morceaux encore vivants à l'aide de ciseaux. Les parois du bac à litière sont recouvertes de fluon, un liquide qui une fois sec devient un revêtement antiadhésif empêchant les fourmis d'escalader les parois. Un trou est percé à la base de ce bac pour y insérer un tuyau souple en plastique transparent qui relie la zone de fourragement à la seconde partie qui est le nid à proprement parler. Ce nid est moulé dans du béton cellulaire, des plaques verticales d'une trentaine de centimètres de hauteur et de moins de dix d'épaisseur, et comprend plusieurs étages où les fourmis s'installent. Tout est fait ici pour reproduire de la manière la plus complète possible le milieu naturel des fourmis. On a donc un nid permettant notamment aux fourmis d'entreposer nourriture et couvains ; une zone de fourragement où on dépose de quoi nourrir les fourmis ; et une lampe émettant dans l'ensemble du spectre de la vision de ces fourmis suspendue au-dessus de la colonie, qui fait office de ciel artificiel. Ces trois éléments sont censés fournir aux fourmis de laboratoire ce qu'il faut pour qu'elles agissent comme dans leur milieu d'origine. Elles ont ainsi les moyens d'accomplir les mêmes tâches qu'à l'extérieur du laboratoire, et d'adopter les mêmes comportements que les scientifiques considèrent comme naturels.

ii - Mais des frontières parfois poreuses

Les frontières des colonies sont donc fermées et sécurisées par l'emploi de ce fluon. Pourtant il arrive parfois aux fourmis de dépasser ces frontières qui leurs sont imposées, s'échappant parfois de leurs colonies pour se balader dans les couloirs des salles de manips. Il est ainsi arrivé que des membres d'autres équipes leur ramènent des fourmis qu'elles ont trouvées dans leurs espaces respectifs. Il est préférable pour Emerg-ant que les fourmis soient ramenées en main propre, car il est arrivé qu'elles soient simplement déposées sur une table, enfermées dans un tube, et s'il n'est pas repéré assez vite, cela mène à la mort de la fourmi. Cela en a irrité plus d'un.e de retrouver un cadavre de leurs fourmis sur un bureau alors que plus de communication aurait pu l'éviter. Certains individus "plus malins" que d'autres trouvent ainsi des brèches dans ces frontières, et on retrouve alors régulièrement un ou deux individus se promenant aux alentours de sa colonie d'origine. La réintroduction de ces quelques individus dans leurs colonies peut d'ailleurs poser problème. Si une fourmi est retrouvée par exemple dans les couloirs, ou dans une salle où elle n'est pas censée être, il n'est plus certain de savoir qu'elle est sa colonie d'origine. Océane me racontait ainsi une anecdote où une fourmi lui avait été ramenée, et que lorsqu'elle l'a remise, par défaut, au sein de la colonie sur laquelle elle travaillait à ce moment-là, elle s'est immédiatement faite attaquer par les fourmis de cette colonie et n'a pas survécu. Plusieurs fois, j'ai pu assister à ces réintroductions de fourmis où les scientifiques n'étant pas certains.es de leur colonie d'origine, surveillent quelques instants si la fourmi ne se fait pas attaquer. Si c'est le cas, soit elles tentent de la récupérer si elles ont une idée de leur colonie d'origine et tentent alors de la réintroduire ailleurs, soit elles acceptent son sort avec dépit.

Mais parfois, les individus en liberté sont plus nombreux, et lorsque dans la même journée, on a retrouvé ne serait-ce qu'une petite dizaine de fourmis à l'extérieur des colonies, qui plus est assez éloignées de ces dernières, on commence à se poser des questions. La réponse qui est apportée est qu'une fuite doit être présente sur un nid, il faut alors repérer ce nid, et trouver la fuite afin de la reboucher. Ces échappées ne sont pas si rares, car il est non seulement difficile d'être certain d'avoir recouvert correctement les parois de fluons (ce liquide étant d'un blanc très clair, il devient transparent une fois étalé sur les parois, et on peut donc difficilement contrôler s'il a été appliqué partout), et les jonctions du tuyau reliant le nid à la zone de fourragement sont de plus fragiles. Les scientifiques utilisent de la pâte à fixe comme joint pour étanchéifier ces jonctions, et elles peuvent alors présenter une petite ouverture lors de leurs manipulations, permettant alors aux fourmis de s'échapper aisément. Une erreur d'inattention ou un événement aléatoire agissant sur ces nids peuvent ainsi vite mener à ce genre de situations. Le cas le plus extrême que j'ai pu observer s'est passé dans l'animalerie, avec la colonie de *cataglyphis velox* la plus peuplée et la plus énergique.

Léo, alors doctorant, dirigeait Joris, un stagiaire de L3 fraîchement arrivé, pour la mise en place d'une nouvelle expérience. La colonie présente dans la salle de manipulation où ils conduisaient cette expérience comportait de moins en moins d'individus, et Léo trouvait de plus que les fourmis présentes n'étaient pas très motivées, ralentissant la mise en place de leur expérience qu'ils faisaient à tâtons, essayant d'améliorer petit à petit leur "set-up" jusqu'à ce que les fourmis puissent accomplir ce qui était attendu. Ils leur demandaient ici de parcourir une distance de plusieurs mètres afin de récupérer de la nourriture et de la ramener au nid. Ces fourmis n'étant pas très efficaces, ils passaient leur temps à attendre qu'une fourmi veuille bien faire le trajet qu'ils espéraient, et cela n'arrivait pas vraiment. De plus en plus impatient, Léo décida d'aller voir une colonie stockée à l'animalerie qu'il considérait comme bien plus active, et comprenant bien plus d'individus, ce qui pourrait accélérer leur travail. Il faisait partie des quelques un.es à aller chercher l'an passé ces colonies dans le désert Andalou, creusant lui-même à la pelle sur des zones de l'ordre du mètre carré. Il connaît donc bien ces colonies, et se rappelait ainsi aisément de cette "super colonie" qu'il comptait bien exploiter pour les expériences. Nous sommes donc rentrés dans l'animalerie pour aller observer cette colonie dans l'éventualité d'un échange avec celle encore présente en salle de manip. En rentrant, nous repérons assez vite deux ou trois fourmis qui se baladent sur le sol, et sur les grandes étagères en métal où sont entreposées toutes les colonies de fourmis, le long de deux des murs de la pièce. En les récupérant, ils en trouvent d'autres et ils voient immédiatement que ce sont des *cataglyphis velox*. Par la proximité de la plupart des individus en liberté avec cette fameuse colonie énergétique, ils les réintroduisent dans celle-ci en espérant ne pas se tromper. Les fourmis ne se font pas attaquer : c'est bon ! Mais Léo trouve tout de même cela bizarre, et se dit assez vite qu'il y a une fuite. On continue de repérer des fourmis en liberté dans la pièce, je les aide alors à les ramasser, et c'est en me baissant près de la colonie en question que je repère un trou d'un petit centimètre de large (totalement suffisant pour que les fourmis puissent passer) au niveau de la fameuse jonction de pâte à fixe, que je signale immédiatement. Problème trouvé, Léo rebouche le trou mais conclut que beaucoup d'autres ont dû s'échapper. Il regarde alors sous l'étagère, et lâchant une onomatopée de surprise mêlant dépit et inquiétude, il nous dit voir une bonne trentaine de fourmis qui y sont présentes : "c'est carrément une mini colonie là !". Léo et Joris s'attèlent donc à les récupérer à la main, faufilant leurs bras sous l'étagère, pendant que je cherche les quelques unes qui sont encore éparpillées dans le reste de l'animalerie. Les deux scientifiques savent ici rester calme dans leurs gestes, restant assez minutieux, mais n'hésitant pas à attraper les fourmis de gestes décidés et qui, si je ne connaissais pas déjà la résistance physique de ces créatures, pourraient paraître assez brutaux. Ils savent ce qu'ils font, même Julien, encore débutant dans ce type de manipulations, qui pourtant a déjà compris comment manipuler sans crainte ces petits êtres. Ils appliquent alors des gestes sûrs et calmes, mais on sent tout de même une pointe de panique dans

leurs voix lorsqu'ils décrivent la situation, exclamant alors parfois des inquiétudes comme "y'en a partout !", ou encore "ça n'en finit pas !". Au bout de plusieurs minutes, la situation finit par être réglée, avec tout de même l'incertitude d'avoir retrouvé la totalité des fourmis échappées. Une marge d'erreur qu'ils semblent accepter.

Malgré les espaces limités définis par les scientifiques, les fourmis arrivent parfois à s'en échapper et il leur arrive ainsi régulièrement de devoir gérer ces fourmis aussi en dehors de ces espaces, souvent dans des parties communes aux différentes équipes, poussant alors cette gestion au-delà même de leur propre petit groupe. Les espaces du laboratoires dédiés aux fourmis sont parfois poreux, et comme le signal Charlotte Brives au sujet des levures, "la frontière entre l'intérieur du laboratoire et l'extérieur est donc mince, et doit être réactualisée et reconstruite en permanence, par une gestion stricte de l'espace dans lequel vivent chercheurs et levures" (Brives, 2017, p.42). Charlotte Brives entend ici par laboratoire l'espace dédié aux espèces cobayes étudiées, et l'ensemble intérieur du laboratoire et extérieur est un espace que doivent se partager humains et non-humains. La gestion n'est cependant pas aussi stricte pour les fourmis que pour les levures, le conditionnement n'ayant pas les mêmes objectifs pour les levuristes étudiant des comportements au niveau cellulaire que pour les myrmécologues qui travaillent sur des individus bien moins sensibles aux variations de leur environnement. Mais tout de même, la porosité de cette frontière entraîne une gestion hors laboratoire, et donc une actualisation de l'environnement de laboratoire lorsque celui-ci ne contient plus les fourmis comme prévu. Toujours avec cette super colonie, lorsqu'ils l'ont introduite dans le dispositif qu'ils ont conçu pour l'expérience, les précautions prises pour empêcher les fourmis de s'échapper de la zone de fourragement n'étaient largement plus suffisantes pour ces nouvelles fourmis bien plus énergiques. En effet, nombre d'entre elles arrivaient malgré le fluon à escalader les parois, ou trouvaient des failles au niveau des jonctions où les différents éléments du "set-up" étaient assemblés. Ils durent alors en urgence ajouter du fluon et construire des obstacles à l'aide de scotch pour obstruer les passages que les fourmis avaient trouvé, tout en repoussant continuellement les fourmis fugueuses. Ils se sont adaptés à cette colonie en particulier, améliorant l'imperméabilité des frontières qu'ils avaient précédemment construites.

Il reste un lieu qui reste totalement inaccessible aux fourmis de laboratoire, ce sont les bureaux. Et pourtant, les scientifiques les y introduisent en partie, mais seulement sous forme de données. Elles ramènent du laboratoire au bureau certaines facettes numérisées de ces fourmis, et elles restent au cœur des discussions et des réflexions.

II - Fourmis numérisées

Et le travail continue avec les fourmis numérisées. Comme on l'a vu, elles servent directement à la production scientifique, et ce en créant des modèles statistiques basés sur les données de ces fourmis. Mais quelles relations cela crée-t-il entre les scientifiques et les fourmis numérisées ?

a - Individualisation des fourmis numérisées

Les comportements des vraies fourmis sont enregistrés par les transcripteurs et les scientifiques vont s'atteler à produire des fourmis numérisées à partir de ces données. Chaque vraie fourmi testée ayant son propre jeu de données, les fourmis numérisées auront elles aussi chacune leur fichier correspondant. Typiquement, une expérience qui aura enregistré les déplacements des vraies fourmis sur la *trackball* présentera des trajectoires numérisées, chaque trajectoire correspondant à un individu. Cela est aussi le cas pour les trajectoires relevées à la main sur le

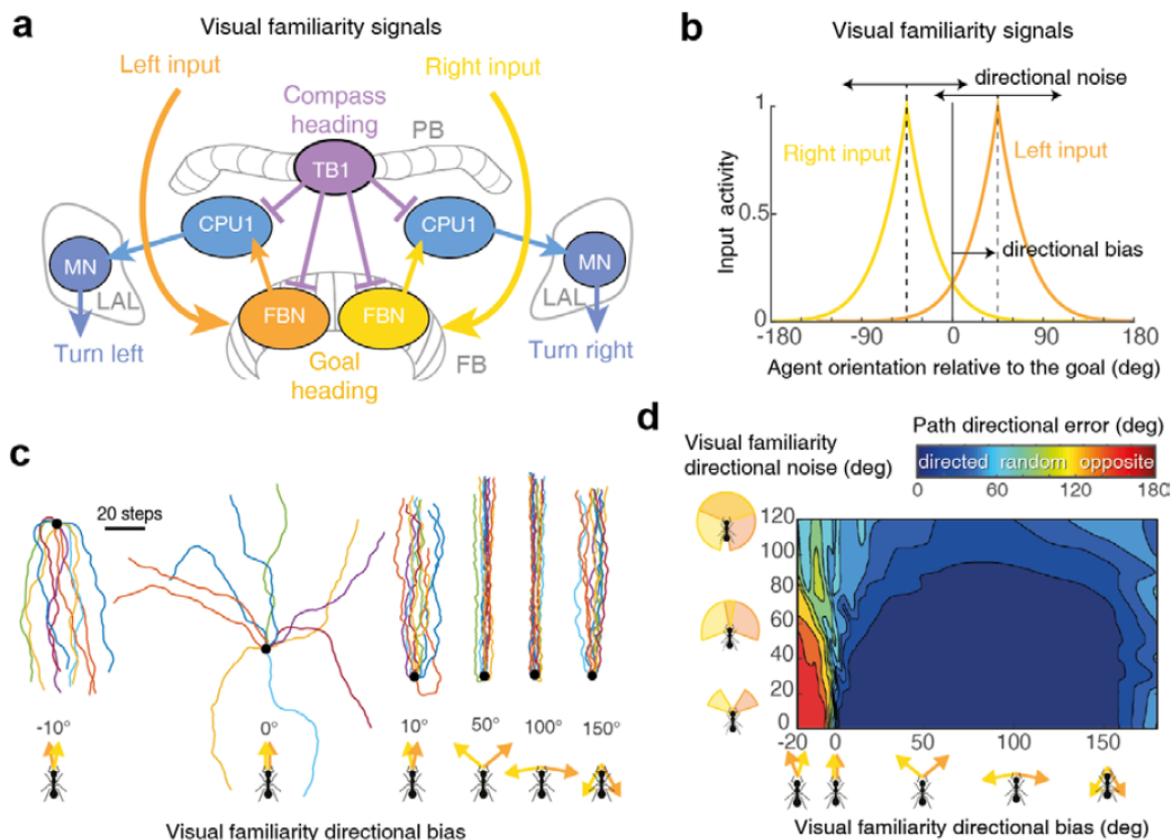


Figure 4 : Image titrée “Bilaterally decorrelated input to Central Complex produces stable route heading”. Source : Wystrach, Le Moël, Clément & Schwarz, 2020

terrain et numérisées en scannant ces trajectoires, puis en cliquant par-dessus pour obtenir des

coordonnées numériques (Cf *Partie A - II - a - Travail sur les données*). Les trajectoires correspondent aussi à des individus particuliers et cette individualité est donc conservée.

Au-delà de ces données brut qui conservent l'individualité de chaque fourmi par simple classement des individus, le travail statistique effectué par la suite sur ces données peut avoir un impact sur ce qu'il résulte de l'individualisation au sein des figures destinées à présenter les résultats. Je prends ici pour exemple une image issue d'un article produit par l'équipe Emerg-ant au sujet de la mémoire visuelle des fourmis (Cf *Figure 4*).

Sans avoir à rentrer dans le détail de ce que représentent ces figures, on peut remarquer que ce qui y est représenté nous donne des informations sur ce qu'il peut rester de l'individualisation des fourmis numérisées lors de la présentation des résultats. Sur le *Schéma c*, on voit que différentes trajectoires, correspondant à différents individus, sont affichées. On a à faire à une simple représentation visuelle des données brutes, ici des trajectoires correspondant chacune à un individu en particulier. Pas de manipulation statistique dans ce cas, simplement une représentation numérisée des résultats issus directement des expériences (mais qui donne déjà un aperçu des comportements adoptés par les fourmis en fonction des différentes conditions). Quelques individus ont été sélectionnés comme étant représentatifs du comportement étudié, et l'individualisation de ces fourmis aura survécu jusqu'au stade de l'article rédigé (il arrive aussi que tous les individus testés soient représentés sur un même schéma). Pour ce qui est des *Schémas b* et *d*, les fourmis numérisées ont été rassemblées en un seul groupe, et des valeurs numériques en ont été extraites grâce à des manipulations statistiques. Les individus ont ici disparu pour laisser place au groupe uniquement, à une seule entité correspondant à l'ensemble des individus testés, dont on extrait un comportement global, unifié.

b - Relations directes avec les fourmis numérisées

Pour faire le parallèle avec les fourmis de laboratoire, ici les fourmis numérisées ne sont plus considérées comme des êtres sensibles. Plus de risque de blesser les individus, plus de manipulation des corps pouvant les affecter, et plus de comportements conflictuels avec le travail des scientifiques. Ici, tout est figé, les scientifiques n'ont plus d'impact sur les individus avec lesquels elles travaillent, et sont ainsi bien plus détachées des fourmis numérisées. Là où je ne trouvais pas de cadrage objectivant à propos des fourmis de laboratoire car elles sont toujours vues comme des êtres sensibles, pour les fourmis numérisées, c'est l'inverse : n'ayant plus cette identité d'êtres sensibles, elles sont cadrées objectivement du fait qu'elles soient considérées comme de simples objets de recherche. De plus, là où les scientifiques peuvent parfois opérer une objectivation sur certaines des vraies fourmis ayant un comportement négatif, se détachant de l'être sensible pour

aller vers l'animal machine, ielles leur arrive de reconsidérer certaines fourmis numérisées comme les êtres sensibles qu'elles étaient avant cette numérisation, les voyant à nouveau comme les êtres sensibles dont elles sont issues, opérant alors une subjectivation de ce qui pourtant ne sont que des ensembles de données.

Soyons clairs, les scientifiques ne considèrent jamais les fourmis numérisées comme des animaux ou des êtres sensibles, et on est loin de retrouver une quelconque forme d'empathie avec ces êtres. Mais ielles continuent pourtant bien souvent à les nommer "fourmis", et parfois, ielles s'attachent à certains individus, que ce soit par le souvenir de la vraie fourmi qui est derrière l'individu numérisé, ou parce qu'ielles sont satisfait.es de l'apport particulier que peut avoir un individu pour leur travail. En effet, certaines fourmis numérisées vont représenter un résultat très significatif, et le ou la scientifique qui exploite ces fourmis va en être ravi, et va souvent mettre ces comportements significatifs en avant dans la présentation de ses résultats. Je les ai plus d'une fois vu pointer du doigt un trajet en particulier, correspondant donc à une fourmi numérisée en particulier, disant par exemple que "celle-là elle marche bien", ou "ce trajet il est parfait !", exprimant leur satisfaction face à un résultat qui répond parfaitement à la démonstration qu'ielles tentent de mettre en place. Ces individus particulièrement représentatifs vont ainsi leur permettre de montrer clairement un comportement qui correspond bien à leur théorie, rendant alors très lisible un aspect du comportement qu'ielles souhaitent représenter (comme c'est le cas par exemple pour le *Schéma c* de la *Figure 4*), bien que cette sélection ne soit pas exhaustive. Les schémas représentant le groupe plutôt que certains individus (comme le font les *Schémas b* et *d* de la *Figure 4*) permettront quant à eux de représenter l'ensemble des comportements adoptés par le groupe, même les moins significatifs, et justifierons ainsi de la pertinence de leurs résultats sur l'ensemble du groupe de fourmis testées.

III - Fourmis numériques

Une fois ces données analysées, les scientifiques vont comparer les résultats apportés grâce aux fourmis numérisées avec les modèles informatiques, qu'ils aient été faits en amont de l'expérience ou pas. Les fourmis numériques qui sont issues de ces modèles sont, comme je l'ai décrit plus tôt, des ensembles de lignes de code représentant des architectures neuronales incomplètes. Les scientifiques font donc bien la distinction entre les vraies fourmis et ces fourmis numériques qu'ielles nomment "agents" dans leurs articles et présentations officielles. Pourtant, les scientifiques leur accordent parfois un statut et une considération plus complexes que ce qu'on attribuerait à de simples lignes de texte inscrites dans un ordinateur, à commencer par le fait qu'ielles continuent à les nommer "fourmis" dans le langage courant.

a - Considération des fourmis numériques

En effet, au quotidien, car “c’est plus pratique”²², les scientifiques continuent d’utiliser le même vocabulaire pour les vraies fourmis que pour celles qu’ielles nomment plus officiellement “agents”. Dans leurs conversations, ielles parlent ainsi des ces modèles numériques comme n’importe quelle fourmi et vont utiliser les mêmes termes. Ainsi, que ce soit dans les salles de manipulation face aux fourmis de laboratoire, comme dans les bureaux face aux résultats affichés par un programme, les *plots* (signifiant aussi le fait de générer une figure par un programme informatique, venant du verbe anglais *to plot*, très utilisé en informatique), on pourra les entendre parler d’“elle(s)”, de “mes fourmis”, de “ta fourmi”... Devant les ordinateurs, le vocabulaire utilisé va ainsi osciller entre le champ lexical de l’informatique et des termes utilisés pour désigner les vraies fourmis.

Leurs modélisations numériques ne sont finalement qu’un aspect de la neurologie de la fourmi, quelques connexions neuronales qui aident, voire suffisent à répondre à leur question et à comparer à leurs résultats venant des expériences sur les vraies fourmis. Mais ces objets codés, ces ensembles de neurones simulés, malgré leur relative simplicité, leur minimalisme, répondent à une tâche qu’on leur demande d’accomplir. De la même façon que pour une expérience où on demande aux vraies fourmis d’accomplir une tâche en particulier, on va, dans le cadre d’un modèle informatique, attendre des fourmis numériques qu’elles remplissent une tâche en particulier. Cet accomplissement de tâche d’un ensemble d’objets numériques semble leur donner le droit à la personnification (ou plutôt la fourmification, j’entend par là que je n’utilise pas le terme de personnification pour induire un quelconque animisme, ou même anthropomorphisme à ce statut personnifié) de la part des scientifiques, puisqu’ils sont alors comparables aux fourmis de laboratoire dans leur contexte expérimental. Ces objets seront finalement, comme les fourmis de laboratoire, “leurs fourmis”, et malgré le grand écart de complexité des corps et des architectures neuronales, on retrouvera des deux côtés des termes comme “mes fourmis” ; “cette fourmi” ; “elle fait ça” ; “elles veulent pas” ; etc... Antoine, le directeur de recherche de l’équipe, me le disait lui-même lors d’un entretien :

“C’est vrai que si le code commence à faire des beaux trajets, qu’il marche bien, que tu commences à avoir certains états que t’as sur les vraies fourmis, tu commences à te projeter sur le code. Surtout après dans tes présentations tu montres souvent des vrais trajets de fourmis, puis tu

²² Entretien avec Ludo, le 8 avril 2022

montres les trajets de ton modèle, et t'as laché plein de fois le mot "fourmi", et tu vois qu'elles font des trucs qui marchent bien"²³

Au-delà d'une simple utilisation de vocabulaire, Antoine exprime aussi dans cet extrait le fait qu'un code qui "marche bien" poussera le ou la scientifique à se projeter, à percevoir l'agent numérique comme une fourmi. Léo, encore en thèse lors de l'entretien dont est issu l'extrait qui suit, l'exprime plus clairement :

"En regardant les données d'un modèle, on va avoir les mêmes réactions que quand on regarde des données de fourmis. Genre typiquement : « putain celle-là elle marche pas du tout, elle fait chier mais bon tant pis c'est le modèle » tu vois, et « putain celle-là elle marche bien elle a fait du bon boulot, elle a bien ramené le *cookie* », alors que y'a pas de *cookie*, y'a rien. Dans les papiers on est un peu plus clairs, mais quand on en parle, on va vraiment avoir le même genre de réactions, ou alors des réactions un peu plus développées. On s'amuse des fois avec Antoine quand on fait des modèles et puis qu'on sort une trajectoire on fait : « alors vraie fourmi ou pas vraie fourmi ? » (*rires*). Et puis il fait : « ah c'est une vraie fourmi ! Et non c'était le modèle ! » Du coup là on est contents parce qu'on a réussi à faire un truc qui à l'oeil, pour nous, fait : ouais ça c'est une vraie fourmi qu'a marché."²⁴

Ce petit jeu de "vraie fourmi ou pas vraie fourmi" exprime de plus le fait que c'est finalement l'objectif vers lequel les scientifiques souhaitent tendre avec leurs modèles : ne plus être capable de distinguer les vraies fourmis des fourmis numériques. Si cet objectif est atteint, c'est signe que le modèle est efficace et bien pensé. On perçoit aussi que, comme pour les autres types de fourmis, les scientifiques s'attachent à certaines fourmis numériques de par leur efficacité, du fait qu'elles "marchent bien", ou inversement, elles s'en détachent car "elles ne marchent pas du tout". Les scientifiques opèrent alors encore une fois une subjectivation envers ces objets numériques, qu'elle soit positive ou négative en fonction de leurs comportements.

Mais il y a un autre aspect de ces modèles informatiques qui pousse à se perdre dans le fait de considérer ces fourmis numériques comme de vraies fourmis, c'est l'émergence, et dans leur contexte, celle des comportements. L'émergence est une caractéristique fondamentale du fonctionnement de la vie, et est très importante dans les travaux d'Emergent (d'où le choix de ce

²³ Entretien avec Antoine le 18 mai 2022

²⁴ Entretien avec Léo le 30 novembre 2022

nom) et cette notion apparaît parfois dans le cadre de leurs modélisations informatiques, comme on a déjà pu le voir dans le premier chapitre (Cf A - III - *Les fourmis numériques et les scientifiques toujours au bureau*). C'est en effet l'objectif des modélisations ayant pour but de reproduire les mécanismes du comportement : de quelques règles simples va émerger un comportement de lui-même, automatiquement. Et Antoine compare ainsi ces modèles au *Game of Life*²⁵ : comme la vie ayant émergé de mécanismes sans conscience ni intentionnalité, une autre forme de vie minimaliste émerge de quelques règles informatiques simples, ce qui donne encore plus de sens au terme de simulation qu'ielles utilisent parfois pour désigner les modèles. Il y a donc une notion de vie, ou plutôt de simili-vie, une vie réduite et simplifiée, qui mène à donner un statut autre que de simples lignes de codes à ces fourmis numériques.

Mais les fourmis numériques sont-elles alors finalement équivalentes aux vraies fourmis ? Loin de là. En effet, une fourmi numérique, ou plutôt l'ensemble d'objets modélisés, ne saura faire que la tâche que le ou la scientifique lui aura incombé par ses lignes de code, tandis qu'une fourmi de laboratoire, un individu cette fois réel, pourra accomplir des tâches diverses et variées, dans toute sa complétude. Cette dernière continuera à accomplir son rôle de fourmi au-delà de l'expérience dans laquelle elle est observée. Au-delà du modèle, la fourmi numérique n'existe tout simplement pas. C'est le contexte dans lequel sont modélisées ces quelques connexions neuronales qui leur permette l'accès à la personnification, au titre de fourmis. C'est parce que cet ensemble d'objets répond au contexte qui lui est imposé qu'il devient un ensemble de fourmis. Donc comme pour les fourmis numérisées, il n'y a pas de doute chez les scientifiques d'Emerg-ant : les fourmis numériques ne sont pas de vraies fourmis. Et pourtant, elles ont tout de même droit à un statut qui dépasse leur condition de suite de caractères numériques, car elles accomplissent des tâches comparables à ce qu'accomplissent les vraies fourmis, et elles sont ainsi parfois reconnues comme des individus différenciables les uns des autres. C'est en effet ce qu'expriment les membres d'Emerg-ant lorsqu'ielles parlent de ces fourmis numérisées, mais cette individualisation ne s'arrête pas simplement au langage.

b - Individualisation des fourmis numériques

Comme on l'a vu maintenant plusieurs fois, certains résultats affichés après avoir fait tourner un modèle sont suffisamment particuliers pour sortir du lot, pour s'extraire de l'ensemble

²⁵ *The Game of Life* a été créé par le mathématicien John Conway : "Cela consiste en une grille de cellules qui, basées sur quelques règles mathématiques, peuvent vivre, mourir ou se multiplier. Dépendamment des conditions initiales, les cellules forment des patrons variés tout au long du déroulement du jeu" (<https://playgameoflife.com/info>)

flou d'objets numériques, et rendre l'individu qui en est issu remarquable, menant alors les scientifiques à parler de fourmi au singulier. Mais comment ces individus sont-ils produits ?

Ces simulations sont construites grâce à des algorithmes informatiques, soit des suites d'étapes permettant d'obtenir un résultat, un phénomène, grâce à des éléments, des variables, que l'on fournit en entrée. Sans rentrer dans les détails de comment on construit un algorithme informatique, je souhaite en parler ici car cette construction semble être importante dans ce qui définit un individu fourmi numérique. Un algorithme est basiquement une suite d'étapes donnant des instructions. Ces étapes successives sont classiquement des boucles : si à une étape, certaines conditions sont remplies, on passe à l'étape suivante, sinon, on revient en arrière, ou on passe à une étape tierce. Ces étapes tournent en boucle jusqu'à arriver à un résultat, à la réponse que les conditions de départ ont posé comme question. C'est ce résultat qui va finalement donner un individu fourmi numérique, et il sera construit par ces boucles. On pourra ensuite faire repasser cet individu par ces mêmes boucles de nombreuses fois, en changeant les conditions ou pas, et en sauvegardant les données précédemment acquises afin d'avoir plusieurs résultats pour un même individu, ce qui correspond dans la réalité à une fourmi qui ferait plusieurs fois la même tâche dans des conditions différentes. Pour avoir un nouvel individu, on repart de zéro. C'est ainsi que Léo me décrit comment sont définis ses "agents fourmis", et comment il délimite les individus, qui plus est dans un contexte où il prend en compte le concept de mémoire, ce qui semble efficace pour définir chaque individu comme ayant chacun leur mémoire :

"Donc là ça dépend vraiment de la structure de ton code, et qu'est ce que tu veux extraire. [Dans le] modèle que j'suis en train de faire actuellement, ça implique de la mémoire, donc je vais avoir mon code qui va faire des étapes : marche tout droit, et apprend en même temps. Ça ça va être mon trajet 1, donc je vais la renommer "fourmi 1". Et cette fourmi 1 je vais garder en mémoire sa banque de mémoire qu'elle a acquise pendant le trajet, et je vais faire *runner* le trajet 2, 3, 4, 5, 6, 7 fois, autant que je veux. Et au bout d'un moment, si je dis c'est 10 trajets max, et ben ça va remonter dans la structure de mon code à un autre individu, et toutes les données que je vais extraire de ce nouvel individu vont être personnifiées avec "fourmi 2, fourmi 3, fourmi 4". C'est un algorithme qui fait des étapes tu vois, genre faire un pas, mémoriser, stocker, revenir, faire un pas, mémoriser, stocker, revenir... Et là j'ai créé une bande de mémoire, et dans mon code 2, ça va faire : faire un pas, regarder si je connais, agir en fonction, si je connais pas, faire de l'aléatoire, revenir, etc..."²⁶

²⁶ Entretien avec Léo du 30 novembre 2022

Un individu est donc construit par un ensemble de boucles de code informatique, construit implicitement par les actions créées par l’algorithme. Et dans ce cas précis, il est aussi défini par la mémoire stockée que ces boucles ont produites. Léo, une fois ses individus construits, est donc ici capable de les extraire, sous forme de fichiers, et de les réimplanter dans un deuxième code, afin de les tester dans un autre contexte. Ces individus informatiques, ces “agents”, permettent aux scientifiques de les observer un par un, de voir leurs comportements propres à chacun, comme elles peuvent le faire avec de vraies fourmis lors des expériences. Et ces individualisations les mènent parfois, comme on l’a vu, à avoir des réactions étonnement similaires à lorsqu’elles sont face à de vraies fourmis, et à projeter la considération qu’elles ont envers les vraies fourmis sur ces agents, produisant alors ce statut de fourmis numériques.

C - Quelle est l’importance de l’éthologie dans cette production scientifique ?

I - Ce que l’éthologie implique

a - Quel genre de savoir pour quel type de témoin

On a vu comment les scientifiques adaptent leurs outils au corps de la fourmi et à son écologie pour tenter de reproduire un *umwelt* au travers des expériences. Mais la domestication de cet *umwelt* demande d’adapter leur quotidien et leur manière d’expérimenter, et Charlotte Brives nous l’explique aussi chez les levuristes : “En effet, l’Umwelt de la levure a beau être domestiqué, cette domestication n’est jamais totalement acquise et suppose que les humains organisent leur temps et leurs actions dans le laboratoire, tant au niveau individuel (gestion du temps expérimental) que collectif (tâches communes), en fonction de l’organisme” (Brives, 2017, p.42). J’ai vu plusieurs fois des stagiaires repousser l’heure de leur pause repas ou de leur fin de journée car des fourmis qu’elles voulaient tester étaient de sortie, et voulaient en profiter tant que c’était possible. Il y a de plus des périodes dans la journée où les fourmis sont plus actives (lié à leur écologie, des moments où les températures dans le désert sont plus supportables par exemple), et les expérimentateur.ices vont ainsi préférer manipuler à ces périodes (même si en soit, elles passent leurs journées à manipuler lorsqu’elles doivent mener une expérience). Elles peuvent aussi voir une nouvelle fourmi “déter”, qui va sans cesse faire le travail qui est espéré pour l’expérience, et vont ainsi se mettre à attendre qu’elle soit prête afin de la tester, ou à l’inverse, ne voir aucune fourmi motivée et passer des temps à attendre qu’une bonne candidate se présente. Un jour, pour une nouvelle expérience menée par Joris, le nouveau stagiaire de L3, Léo, qui en tant que doctorant souhaitait

diriger Joris dans l'établissement de cette expérience, passait dans la salle de manip pour voir l'avancement. Cette expérience était liée au nouveau "set-up" (dont j'ai déjà parlé dans la partie *B - b - ii - Mais des frontières parfois poreuses*), où les fourmis devaient atteindre une seconde zone de fourragement, reliée à la colonie par une gouttière en plastique de quelques mètres, et y ramasser de la nourriture avant d'être introduites sur la *trackball*. L'installation étant toute nouvellement utilisée à ce moment, ils ont mis un peu de nourriture dans la gouttière, pour attirer petit à petit les fourmis vers la seconde zone de fourragement et ainsi leur faire comprendre qu'il y a de la nourriture à récupérer à cet endroit (elles l'aurait compris d'elles-mêmes, mais cela accélère le processus). Faisant cela, ils ont vite repéré une de ces fourmi "déter", qui faisait sans cesse des allers-retours pour ramener de la nourriture au nid, progressant de plus en plus loin dans la gouttière, et se rapprochant de l'objectif qu'est cette zone de fourragement. Léo resta alors, observant cette fourmi, et attendait avec excitation qu'elle atteigne cet objectif pour pouvoir faire le premier test de cette expérience. Au lieu de rester quelques minutes comme c'était prévu, il est resté plus d'une heure, à voir cette fourmi progresser pour finalement réussir à faire un premier test avec Joris (ce qui lui permettait aussi de lui montrer comment procéder). Il s'est fait happer par le comportement de cette fourmi, laissant de côté le travail qu'il faisait au bureau pour préférer profiter de la présence d'une fourmi "déter". Mais même cette fourmi déter ne faisait pas vraiment l'affaire, et ils passèrent beaucoup de temps à ne faire que deux ou trois malheureux tests, ce qui ne leur suffisait pas pour améliorer leur "set-up" efficacement. C'est là que Léo prit la décision de remplacer la colonie par une autre plus active présente à l'animalerie. S'en suit alors l'anecdote que j'ai raconté plus tôt au sujet de l'échappée spectaculaire des fourmis de cette colonie. Léo a finalement passé l'après-midi entière avec Joris et ces fourmis au lieu de faire ce qu'il avait initialement prévu au bureau.

Au-delà de ces contraintes temporelles, les scientifiques doivent aussi faire leurs expériences d'une manière à perturber les fourmis le moins possible si elles veulent pouvoir maintenir un comportement naturel. On voit ici l'intérêt de reproduire un environnement qui permet ce comportement, mais l'expérimentation en elle-même est atteinte par cette approche éthologique : l'intrusion dans le corps de la fourmi (manipuler son cerveau par exemple), ou la blesser au cours des manipulations empêcherait d'observer un comportement habituel, naturel, ce qui irait donc en contre-sens de leur approche. Pour prendre un cas moins extrême, dans la thématique des odeurs qui peuvent être modifiées, les scientifiques choisissent une peinture (pour le marquage des fourmis) qui affecte suffisamment peu les odeurs pour que les fourmis ne se fassent pas attaquer par leurs congénères lorsqu'elles sont réintroduites dans la colonie. Océane va même plus loin : lorsque les scientifiques doivent tester une fourmi, elles l'isolent souvent dans une petite boîte fluonée pour la préparer à l'expérience, et elle m'expliquait qu'elle ne laissait jamais de fourmi seule dans cette boîte, lui mettant toujours "une copine" avec elle, afin qu'elles continuent à s'échanger des odeurs,

et ainsi diminuer les risques d'attaque lorsqu'elles sont reposées au sein de la colonie. C'est ici une précaution qui n'est pas nécessaire, et qui ne semble pas être pratiquée par les autres membres du groupe de manière aussi systématique, mais la logique de réduire au maximum les perturbations que peuvent produire les manipulations l'a poussée à cette pratique.

“Dans l'Invention des sciences modernes, Isabelle Stengers (1995) pose l'invention expérimentale comme une rencontre entre un témoin fiable et son ou ses porte-parole ; c'est ce couple que nous retrouvons ici : la levure doit être un témoin fiable pour l'expérimentateur, elle doit pouvoir répondre aux questions que lui posent les scientifiques, mais aussi « répondre de la réponse » (Stengers 2006)” (Brives, 2017, p.44). De la même façon que pour les levuristes de Charlotte Brives, les éthologues des fourmis se concentrent sur le fait d'avoir des fourmis qui soient capables de répondre aux questions qu'elles se posent, adaptant leur travail de façon à avoir des “témoins fiables”. Les myrmécologues sont donc ici contraint.es par la réalité de ce que sont les fourmis dans leur milieu naturel, et elles apprennent à exploiter ces contraintes. Car elles ne cherchent pas à faire répondre directement la réalité, qu'elles nomment aussi nature, et encore moins de faire répondre les fourmis, mais à la faire “répondre de la réponse, c'est-à-dire accepter le rôle que les expérimentateurs espèrent la voir endosser” (Stengers, 2006, paragr. 29). Et Isabelle Stengers pointe du doigt le fait que c'est là la réussite scientifique, de réussir à pousser la réalité à s'accorder avec les théories mises en place. Et la production scientifique est contrainte par cette réalité, ce qu'Isabelle Stengers désigne non pas comme une limite, mais comme un but : “Tant que ces contraintes seront vues comme limitant la liberté de construction, le scientifique restera scandalisé car ce qui est méconnu est que son travail a pour visée et réussite de *conférer à ce qu'il interroge le pouvoir de le contraindre*. La contrainte n'est pas une limite mais le but qui oriente son activité, qui en constitue l'enjeu. Le *happy end* d'une histoire scientifique est le moment où les scientifiques peuvent, enfin, se proclamer contraints à interpréter une situation ainsi, et plus autrement” (Stenger, 2006, paragr. 30).

Les scientifiques sont donc contraint.es par ce à quoi la nature accepte de répondre, ou plutôt accepte de corroborer leur vision de la réalité. Et dans le contexte de l'éthologie, il semble qu'il soit important d'accepter au premier abord ces contraintes, et ce de manière épistémologique, jusqu'à composer avec elles. Dans le cas d'Emerg-ant (loin d'être unique en éthologie) où les activités impliquent beaucoup d'expériences en laboratoire et de modélisations informatiques, leur objectif premier en ce qui concerne l'expérimentation est de reproduire le milieu naturel des sujets sur lesquels elles expérimentent, et donc de reproduire les contraintes que cela impose. C'est cette approche éthologique qui les pousse à cela, et les contraintes qui doivent être respectées deviennent un but qui oriente leur activité, qui en constitue l'enjeu. On retrouve alors ce que nous disait

Isabelle Stengers, et d'une manière plus exacerbée encore que ce qu'on peut trouver dans le cas d'étude qu'elle relate en physique expérimentale.

L'équipe Emerg-ant se retrouve alors à adopter une approche qui importe beaucoup dans la manière de traiter les fourmis, et de choisir les méthodes d'expérimentations. L'éthologie implique l'étude d'un comportement naturel, posant alors des questions qui sont en phase avec l'animal, contrairement à des méthodes de psychologie expérimentale par exemple qui vont plutôt répondre à des questions qui dépassent le comportement naturel de l'animal. L'éthologie va répondre plutôt à *comment se comporte cet animal*, alors que la psychologie expérimentale répondra plutôt à *comment peut se comporter cet animal* :

“Une des clés phare de l'éthologie, c'est dans le milieu naturel spécifique à l'espèce. Une des clés phare de la psychologie expérimentale c'est que la question vient de l'introspection de l'homme, et ensuite on cherche à voir si l'animal peut le faire aussi”²⁷.

Les éthologues d'Emerg-ant ne cherchent donc pas à avoir un témoin contraint par l'expérience, mais plutôt un témoin qui sera en phase avec celle-ci, retrouvant les éléments de son milieu naturel jusque dans le “set-up” d'expérimentation, et qui aura ainsi la liberté d'exprimer son comportement naturel.

b - Collaboration avec les fourmis

On comprend alors l'importance des études faites directement sur le terrain, où la fourmi est de fait naturellement en phase avec son milieu. Et la reproduction de ce milieu en laboratoire permet donc de poser des questions qui sont en phase avec l'animal, ce qui correspond à l'approche éthologique :

“Un autre truc cool aussi, c'est une clé de l'éthologie, c'est vu que t'es en phase avec ce que fait l'animal naturellement, t'as pas de problème de motivation. Parce que c'est lui qui veut le faire l'animal, c'est la fourmi qui veut rentrer au nid avec son *cookie* tu vois, par exemple”²⁸

En effet, pour conduire des expériences sur les fourmis, les scientifiques ne sont pas forcément contraints d'appliquer tout ce que fait Emerg-ant ou les éthologues en général pour obtenir des réponses de la réalité. Si l'on souhaite simplement savoir comment fonctionne tel ensemble de

²⁷ Entretien avec Antoine, le 18 mai 2022

²⁸ *Ibid.*

neurones par exemple, de comprendre l'animal machine, on peut se contenter de questionner la réalité limitée au cerveau de la fourmi, sans prendre en compte l'environnement dans lequel il s'exprime, et il n'est alors pas nécessaire de reproduire tout un environnement, maintenir les fourmis en vie suffit :

“Le maintien des colonies de fourmis en laboratoire, en théorie t'es pas obligé de leur donner une aire de fourragement, t'es pas obligé de chercher à leur mettre de l'UV, tu pourrais juste foutre le *bactar* [mixture nourrissante développée en laboratoire] dans la colonie, ça ferait des reines et des ouvrières quand même quoi”²⁹

Mais si l'on veut prendre la fourmi dans son ensemble, environnement compris, ce qui semble nécessaire pour questionner l'expression des comportements naturels, on doit aller plus loin que de considérer les fourmis comme du simple matériel d'expérimentation qui doit être stocké. Et c'est ce que fait Emerg-ant en considérant les fourmis au sein même de leur démarche scientifique comme des êtres qui dépendent de leur environnement pour exister en tant que fourmis. C'est une approche aussi écologique (dans le sens biologique du terme, et non politique) que de prendre en compte l'environnement dans ce qui définit un animal. Et pour Emerg-ant, cela est plutôt aisé sur le terrain puisque les fourmis sont exploitées directement dans cet environnement, mais cela l'est beaucoup moins en laboratoire. Les membres de l'équipe sont ici confronté.es à des limites qu'il leur faut tenter de dépasser, tout en étant conscient.es que certaines limites resteront en place si on a pas accès à des moyens extravagants. Sans avoir à aller jusqu'à l'extravagance, j'ai déjà abordé le fait que sans lumière UV, les fourmis ne sont pas en présence d'un ciel qui peut leur paraître naturel, et les LED de l'arène VR que l'équipe utilise ont ce défaut d'en être dépourvues. Les scientifiques doivent donc composer avec cette absence et mettre en place des expériences qui fonctionnent sans cette lumière UV. La reconstitution de l'*umwelt* de la fourmi (car c'est là l'objectif de reconstruire un environnement naturel) ne peut être parfaite, et les membres d'Emerg-ant en sont conscient.es. Un exemple est pointé du doigt par Océane lors d'un entretien :

“[La zone de fourragement] c'est pas les centaines de mètres qu'elles peuvent faire dans leur milieu naturel”³⁰

En effet, les quelques dizaines de centimètres carrés qui leurs sont disponibles pour fourrager comme elles le font dans leur milieu naturel n'est rien face au désert Andalou d'où elles viennent. Et les scientifiques ne savent pas vraiment ce que cela peut impliquer comme biais d'avoir cette différence. Tout ce qu'elles peuvent faire, c'est le garder en tête et continuer d'expérimenter sur le terrain pour potentiellement repérer ces biais. Elles savent que l'environnement artificiel qu'elles

²⁹ Entretien avec Antoine du 18 mai 2022

³⁰ Entretien avec Océane du 8 avril 2022

ont conçu n'est pas parfait, mais elles doivent accepter ces imperfections pour être capable d'expérimenter en laboratoire. Elles n'ont pas la possibilité de ne faire que des recherches sur le terrain, et ne peuvent avoir à disposition des hangars infinis qui leur permettraient de pallier la plupart des problèmes (car même dans ces conditions, comment être sûr que l'environnement reconstruit est parfait ?). C'est un compromis permanent entre tendre vers des conditions naturelles et la faisabilité de la science avec leurs moyens. Et c'est d'ailleurs tout l'intérêt de travailler avec la réalité virtuelle. Car reconstruire un environnement virtuel est bien moins coûteux que de le reconstruire physiquement, et cela offre qui plus est des possibilités infinies quant au fait de moduler cet environnement. Ces modulations pourront aussi permettre à l'équipe de mieux appréhender l'*umwelt* des fourmis, en repérant quelles modulations ont un impact sur leur comportement et donc sur cet *umwelt* (c'est comme cela qu'elles ont bien compris que l'absence d'UV a un impact sur leur navigation, et qu'il faudra s'équiper d'une arène mieux adaptée pour conduire certaines expériences en laboratoire).

Tout cela induit ces rapports particuliers aux fourmis qui sont de souhaiter les garder en vie, de les perturber le moins possible, de leur apporter ce qu'il faut pour qu'elles se sentent comme dans leur milieu naturel, et qu'elles se retrouvent face à un *umwelt* réaliste (ou tout du moins suffisamment pour conduire les expériences souhaitées). Le type de savoir que l'on souhaite produire implique ainsi ces rapports aux fourmis, mais aussi réciproquement, ces rapports aux fourmis impliquent de produire ce type de savoir. Il semble ainsi difficile de faire de la psychologie expérimentale sans être intrusif, sans modifier et contraindre le corps de l'animal et son comportement. Et inversement, appliquer ce type de méthodes ne permet pas d'observer des comportements naturels, et ne correspond donc pas à l'éthologie :

“J pense qu'une abeille qu'est cloisonnée [il parle ici d'expériences où leurs corps sont contraints] elle va pas faire un comportement pour lequel son cerveau a évolué quoi. Et du coup t'es en train de regarder des trucs cassés”³¹.

Chez Emerg-ant, les seules intrusions et contraintes des corps qui ont lieu sont le marquage à la peinture et le maintien sur la *trackball*, et ces méthodes sont donc pensées de façon à ce que la fourmi puisse continuer à exprimer son comportement naturel. Pour eux et elles, la meilleure façon d'obtenir un comportement naturel est de s'adapter aux volontés de la fourmi, et cela les pousse encore une fois à adapter leur temporalité et le cours de leur expérience :

“Si la fourmi elle veut rentrer chez elle, elle veut pas ressortir ben, pas de problème. Quand

³¹ Entretien avec Océane du 8 avril 2022

on fait de l'apprentissage en labo, on reprend les fourmis qui reviennent, elles ont fait l'expérience et elles reviennent, et elles reviennent de plus en plus vite, donc en fait c'est leur motivation qui nous dit si on les prend ou pas donc ça c'est chouette. C'est pas à toi de forcer. On a pas besoin de faire, ce qui s'appelle les récompenses ou punitions pour comprendre leur comportement au final"³²

L'éthologie impose aux scientifiques d'obtenir des comportements naturels, donc on ne peut pas forcer la fourmi à faire quoi que ce soit qu'elle ne ferait pas naturellement. Les éthologues se contentent de modifier certaines caractéristiques de l'environnement artificiel pour observer comment les fourmis vont réagir. Charlotte Brives a aussi repéré chez les levuristes ce type d'adaptation de la part des scientifiques : "Créer de la connaissance sur les levures implique de la créer avec elles, de leur poser des questions pertinentes, d'adapter ses prétentions scientifiques à ce qu'elles peuvent offrir et surtout à ce qu'elles sont" (Brives, 2017, p.48). Elle continue en disant que "le laboratoire pouvait être conçu comme un « espace d'espèces », comme le fruit de l'enchevêtrement des Umwelt des humains et des non-humains, ce qui implique l'attribution aux levures du statut de sujets. Ces sujets, les humains doivent les protéger et prendre en compte leur point de vue" (Brives, 2017, p.50). Charlotte Brives a donc aussi repéré ce type d'approche au cours d'une ethnographie chez des scientifiques qui ne se revendiquent pourtant pas éthologues, et qui ne travaillent même pas avec des animaux, la levure appartenant au règne des champignons (elle compare d'ailleurs par deux fois dans cet article ses observations au travail d'éthologue). Et en effet, bien qu'être en phase avec l'animal, comme me le disait Antoine, fait partie des clés principales des éthologues, elles n'ont pas pour autant le monopole de ces pratiques.

Charlotte Brives conclut que "à l'interrogation que sont les scientifiques lorsqu'ils ne sont pas naturalistes ?", au sens ontologique du terme cette fois, car c'était sa question de départ, "l'on pourrait dès lors répondre qu'ils ont tout l'air d'être *relationnistes*, plaçant au centre de leurs préoccupations la question de l'environnement et du milieu" (Brives, 2017, p.52). Et c'est en effet ce que ces pratiques produisent, poussées particulièrement par le contexte éthologique : des relations. Les membres d'Emerg-ant, par leur métier d'éthologue, sont attentifs et attentives aux fourmis, que ce soit en tant que groupe (au travers de la gestion de l'environnement du laboratoire et des colonies notamment), comme en tant qu'individus distincts. Elles vont apprendre à les connaître et s'adapter à leurs activités. Préférer certains individus à d'autres. Réagir face à certains comportements, que ce soit positivement comme négativement, et que ce soient comme on l'a vu pour de vraies fourmis comme pour des fourmis virtuelles. Prendre soin d'elles tout en leur faisant subir manipulations et expériences. Et tout cela parce qu'elles ont besoin de témoins fiables. Des

³² Entretien avec Antoine le 18 mai 2022

témoins qui sont capables de raconter la vision naturelle que ces scientifiques ont de la réalité. Tout cela parce qu'ielles cherchent à répondre à des questions d'éthologie.

Mais en fait, pas seulement. Nous avons ici à faire à des scientifiques, certes, mais qui sont eux et elles aussi des individus distincts, qui ont une sensibilité propre face à leurs pratiques. Et leur éthique a donc aussi un rôle à jouer dans ces pratiques, et dans les choix qu'ielles peuvent faire.

II - L'éthique joue aussi sur les comportements des scientifiques

Et ce qui semble leur convenir avec l'éthologie, c'est en partie que cette discipline est souvent en cohérence avec leur propre éthique :

“Moi j'ai une approche très très éthologique, et du coup il s'trouve que l'éthique va être en phase au final avec l'intérêt de l'avancée de la recherche tu vois”³³

Car en dehors du choix des pratiques éthologiques, rien ne les oblige à adopter ces comportements. En effet, là où il y a une réglementation européenne sur l'expérimentation animale chez les mammifères et autres vertébrés, aucune réglementation n'a été mise en place pour les insectes. Pour les premiers, les scientifiques doivent respecter un cadre pour leurs expériences, et doivent justifier leurs méthodes, montrant que l'expérimentation animale est nécessaire pour pouvoir les exploiter. Ainsi, les expérimentateur.ices se doivent notamment de faire en sorte que “tout animal utilisé ou destiné à être utilisé dans une procédure bénéficiant d'un logement, d'un environnement, au moins d'une certaine liberté de mouvement, de nourriture, d'eau et de soins appropriés à sa santé et son bien-être. Toute restriction apportée à sa capacité de satisfaire ses besoins physiologiques et éthologiques est limitée autant que possible” (Convention européenne sur la protection des animaux vertébrés utilisés à des fins expérimentales ou à d'autres fins scientifiques, 1986, p.3). On voit ici que certaines directives restent floues : “une certaine liberté de mouvement” ; “soins appropriés” ; ou encore le “bien-être” dont je n'ai trouvé aucune définition dans ce texte. Il y a bien des annexes qui complètent ces directives, mais cela ressemble plus à des conseils qu'à des consignes, employant le plus souvent le conditionnel, et sans apporter plus de précision notamment sur ce que peuvent bien être des soins appropriés ou le bien-être d'un animal. Tout cela n'existe pas dans le monde de l'entomologie. Les scientifiques peuvent contraindre, opérer, tuer les insectes comme bon leur semble, et en quantité souhaitée, sans avoir à respecter aucune réglementation pré-défini sur leur bien-être, quoi que cela puisse signifier. Pourtant, on retrouve chez Emergent des pratiques qui ressemblent fortement à ce que conseille cette convention, et qui vont même plus loin. Si j'ai choisi cette citation, c'est parce qu'elle ressemble à la démarche éthologique, non pas pour des raisons

³³ Entretien avec Antoine du 18 mai 2022

éthiques mais pour atteindre des objectifs scientifiques particuliers comme nous l'avons vu plus tôt. Et c'est à plusieurs reprises que les membres d'Emerg-ant m'ont parlé d'éthique en ce sens, en mettant l'accent sur l'intérêt que cela peut avoir pour la recherche :

“C'est cool pour la fourmi d'un point de vue éthique j'pense, mais c'est aussi cool pour nous parce que comme ça elles ont des comportements qu'ont du sens écologiquement, et moi j'pense que pour avancer sur nos questions, il faut que la fourmi soit en phase avec son environnement”³⁴ ; “nous c'est dans l'intérêt de l'expérience aussi quoi, c'est clair”³⁵

On remarquera tout de même que l'intérêt de l'expérience est présenté dans un second temps, l'exprimant avec l'adverbe “aussi”, signifiant l'importance de l'éthique en elle-même plus que ce qu'elle apporte. La plupart des membres d'Emerg-ant attachent donc une importance à cette éthique en soit, au-delà du simple fait que cela concorde avec leurs recherches.

Mais il y a bien sûr des sensibilités différentes, certain.es vont trouver nécessaire de travailler en respectant une certaine éthique, tandis que d'autres apprécieront simplement le fait qu'elle soit utile. Certain.es pourraient accepter d'appliquer des méthodes intrusives, voire mortelles pour la fourmi si l'intérêt que cela peut apporter est suffisant : “là tant mieux parce qu'on en a pas besoin”³⁶. Par exemple, sur le sujet d'une potentielle expérience de psychologie expérimentale, qui consisterait à ouvrir le cerveau d'un insecte et y brancher des électrodes pour observer directement certains mécanismes neuronaux, l'intérêt de la recherche pourrait surpasser l'éthique :

“Antoine veut faire ça sur des fourmis [je précise que ce sujet a été abordé, mais rien n'est décidé pour cette expérience, loin de là], et si ça marche en vrai c'est trop stylé quoi. C'est tellement maléfique (*rire*), mais en vrai c'est classe quoi, tu vois. [...] Et ouais bon ben tu tues quelques ouvrières. Mais tant que tu décimes pas des colonies dans la nature et tout, ça va quoi”³⁷

Les limites de l'éthique sont donc aussi personnelles, et certaines méthodes appliquées aujourd'hui dans leurs recherches atteignent déjà certaines de ces limites personnelles. Océane est par exemple vegan, ce qui suppose qu'elle est attachée à une certaine éthique en dehors même du laboratoire. Cela peut expliquer son appréciation des méthodes non intrusives de l'éthologie :

³⁴ Entretien avec Antoine du 18 mai 2022

³⁵ *Ibid.*

³⁶ Entretien avec Erwan, le 3 mai 2022

³⁷ *Ibid.*

“Typiquement ce que j’ai bien aimé aussi dans cette équipe c’est que les fourmis tu les tues pas quoi. Donc voilà, tu fais tes trucs avec et après tu les remets dans leur nid et elles font leur vie quoi”³⁸

Mais elle ne s’attendait pas à devoir tuer des vers de farine pour nourrir les fourmis (même si elle me disait que ce n’est en fait pas étonnant), action qu’elle préfère déléguer, demandant souvent à un ami, stagiaire d’une autre équipe, de le faire pour elle. La mise à mort de ces vers de farine n’est donc pas gérée de la même façon par tout le monde, et elle n’est même pas pratiquée de la même manière par tous.tes : certain.es pronnent qu’il faut entailler la tête du ver de farine avant tout (pour couper le cerveau en deux), afin qu’il meure sur le coup avant même d’être découpé en morceau, mais d’autres ne vont pas s’en préoccuper, découpant alors le ver encore vivant.

On ressent aussi une certaine hiérarchie des espèces. Le monde de la science a hiérarchisé les vertébrés au-dessus des insectes en réglementant l’expérimentation sur les premiers mais pas sur les seconds. Et dans le groupe d’Emerg-ant, certain.es hiérarchisent les fourmis au-dessus des vers de farine, et ne placent pas les fourmis très haut non plus dans cette hiérarchie : “Après ça reste des fourmis tu vois”. Catherine Rémy explique cette hiérarchie par la “commune corporéité” (Rémy, 2009), expliquant que plus un animal se rapproche physiquement de l’humain (entendons ici les ressemblances de physicalité liées aux ontologies de Philippe Descola), plus on lui accordera un positionnement éthique favorable. Les grands singes étant par exemple facilement comparables aux humains, tant d’un point de vue éthologique qu’évolutionniste, ils sont placés en haut de cette hiérarchie de non-humains. Cela expliquerait pourquoi les insectes n’ont pas le droit à une réglementation sur leur expérimentation. Mais chez Emerg-ant, l’absence de cette commune corporéité ne les empêche pas de souhaiter traiter leurs fourmis en adoptant une certaine éthique, qui est plus poussée que pour de nombreuses expérimentations sur des mammifères où l’animal est opéré et tué, malgré une réglementation respectée (comme Catherine Rémy le décrit par exemple dans son livre *La fin des bêtes*, 2009).

Mais il semble aussi y avoir une hiérarchie entre individus et groupes. Tuer quelques individus peut être acceptable, mais extraire ou décimer des colonies entières est moins acceptable, liant qui plus est des arguments écologiques à l’éthique. Et la légitimité de la science aide aussi à accepter de faire des compromis éthiques. Erwan élève des fourmis chez lui comme amateur, et signale que creuser pour récolter des colonies dans la nature est mal vu dans cette communauté :

³⁸ Entretien avec Océane, le 8 avril 2022

“Si tu vas creuser ta fourmi pour toi perso tu vois, genre tu dis ça sur internet tu te fais démonter (*rire*), les gens ils sont en mode « mais frère ça se fait grave pas quoi ». Mais ici c’est la science, voilà (*rires*)”³⁹

La science a donc cette légitimité à dépasser certaines limites éthiques, et écologiques (cette fois au sens politique) :

“Si tu dois développer tes colonies à partir d’une seule reine [en capturant donc une reine lors des essaimages, avant qu’elle fonde sa colonie, ce que prône la communauté d’amateur.ices], ton papier tu le publies dans quinze ans (*rires*). T’es pas sorti quoi. T’as pas trop le choix”⁴⁰

Des compromis sont donc à faire pour pouvoir avancer efficacement, car la légitimité de la science prend parfois le dessus. Ainsi, certaines actions peuvent être considérées comme étant subies par les fourmis, ou comme dépassant une éthique personnelle. On a pu parler des expériences de VR qui peuvent être considérées comme “fuckantes” pour certain.es expérimentateur.ices. Sans avoir d’idée sur l’impact psychologique que peuvent avoir ces expériences sur les fourmis, ces dernières sont tout de même accomplies car il faut bien avancer, et qu’il est de toute façon considéré que si impact il y a, ça n’est pas comparable à des méthodes bien plus drastiques en terme d’intrusion et de dégradation des corps venant d’autres disciplines. D’autres pratiques peuvent être considérées comme étant à la limite de l’éthique par les membres d’Emerg-ant, et certain.es peuvent même estimer que les limites sont parfois dépassées. Ce fut le cas d’une expérience qui était conduite à mon arrivée au laboratoire. La question à laquelle les scientifiques cherchaient à répondre nécessitait dans leur protocole expérimental de bloquer les mouvements de tête des fourmis. La solution apportée a été de déposer une goutte de cire chaude à la jonction entre la tête et l’abdomen de la fourmi, ce qui en séchant contraignait ses mouvements. Bien que cette cire était enlevée une fois la fourmi testée, la température de cette cire et la manipulation qui en découlait amenaient assez régulièrement à blesser des individus, voire à les tuer. De plus, le stagiaire en charge de cette expérience se plaignait auprès de ses collègues qu’il obtenait souvent des résultats incohérents, sans mettre en cause cette manipulation. Bien que cette situation n’ait pas produit de conflit ouvert (en tout cas je n’y ai pas assisté, les différents membres de l’équipe me rapportaient simplement leur avis sur la question), elle a tout de même créé des désaccords. Pour certain.es membres de l’équipe, il était évident que la température de la cire était trop élevée et que c’est ce qui causait ces résultats faussés, altérant le comportement des fourmis. On était alors ici hors des préceptes de l’éthologie

³⁹ Entretien avec Erwan, le 3 mai 2022

⁴⁰ Entretien avec Erwan, le 3 mai 2022

puisque, en plus de ne pas être sûr que les résultats de cette expérience furent exploitables, les comportements naturels n'étaient plus observables. Au-delà de ce désaccord épistémologique, les blessures et morts induites par cette manipulation en ont agacé certain.es, ici plutôt lié à leur éthique personnelle. Quelques membres de l'équipe ne comprenaient pas pourquoi les scientifiques impliqué.es dans cette expérience insistaient et continuaient de tuer des fourmis. Il faut dire que ces scientifiques en question ne sont déjà pas considéré.es par le reste de l'équipe comme les expérimentateur.ices les plus délicat.es et les plus sensibles au bien-être des fourmis de laboratoire, et bien que leur qualité de scientifique en général n'est pas été remise en cause dans ce cas là, leur qualité d'expérimentateur.ices dans un contexte éthologique l'a elle été. Les arguments employés pour justifier de l'erreur que pouvait être cette expérience étaient épistémologiques, mais leurs réactions étaient aussi fortement liées à leurs sensibilités personnelles et à leurs visions de l'éthique, considérant pour certain.es que de voir jours après jours de nouveaux cadavres de fourmis dans la corbeille à papier aurait dû suffire à stopper ces manipulations. Et au-delà même de ces morts et blessures, il a aussi été soulevé la notion de bien-être, car même si ces scientifiques avaient réussi à obtenir des résultats sans qu'aucune fourmi n'ait de séquelle, certain.es arguaient que de la cire répandue à haute température sur le corps d'une fourmi, cela reste sûrement douloureux pour elle quoi qu'il arrive. Une notion difficile à aborder, le bien-être, car bien qu'ici il est assez aisé de se mettre d'accord sur le fait que de faire souffrir les fourmis atteint à leur bien-être (que l'on s'en soucie ou pas), il est d'autres situations où le bien-être est difficile à définir.

La volonté générale de l'équipe est en effet que le bien-être des fourmis de laboratoire soit le meilleur possible, bien que personne ne soit sûr de ce qui définit ce bien-être, et de ce qui peut l'impacter. La réponse la plus simple est donc que pour maximiser le bien-être, autant coller le plus possible au milieu naturel, comme suspendre des lampes émettant de la lumière UV alors que cela ne semble pas nécessaire au bon fonctionnement de la colonie. Mais comme on l'a vu, ce ne peut être parfait. Les bacs à litière comme zones de fourragement étant très limitées, cela ne correspond pas à l'espace gigantesque que les fourmis peuvent parcourir dans leur milieu naturel. Mais cela impacte-t-il leur bien-être ? Difficile à dire, voire impossible. Peut-être que réduire cette zone de fourragement augmente leur bien-être, puisque cela réduit leurs efforts pour fourrager, et assure à la colonie un apport plus sûr en nourriture. C'est une discussion informelle que nous avons eu avec quelques membres de l'équipe. Nous avons ainsi discuté du fait qu'il serait absurde de projeter le bien-être des humains sur celui des insectes, ce qui correspondrait à anthropomorphiser ces fourmis. Il est déjà difficile d'appréhender l'*umwelt* des fourmis, alors comment envisager de concevoir leur bien-être ? Les fourmis étant des insectes sociaux, le bien-être à considérer est-il celui des individus ou bien celui de la colonie ? Car on pourrait se dire par exemple qu'insérer directement de la nourriture dans la colonie pourrait augmenter le bien-être des fourmis fourrageuses car cela

réduirait leur activité, mais cela impacterait fortement le fonctionnement général de la colonie. Est-ce que toucher au fonctionnement de la colonie correspond aussi à une altération de son bien-être ? Bref, tant de questions que les scientifiques se posent est dont-ielles sont incapables d'apporter des réponses, au point que la notion de bien-être semble totalement inadéquate au contexte. Finalement, en pratique, et pour répondre à l'éthique comme à l'éthologie, on se concentre au laboratoire sur les questions de soins physiques, ainsi que de faire en sorte de reproduire au mieux le fonctionnement qu'ont les fourmis dans leur milieu naturel. On fait encore ici des compromis entre ce qu'il est possible de faire en laboratoire et ce que l'on souhaite au mieux pour les fourmis, tout en étant conscient que 'ce que l'on souhaite au mieux' est de toute façon réfléchi au travers du spectre humain.

Les membres d'Emerg-ant ne sont pas en parfaite cohérence avec leurs visions de l'éthique, poussées par le contexte de laboratoire à faire des compromis afin que leurs projets puissent avancer. Ce laboratoire leur donne une légitimité, qu'elle soit personnelle ou communautaire, pour dépasser certaines préoccupations éthiques qu'ielles vont pourtant respecter hors du laboratoire. Mais des discussions autour de la culpabilité émergent régulièrement, se comparant souvent à d'autres disciplines (notamment à la psychologie expérimentale) ou aux démarches d'autres équipes de recherche pour se justifier ou se rassurer. Je serais bien incapable de juger si c'est à raison ou pas, et ce n'est de toute façon pas ma place de la faire. Mais j'ai ressenti chez certain.es ce besoin de se rassurer, allant parfois jusqu'à se comparer avec les autres membres de leur propre équipe, et en mettant sur la table certaines de leurs propres pratiques pour justifier de leur préoccupation envers le bien-être de leurs fourmis, comme c'est le cas par exemple pour les différences de mise à mort des vers de farine, ou encore Océane qui laisse toujours une "copine" avec les fourmis en cours de préparation pour une expérience.

III - Comportement hors du laboratoire

Ces sensibilités, qu'elles soient éthiques ou éthologiques, se retrouvent aussi hors du laboratoire. J'ai eu plusieurs fois l'occasion de passer du temps avec eux et elles en dehors de leur environnement de travail, lors de soirées que nous passions ensemble par exemple. Les sujets abordés continuent souvent à tourner autour de la nature et des non-humains. Certes, l'effet de groupe y est pour quelque chose. Le fait de rester entre biologistes induit forcément les sujets des conversations. De plus, en tant qu'entomologistes, ielles portent ensemble une attention envers les insectes qui les entourent. Ainsi, lorsque nous étions dans des espaces plus ou moins végétalisés, ielles s'attardaient souvent sur les insectes qui entraient dans leur champ de vision, partageant leurs

connaissances sur ceux qu'ielles voyaient, à commencer par les fourmis. Dès qu'une fourmi était aperçue, ielles donnaient le nom de l'espèce si ielles le pouvaient, observaient ce qu'elle était en train de faire, et cela pouvait parfois aller jusqu'à engendrer des commentaires en lien avec leur travail. Mais ielles ne s'intéressent pas qu'aux fourmis, pointant du doigt des larves de coccinelles, faisant remarquer le passage d'hyménoptères volants en tout genre, ou s'approchant d'un arbre pour y observer sa population. Un jour, une araignée sauteuse a ainsi fait l'objet d'une grande attention, jusqu'à jouer avec elle. Après l'avoir attrapée délicatement, certains membres du groupe la faisaient sauter en la poussant doucement, et l'ont observée faire durant de longues minutes d'un regard fasciné et impressionné, commentant ses capacités surhumaines et les mécanismes qui en sont responsables, avant de la reposer sur l'arbre d'où elle venait.

Et à quel point l'effet de groupe à-t-il un effet ? Il est certain que le fait d'être ensemble crée une synergie sur ces sujets, qui plus est du fait qu'ielles s'entendent bien. Et je n'ai pas eu l'occasion de les côtoyer à l'extérieur de ce groupe, à l'exception de Léo, mon colocataire, que je prendrai alors comme exemple. Lui n'a clairement pas besoin d'être entouré de biologistes pour adopter ce comportement de naturaliste, et son attention est d'autant plus grande lorsque ce qu'il observe se rapproche des fourmis, ou même seulement des insectes. Il s'arrêtera dès qu'il apercevra une colonie de fourmis, et ramassera des cadavres de coléoptères ou autres gros insectes qu'il juge impressionnants afin d'agrémenter sa petite collection. Mais sans avoir côtoyé plus intimement les autres membres d'Emerg-ant, la plupart m'ont partagé leur passion des animaux. Que ce soit Océane qui s'est depuis longtemps vue travailler avec des animaux, rêvant à l'origine d'étudier de grands mammifères comme les lions, elle ne s'attendait pas à se prendre de passion pour des fourmis. Ou encore Erwan, qui a manifesté sa passion envers les insectes en élevant chez lui des colonies de fourmis, ou en adoptant des araignées, et en produisant des vidéos sur internet où il présente ses insectes et leurs modes de vie. Bref, si ce n'est Ludo qui vient de l'informatique et qui n'avait avant son stage pas cette attention acérée envers le monde animal, toutes et tous ont une sensibilité naturaliste plus ou moins prononcée qui remonte parfois jusqu'à l'enfance, et cette sensibilité se remarque très vite lorsqu'on passe un peu de temps avec eux et elles. Une fois dehors, ielles restent attentives à ce qui les entoure, et passent une bonne partie de leur temps à observer et discuter des vivants non-humains qu'ielles peuvent voir.

Cette sensibilité naturaliste semble déjà les orienter vers des choix de comportements particuliers, vers une attention particulière envers le monde qui les entoure. Et c'est aussi ce qui les a orienté.es vers l'éthologie. Mais ielles avaient d'autres choix, la biologie offre de nombreuses disciplines, et bien des biologistes, qu'ielles soient éthologues ou pas, peuvent adopter un comportement naturaliste. Ainsi, les parcours des membres d'Emerg-ant différent, certain.es ayant abordé l'éthologie par hasard, mais ielles sont aujourd'hui relié.es par cette discipline, et non plus

seulement par cette sensibilité naturaliste. Et s'ajoute alors à leur comportement et leurs réflexions hors du laboratoire une sensibilité éthologique, qui renvoie comme nous l'avons vu à une vision de l'animal la plus complète possible, comprenant aussi son écologie, et à une éthique qui les pousse à apprécier au quotidien la vie de ces animaux dans son ensemble. Par exemple, bien des naturalistes capturent des insectes vivants et les mettent à mort pour compléter leurs collections. Cela ne semble pas faire partie des intentions des membres de ce groupe, poussé.es par cette approche éthologique, mais aussi inversement, c'est parce qu'ielles ont cette approche du vivant qu'ielles s'accordent bien avec l'éthologie. Je précise cependant que je généralise, car comme on l'a vu, tous.les membres d'Emerg-ant n'ont pas la même sensibilité exactement, et certain.es sont prêt.es à adopter des pratiques que d'autres se refusent, ce qui doit aussi se retrouver hors du laboratoire.

CONCLUSION :

J'aurais lors de cet écrit pu décrire un contexte scientifique particulier : une discipline particulière, l'éthologie ; un insecte particulier, la fourmi ; un projet particulier, Emerg-ant ; et même une période particulière pour ce groupe de scientifiques qui ont des activités plus variées que ce que j'ai pu observer lors de ces quelques mois de terrain. Je n'en tirerai donc pas de conclusion générale sur les sciences et leurs modes de productions, mais cela aura permis de décrire beaucoup de paramètres de cette production scientifique spécifique. Les détails de conception des outils, les problématiques rencontrées face au fourmis, leurs relations et rapports avec elles, comment les savoirs auxquels ielles font appel modifient ces relations, comment les fourmis sont au centre de leur petite société de myrmécologues. Tout cela au travers de leur propre pratique de la science, de leurs activités quotidiennes.

On remarquera que j'avais bien plus à dire sur les vraies fourmis que sur les fourmis numériques et numérisées. Cela semble logique du fait que les scientifiques aient plus de relations avec les premières que les autres, et c'est effectivement ce que j'ai pu observer. Le fait qu'ielles doivent manipuler, préparer aux expériences et gérer l'habitat des fourmis de laboratoire implique forcément beaucoup d'interactions, là où pour les fourmis numériques et numérisées, il y a beaucoup moins d'éléments de gestion. Elles ne sont que des informations numériques avec lesquelles les scientifiques traitent seulement lorsqu'ielles en ont besoin, et jamais l'inverse, contrairement aux vraies fourmis qui nécessitent une attention continue.

On a non seulement vu au travers de ces descriptions la place centrale de la fourmi dans cette production scientifique, mais aussi comment elle y participe. Au sein de ce laboratoire, ces fourmis ont une agentivité claire, qui pousse leurs scientifiques à modeler cette science selon elles,

dépassant largement les simples statuts de sujet/objet et d'outil expérimental. Elles sont partie prenante de ce laboratoire, imposant aux scientifiques d'entrer en relation avec elles si elles veulent exploiter leurs savoirs au profit de cette production de connaissance destinée à l'humain. Elles vont jusqu'à étendre leur présence au-delà de leur physicalité, introduites dans des univers virtuels pour se dématérialiser, défragmenter leurs comportements pour prendre place dans toutes les productions numériques. Ces fragments de fourmis sont même reproduits en parallèle, partant de rien. Assujetties pour la science dans un laboratoire, elles n'en sont pas moins actrices, car même sans intentionnalité, elles agissent sur cette production scientifique, la contraignent comme elles sont contraintes, et lui offrant des opportunités comme les pratiques éthologiques en offrent, dans un monde scientifique où d'autres pratiques ne le permettraient pas, dans un sens comme dans l'autre. Des relations d'interdépendances se développent alors entre les scientifiques et leurs fourmis, entre les fourmis et leurs scientifiques. Par la simple volonté de tirer des informations de ces fourmis, ces myrmécologues sont engagés corps et esprit dans ces relations, particulièrement parce qu'elles sont aussi éthologues. Et malgré leur introduction forcée dans cet univers laborantin, ces fourmis ne sont pas dénuées de tout pouvoir sur leurs ravisseurs. J'ai ainsi tenté d'analyser ces deux groupes, fourmis et scientifiques, de manière symétrique, en suivant les réflexions de nombreux auteurs et autrices que j'ai pu citer dans ce travail. Cette symétrie m'aura permis de révéler l'agentivité de ces scientifiques comme celle de leurs fourmis, dans une démarche de réduire les présupposés indiqués par l'ontologie naturaliste qui indiquent une différence des interiorités entre humains et non-humains : "les animaux devraient être l'objet d'un traitement « symétrique » (Latour, 1991) à celui que l'on réserve d'ordinaire aux humains, auxquels on accorde d'emblée et sans discussion une intentionnalité. L'autre est indirecte : l'agentivité des animaux est reconnue dans les ontologies propres à certaines sociétés ; or rien n'autorise à placer l'ontologie « naturaliste » occidentale (Descola, 2005), qui leur refuserait cette agentivité, au-dessus de ces ontologies" (Guillo, 2015, p.138). Ne pas réduire d'emblée les fourmis à des sujets/objets m'aura poussé à reconnaître cette agentivité.

Et je pense que les scientifiques que j'ai suivis pour ce travail m'y ont aidé. Le fait qu'elles aient une approche éthologique, considérant l'animal comme un ensemble d'interactions entre le corps, l'esprit et l'environnement. J'ai de mon côté eu une approche où les interactions étaient à la base de mes réflexions, et elles ont tendance à faire de même en étudiant leurs animaux. Dominique Guillo, traitant de la place de l'agentivité animale dans les sciences sociales, nous dit ceci : "l'une des idées-forces de l'interactionnisme symbolique est précisément de concevoir l'esprit (mind) et les facultés comme des propriétés qui n'émergent et n'existent que dans les interactions" (Guillo, 2015, p.139). Et cela ressemble fort à ce que les éthologues cherchent à faire, bien qu'elles se concentrent seulement sur les interactions entre animaux et avec le reste de l'environnement. Le

simple fait qu'ielles nomment formellement leurs êtres numériques comme "agents" montre déjà qu'ielles ont une réflexion sur l'agentivité qu'ont ces êtres qui ne sont pourtant que virtuels. Mais en étudiant ces animaux, ielles créent elles-mêmes de nouvelles interactions, qu'il reste à la sociologie des sciences d'étudier à son tour : "le fait que les humains attribuent volontiers des facultés mentales aux animaux dans leurs interactions avec eux ne peut manquer d'être considéré, dans une perspective interactionniste, comme une forme de manifestation indirecte de l'esprit de l'animal, même s'il existe d'« évidentes différences linguistiques entre humains et animaux » (Arluke et Sanders, 1996, p. 49) qui doivent conduire à se méfier d'un anthropomorphisme excessif. En d'autres termes, même si les contours de cet esprit restent à caractériser avec précision, ces phénomènes interactionnels interdisent que l'on souscrive au modèle de l'animal-machine cher à l'éthologie behavioriste" (Guillo, 2015, p.139-140). Ce que j'ai lu au sujet du rôle des sociologues des sciences, je l'ai souvent retrouvé chez les membres d'Emerg-ant, que ce soit dans leurs pratiques comme dans leurs discours. Ielles aussi cherchent à se détacher de ce modèle de l'animal-machine, et de ce behaviorisme qu'ielles pensent obsolète si l'on cherche à étudier l'animal comme le tout qu'il représente. Ielles aussi cherchent à étudier des phénomènes interactionnels. Là où le travail des sciences sociales diffère, c'est qu'elles ajoutent l'humain dans l'équation, et qu'ielles se contentent des interactions et des pratiques (ou des comportements), là où les éthologues vont aussi étudier les mécanismes. Ces derniers n'ont de plus pas les mêmes objectifs, ielles cherchent à comprendre le fonctionnement et le comportement des animaux dans leur milieu naturel, même si pour cela il faut les introduire en laboratoire. Les éthologues ne cherchent pas à étudier un animal de laboratoire, alors que les ethnologues qui les observent, oui, puisque c'est ce à quoi ielles font face. Un animal qui interagit de plus avec les humains, et vice-versa : "les ethnologues y cherchent souvent des compromis en conservant certaines manières de faire parler leurs objets : considérer aussi l'animal comme un condensé de divers aspects du social, comme un médiateur de relations entre humains, ou bien comme un être vivant ayant un corps et des compétences qui donnent lieu à des formes d'instrumentation techniques et matérielles spécifiques." (Manceron, 2016, p.295). Les éthologues ne prennent pas en compte les interactions qu'ielles ont avec leurs animaux dans leurs réflexions (bien qu'ielles les prennent en compte en pratique pour considérer l'impact de ces interactions sur les animaux et sur leurs expériences), ielles ne considèrent pas l'animal comme "un médiateur de relations entre humains", et n'ont pas d'approche réflexive sur les relations d'interdépendances entre scientifiques et cobayes. Ce n'est tout simplement pas leurs sujets de recherche. Mais de nombreuses démarches restent communes entre les éthologues et les ethnologues.

Et ce sont ces relations d'interdépendances qui sont intéressantes à traiter pour travailler non plus seulement sur des humains qui ont des animaux sujets, mais sur la communauté hybride dans son unité qui en résulte. De nombreux.es auteur.es cherchent à montrer l'intérêt de l'interdisciplinarité, ou au moins d'aller puiser des approches dans d'autres disciplines pour enrichir la sienne, comme Vinciane Despret (2006, 2019) et Vincent Leblan (2017) pour l'anthropologie et la biologie, Benoît Goetz (2007) pour la philosophie et la biologie, et Eric Baratay (2012) pour l'histoire et l'éthologie, et certain.es ont déjà appliqué ce travail. La revue *Social Science Information* a ainsi consacré un numéro sur la coopération entre éthologie et ethnologie, titré "Ethologie et ethnologie : une synthèse prometteuse", auquel Vinciane Despret a participé en se servant de l'exemple des primates pour montrer que l'éthologie permet de créer un savoir social, et qui peut construire "simultanément l'identité de l'homme et de l'animal, ensemble" (Despret, 2006, p.209), invitant alors à une "anthropo-éthologie", travail que fait par exemple Vincent Leblan dans son livre *Aux frontières du singe : Relations entre hommes et chimpanzés au Kakendé, Guinée (XIX^e-XXI^e)* (Leblan, 2017). Dans ce même numéro, Dominique Lestel, Florence Brunois et Florence Gaunet nous parlent de l'étho-ethnologie et de l'ethno-éthologie, en associant leurs disciplines : l'éthologie cognitive et l'ethnologie. "L'éthologie nous montre que les animaux ne sont pas des robots dénués d'esprit mais des agents qui interprètent les significations, et l'ethnologie attire notre attention sur la multiplicité des associations humain/animal qui surviennent dans nos communautés humaines" (Lestel, Brunois et Gaunet, 2006, p.171). Elles nous parlent ainsi de l'évolution de ces disciplines qui tendent aujourd'hui de plus en plus à partager certaines approches. L'ethnologie se met de plus en plus à intégrer les non-humains dans ses travaux, et ne traite plus seulement des relations qu'ont les humains avec ces non-humains. De son côté, l'éthologie a évolué dans son approche mécanistique, partant de simples concepts de stimulus/réponse à une prise en compte de l'écologie de l'animal et de son histoire écologique : "c'est désormais une science de contrôle et d'interprétation" (*Ibid.* p.168). L'article critique cependant le fait que l'approche sémiotique de Von Uexküll et son *umwelt* a été négligée par l'éthologie (*Ibid.* p.166). Je n'ai pour ma part pas eu cette impression, ce concept semblant être enseigné comme une base de l'éthologie dans les formations, et avec la manière dont le groupe Emerg-ant tente d'extrapoler l'*umwelt* de la fourmi, et de le reconstruire pour pratiquer leur science, j'ai plutôt senti que Jakob Von Uexküll est aujourd'hui un auteur qui fait clairement partie de la littérature éthologique, parfois même cité dans les articles scientifiques et dans les thèses d'étudiant.es. L'intérêt que ce groupe de chercheur.es lui porte est-il ici une exception ? Ou cela a-t-il simplement changé depuis l'écriture de cet article en 2006 ? Je ne saurais le dire, mais la seconde option semble plus probable.

Mais ces trois auteur.es veulent aller plus loin : "il est donc nécessaire d'inclure systématiquement l'analyse des comportements spécifiques et interspécifiques des êtres vivants tels

qu'ils sont vécus par les sociétés étudiées, ce qui implique pour cela de recourir à une authentique ethno-éthologie" (*Ibid.* p.168). Elles souhaitent ouvrir l'ethnologie à l'éthologie afin d'observer le comportement des non-humains pour mieux les intégrer dans les études des "communautés hybrides humain/animal" (*Ibid.* p.167), n'abandonnant pas pour autant son sujet qu'est l'humain : "l'ethno-éthologie cherche à évaluer en quel sens les comportements des non-humains – et les réactions qu'ils sous-tendent – influencent la connaissance et les compétences humaines, ainsi que leur comportement, leur imagination et leur conception du monde" (*Ibid.* p.168). Et à l'inverse, "l'étho-ethnologie peut être décrite comme une discipline qui étudie les dynamiques des agents, ce qui combine les actions et les interprétations en une perspective écologique, historique, et individuelle. L'animal qui intéresse l'étho-ethnologie se définira lui-même comme naturel ou artificiel, un agent humain ou non-humain qui tente de contrôler ses actions et celles des autres comme un résultat des significations qu'il attribue à leurs comportements" (*Ibid.* p.168). Elles mêlent ainsi l'ethnologie et l'éthologie pour créer deux nouvelles disciplines croisées qu'elles font ensuite collaborer, notamment au sein de leur équipe de recherche "Etho-Ecologie et Éthologie Cognitive" au Laboratoire d'Eco-Anthropologie et Ethnobiologie du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Si des disciplines comme l'étho-ethnologie et l'ethno-éthologie étaient plus communément admises dans le monde académique, cela nous permettrait de pratiquer l'interdisciplinarité sans avoir à faire de grand écart entre les disciplines. Mais au vu des structures radicalement séparées du monde académique qui sont souvent difficiles à dépasser, il est encore nécessaire d'avoir une grande souplesse pour effectuer ce type de travaux.

Bibliographie

- BARATAY** Éric, 2012. « Pour une histoire éthologique et une éthologie historique », *Études rurales* n° 189, p. 91-106. Disponible en ligne : <http://journals.openedition.org/etudesrurales/9596> , DOI : <https://doi.org/10.4000/etudesrurales.9596> [dernier accès, février 2020].
- BRIVES** Charlotte, 2017. « Que font les scientifiques lorsqu'ils ne sont pas naturalistes. Le cas des levuristes », *L'Homme - Revue française d'anthropologie*, n 222, vol. 2, pp. 35-56. Disponible en ligne : <https://www.cairn.info/revue-l-homme-2017-2-page-35.htm> , DOI : <https://doi.org/10.4000/lhomme.30143> [dernier accès, janvier 2022].
- DAUZERE-PERES** Océane & Antoine **WYSTRACH**, 2023, « Ants integrate proprioception, visual context and efference copies to make robust predictions », *bioRxiv*. Disponible en ligne : <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.03.29.534571v1.full.pdf> , DOI : <https://doi.org/10.1101/2023.03.29.534571>.
- DESCOLA** Philippe, 2015 [2005], *Par-delà nature et culture*, Paris, Gallimard, Coll. Folio Essais.
- DESPRET** Vinciane, 2019. *Habiter en oiseau*. Paris, Actes sud.
- DESPRET** Vinciane, 2006. « Anthro-po-éthologie des non-humains politiques ». *Social Science Information*, n° 45, p. 209-226. Disponible en ligne : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/216586/1/anthropoethologie%20des%20non%20humains.pdf> , DOI : [10.1177/0539018406063635](https://doi.org/10.1177/0539018406063635).
- GOETZ** Benoît, 2007. « L'araignée, le lézard et la tique : Deleuze et Heidegger lecteurs de Uexquill », *Le Portique*, n° 20. Disponible en ligne : <https://journals.openedition.org/1364> , DOI : <https://doi.org/10.4000/leportique.1364> [dernier accès, mai 2022].
- GOODWIN** Charles, 1994. « Professional Vision », *American Anthropologist*, n°3, vol. 96, pp. 606-633. Disponible en ligne : <https://www.jstor.org/stable/682303> [dernier accès, avril 2023].
- GUILLO** Dominique, 2015. « Quelle place faut-il faire aux animaux en sciences sociales ? Les limites des réhabilitations récentes de l'agentivité animale », *Revue française de sociologie*, n°56, vol.1, pp. 135-163. Disponible en ligne : <https://www.cairn.info/revue-francaise-de-sociologie-2015-1-page-135.htm> , DOI : <https://doi.org/10.3917/rfs.561.0135>.
- HOUDART** Sophie, 2007. *La cour des miracles. Ethnologie d'un laboratoire japonais*. Paris, CNRS éditions.
- HOUDART** Sophie & Christine **JUNGEN**, 2015. « Cosmos Connections », *Gradhiva* n° 22, p. 4-22. Disponible en ligne : <http://journals.openedition.org/gradhiva/3016> , DOI : <https://doi.org/10.4000/gradhiva.3016> [dernier accès, septembre 2020].

HOUDART Sophie & Olivier **THIERRY** (dir.), 2011, *Humains, non-humains. Comment repeupler les sciences sociales*. Paris, La Découverte.

LATOURE Bruno & Steve **WOOLGAR**, 2013 [1979], *La vie de laboratoire: la production des faits scientifiques*. Paris, La Découverte.

LATOURE Bruno, 1987 [1985]. « Les “vues” de l’esprit », *Culture et techniques* In : Réseaux, n°27, vol. 5, p. 79-96. Disponible en ligne : https://www.persee.fr/doc/reso_0751-7971_1987_num_5_27_1322 , DOI : <https://doi.org/10.3406/reso.1987.1322> [dernier accès, mai 2022].

LATOURE Bruno, 2006 [1991], *Nous n'avons jamais été modernes: Essai d'anthropologie symétrique*, Paris, La Découverte.

LEBLAN Vincent, 2017, *Aux frontières du singe. Relations entre hommes et chimpanzés au Kakandé, Guinée (XIX° - XXI° siècle)*, Paris, Editions EHESS, Coll. En temps & lieux.

LESTEL Dominique, **BRUNOIS** Florence & Florence **GAUNET**, 2006. « Etho-Ethnology and Ethno-Ethology », *Social Science Information* n° 45, p. 155-177. Disponible en ligne : https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0539018406063633?casa_token=yqWBuVo0oz0AAA:AAA:TI52H3ZNEdPzFIZ3IIMIYFizlec65YJXoQA4Vf0MKX0x8-GZphLcALSnbakcdroDSzFtJq nQAv4sA , DOI : <https://doi.org/10.1177/0539018406063633>.

MANCERON Vanessa, 2016. « Exil ou agentivité ? Ce que l’anthropologie fabrique avec les animaux », *L’année sociologique*, n°66, vol. 2. Disponible en ligne : <https://www.cairn.info/revue-l-annee-sociologique-2016-2-page-279.htm> , DOI : <https://doi.org/10.3917/anso.162.0279>.

MASSICOTTE Dany, 2022, *L’ingénierie du bricoleur*, Mémoire publié, Disponible en ligne : <https://corpus.ulaval.ca/entities/publication/cddd0656-99bc-44d3-a13a-63d1e61d89ea>.

PELLETIER Guillaume, 2020, « Le vivant et la machine en biologie de synthèse », dans M.-H. Parizeau et S. Kash (dir.), *La Société robotisée : Enjeux éthiques et politiques*, Presses de l'Université Laval, Québec, p. 151-166.

PENTIMALLI Barbara, 2020. « L’œil diagnostique », *Revue d’anthropologie des connaissances*, n° 14, vol. 3. Disponible en ligne : <http://journals.openedition.org/rac/10241> , DOI : <https://doi.org/10.4000/rac.10241> [dernier accès, février 2023].

REMY Catherine, 2009, *La fin des bêtes: une ethnographie de la mise à mort des animaux*, Paris, Economica, Coll. Études sociologiques.

STENGERS Isabelle, 2023, « 2. La force de l’expérimentation », dans : , *Apprendre à bien parler des sciences. La Vierge et le neutrino*, sous la direction de STENGERS Isabelle. Paris, La

Découverte, « Les Empêcheurs de penser en rond », pp. 25-48. Disponible en ligne :
<https://www.cairn.info/apprendre-a-bien-parler-des-sciences--9782359252576-page-25.htm>.

VON UEXKÜLL Jakob, 2001 [1936], « An introduction to Umwelt », *Semiotica*, n°134, pp. 107-110, traduit en anglais par Gösta Brunow. Disponible en ligne :
<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/semi.2001.017/html> , DOI :
<https://doi-org.gorgone.univ-toulouse.fr/10.1515/semi.2001.017> [dernier accès, avril 2023].

WYSTRACH Antoine, **LE MOËL** Florent, **CLÉMENT** Léo & Sebastian **SCHWARZ**, 2020, « A lateralised design for the interaction of visual memories and heading representations in navigating ants », *bioRxiv*. Disponible en ligne :
<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.08.13.249193v1.full.pdf> , DOI :
<https://doi.org/10.1101/2020.08.13.249193>.