

FONDATION
CgENial

Sciences à l'École



CONCOURS
Lycée **CGÉNIAL**

ESCAPE GAME POUR ABEILLES LECTRICES



**Les abeilles ont-elles un sens de
lecture ?**

**Réalisé par les élèves de l'atelier Bee Api du
lycée Alexis Monteil :**

Judith Barrau-Enjalbert, Aldo Poujade, Katline Libra, Caroline Streit, Alix Boucq et
Pablo Hérault

Encadrés par Corinne Desterbecq et Francine Rivière



Vidéo complémentaire



**ACADÉMIE
DE TOULOUSE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Monteil

développeur de talents

14 rue Carnus 12000 Rodez

AVEC L'AIDE DE :



Aurore Avarguès-Weber

Chercheuse en éthologie cognitive et spécialiste de la cognition des abeilles au Centre de recherches sur la cognition animale au CNRS de Toulouse.

LA FINE ÉQUIPE :



Francine Rivière
"Tagada-Sensei"

Corinne Desterbecq
"L'Abeille-Master"

Caroline Streit
"La clown"

- Expérimentatrice
- Relectrice
- Designeuse

Pablo Hérault
"Le senior"

- Expérimentateur
- Rédacteur
- Programmeur

Aldo Poujade
"Le blagueur"

- Expérimentateur
- Rédacteur
- Monteur

Judith Barrau-Enjalbert
"La patronne"

- Expérimentatrice
- Rédactrice
- Vidéaste
- Monteuse

Katline Libra
"La Minimoy"

- Expérimentatrice
- Rédactrice
- Designeuse

Alix Boucq
"L'exterminateur de frelons"

- Expérimentateur
- Rédacteur



SOMMAIRE

I. Introduction	4
II. Problématique	4
III. Développement	4
Partie 1) De la conception du projet à sa réalisation	4
A) Le principe général de nos expériences.....	4
B) Les caractéristiques des abeilles prises en compte pour réaliser nos expériences	5
1) Deux caractéristiques qui nous permettent de travailler en continu avec la même abeille et donc la répétition des essais	5
2) Une capacité de mémoire immédiate limitée	6
C) L'obtention d'une abeille cobaye qui vient travailler à notre table d'expérimentation	6
D) La préparation du matériel nécessaire pour les expériences	7
1) Le labyrinthe.....	7
2) Les supports.....	7
3) Les dispositifs pour donner les consignes	8
4) Les solutions de récompenses et punitions	8
5) Le petit matériel.....	10
Partie 2) Les expériences réalisées	10
A) Les pré-expériences (Expériences à réaliser pour être sûr(es) de la viabilité du protocole)	10
1) La reconnaissance des couleurs.....	10
2) L'aptitude à traverser plusieurs rangées de cartons.....	11
B) Le cœur de nos expériences (Tester la possession d'un sens de lecture par les abeilles).....	12
1) Les expériences concluantes.....	12
a) L'exploitation des données chiffrées.....	12
b) L'exploitation des données observées / filmées (Observations du changement de comportement des abeilles)	19
c) Conclusion de l'analyse des données et réponse à notre problématique	20
2) Les échecs constructifs qui ont fait progresser et évoluer le protocole	20
IV. Les difficultés et les perspectives	20
A) Nos difficultés	20
1) Les Frelons.....	20
2) Météo et saisons	21
3) Des abeilles pas toujours coopératives.....	21
4) Nos difficultés pour une prise de notes rapide des performances des abeilles (score/ temps réussite) ..	21
B) Nos perspectives	22
1) Confirmer nos résultats	22
2) Prolonger notre étude.....	22
3) Affiner les données relevées	22
V. Conclusion et remerciements	23
A) Conclusion de tout le projet.....	23
B) Remerciements	23
VI. Annexes	24

Escape game pour abeilles lectrices

I. Introduction

Au sein de notre atelier scientifique Bee Api Monteil, nous travaillons sur les capacités cognitives des abeilles. Celles qu'elles utilisent pour réaliser leurs activités et maintenir en vie leurs colonies respectives. Nous nous intéressons en particulier aux capacités des butineuses que nous cherchons à mettre en évidence expérimentalement. Pour cela nous leur lançons des défis : par le passé nous avons testé leur capacité à dénombrer et notre dernière étude portait sur leur capacité à reconnaître le visage de leur apiculteur.

Nous travaillons avec les abeilles de notre rucher au lycée. Pour l'entretenir nous sommes formés en apiculture par nos professeures.

Nous avons réfléchi pendant plusieurs séances pour trouver le sujet qui nous mettrait tous d'accord. Nous avons opté pour les apprentissages et la mémorisation.

Notre sujet a évolué dans sa formulation au fil des réflexions, des questions soulevées par notre cheminement et des premières observations. Nous avons assez vite orienté notre travail sur la capacité des abeilles à apprendre une consigne (et non, apprendre par mimétisme par exemple). Il fallait trouver un moyen de vérifier la compréhension de la consigne donnée à notre abeille cobaye. Nous avons alors pensé à associer la consigne à un comportement : celui de naviguer dans un labyrinthe en fonction des instructions reçues. Nous avons opté pour des instructions visuelles.

Dans l'idée d'un parcours avec passage de plusieurs portes donnant dans des cartons successifs, s'est posée la question de la présence d'un sens de « lecture » éventuel chez une abeille. Nous avons alors glissé vers cette problématique, en nous questionnant sur la définition de « lecture » : si l'on admet que la lecture c'est donner un sens à un signe graphique alors nous étions confrontés à cette question du sens dans lequel sont « lus » les symboles. Et notre labyrinthe peut être un moyen indirect de vérifier si une abeille a ou peut apprendre un sens de lecture.

D'où la problématique retenue :

II. Problématique



Les abeilles ont-elles un sens de lecture ?

A notre connaissance, et d'après une remarque amusée de notre référente Aurore Avarguès Weber, chercheuse au CNRS et spécialiste de l'intelligence des abeilles, à qui nous avons exposé le projet, personne n'a encore jamais testé de donner une double consigne à une abeille, autrement dit, leur possession d'un sens de lecture éventuel n'a jamais été mis en évidence.

III. Développement

Partie 1) De la conception du projet à sa réalisation

A) Le principe général de nos expériences

Se sont posées alors de multiples questions :

- Comment inciter une abeille à travailler en continu ?
- Quel labyrinthe ?
- Une abeille va-t-elle accepter d'y entrer ?
- Comment lui donner la consigne et où la placer ?
- Les abeilles possèdent-elles des capacités d'association pour faire le lien entre une consigne et un comportement ?



Voilà le principe de l'expérience qu'on a conçue :

On donne à chaque abeille cobaye, en une fois, des consignes sous forme de couleurs différentes disposées en ligne. On cherche ainsi à la guider pour réaliser un parcours à travers des rangs de cartons dans lesquels s'offre toujours un choix : aller à gauche ou à droite ; c'est comme un labyrinthe Escape Game. Selon les consignes données à l'entrée (dont l'abeille doit comprendre qu'il faut les observer et les mémoriser), elle doit choisir la bonne porte de sortie et ceci successivement dans chaque carton traversé, selon l'ordre des couleurs à l'entrée du labyrinthe. Les parcours corrects sont associés à une récompense et les parcours incorrects sont associés à une punition. C'est une méthode d'apprentissage par renforcement. On fait varier l'ordre des couleurs et ainsi les parcours, et à chaque fois on relève les réussites et les échecs de l'abeille. On peut alors observer par son comportement si une abeille fait la différence entre une consigne donnée par une succession de couleurs, et une autre avec les mêmes couleurs mais données dans un ordre différent. Si c'est le cas, c'est qu'elle possède bien un sens de lecture, du moins dans les conditions de notre expérience (dans le cadre d'un apprentissage). Nous avons eu l'idée de lui donner des consignes visuelles plus faciles à gérer pour nous et parce que nous supposons que les abeilles peuvent facilement discriminer les couleurs (pour la reconnaissance des fleurs par exemple). Il nous a fallu le vérifier expérimentalement dans un premier temps. L'idée était alors d'associer une couleur à une direction.

Jaune => gauche et bleu => droite.

On peut d'abord vérifier en observant son comportement si elle donne un sens à un signe graphique (qui dans cette expérience est une couleur). Et par ailleurs, si elle adopte un parcours inverse pour jaune bleu ou bleu jaune, c'est qu'elle utilise un sens de lecture.

On pourrait aussi vérifier, en adaptant le protocole, si elle « lit » de gauche à droite ou de droite à gauche.

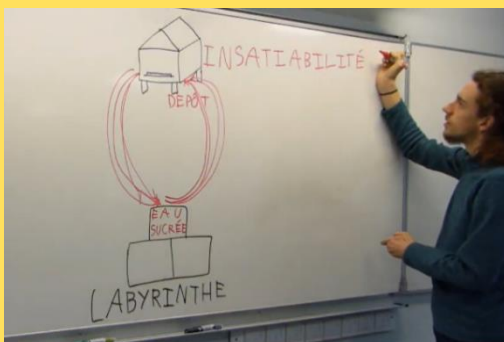
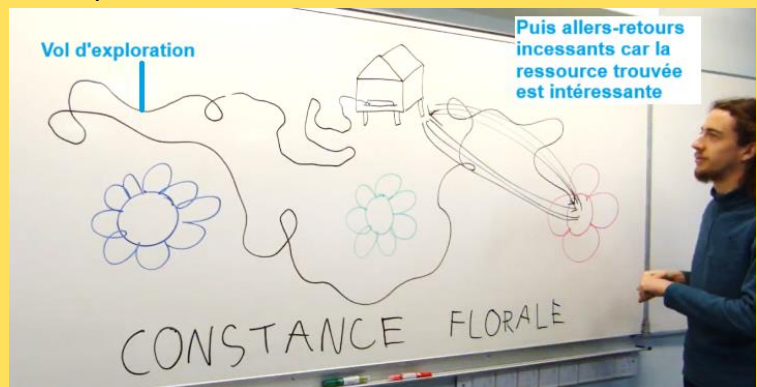
B) Les caractéristiques des abeilles prises en compte pour réaliser nos expériences

1) Deux caractéristiques qui nous permettent de travailler en continu avec la même abeille et donc la répétition des essais

Une abeille butineuse ne travaille jamais pour elle-même mais pour la colonie. Pour récolter un maximum de ressources, elle s'appuie sur 2 de ses caractéristiques.

Une abeille manifeste ce qu'on appelle une **constance florale**.

Dès qu'elle trouve une source de nourriture, facile à récupérer et abondante, l'abeille retourne toujours au même endroit, tant que cet endroit est exploitable et avantageux afin de rentabiliser sa dépense énergétique pour sa mission.



Par ailleurs, elle est **insatiable**. Comme elle ne récolte pas pour elle-même le nectar (et le pollen), elle n'est jamais rassasiée et reviendra sans cesse à l'endroit de la ressource et fera de nombreux allers-retours entre la ruche (pour vider son jabot) et la ressource (fleurs) tant que les conditions sont favorables.

On utilise donc ces 2 caractéristiques pour détourner une butineuse de son travail en lui offrant une source de nourriture encore plus attractive que ce qu'elle avait repéré jusque-là. cf. C).

2) Une capacité de mémoire immédiate limitée

Notre référente Aurore Avarguès Weber nous a appris qu'une abeille a une durée de mémorisation (mémoire immédiate) limitée, environ égale à 7 secondes.

Dans la conception de notre expérience nous devons en tenir compte. Ainsi il a fallu adapter la dimension du labyrinthe de sorte que notre cobaye puisse trouver l'eau sucrée en moins de 7 s.

C) L'obtention d'une abeille cobaye qui vient travailler à notre table d'expérimentation



Pour attirer une abeille jusqu'à notre table d'expérimentation, cela prend du temps !

Nous exploitons les 2 caractéristiques : constance florale et insatiabilité des abeilles.

On dispose à côté de la ruche des seaux remplis d'opercules de cire (récupérés lors de la récolte du miel) avec des résidus de miel. Ces seaux très attractifs permettent d'inciter les butineuses à sortir de la ruche ou de détourner certaines d'entre elles de leurs allers-retours vers des ressources préalablement exploitées et d'en attirer un grand nombre près de notre table d'expérimentation.



Une fois les abeilles butineuses accessibles dans les seaux nous devons soustraire

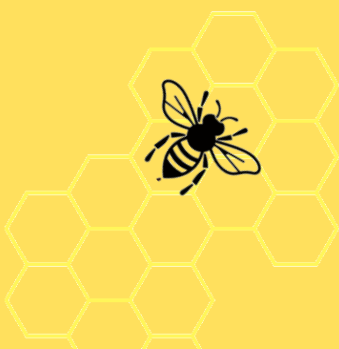
l'une d'entre elles pour l'amener à notre table. Pour cela, le miel du seau étant pâteux, à l'aide d'un ustensile (cuillère à café, pipette, coton-tige imbibé...), nous proposons à des abeilles de l'eau sucrée, plus fluide et rapide à prélever. Pendant qu'elle aspire notre solution, accrochée à notre ustensile, nous

l'emmenons délicatement sur notre table où est installé le labyrinthe. Sur le premier support (porte du 1er carton), a été placée une solution sucrée. On essaie de déposer notre futur cobaye sur celui-ci. Dans les meilleurs cas de figure, l'abeille goûte l'eau sucrée du support, remplit son jabot et quitte la zone en effectuant un vol de repérage dans l'optique de revenir à cet endroit. Lorsqu'une abeille

revient d'elle-même plusieurs fois (constance florale/ insatiabilité), nous la marquons d'une tâche de peinture pour l'identifier. Dans le cas où une abeille colorée revient plusieurs fois à la table, elle devient alors notre abeille cobaye pour l'expérience.

Cette étape, qui est indispensable, peut prendre plusieurs heures !

Une fois que l'abeille cobaye est disponible, elle reviendra toujours tant qu'à chaque aller-retour elle finit par trouver une récompense dans notre labyrinthe : de l'eau sucrée.

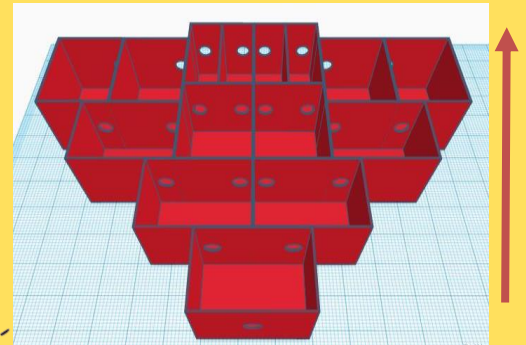


D) La préparation du matériel nécessaire pour les expériences

1) Le labyrinthe

Tout d'abord, nous avons fabriqué le labyrinthe qui a servi à réaliser notre expérience.

En nous inspirant d'un labyrinthe en forme en Y utilisé par notre référente et d'autres chercheurs du CNRS de Toulouse, nous avons utilisé des cartons de récupération (cartons à ramettes de papier) placés les uns derrière les autres. Chacun est percé d'une entrée et de 2 sorties afin que l'abeille ait toujours un choix à faire pour passer au suivant. Nous avons commencé par en faire une maquette sur un logiciel de modélisation 3D.



Tracé du labyrinthe sur Tinkercad

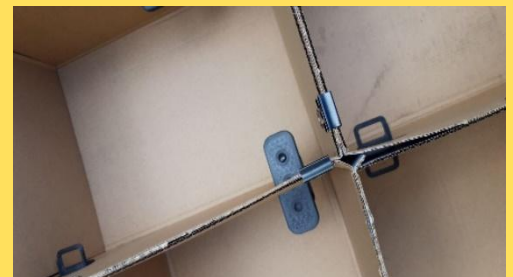


Pour construire le labyrinthe, nous avons fait en sorte que chaque porte de passage soit un disque de même taille à l'aide d'une découpe au laser et des mesures précises pour que tous les cartons s'emboîtent parfaitement et soient les mêmes. Il faut que le dispositif soit le plus homogène possible afin que rien ne puisse servir comme biais de repère à l'abeille dans le labyrinthe. Le but étant que l'abeille fasse ses choix de déplacement seulement à l'aide de la lecture de nos consignes.

Nous avons dimensionné notre labyrinthe de façon à ce qu'il ne soit ni trop petit (une abeille doit pouvoir y voler), ni trop grand (nous devons tenir compte de la durée de mémorisation des abeilles).



Dans notre labyrinthe, chaque porte est désignée en fonction de son rang et de sa position gauche/droite mais aussi du carton auquel elle appartient, (l'entrée 1, 2A, 2B etc.) A cheval sur chaque porte nous positionnons un support amovible composé de 3 cavités creusées alignées, remplies d'une solution sucrée ou de quinine salée (récompense/punition) selon la consigne donnée au départ. Le labyrinthe est recouvert d'un grand plexiglas pour que l'abeille n'en sorte qu'après le test effectué (nous la libérons quand elle a fini de prélever l'eau sucrée).

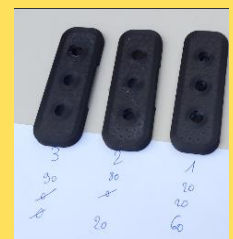


Les supports à cheval sur les portes (vue de dessus)

2) Les supports

Nous avons conçu un support à 3 cavités pour des raisons bien précises : la plus en avant du dispositif, la première, est destinée à habituer l'abeille à se poser sur le support et l'attirer vers la porte, la seconde cavité, au milieu, au niveau de la cloison, l'incite à avancer et à passer la porte et la troisième cavité, au bout du support, l'incite à entrer franchement dans le carton suivant au bout d'un certain nombre de répétitions.

Les demi-sphères creusées ont un volume de 90 μL , soit légèrement supérieur au volume du jabot des abeilles (volume nécessaire pour qu'à certaines étapes de notre protocole, l'abeille le remplisse en une fois). On a fait le choix de sphères de même volume creusées dans un support pour être sûrs que l'abeille ne puisse discriminer les solutions à moins de les goûter.



Un prototype de support, en carton, a d'abord été fabriqué puis les supports réels ont été créés à l'aide d'une imprimante 3D dans le but qu'ils soient tous identiques (indiscernables par les abeilles) et aptes à recevoir les solutions liquides utilisées comme récompense ou punition (non poreux). Ils sont en deux parties indépendantes : une partie fixe, accrochée aux portes d'entrée de chaque carton du labyrinthe, et posée dessus, une partie mobile portant les solutions. Cela permet de changer plus facilement et rapidement leur partie mobile en fonction des conditions expérimentales choisies et de les nettoyer efficacement. On assure ainsi une meilleure durabilité des cartons dont les tranches servent de points de fixation des supports.

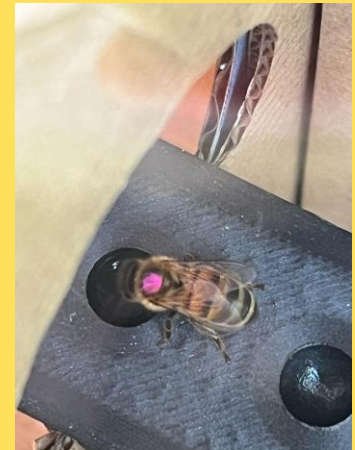


Partie fixe du support à cheval sur la porte

Partie mobile du support



Partie fixe du support



Abeille sur le support aspirant de l'eau sucrée



3) Les dispositifs pour donner les consignes

Pour donner les consignes, nous avons privilégié l'utilisation d'aimants colorés (jaunes, bleus) afin d'éviter les scratches qui seraient moins faciles à manipuler et risqueraient également d'endommager le carton à force de manipulation. Pour les maintenir en place, nous avons utilisé des aimants noirs de l'autre côté de la cloison.



Les aimants donnant les indications

4) Les solutions de récompenses et punitions

La récompense est toujours une solution sucrée (pour se rapprocher du nectar des fleurs) : la concentration massique en sucre est de 200g/L.

Pour la solution servant de punition nous avons très vite opté pour une solution sel/quinine.

En effet, lors d'expérimentations précédentes sur les abeilles, nous nous sommes aperçus qu'il fallait durcir la punition en fonction de la difficulté de la tâche. Plus le défi proposé est difficile, plus la solution utilisée comme punition doit être détestée par les abeilles.


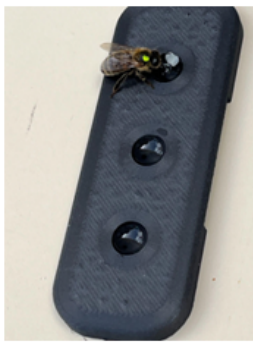
- Défi facile : eau pure (par exemple, les expériences montrant leur capacité à discriminer les couleurs).
- Défi plus difficile : eau salée à forte concentration (200g/L). (Capacité des abeilles à dénombrer, ou à reconnaître le visage d'un apiculteur).
- Défi encore plus difficile : eau salée avec quinine (notre expérience sur le sens de lecture). Les abeilles détestent l'amertume de la quinine. Quinine à 10g/L.

Nous avons fait aussi ce choix pour forcer les abeilles cobayes à analyser leur environnement c'est-à-dire tenir compte de la consigne. Les punir fortement permet de tenter de les contraindre à ne pas faire un choix aléatoire.

Les quantités de solutions déposées sont toujours les mêmes sur le support portant la récompense et ceux portant la punition (pour éviter tout biais de choix, la proposition doit être visuellement la même). Cependant les quantités déposées ont pu varier selon le moment de l'expérience. Par exemple au début des séances quand on cherche à obtenir une abeille cobaye, on remplit totalement les 3 cavités du support d'entrée du premier carton mais plus tard quand on est dans la phase expérimentale à proprement parler, et que l'abeille a compris que sur l'un des supports il y a une récompense, on dépose uniquement une goutte de solution dans la 3ème cavité celle qui oblige l'abeille à avancer dans le carton suivant.

Il faut préciser que les solutions sucrées ou de quinine salée sont indiscernables par les abeilles à moins de les goûter (pas d'odeur, même transparence).



 côté intérieur du 1er carton  sens de déplacement de l'abeille côté extérieur du 1er carton	Avant le début de l'expérience (pour inciter l'abeille à revenir à notre table)	Avant l'expérience, pour inciter l'abeille à traverser le carton	En cours d'expérience, pour inciter l'abeille à faire le parcours	En cours d'expérience avec consigne à 2 couleurs, pour inciter l'abeille à faire le parcours
	1er support (entrée du labyrinthe)	1er support (entrée du labyrinthe)	1er support (entrée du labyrinthe)	Dernier support pour récompenser l'abeille (entre 2ème rangée et 3ème rangée de cartons)
90 µL	0 µL puis 90 µL	0 µL	90 µL	
90 µL	90 µL puis 0 µL	0 µL	0 µL	
90 µL	0 µL	0 µL	0 µL	

Dosage des cavités des supports



5) Le petit matériel



Pour réaliser notre expérience, nous avons eu besoin de petit matériel.

Tout d'abord des micropipettes afin d'être certains que la quantité de solution (eau sucrée ou eau avec quinine + sel) soit la même dans chaque support. Pour attirer les abeilles à notre table, nous utilisons des coton-tiges, des cuillères imbibés d'eau sucrée.

Une fois que les abeilles sont à table, nous les marquons à l'aide de coton-tiges et de peinture non-nocive pour elles.



Nous avons eu besoin de petites pinces pour maintenir les cartons entre eux.

Enfin, nous avons créé un programme afin de relever plus rigoureusement les données de temps et de réussite ou d'échec des abeilles.



Partie 2) Les expériences réalisées

A) Les pré-expériences (Expériences à réaliser pour être sûr(es) de la viabilité du protocole)

1) La reconnaissance des couleurs

Tout d'abord, pour réaliser notre expérience qui s'appuie sur des consignes visuelles, il faut que l'on démontre que les abeilles savent reconnaître les couleurs et les différencier.

Pour commencer, nous avons mis un seau de miel à côté de la ruche pour pouvoir attirer les abeilles et tenter d'en amener une sur la table d'expérimentation.

Notre cobaye recruté, nous avons déposé sur la table d'expérience des bouchons de différentes couleurs avec dessus, de l'eau sucrée sur le bouchon de la couleur testée et de l'eau pure sur les autres. Entre chaque voyage de l'abeille (aller-retours incessants table/ ruche pour prélever l'eau sucrée et la déposer, en lien avec leur insatiabilité et leur constance florale), les bouchons sont déplacés et leur nombre change pour être sûrs que l'abeille ne repère pas l'eau sucrée par la position ou le nombre de bouchons de chaque couleur mais bien par la couleur du bouchon.

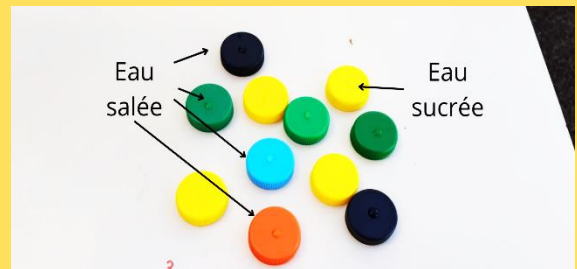
Nous avons fait cette expérience en associant l'eau sucrée à la couleur jaune (puisque nous allons utiliser cette couleur pour guider notre abeille). Nous avons aussi utilisé des bouchons de couleur bleue (parmi d'autres) mais associés à la punition. Nous avons besoin de savoir si une abeille ne confond pas le jaune et le bleu.

Durant 2 ou 3 aller-retours, l'abeille teste tous les bouchons (goûte les solutions) jusqu'à trouver l'eau sucrée, puis au bout de 7 voyages en moyenne (selon les cobayes), l'abeille trouve directement l'eau sucrée, et sans faire aucune erreur, quelle que soit la position des bouchons. A la dernière rotation, on propose de l'eau pure sur tous les bouchons. L'abeille choisit bien le bouchon jaune, ce qui permet de vérifier qu'elle n'utilise pas un biais pour identifier la place de l'eau sucrée et qu'elle se sert bien de la couleur.

Elle a pu faire la différence entre jaune et bleu notamment.

Cette discrimination est une tâche aisée pour les abeilles : la punition peut être simplement de l'eau pure. Elle réussit très vite à comprendre la consigne : reconnaître sur quel bouchon est l'eau sucrée, par sa couleur.

Cette aptitude vérifiée, pour entreprendre notre expérience, nous devons vérifier un deuxième point :



Une des dispositions des bouchons lors du test de la différenciation des couleurs



2) L'aptitude à traverser plusieurs rangées de cartons



Afin de pouvoir lancer notre expérience, nous avons dû nous assurer que les abeilles étaient capables de rentrer dans des cartons et de les traverser. Ce n'est pas un comportement naturel !



Lors des premières séances, nous avons utilisé le labyrinthe sans les consignes d'orientation. Une fois à la table, nous habituons l'abeille à rentrer dans un carton, car il s'agit d'une pièce fermée qu'elle ne connaît pas et donc cela pourrait être une difficulté pour elle. Une fois que nous sommes sûrs qu'elle arrive à rentrer dans les cartons, le nouveau défi est de les lui faire traverser.

Pour tester cette capacité, on lui a proposé 4 rangées de cartons (ce qui est plus que dans les expériences). Afin de l'habituer, nous avons créé un parcours imposé pour lui éviter de prendre des chemins différents et aléatoires à chaque passage et que le test prenne trop de temps. Pour cela, entre chaque porte, nous avons placé des supports avec de l'eau sucrée pour l'encourager à continuer sa traversée.

Cependant, nous nous sommes aperçus que l'abeille a fini par comprendre qu'à la fin du parcours, comme à chaque porte, il y avait aussi une récompense. En effet, au bout de 3 essais avec le parcours complet terminé, l'abeille est allée directement à la fin du parcours sans traverser les cartons ! Trois fois de suite, elle les a contournés par l'extérieur ! Nous avons donc cessé de travailler avec cette abeille et avons été contraints de modifier le protocole pour éviter un tel comportement. L'abeille avait été plus maligne que nous !

Alors nous avons décidé que pour les expérimentations suivantes il fallait ôter le dernier support et la récompense finale et mettre une cloison fermée au bout du dernier carton. Cela nous a systématiquement conduit à libérer l'abeille par le haut en soulevant le plexiglas quand elle atteint le dernier carton. Ainsi elle n'est plus tentée d'en faire le tour.

D'après notre référente Aurore Avarguès Weber, à sa connaissance, personne n'avait fait traverser ce nombre de cartons par une abeille.

Nous avons aussi profité de ces essais pour vérifier qu'une abeille peut mettre moins de 7 s pour trouver l'eau sucrée.



B) Le cœur de nos expériences (Tester la possession d'un sens de lecture par les abeilles)



1) Les expériences concluantes

a) L'exploitation des données chiffrées

Une fois le matériel et le protocole prêts, on a réalisé différentes tentatives sur de nombreuses journées. Certaines d'entre elles ont été gâchées par des aléas divers (que nous évoquerons plus loin). Nous avons quand même réussi à avoir des résultats exploitables que nous pouvons présenter.

Une fois l'abeille cobaye recrutée, au bout de 2 ou 3 rotations en moyenne, l'abeille comprend que la récompense est sur l'un des supports. On peut lancer notre expérience à proprement parler. On a commencé par donner une consigne à une couleur.

Etape 1: Consigne à une couleur: jaune ou bleu à l'entrée du labyrinthe

Nous avons commencé avec une consigne à une seule couleur. Nous avons placé sur la face extérieure du premier carton, au-dessus de la porte, un aimant bleu ou un aimant jaune.

L'abeille doit donc entrer dans le premier carton par l'unique porte, puis au fond de celui-ci observer les 2 portes qui s'offrent à elle. Par exemple, si la consigne est jaune à l'entrée, elle doit prendre la porte de gauche. Elle sera alors récompensée par une

solution sucrée posée sur la 3ème cavité du support. Si elle passe la porte droite, elle sera punie en trouvant une solution de quinine salée. (Nous avons placé un aimant de couleur jaune de rappel au-dessus de la porte gauche et un aimant bleu au-dessus de la porte de droite).

Avec une consigne à une couleur, il nous faut seulement 2 rangs de cartons.



Nous relevons à chaque aller-retour le temps d'arrivée à la table, le temps pour trouver la solution sucrée, les réussites et les erreurs.

Il est important de préciser que l'on change tous les supports que l'abeille a touchés à chaque rotation, de façon à éviter tout biais de repérage ultérieur par un dépôt de phéromones.



Nous alternons les propositions de façon irrégulière de façon à ne pas installer une routine qui fausserait les résultats.



<p>(N° 18)</p> <p>1. 46.50 arrivée → 1^{er} targette → clair erreur un peu goûté → jaune goûté à 1. 47.30 1. 49.55 départ</p>	<p>(N° 19)</p> <p>1. 52.59 arrivée → bleu goûté → jaune 1. 53.53 1. 55.55 départ</p>	<p>arrivée 1. 58.58 → jaune → bleu → jaune réussite 2. 00.36 libérée</p>
<p>Bleu (n° 21)</p> <p>2. 03.12 arrivée Direct bleu réussite 2. 05.37 départ</p>	<p>Jaune (n° 22)</p> <p>2. 08.00 → bleu pas goûté → jaune goûté réussite 2. 08.40 2. 10.39 libérée</p>	<p>Jaune (n° 23)</p> <p>2. 12.49 arrivée → bleu goûté erreur → jaune libérée</p>



Arrivée	Réussite	Départ	Erreur	
0	3	112	0	
445	456	536	0	
904	910	1020	0	
1379	1407	1498	1	
2021	2023	2104	0	
2521	2526	2600	0	
3053	3296	3504	8	
4243	4246	4313	0	

Exemple de relevé de résultats avant et durant l'utilisation d'un programme pour simplifier et sécuriser la prise de notes

Les résultats de l'étape 1 :

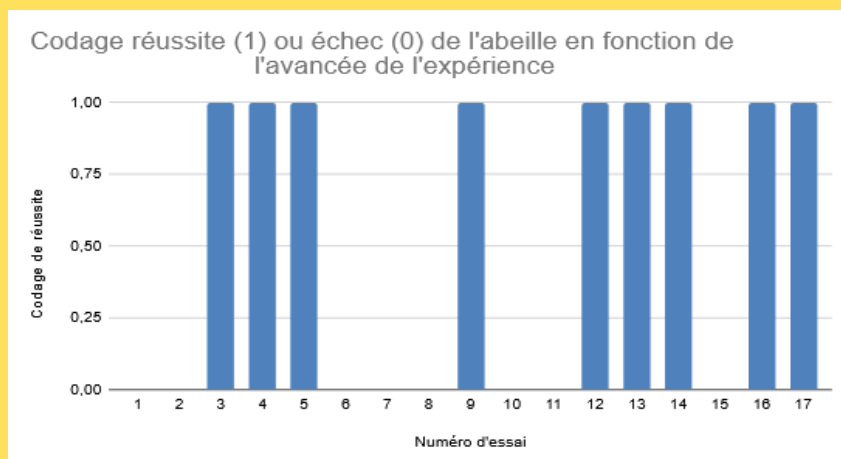
Dans ce cas, l'abeille semblait faire des choix aléatoires. En effet, lors de l'expérience la plus concluante, on a obtenu un pourcentage de réussite globale de 52 % sur un nombre d'essais relativement faible (17).

ETAPE 1: Consigne à 1 seule couleur
 Relevé des réussites et échecs de l'abeille cobaye "grisette" dans la réussite de son parcours (trouver l'eau sucrée directement sans goûter toutes les solutions)
 De 1 à 8: conditionnement pour habituer l'abeille à revenir sans cesse sur le 1er support à l'entrée du labyrinthe

abeille grise	numéro de l'aller retour	consigne	conclusion X = échec	codage conclusion 0 = échec 1= réussite	tps arrivée	tps départ	tps dans le labyrinthe (aspiration comprise)
ETAPE 1	9	J	X	0	00:57:33		
de 9 à 25	10	J	X	0	01:02:11	01:03:41	00:01:30
	11	B	B	1	01:08:13	01:08:47	00:00:34
	12	J	J	1	01:13:37	01:16:16	00:02:39
	13	B	B	1	01:19:21	01:19:51	00:00:30
	14	J	X	0	01:24:04	01:25:37	00:01:33
	15	J	X	0	01:30:25	01:31:00	00:00:35
	16	J	X	0	01:36:04	01:37:39	00:01:35
	17	B	B	1	01:41:15	01:43:40	00:02:25
	18	J	X	0	01:46:50	01:47:30	00:00:40
	19	J	X	0	01:52:59	01:53:53	00:00:54
	20	J	J	1	01:58:58	02:00:36	00:01:38
	21	B	B	1	02:03:12	02:05:37	00:02:25
	22	J	J	1	02:08:00	02:08:40	00:00:40
	23	J	X	0	02:12:49	02:14:28	00:01:39
	24	J	J	1	02:19:00	02:20:12	00:01:12
	25	B	B	1	02:23:20	02:23:35	00:00:15



Cependant elle a tendance à davantage réussir le passage dans les cartons du labyrinthe sur les derniers essais montrant qu'elle a probablement appris à regarder la consigne, ce qui était notre but en donnant une consigne à une couleur.



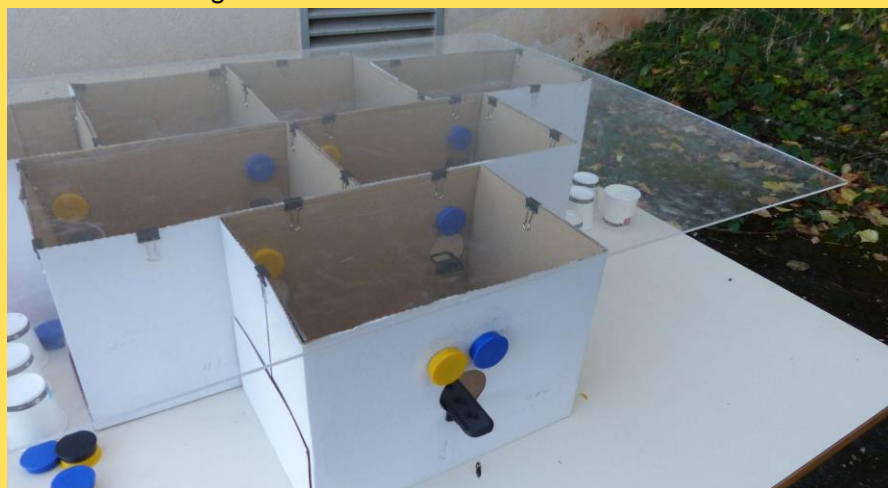
Une conjecture que nous avons vérifiée avec le passage à une consigne à 2 couleurs.

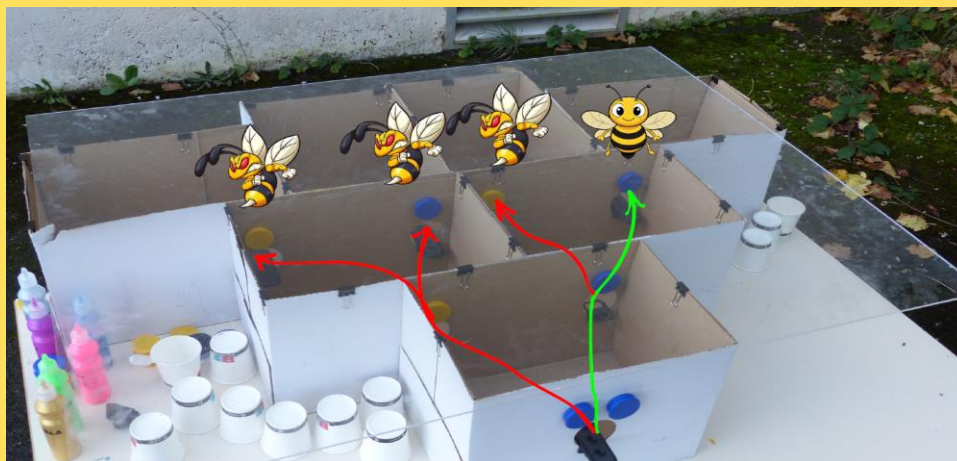
Etape 2 : Consigne à deux couleurs : jaune-jaune / bleu-bleu / jaune-bleu / bleu-jaune à l'entrée du labyrinthe

Les consignes sont toujours disposées à l'entrée du premier carton mais cette fois on place deux aimants en ligne. 4 combinaisons sont possibles et par conséquent 4 parcours :

- Jaune-jaune doit guider l'abeille pour passer la porte de gauche au fond du 1er carton puis aussi la porte de gauche au fond du second carton.
- Bleu-bleu doit guider l'abeille pour passer la porte de droite au fond du 1er carton puis aussi la porte de droite au fond du second carton.
- Jaune-bleu doit guider l'abeille pour passer la porte de gauche au fond du 1er carton puis la porte de droite au fond du second carton.
- Bleu-jaune doit guider l'abeille pour passer la porte de droite au fond du 1er carton puis la porte de gauche au fond du second carton.

Il nous faut 3 rangs de cartons.





Les 4 parcours possibles dans le labyrinthe escape game

Pour chaque combinaison 1 seul correspond à chaque fois à la consigne à 2 couleurs donnée et est récompensé.

L'abeille sera alors récompensée par une solution sucrée posée sur la 3ème cavité du support de la porte du fond du 2nd carton menant au 3ème, mais seulement pour l'un des parcours sur les 4, celui correspondant à la double consigne à l'entrée du premier carton, consignes lues de gauche à droite arbitrairement. Pour les 3 autres parcours, elle sera punie par le même volume de solution de quinine salée. L'abeille étant habituée, par la première étape, à traverser les cartons, nous ne plaçons pas de support sur les portes au fond du premier carton pour ne la récompenser (ou punir) qu'à la fin du parcours.

Pour cette seconde étape, là encore nous alternons les propositions de façon irrégulière.

Les résultats de la seconde étape :

L'abeille a réalisé 33 aller-retours avec une consigne à deux couleurs. On considère qu'il y a une réussite si l'abeille trouve l'eau sucrée (passe les bonnes portes) sans se poser sur un support portant une solution de quinine salée.

On considère qu'il y a échec si l'abeille se pose sur un support correspondant à une mauvaise 1ère porte ou mauvaise seconde porte et goûte, par ses antennes ou la trompe, la solution de quinine salée déposée sur le support des portes dans chacun de ces cas de figure. Autrement dit si l'abeille ne respecte pas la couleur de la 1ère consigne, ou bien la respecte, mais ne respecte pas la couleur de la 2nde consigne et se trompe de porte.

On a pu constater au début de l'étape 2 que l'abeille a du mal à arriver jusqu'au sucre (moins de 50% de réussite pour les 8 premiers essais avec les 2 consignes). Mais lors des 24 essais suivants, le pourcentage oscille entre 50% et 100% : ce qui nous donne un pourcentage d'environ 54% sur toute la durée de l'étape 2.

On aurait pu penser à première vue que l'abeille cobaye fait un choix aléatoire mais sachant qu'elle doit traverser 2 niveaux de cartons, le pourcentage de réussite devrait être de 25% si son choix était aléatoire. En effet elle a 4 parcours possibles à disposition : droite-droite ou droite-gauche ou gauche-droite ou gauche-gauche. Notre abeille ne fait donc pas un choix aléatoire.

ETAPE 2: Consigne à 2 couleurs données linéairement
 Relevé des réussites et échecs de l'abeille cobaye "grisette" dans la réussite de son parcours (trouver l'eau sucrée directement sans goûter toutes les solutions)

abeille grise	numéro de l'aller retour	consigne	conclusion X = échec	codage conclusion 0 = échec 1 = réussite	tps arrivée	tps départ	tps dans le labyrinthe (aspiration comprise)
ETAPE 2							
de 26 à 58	26	JB	JB	1	02:28:57	02:31:27	00:02:30
	27	JJ	X	0	02:33:54	02:35:12	00:01:18
	28	BJ	BX	0	02:39:26	02:42:12	00:02:46
	29	JJ	JJ	1	02:44:39	02:46:30	00:01:51
	30	BB	BX	0	02:49:56	02:51:13	00:01:17
	31	BJ	X	0	02:54:20	02:56:56	00:02:36
	32	JB	JX	0	02:59:00	03:00:44	00:01:44
	33	BB	BX	0	03:04:55	03:05:44	00:00:49
	34	JJ	JX	0	03:11:10	03:13:15	00:02:05
	35	BJ	BJ	1	03:16:17	03:18:15	00:01:58
	36	JB	X	0	03:20:29	03:24:06	00:03:37
	37	BB	BB	1	03:26:15	non noté	
	38	JJ	JX abeille gênée	0	03:30:11	03:32:32	00:02:21
	39	BJ	BJ	1	03:34:59	non noté	
	40	JB	JX	0	03:40:23	03:43:16	00:02:53
	41	BB	X	0	03:47:37	erreur manip	
	42	JB	JB	1	03:49:25	03:51:59	00:02:34
	43	BJ	BJ	1	03:54:05	03:56:56	00:02:51
	44	JB	X	0	03:58:51	04:02:35	00:03:44
	45	BJ	BJ	1	04:04:29	04:06:57	00:02:28
	46	JB	JB	1	04:09:09	04:12:00	00:02:51
	47	BJ	BJ	1	04:15:09	04:17:37	00:02:28
	48	BJ	BJ	1	pas noté	04:21:57	
	49	BB	X	0	04:24:06	04:27:49	00:03:43
	50	JJ	JJ	1	04:33:32	04:36:05	00:02:33
	51	BB	BB	1	04:37:40	04:40:15	00:02:35
	52	JB	JB	1	04:42:12	04:44:53	00:02:41
	53	BJ	BX	0	04:46:00	04:48:18	00:02:18
	54	JB	JX	0	non noté	04:54:01	
	55	JB	JB	1	04:56:02	04:59:03	00:03:01
	56	BJ	BX	0	05:00:59	05:04:02	00:03:03
	57	JB	JB	1	05:06:18	05:09:30	00:03:12
	58	BJ	BJ	1	05:11:38	05:14:17	00:02:39

Numéro d'expérience	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
codage conclusion 0 = échec 1= réussite	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1

Taux réussite (ordre 1) de l'abeille lors de l'étape 2 en fonction de l'avancée des expériences

Résultats bruts de notre abeille cobaye la journée la plus concluante.

Codage :

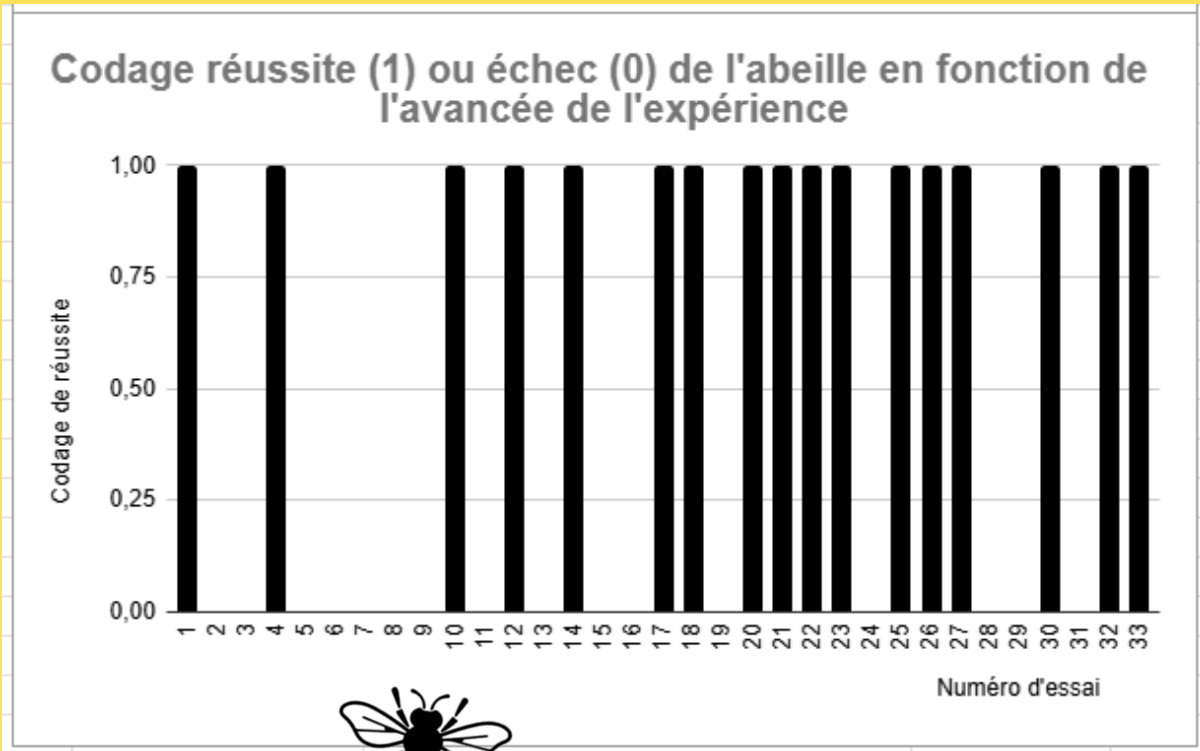
- 1 pour réussite
- 0 pour échec quel que soit le nombre d'erreurs



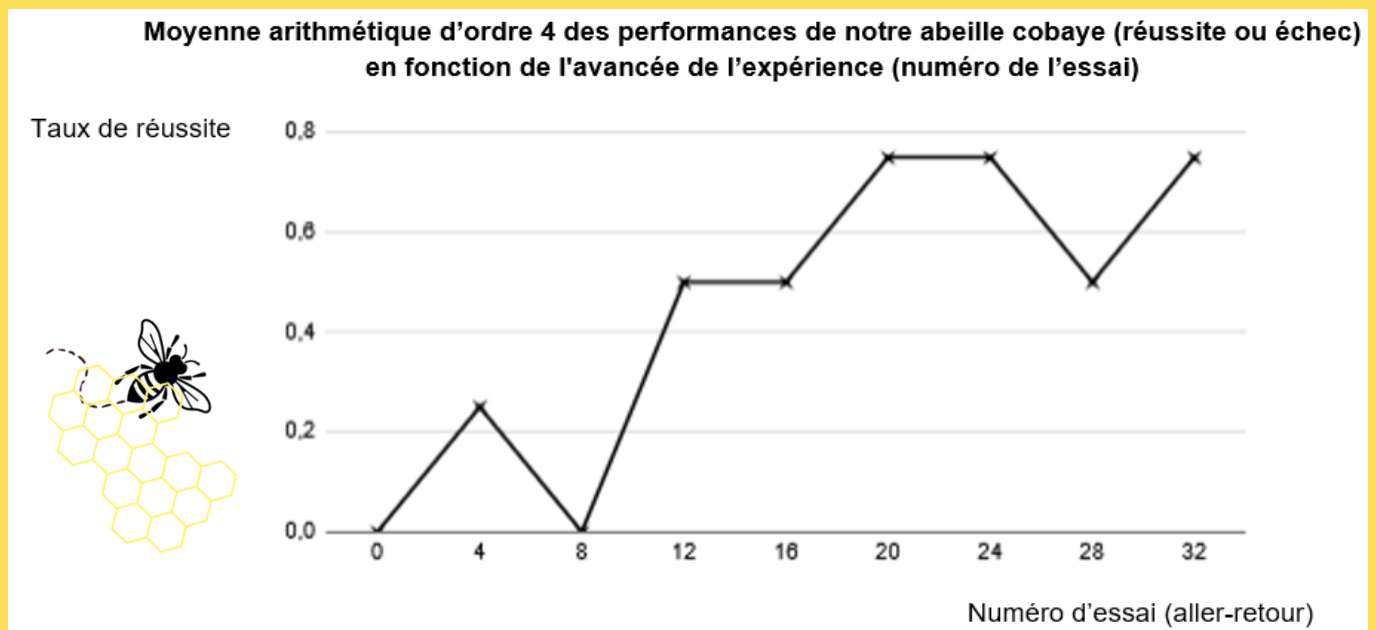
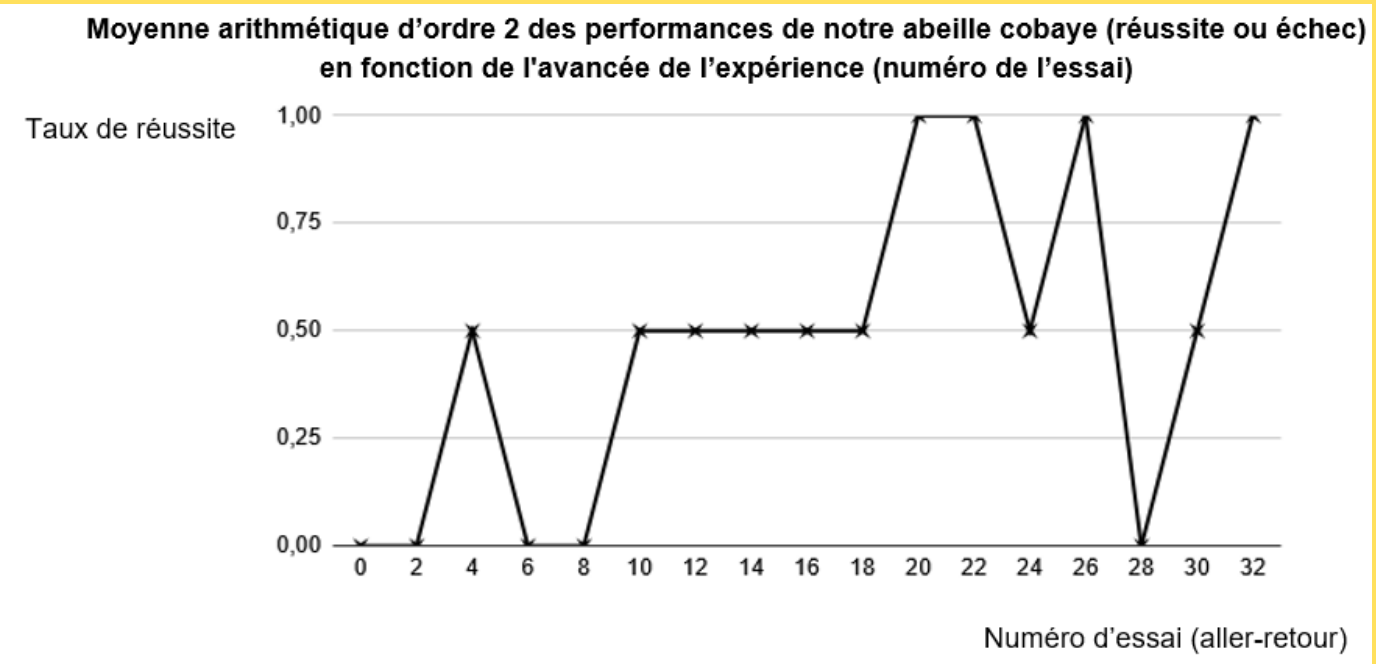
Nombres de réussites et d'échecs de notre abeille cobaye lors de l'étape 2 en fonction de l'avancée des aller-retours			
Résultats sur la totalité de l'expérience	Réussites	Echecs	Total
Nombre d'essais	17	16	33
Nombres de réussites et d'échecs de notre abeille cobaye lors de l'étape 2 par intervalles de 10 essais de même amplitude			
Résultats sur les 10 premiers essais	3	7	10
Résultats sur les 10 essais suivants	4	6	10
Résultats sur les 13 derniers essais	9	4	13

Tableau statistique donnant la répartition des réussites et échecs

On observe cependant que plus on avance dans l'expérience, plus la tendance à la réussite de notre abeille est élevée.



Pour étudier, de façon plus lisible cette tendance à la réussite, nous avons calculé les moyennes arithmétiques d'ordre 2, 3 puis 4 des résultats codés 1 ou 0 et traduit les résultats sous forme de graphiques.

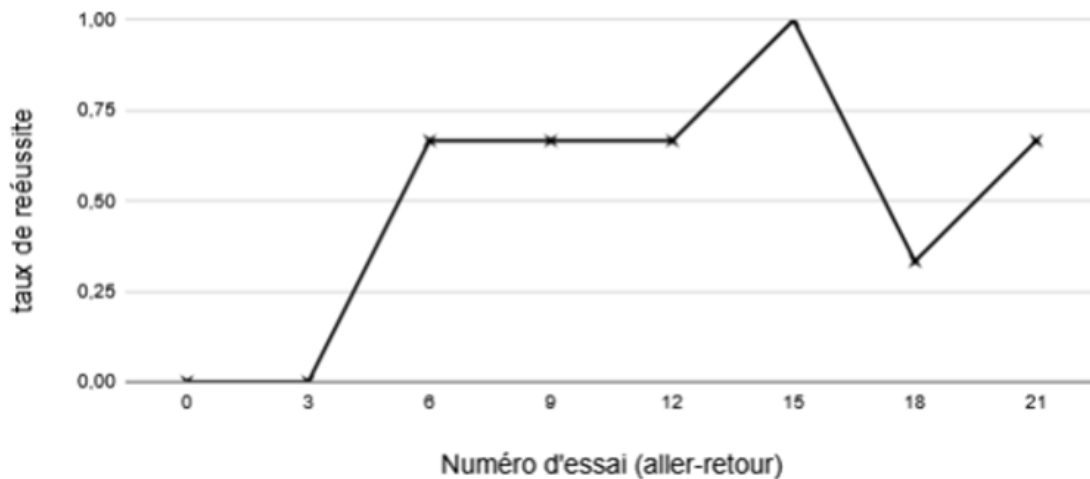


Nous observons, avec les graphiques précédents, une tendance à la réussite qui s'améliore avec l'avancée de l'expérience. L'abeille a non seulement compris qu'il faut regarder les consignes à l'entrée, mais en plus elle est capable d'adapter son parcours selon l'ordre des consignes.

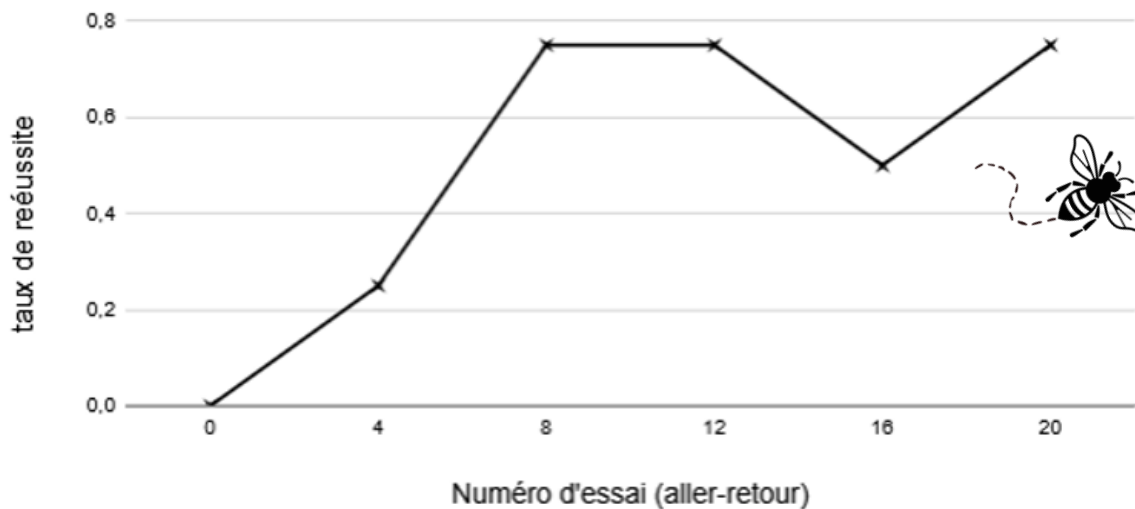
Nous avons en effet, aussi traité les données afin de mettre en valeur les réussites des seules expériences avec les consignes Bleu/Jaune et Jaune/ Bleu, afin de vérifier si l'abeille fait bien la différence entre ces 2 séries de consignes. Si une abeille utilise un sens de lecture (naturel ou appris), elle doit faire la différence entre ces 2 séries et le montrer en adoptant un parcours différent pour trouver la récompense.



Moyenne arithmétique d'ordre 3 des performances de notre abeille cobaye (réussite ou échec) en fonction de l'avancée de l'expérience (numéro de l'essai)



Moyenne arithmétique d'ordre 4 des performances de notre abeille cobaye (réussite ou échec) en fonction de l'avancée de l'expérience (numéro de l'essai)



Les graphiques montrent que le taux de réussite augmente au fil des allers-retours. Une fois que l'abeille a compris les instructions, elle améliore ses performances au fil des essais alors qu'on alterne sans cesse et de façon aléatoire les séries de consignes Bleu/Jaune et Jaune/ Bleu, pourtant entrecoupées de propositions Bleu / Bleu et Jaune / Jaune.

Autrement dit elle nous montre par sa réussite sans cesse améliorée qu'elle fait la différence entre la consigne Bleu / Jaune et Jaune / bleu qu'elle lit de gauche à droite.

Nos conclusions sont bien sûr à prendre avec précaution puisque notre échantillon n'est pas représentatif : pas assez d'abeilles testées et on aurait souhaité encore davantage d'essais (mais on ne pouvait pas travailler au-delà d'une journée en continu).

Remarques :

Remarque 1 : Les consignes Bleu / Bleu et Jaune /Jaune :

De plus, nous avons observé que le taux d'erreurs est plus élevé lorsque l'on utilise les consignes Bleu/Bleu et Jaune/Jaune qu'avec Bleu/Jaune et Jaune/Bleu. Les 8 premiers essais avec Bleu/Bleu ou Jaune/Jaune ne dépassent pas les 25% de réussite, contrairement au 8 premiers essais avec Bleu/Jaune et Jaune/Bleu. On peut donc se demander si l'abeille ne voit pas une seule et même consigne, avec Bleu/Bleu et Jaune/Jaune, vu que les aimants sont pratiquement collés. Cela pourrait expliquer cette différence de réussite.

Remarque 2 : le taux de réussite sur la moitié du parcours

Dans un premier temps, nous relevons les données de notre expérience.

Sur 33 essais avec 2 consignes :



Valeurs	Nombre brut	Pourcentage	Pourcentage
Données			
Réussite du parcours total (2 portes/ 3 cartons)	17	51,5%	81.8%
Réussite 1er porte et erreur à la seconde	10	30.3%	
Erreur dès la 1ère porte	6	18.2%	18.2%
Total	33	100%	100%

Nombre et pourcentages d'essais réussis sur 33 avec une consigne à 2 couleurs

Nous voyons que l'abeille a presque 82% de réussite lors du passage du 1er au 2nd carton, or si l'on prend en compte la deuxième couleur (passage au 3ème carton), le taux de réussite est uniquement de 51,5%. Ainsi, nous pouvons alors nous demander si cette différence a un lien avec la durée de la traversée de l'abeille et avec son temps de mémorisation qui est de 7s. L'abeille pourrait ne pas se tromper au premier carton car son temps de traversée de ce dernier est inférieur à 7s. Le deuxième carton se trouvant plus loin, il nécessite à l'abeille de retenir la consigne plus longtemps et le délai des 7s a plus de risque d'être dépassé c'est pourquoi le taux de réussite est plus bas. Avec nos résultats, nous ne pouvons qu'émettre cette hypothèse, car il serait nécessaire de compter plus précisément le temps passé dans chaque carton, pour trouver des résultats significatifs.




Remarque 3 :

Sur les expériences du 30 octobre nous avons fait travailler directement l'abeille cobaye sur 2 consignes mais le nombre d'essais étant insuffisant, il n'est pas pertinent d'en faire une étude statistique. 3 abeilles ont été testées ce jour-là mais n'ont chacune réalisé qu'entre 8 et 12 essais. (Cf. paragraphe sur les aléas).

b) L'exploitation des données observées / filmées (Observations du changement de comportement des abeilles)

Enfin, en observant attentivement le comportement de l'abeille, on remarque que sur certains essais elle semble s'arrêter pour lire la consigne et ce comportement conduit souvent à une réussite.

Les abeilles changent de comportement au fil des essais :

- Lors d'une **première phase** qui dure **16 essais**, l'abeille erre un peu en volant, goûte, se trompe et finit par réussir à trouver le bon support, celui qui porte la récompense. Mais on ne peut pas considérer qu'elle a compris les consignes et qu'elle les respecte. Elle réussit par hasard. 
- Lors d'une **seconde phase**, l'abeille continue à prendre du temps avant de passer une porte d'entrée du premier carton, volète devant, comme si elle marquait un temps d'observation des consignes à l'entrée ou aux portes intermédiaires. C'est un moment où les réussites sont plus nombreuses. A force de punition, elle observe davantage son environnement. Elle commence à comprendre. 
- Lors d'une **dernière phase** qui commence **après 28 rotations**, l'abeille réalise plusieurs essais en passant très vite la porte d'entrée. Couplé à une meilleure réussite, on peut interpréter cette phase comme une phase où l'abeille a non seulement compris qu'il faut regarder les consignes à l'entrée mais aussi une phase où elle les décode très vite (elle tient compte de leur ordre linéaire), efficacement. Elle a compris la règle du jeu. 

c) Conclusion de l'analyse des données et réponse à notre problématique

Puisque notre abeille cobaye réussit de mieux en mieux les parcours y compris lorsque nous inversons l'ordre des consignes d'un aller-retour à l'autre : par exemple Bleu/Jaune pour un essai et Jaune/Bleu pour l'essai suivant par exemple, c'est que l'abeille arrive d'une certaine manière à "lire" les consignes mises devant le labyrinthe afin de le traverser. Elle fait la différence entre Bleu/Jaune et Jaune/Bleu, deux consignes que nous, humains occidentaux, lisons linéairement de droite à gauche. Les abeilles auraient donc la capacité de faire une sorte de "lecture" linéaire de nos consignes.



Cependant, nous n'avons pas pu retirer les aimants intermédiaires associés à chaque porte sur tous les fonds de cartons : jaune au-dessus des portes de gauche et bleu au-dessous des portes de droite (faute de temps expérimental assez long). Cela nous laisse nous demander si l'abeille a conscience de traverser une porte et si nous aurions pu guider aussi bien notre abeille sans ces indications intermédiaires. Cela aurait nécessité d'autres capacités encore pour nos abeilles : comprendre que chaque couleur de la double consigne de l'entrée correspond chacune au passage d'une porte, qui n'est qu'un trou, avant de se retrouver dans un second carton. Nous essaierons de le tester si possible lors de prochaines expérimentations au printemps. Les jours seront plus longs qu'à l'automne.

Il serait intéressant au printemps de voir si l'abeille peut "lire" à l'envers si on l'y oblige, et constater si elle a le même pourcentage de réussite. Donc si elle a plus tendance à lire naturellement de gauche à droite ou si on l'a conditionnée à cela par l'attribution d'une récompense quand elle lit dans le même sens que nous.

On peut seulement conclure que dans le cadre de l'apprentissage, une abeille présente un certain sens de "lecture". Mais est-ce une compétence naturelle ou apprise ?



2) Les échecs constructifs qui ont fait progresser et évoluer le protocole

Cependant, pour obtenir ces résultats, nous sommes passés par de nombreux échecs qui ont permis de faire évoluer notre protocole expérimental.

Sur l'une des premières journées d'expérimentation nous avons obtenu des résultats CATASTROPHIQUES. En effet, nous avons décidé de commencer l'expérience par l'utilisation de la consigne à 2 couleurs après que nous ayons réussi à attirer une abeille. Cela a conduit à des échecs très fréquents. L'abeille faisait n'importe quoi. On s'est donc demandé si l'abeille avait compris qu'il fallait regarder la consigne. Cela nous a amené à modifier notre protocole en ajoutant une étape avec une consigne à une couleur pour l'y habituer.

IV. Les difficultés et les perspectives

A) Nos difficultés



1) Les Frelons

Les frelons asiatiques ont tué certaines abeilles qu'on utilisait pour les expériences ainsi que des abeilles qui se trouvaient devant la ruche ou qui étaient dans les seaux de cire et de miel.

Ils mangent les abeilles, ce qui les stresse. Un frelon reste en vol géostationnaire devant la ruche, guette une abeille et s'en empare, lui coupe la tête et part vers son nid avec le corps pour nourrir ses larves. Les frelons arrivaient les uns après les autres, il y en avait un grand nombre à chaque expérience (environ 10 à 15 frelons que l'on a dû éliminer pour pouvoir expérimenter). La méthode pour les tuer est de les frapper avec une raquette de badminton pour les envoyer au sol et les écraser. Deux journées, on s'est retrouvé avec une abeille faisant 10 aller-retours avant d'être croquée ce qui a empêché d'avoir des résultats concluants (trop peu d'essais)



2) Météo et saisons

Pour réaliser nos expériences, nous sommes dépendant de la météo et des saisons. Pendant l'hiver, nous ne pouvons pas pratiquer à cause du froid. En dessous de 15°C, les abeilles restent dans la ruche pour la maintenir au chaud et survivre. Par conséquent, nous ne pouvons pratiquer que les jours où il fait beau avec une bonne température.

Pour certaines expériences, la pluie nous a interrompus.

La pluie, le froid nous empêchent de réaliser les expériences. La pluie empêche les abeilles de sortir dans la ruche (exemple : le 9 octobre il y a eu de la pluie

après 1h30 de travail et on a dû tout ranger avant de pouvoir réussir à obtenir une abeille cobaye). Le froid limite l'activité des abeilles et les endort et nous ne pouvons pas réaliser les expériences car elles ne sortent pas (exemple : le 2 octobre il a fait froid et les abeilles ne sont pas sorties de la ruche.). Seules journées exploitables : belles journées d'automne et de printemps. Heureusement nous en avons eu !



3) Des abeilles pas toujours coopératives



De plus, les abeilles ne sont pas toujours coopératives ou le sont trop.

Nous avons besoin de temps long pour expérimenter. Or souvent il faut plus de 2h pour trouver une abeille qui "acceptera" de travailler à notre table, c'est-à-dire obtenir une abeille cobaye. Une fois, nous n'avons pas réussi du tout !

Pour certaines il a été difficile de les faire rentrer dans le premier carton. Elles se contentent de prendre l'eau sucrée sur le premier support, parfois quand même dans la 3ème cavité, interne, et repartent à la ruche. Pour l'une d'entre elles, récalcitrante à poursuivre son chemin au fond du 1er carton (même en déposant moins de solution, de façon à l'inciter à passer sur un support du fond), après plus de 15 allers-retours, on a improvisé d'ôter le support de la première porte une fois qu'elle était rentrée. Cela a fonctionné : elle est allée sur le support du fond. Ces étapes sont nécessaires avant de réellement commencer l'expérience. Chaque abeille cobaye doit être habituée à pénétrer dans les cartons et aller de support en support plusieurs fois, en plaçant du sucre partout, avant de se lancer dans l'expérience à proprement parler et de la guider par des consignes avec punition et récompense aux emplacements adéquats.

Mais par moment, elles étaient trop coopératives et nombreuses. Étant nombreuses à la table d'expérimentation, notre abeille cobaye choisie était perturbée. Nous avons dû emprisonner temporairement les abeilles perturbatrices (jusqu'à 16 abeilles !).

Les abeilles cobayes étaient parfois vraiment rapides pour réaliser le parcours du labyrinthe, ce qui nous a surpris. A cause de cela, nous n'avons pas forcément le temps de changer la consigne précédente ou on se retrouvait avec plusieurs abeilles dans le labyrinthe.

4) Nos difficultés pour une prise de notes rapide des performances des abeilles (score/ temps réussite)

Afin de faciliter la prise de note des informations, nous avons écrit un code qui enregistre les différents temps que nous mesurons. Le programme, écrit en python, ouvre une fenêtre avec des boutons qui représente chaque moment que l'on mesure pendant une rotation de l'abeille. D'abord le moment où l'abeille arrive à notre table depuis la ruche puis le moment où l'abeille rentre dans le premier carton. Ensuite, pour chaque rang de carton, on a le choix entre un bouton quand l'abeille fait le bon choix et deux quand elle fait le mauvais choix (un pour le moment où elle se trompe puis un pour le moment où elle trouve le sucre après s'être trompée). Enfin, il y a un bouton pour le moment où l'abeille part pour retourner à la ruche. A chaque appui de bouton, le temps est enregistré depuis l'horloge de l'ordinateur. Enfin, les temps et les échecs et réussites de l'abeille sont écrits dans le terminal, formaté de manière à pouvoir facilement copier-coller les temps dans un tableur. *Pour plus de détails, voir l'annexe p 24.*

B) Nos perspectives

Malgré nos résultats qui semblent montrer que les abeilles peuvent apprendre (ont naturellement ?) un sens de lecture, certains aspects de la problématique restent à confirmer par d'autres expériences, d'autres sont à prolonger.

1) Confirmer nos résultats



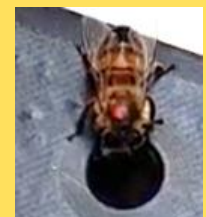
Tout d'abord, il faudrait répéter notre expérience sur une plus grande population d'abeilles pour avoir une fiabilité statistique suffisante. Cependant, il est difficile voire impossible dans notre situation de pouvoir répliquer un grand nombre de fois l'expérience à l'identique. D'une part à cause du

temps qu'il faudrait pour mettre en œuvre ces expériences et dont nous ne disposons pas dans le cadre d'un atelier scientifique dans un lycée. Et d'autre part car nos expériences sont influencées par de nombreux facteurs extérieurs qui peuvent rendre les expériences difficiles ou impossibles à réaliser à certains moments, comme la météo ou la difficulté pour obtenir une abeille cobaye.



Pour "gagner du temps" dans notre expérimentation, nous pensons que pour les prochaines abeilles cobayes, nous donnerons plus rapidement une consigne à deux couleurs avec une possibilité de 4 parcours. Nous supposons que face à une punition fortement désagréable, l'abeille fera rapidement des efforts pour comprendre la

consigne. Si elle fait un choix aléatoirement elle aura 75% de chances de trouver la solution détestée et seulement 25% de chances de trouver la solution sucrée qui ressemble au nectar des fleurs. Elle devrait apprendre plus vite. Il faut trouver un juste équilibre car si elle ne trouve pas la récompense l'abeille peut ne plus revenir à notre table.



Ce gain de temps nous permettrait de pouvoir prolonger notre étude, idéalement avec la même abeille.

2) Prolonger notre étude

Nous avons montré que les abeilles peuvent "lire" de gauche à droite.

Il faudrait vérifier si cette capacité résulte du conditionnement imposé ou si ce sens de lecture est naturel : Il faudrait pour cela inverser le codage des consignes : donner à l'entrée des consignes dans le même ordre mais inverser les récompenses / punitions. Ainsi la double consigne Bleu/Jaune signifierait d'abord choisir la porte de gauche au fond du premier carton et la porte de droite au second et non prendre la porte de droite puis celle de gauche comme jusqu'à présent. (Au fond des cartons, bien sûr on garderait : bleu = droite et jaune = gauche).

Par commodité, nous avons laissé systématiquement le codage jaune pour la porte de gauche et bleu pour la porte de droite au fond des cartons. Nous pourrions vérifier si l'abeille réussit autant en changeant ces positions de façon aléatoire. L'abeille en effet se guide avec les couleurs. Nous pensons que ce ne serait pas un obstacle et que cela ne changerait rien aux résultats. On pourrait le tester.

On pourrait aussi, si on en a le temps, passer à une consigne à 3 couleurs alignées et 4 rangées de cartons (on a vérifié que les abeilles peuvent traverser 4 rangées de cartons).

On se demande aussi si on aurait pu décider de donner les consignes par des formes associées aux couleurs et non des couleurs seules pour aider les abeilles à bien comprendre que Jaune/Jaune sont bien 2 consignes et non une seule. Par exemple apposer un rond jaune et un carré jaune. Il faudrait bien sûr au préalable vérifier que les abeilles savent discriminer les formes également.



3) Affiner les données relevées

On pourra essayer d'améliorer notre programme de relevé de données afin de pouvoir relever le temps passé par l'abeille dans chaque carton.

V. Conclusion et remerciements

A) Conclusion de tout le projet

Puisqu'une abeille adapte son parcours de façon efficace lorsqu'on inverse l'ordre des consignes de couleurs, c'est que l'abeille arrive d'une certaine manière à "lire" les consignes mises devant le labyrinthe afin de le traverser. Au moins dans le cadre de l'apprentissage imposé, les abeilles possèdent bien un sens de lecture.

Ce résultat nous paraît incroyable !

Ce qui a été intéressant, c'est d'avoir tout fait du début à la fin. Et d'avoir fait de multiples essais avec beaucoup d'échecs et d'avoir cherché comment améliorer.

Nous avons tâtonné et fait évoluer notre protocole au fil de nos expériences en modifiant par exemple la quantité de solution que possèdent les supports, en utilisant plusieurs cavités, variant de 90 μ L, à 10 μ L.... Aussi, nous avons tenu compte de la durée de mémorisation de l'abeille, soit 7s. Pour cela, nous avons réduit le nombre de cartons à traverser, de 4 à 3. Nous avons changé la place des consignes, nous les avons simplifiées, puis complexifiées....

Lors des expériences, chaque membre s'occupait d'une tâche comme le remplissage des supports, le changement des aimants, etc... Cette organisation nous a permis de nous corrélérer avec la vitesse de l'abeille et d'être toujours prêts pour l'essai suivant.

Nous avons appris à collaborer et à nous organiser, à répartir les tâches. Nous avons appris des autres.

Et pour terminer nous voudrions dire qu'au moment où le dérèglement climatique se fait toujours plus ressentir, au moment où des menaces pèsent sur la biodiversité, il nous semble important d'attirer l'attention sur les abeilles en mettant en valeur certaines de leurs capacités parfois insoupçonnées, leur intelligence. Cela peut contribuer, par l'empathie dégagée, à ce que chacun se préoccupe de la biodiversité et de l'impact des activités humaines sur celle-ci.



B) Remerciements

Nous remercions :

- Nos professeures **Francine Rivière** (professeure de mathématiques) et **Corinne Desterbecq** (professeure de SVT) qui ont encadré le projet du début à la fin.
- Notre référente scientifique : **Aurore Avarguès Weber**, chercheuse en éthologie cognitive au Centre de Recherche sur la Cognition Animale au CNRS, Université Paul Sabatier de Toulouse, travaillant sur l'intelligence et le cerveau des abeilles. Nous la remercions pour les conseils, le soutien et le suivi scientifique du projet.
- Monsieur **Olivier Gazagne**, professeur en sciences de l'ingénieur de la plateforme technologique du lycée Monteil de Rodez. Nous le remercions comme partenaire technique, pour l'aide dans le perçage au laser des portes du labyrinthe et dans la fabrication des supports des récompenses/punitions avec une imprimante 3D.
- Nos abeilles, comme partenaires cobayes même si elles nous demandent beaucoup de temps !
- Nous remercions comme partenaires apiculteurs nos professeurs : toutes les deux ont été formées en Apiculture par le **Syndicat des apiculteurs de l'Aveyron**.
- **Corinne Desterbecq** est aussi apicultrice amatrice et a été formatrice dans ce même syndicat.
- Les travaux et projets menés au sein de l'atelier scientifique sont valorisés auprès des apiculteurs notamment par le biais de l'association Aveyronnaise « **Les Zhappy 12** ».
- Les fondations Sciences à l'école et Cgénial pour l'aide à la réalisation du projet.
- La **communauté scolaire du lycée Monteil** qui soutient l'Atelier.
- Nous remercions **Anne-Marie Mellier**, Proviseure et **Sandrine Souyris**, Proviseure adjointe du lycée Monteil pour le soutien de l'atelier.
- **Stéphanie Thouron** Gestionnaire et **Séverine Travagliati** Gestionnaire adjointe pour la gestion des aspects financiers du projet.

VI. Annexes



Programme Python

Le programme est composé de trois parties. D'abord l'importation des bibliothèques et la déclaration des variables, ensuite la déclaration des fonctions et enfin la création de la fenêtre et des boutons.

- 1^{ère} partie :

Le programme utilise 2 bibliothèques, *Tkinter* pour ouvrir une fenêtre et gérer les boutons et *Time* pour gérer l'horloge. Le programme utilise une variable pour stocker le temps de l'ordinateur au début de l'expérience, 9 variables pour stocker les temps dont on a besoin, 3 variables pour stocker les réussites ou erreurs de l'abeille à chaque boîte et une dernière pour compter le nombre de rotations de l'abeille. Il y a aussi une ligne de code pour écrire la 1^{ère} ligne du tableau dans le terminal :

```
print('      ; Abeille arrive; Abeille rentre; 1ere boite; 1ere boite réussite; 2eme  
boite; 2eme boite réussite; 3eme boite; 3eme boite réussite; Abeille partie; test  
1; test 2; test 3')
```

- 2^e partie :

Le programme fonctionne grâce à 13 fonctions :



- une fonction pour changer un nombre de secondes en heures, minutes, secondes :

```
def temps(nb_sec):  
    q,s=divmod(nb_sec,60)  
    h,m=divmod(q,60)  
    return "%d:%d:%d" % (h,m,s)
```

- 12 fonctions qui vont être appelées quand le bouton est appuyé. Les fonctions associées aux boutons stockent, dans une variable, en heure, minutes, secondes, la différence entre le temps au début de l'expérience et le temps au moment de l'appui. Certaines fonctions (celles des boutons échec ou réussite) stockent aussi la réussite ou l'échec de l'abeille dans des variables :

```
global tmb  
global bt  
tmb = temps(time.time()-tmbase)  
bt = 1
```

- la dernière fonction, associée au bouton du moment où l'abeille part, écrit aussi toutes les variables dans le terminal, séparées par un point-virgule, puis réinitialise les variables :

```
def tpdep():  
    global tma... #toute les variables doivent être global  
    tmdep = temps(time.time()-tmbase)  
    print(n, ';', tmar, ';', tmrent, ';', tma, ';', tmva, ';', tmb, ';', tmvb, ';',  
tmc, ';', tmvc, ';', tmdep, ';', at, ';', bt, ';', ct)  
    tma = 0... #remise à 0 de toute les variables  
    n = n+1
```

- 3^e partie :

La fenêtre est créée avec une taille de 297 pixels par 233 pixels et le nom «Logiciel BeeApi» :

```
fenetre = tk.Tk()  
fenetre.geometry("297x233")  
fenetre.title("Logiciel BeeApi")
```

Ensuite, tous les boutons sont créés avec leur nom, leur emplacement et la fonction associée au bouton, la fonction qui va être exécutée quand les boutons sont pressés :

```
bpa = tk.Button(fenetre, text="Abeille arrive", command=tpar)  
bpa.grid(column=0, row=0, columnspan=2)
```

Et enfin, une ligne de code affiche la fenêtre :

```
fenetre.mainloop()
```

