

Introduction

Dans l'article de référence de E. O. Wilson, *Trail sharing in Ants*^[1], des fourmis du genre *Crematogaster* (*Cr. Limata parabiatica*) voient leurs pistes amenant aux sources de nourriture utilisées par une autre espèce de fourmis (*Camponotus femoratus*) pendant les périodes de faible fréquentation (phénomène de « parabiosis »). Ceci est révélateur d'un caractère essentiel dans l'orientation des fourmis : les phéromones. Cette observation montre aussi la complexité de la communication chimique et du déplacement des fourmis, puisque le partage des pistes n'est pas réciproque.

Plus généralement, le mouvement des fourmis obéit à de nombreuses règles spécifiques à chaque espèce, dont quelques-unes sont connues. Par exemple la fugacité des sources de nourriture, leur nature et leur position sont particulièrement étudiées. Quelle est l'influence de différents paramètres sur le mouvement d'une espèce de fourmis hors du nid ? Quelle est la part de déterminisme et d'aléatoire dans ce mouvement ? En quoi ces paramètres sont-ils explicables par les caractéristiques écologiques et morphologiques de l'espèce considérée ?

Le cas de la fourmi *Crematogaster scutellaris* (Hyménoptère, Myrmicinae) est étudié sous l'axe des spécificités de son lieu de vie et de et des caractères qu'elle partage avec les autres espèces de fourmis. Des expériences simulant différents paramètres de son lieu de vie et des perturbations réalistes ont été réalisées et traitées en partie de manière informatique.

I. Matériel biologique

1. Collecte et identification

Trois colonies de fourmis rouges ont été récoltées vers la mi-novembre dans une zone ombragée à St André de Sangonis (Hérault, climat méditerranéen, Lat/Lon : N 43°39' E 3°30'). Celles-ci se trouvaient dans de la moelle de branches mortes de sureau (*Sambucus nigra*) qu'elles avaient foré ce qui indique leur caractère arboricole.

Ces caractères ainsi que les clés d'identification^[3] permettent de déterminer l'espèce : *Crematogaster scrutellaris* (*C. sc.*), espèce très fréquentes sur le pourtour méditerranéen.

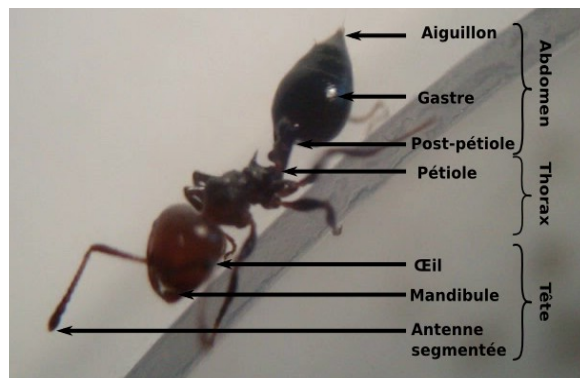
Il existe de fortes disparités de taille et de couleur des fourmis, que nous attribuons plus à la jeunesse des fourmis qu'à un polymorphisme fonctionnel.

2. Conditions d'élevage^[4]

Les fourmis ont été laissées dans les branches et placées dans des bidons enduits d'huile de paraffine pour éviter les évasions. Durant l'automne et l'hiver, les *C. sc.* ont

Sommaire

Introduction.....	1
I. Matériel biologique.....	1
1. Collecte et identification.....	1
2. Conditions d'élevage[4].....	1
3. Observations particulières.....	2
II. Comportement et préférences individuelles.....	3
1. Comportement vis-à-vis de la nourriture.....	3
2. Comportement vis-à-vis des conditions du milieu extérieur.....	4
3. Comportement vis à vis de la surface et de la gravité.....	5
III. Comportement collectif - Étude de l'établissement d'une piste de fourmis.....	6
1. Observation de l'établissement d'une piste de fourmis ..	6
2. Mode de recrutement.....	7
3. Synthèse d'une phéromone de piste.....	7
4. Détermination de l'orientation des pistes.....	8
5. Détermination de l'existence d'éclaireuses.....	8
6. Détermination du caractère aléatoire des premières pistes.....	8
Conclusion.....	9



D'après The Ants^[2], taille de la fourmi : 4mm

Morphologie	
Taille	4-5 mm pour les ouvrières, pas de polymorphisme en théorie
Poids	Environ 40 mg
Tête	Rouge Aveugle
Thorax	Noir
Pétiole	En deux parties (pétiole et post-pétiole)
Gastre	Noir En forme de cœur Pouvant se lever au-dessus de la tête
Écologie	
Lieu de vie	Climat méditerranéen Fourmi arboricole
Colonie	En général monogyne (une seule reine)
Pop.	- Min: (comptage <i>C. sc.</i> sorties) : 1043 - Max : (Estimation volume nid) : 6000

Source : Observations personnelles et [4]

été soumises à des jours artificielles se rapprochant des conditions de début de printemps après un réveil progressif.

Recette de nourriture pour fourmis de Bhatkar et Whitcomb (1970)

- 1 œuf
- 60 ml de miel
- 1 mg de vitamines et sels minéraux
- 5 g d'agar-agar
- 500 ml d'eau minérale (flan congelé)

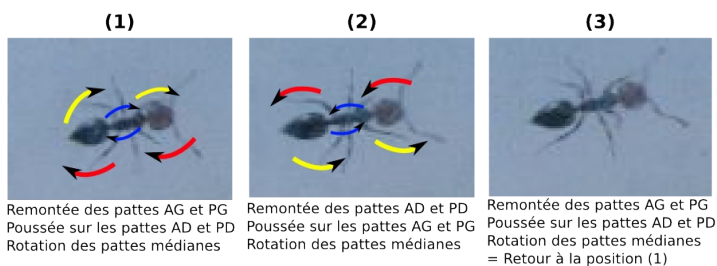
De décembre à janvier les colonies ont été placées en diapause (un mois à l'obscurité $12^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$).

Hors expériences, les *C. sc.* étaient nourries avec un mélange d'une mixture protéinée (Bhatkar et Whitcomb) et de saccharose en solution ([1 M]) au deux fois par semaine. L'eau était disponible à volonté.

Les expériences sont effectuées en général à $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$, sur un plateau de verre (fourmidrôme) dont les parois sont enduites d'huile de paraffine. Après chaque expérience, la surface du fourmidrôme est nettoyée au savon puis à l'éthanol pour éliminer un maximum de phéromones. Une webcam étalonnée est fixée au-dessus du fourmidrôme.

3. Observations particulières

Une caméra couplée à une loupe binoculaire a permis d'observer le mouvement des pattes. Celui-ci diffère suivant la paire de pattes considérée. Les pattes antérieures sont avancées l'une devant l'autre alternativement.



Analyse du mouvement des pattes de *C. scut.* à 25°C

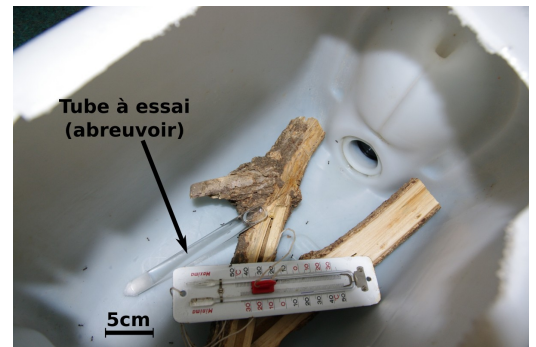


Détail du mouvement désynchronisé des pattes médianes

Quelques phénomènes particuliers ne semblent pas être communs à toutes les espèces de fourmis. Les *C. sc.* sont très exploratrices, rendant nécessaire le traçage de bandes d'huile de paraffine (5 cm dont 3 cm tête en bas) pour éviter les évasions.

Contrairement à ce qu'on peut lire dans la littérature, les *C. sc.* sont attirées par certaines vibrations : elles se sont réfugiées lors d'une évacuation dans des pompes pour aquarium.

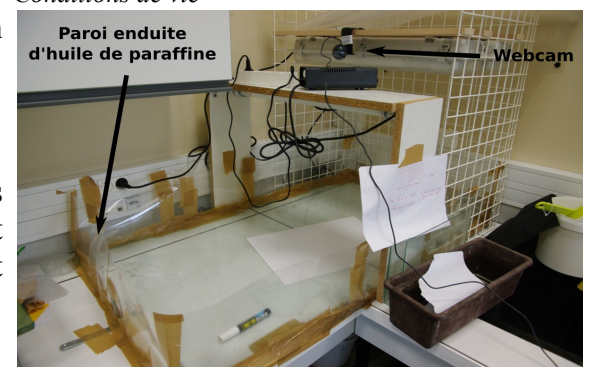
Lorsqu'un précipice est à proximité du nid, on peut observer la formation de gouttes de fourmis (« dripping faucet », phénomène étudié chez la fourmi tropicale *Ecophylla longinoda*) mais apparemment jamais observé chez les *C. sc.*



Fourmilière artificielle

	Jour		Nuit	
	Durée	Temp.	Durée	Temp.
Hiver	10h	$31 \pm 4^{\circ}\text{C}$	14h	$20,5 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$
Printemps	naturelle		naturelle	

Conditions de vie



Fourmidrôme

Les pattes médianes bougent en apparence de manière opposée, mais une observation plus fine montre que la synchronisation n'est pas parfaite. Les pattes arrière servent de propulseur : elles sont ramenées à tour de rôle vers l'arrière de la fourmi. Les mouvements de propulsion sont synchronisés de chaque côté. Ce mouvement est répété 5 à 6 fois par seconde.



Chute en goutte

II. Comportement et préférences individuelles

1. Comportement vis-à-vis de la nourriture

a. Principe

Les *C. sc.* élèvent des pucerons pour leur miellat et ne consomment pas de graines contrairement à nombre d'espèces méditerranéennes^[6].

Les résultats nous semblent fiables lorsqu'un nombre important de *C. sc.* se rend à la source. Les *C. sc.* sont flexibles : elles changent de source si elles en rencontrent une plus calorique à la même distance, ce qui permet d'inférer que les *C. sc.* exploitent toujours la nourriture préférée. Des tests binaires ont été réalisés.

b. Sucres

Dans la littérature, les expériences sur les fourmis sont effectuées avec du glucose ou de saccharose (C=0,5 M ou 1 M) Nous avons testé des oligosaccharides concentré à 1 M.

L'effet d'édulcorants utilisés en alimentation humaine a aussi été testé (solution saturée à partir de comprimés du commerce), pour obtenir des informations sur les similarités entre les papilles humaines et le système gustatif des *C. sc.* L'eau distillée sert de témoin négatif.

Le sucre préféré est le saccharose, fait surprenant car ce n'est a priori pas le plus simple à assimiler. Ce résultat reste cohérent avec l'écologie des *C. sc.* : elles se nourrissent du miellat des pucerons, qui est essentiellement constitué de la composante sucrée de la sève élaborée : du saccharose. Les écarts entre le fructose et le maltose ne sont pas significatifs, mais nous pensons qu'il existe un écart réel. Les édulcorants ont été très peu visités, les résultats ne sont donc pas significatifs. La préférence est semblable à celle de l'eau distillée.

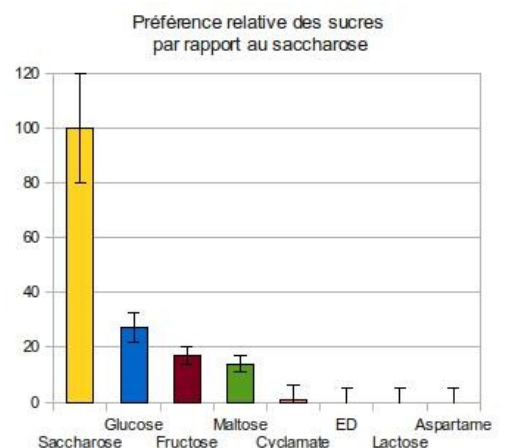
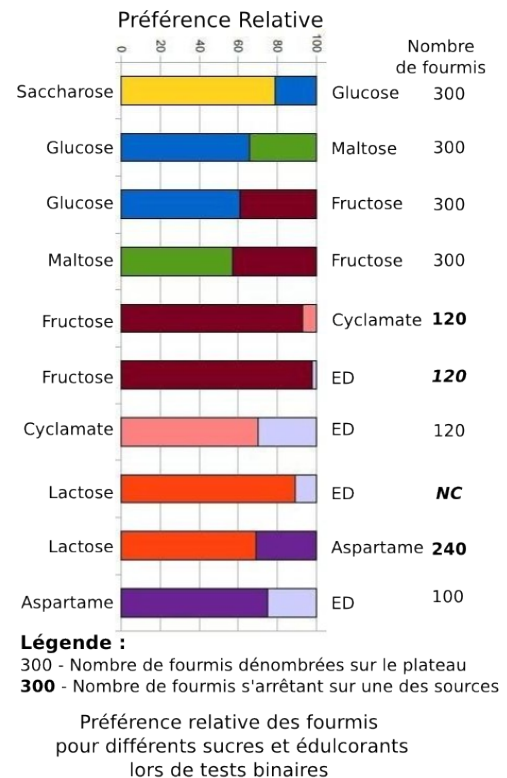
c. Place du miel

Des études conseillent de nourrir les fourmis avec des insectes et du miel, nous supposons à tort que sa composition s'approchait de celle du miellat. Sous l'effet de l'invertase inverse, sa concentration en saccharose est très faible. La préférence relative calculée pour le miel en négligeant le lévulose est de 10%±4.

Sur trois expériences, une seule a été exploitable : 300 fourmis (>99,5%) sur le saccharose (1 fourmi sur le miel). Cette valeur éloignée de l'estimation est surprenante. On peut l'interpréter par le faible nombre de répétitions de cette expérience, des mesures de préférences non fiables, une composition du miel utilisé éloignée de la valeur moyenne, par l'existence de molécules repoussant les fourmis, ou enfin par le fait qu'il n'est pas possible de modéliser le miel comme la moyenne pondérée de ses constituants majeurs. Il nous semble surtout que nos mesures manquent de précision.

d. Protéines (pain et ovalbumine)

Le pain contient en moyenne 2% de glucides simples (surtout du glucose), donnant une préférence théorique de 0,5 %, ce qui est éloigné de la valeur réelle : La composition en sucre ne permet pas d'expliquer entièrement les préférences des fourmis.



Composition moyenne d'un miel

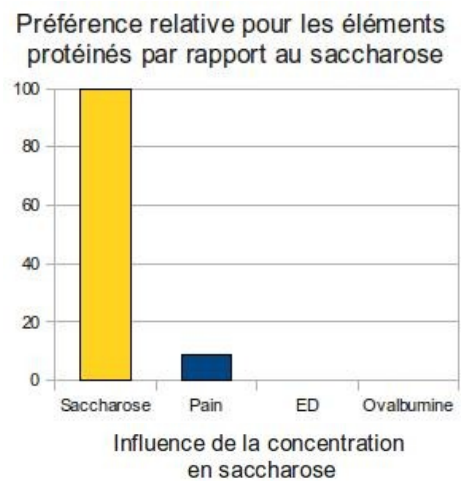
(d'après White, Riethoff, Subers et Kushnir, 1962)

- eau : 17,2%
- lévulose : 38%
- glucose : 31%
- maltose : 7,5%
- saccharose : 1,5%
- trace de : plus de vingt autres sucres, acide gluconique et autres acides, minéraux, protéines...

e. Concentration et état (liquide/solide)

La préférence pour la goutte varie dans le même sens que sa concentration. Le solide est délaissé ($n_{\text{touchant une goutte}} > 100$ dans tous les cas, plateau fréquenté). Il est possible que les *C. sc.* perçoivent différemment le sucré dans le solide, ou que le liquide soit plus facile à transporter. Les *C. sc.* discernent remarquablement des concentrations voisines (0,5 M et 1 M)

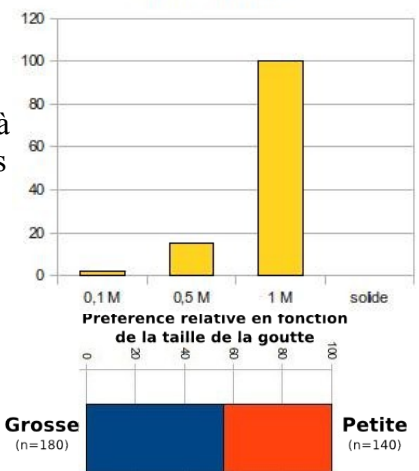
Dans le cas du miel, un miel plus dilué semble préféré ($n_{\text{sur le plateau}} > 300$, $n_{\text{touchant une goutte}} = 8$, 90% sur la plus diluée), même si les résultats ne sont pas significatifs. Une trop grande viscosité pourrait expliquer la répulsion et devrait être testée.



f. Éloignement

Lorsque deux gouttes équivalentes sont présentées à des distances différentes (15 cm et 30 cm), la goutte la plus proche est préférée de loin à la plus lointaines (préférence supérieure à 95%), même si les deux gouttes sont fréquentées ($n_{\text{sur le plateau}} > 500$).

Ce résultat est reproduit si la goutte située à 30 cm est deux fois plus concentrée (1 M) que celle à 15 cm (0,5 M).

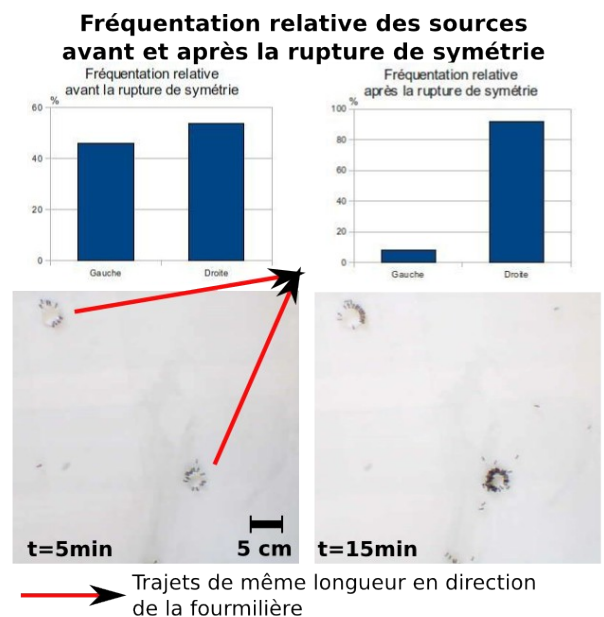


g. Taille de la goutte

Parfois, les *C. sc.* s'agglutinent autour de la goutte, formant un contour continu, nous avons cherché une relation entre la circonférence de la goutte et sa fréquentation, comme le suggèrent certains articles^[5,7]. Une seule expérience donne une préférence significative pour la goutte de grande surface ($s_1/s_2 = 1/4$).

h. Rupture de symétrie

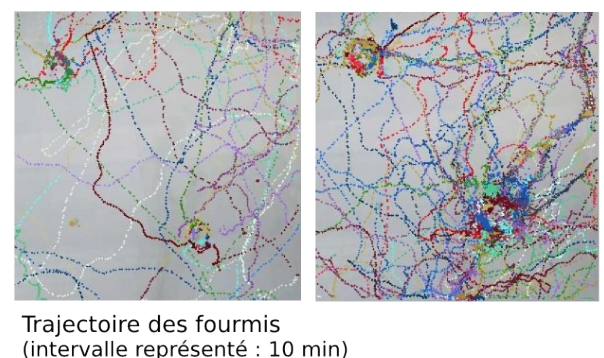
Face à deux gouttes équidistantes de même concentration, *C. sc.* exploite d'abord les sources de manière indifférenciée, au bout de 10 min on observe une *rupture de symétrie* en faveur de la source de droite ($n_{\text{total}}=400$ fourmis). L'observation des trajectoires rend compte de ce phénomène. Les fourmis ne sont pas sorties lors de deux des trois répliques.



2. Comportement vis-à-vis des conditions du milieu extérieur

a. Température

Une à cinq fourmis ont été placées dans une boîte de Pétri elle-même placée dans un bain dont la température varie par pas de 5°C. Les températures supérieures à 25°C n'ont pas été testées. Plusieurs mesures (2-3) ont été réalisées pour chaque température. La vitesse maximale a été enregistrée (V_{moy} si temps d'acquisition court, moyenne du quatrième quintile sinon). Les barres d'erreur représentent la variabilité de la mesure de la vitesse la plus élevée.

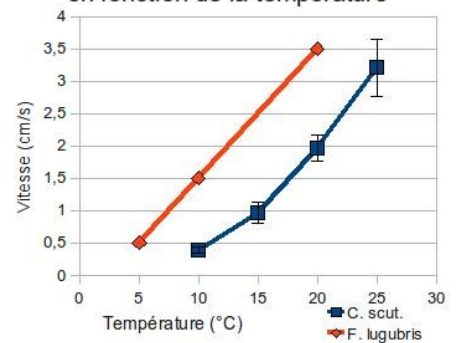


Malgré l'allure séduisante de cette courbe, nous nous garderons d'en tirer trop de conclusions, à

cause de la faible taille de notre échantillon, et des difficultés rencontrées pour étalonner les vidéos.

La vitesse des *C. sc.* augmente avec la température. Celles-ci sont presque immobiles à 5°C. En parallèle, la durée des temps d'arrêt augmente lorsque la température baisse. À des températures assez basses (<4°C), les fourmis perdent parfois la coordination de leur pattes. Ceci s'explique par le métabolisme hétérotherme des fourmis : la partie en contact avec le froid est paralysée alors que le reste de l'organisme de la fourmi fonctionne normalement. Les *C. sc.* ont une vitesse toujours inférieure à celle des *F. lugubris*, ce qui peut s'expliquer par leur petite taille (5 mm vs. 9 mm).

Vitesse maximale des fourmis en fonction de la température



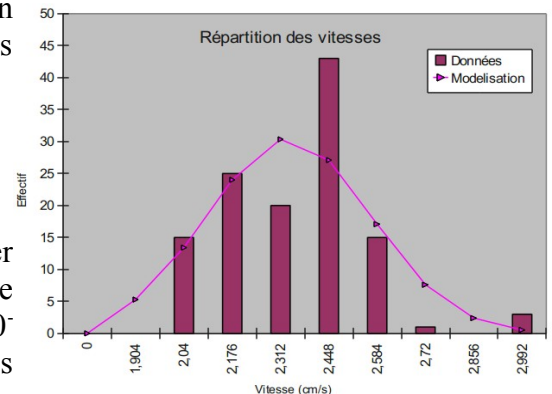
Valeurs expérimentales pour *C. sc.*
(valeurs pour *Formica lugubris* d'après [8])

b. Répartition des vitesses

Une analyse informatique donne une répartition gaussienne des vitesses des fourmis autour de quelques centimètres par seconde. (50000 images sur sacVSpain2)

c. Vitesse et mouvement des pattes en conditions de stress

D'après [9], deux phéromone d'alarme peuvent stresser les *C. sc.* : l'acide formique (ac. méthanoïque) et l'acide éthanoïque. Plusieurs essais à des concentrations différentes (10^{-7} M, 10^{-5} M, 10^{-3} M) ont été effectués sans différences notables de comportement. Certaines sont venues boire à la concentration de 10^{-3} M. Il est possible que les *C. sc.* ne soient en réalité pas sensibles à cette phéromone, ou que l'atmosphère de la pièce en ait été saturée lors de l'expérience, rendant ainsi les fourmis insensibles.



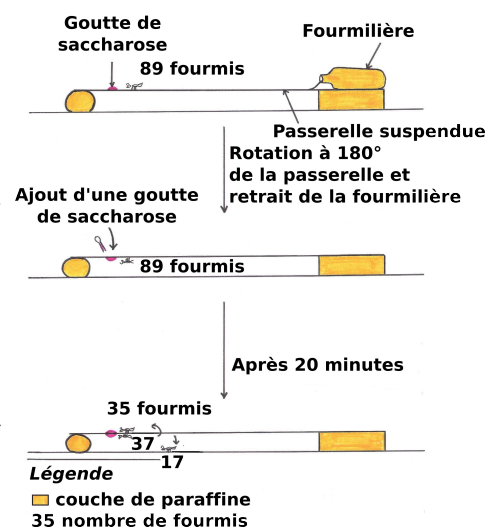
3. Comportement vis à vis de la surface et de la gravité

Les *C. sc.* se cachent souvent dans l'ombre, tête en bas, sous la paille du laboratoire, suggérant un effet négligeable de la gravité. Les forces s'exerçant sur chaque patte d'une fourmi marchant tête en bas sont de l'ordre de 0,1 mN (masse d'une *C. sc.* environ 40 mg, trois pattes par terre lors de la marche), les crochets doivent disposer d'une adhérence suffisante lorsque la fourmi se déplace tête en bas.

Dans une première expérience, une passerelle a été placée à la sortie du nid. Deux gouttes de saccharose, l'une tête en haut et l'autre tête en bas sont placées sur la passerelle. Dans la seconde expérience, la goutte du bas est plus proche que la goutte du haut. Il a été montré que les *C. sc.* ont une nette préférence pour les sources de nourriture proches. Ces expériences n'ont pas été concluantes, les fourmis n'empruntant pas la passerelle convenablement.

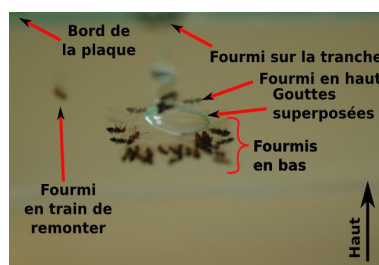
Enfin, nous avons laissé s'établir une piste de *C. sc.* sur la face supérieure d'une passerelle (plaque de verre).

Ensuite, la plaque a été retournée et une goutte de saccharose a été placée sur la face supérieure en regard de celle de la face inférieure. Aucune fourmi ne redescend. Si le nombre de fourmis semble s'égaliser entre les deux sources, le flux de fourmis ne s'effectue que vers le haut, montrant une préférence



	Retournement	
	Avant	20min après
Vers le haut	0	35
Vers le bas	0	0
Chute par terre	0	17

Flux de *C. sc.*



	Retournement	
	Avant	20min après
Haut	89	35
Bas	0	37
Chute par terre	0	17

Nombre de *C. sc.*

pour la tête en haut. De plus, il n'y a pas de phéromones en haut puisque la piste tracée jusqu'à la première source se trouve maintenant sur le dessous de la passerelle. Longue à mettre au point, cette expérience n'a été réalisée qu'une fois.

Par ailleurs, les *C. sc.* ont tendance à se déplacer sur les joints des paillasses (surface sombre). Elles sont alors beaucoup moins visibles. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce comportement. La première est que même si elles sont aveugles, les *C. sc.* perçoivent le clair et le sombre. Il est possible que les rainures sombres soient plus chaudes que les surfaces blanches, le noir absorbant la chaleur. Enfin, les fourmis sont peut-être plus sensibles à la configuration physique du milieu plutôt qu'à sa couleur. Ainsi, les rainures forment des cuvettes qui pourraient être suivies par les fourmis par thigmotactisme (fait de suivre les bords et les aspérités).

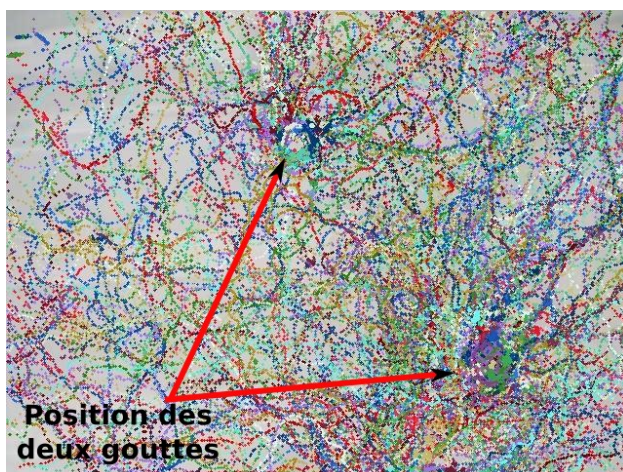
III. Comportement collectif - Étude de l'établissement d'une piste de fourmis

1. Observation de l'établissement d'une piste de fourmis

Nous avons écrit un programme permettant de suivre la trajectoire des fourmis et de relever leurs coordonnées au fur et à mesure de leur déplacement.

Avant la découverte de la source de nourriture les déplacements semblent aléatoires. Après sa découverte l'aléa se trouve fortement réduit.

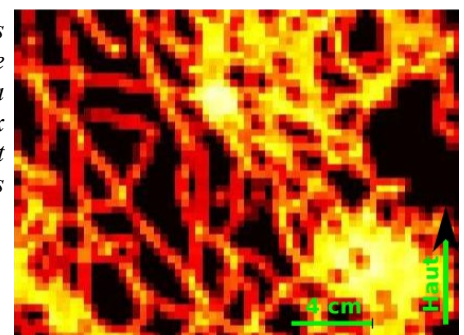
La représentation de la densité des fourmis n'a pas bien marché car lors de très denses processions, seule une faible fraction est détectée, sous-estimant sa densité. Quand une piste s'établit la majorité des fourmis se dirige vers la source à partir de 30 minutes d'expérience.

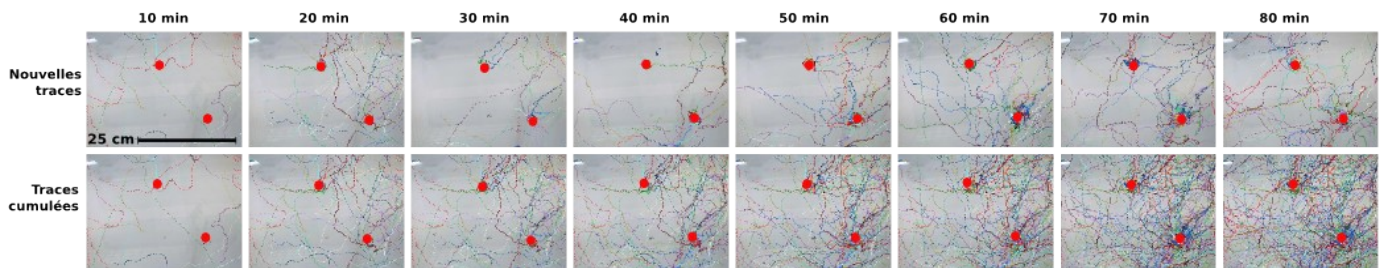


Représentation de l'intégralité des traces lors de l'expérience symétrie1 (durée : 2h40)

Caractéristiques du programme et de l'acquisition
Programme d'acquisition Principe : Le programme, écrit en Python/OpenCV, réalise l'acquisition simultanée des images et d'un fichier contenant l'heure précise ainsi que son incertitude associée. Webcam : - Résolution : 640x480 px, (champ de 40x30 cm) - Vitesse d'acquisition : 10,7 fps $\pm$ 0,7 Limites : - Faible résolution de la Webcam - Distorsion de l'image (>10%) - Luminosité variable durant l'acquisition Programme d'extraction des coordonnées Principe : À-partir des images enregistrées, le programme applique des filtres de manière à standardiser l'image et à augmenter la visibilité des fourmis. Ce programme est écrit en Python/OpenCV et peut afficher soit une interface graphique, soit être utilisé dans des scripts. Incertitude : ± 2px soit ± 1 mm Limites : Incertitude importante et faux positifs et négatifs. - Certaines aspérités sont comptées comme des fourmis - Fourmis perdues au-dessus de certaines aspérités - Mauvais discernement quand les fourmis sont proches Programme de reconstitution des pistes Principe : Reconstituer à-partir d'une liste de points les traces des fourmis, c'est-à-dire associer à chaque fourmi sa trajectoire. Pour cela, on suppose que la fourmi a effectué un déplacement minimal entre deux images. Traitement des données : Script Python/Scilab

Densité des fourmis dans l'expérience symétrie1, après la rupture, les deux sources sont nettement visibles



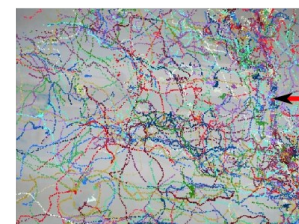
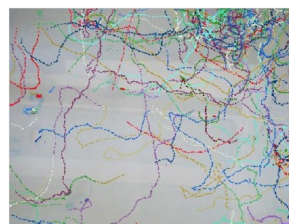
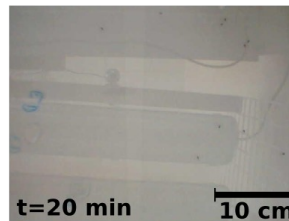


Traces des fourmis au cours de l'établissement d'une piste (expérience : symetrie1) ● Source de nourriture

2. Mode de recrutement

Lors de la découverte d'une source de nourriture, la fourmi peut utiliser diverses méthodes pour attirer (recruter) ses congénères^[2,5,12]. La quantification du rapport MR, TR, GR permet de se faire une idée de l'adaptabilité des fourmis à des sources mouvantes. L'analyse de la vidéo *ovalbumine vs. Eau distillée* permet de tirer plusieurs enseignements : le recrutement par tandem n'est jamais utilisé. Le recrutement de masses est très nettement visible : C. sc. font des aller-retour, ramenant à chaque fois entre trois et cinq congénères. Le recrutement de masse est plus rarement pratiqué. Du fait d'un GR élevé, les C. sc. sont des fourmis capables de réagir rapidement à des changements dans la configuration des sources de nourriture.

Perte de l'aléa lors de l'expérience ovalbumine contre eau distillée



intervalle : 0-30 min

intervalle : 30-55 min

3. Synthèse d'une phéromone de piste

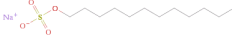
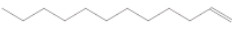
Une phéromone de ce type a été isolée chez une espèce voisine : *Crematogaster castanea*^[10]. Elle n'est constituée que d'une seule molécule (R)-2-dodecanol alors que les phéromones d'autres espèces sont des mélanges.

Un protocole de synthèse existe^[11], mais nous n'avons ni les compétences, ni le matériel pour le mettre en œuvre. Nous avons mis au point des protocoles de synthèse.

La synthèse à partir du 1-dodecanol a été réalisée sans succès à cause de problèmes de température de fusion. Nous nous sommes alors procuré le racémique (2-dodecanol).

Celui-ci a été dilué dans de l'hexane et différents titres massiques^[10] ont été réalisés. À l'aide d'une pipette pasteur, des pistes ont été tracées sur des feuilles de papier. Après séchage, les C. sc. ont ensuite

Type de recrutement	Fonctionnement	Plasticité des pistes
Tandem (TR)	La fourmi éclaireuse recrute une fourmi et la conduit par contact à la source.	Pas de piste ss.
Groupe (GR)	La fourmi recrute par une parade visuelle quelques fourmis et les guide jusqu'à la source.	Importante
Masse (MR)	La fourmi laisse à son retour une piste qui sera suivie par d'autres fourmis sans que celle-ci n'ait à leur montrer leur chemin.	Faible

Molécule à synthétiser	 (R)-2-dodecanol pm 186,334, mp 18°C, bp 249,5°C		
Réactif de départ	Avantages	Protocole	Inconvénients
SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) 	- Peu coûteux	1. Saponification 2. Déshydratation 3. Hydratation	- Nombreuses étapes
1-dodecene 	- Une étape	1. Hydratation	- Réactif difficile à obtenir
1-dodecanol 	- Deux étapes	1. Déshydratation 2. Hydratation	- Sous-produits difficiles à déparer
2-dodecanone 	- Une étape - Synthèse asymétrique	Action de l'alcool déshydrogénase	- Catalyseur coûteux
Synthèse asymétrique	- Produit chiral et pur	Cf [11]	- Nombreuses étapes - Réactifs coûteux - Protocole complexe

été lâchées sur ces pistes artificielles. Nous n'avons pas pu obtenir de résultat, quelle que soit la dilution appliquée, peut-être à cause de la grande largeur de la piste. Mais, lors de l'usage de fortes concentrations, les fourmis apparaissaient totalement désorientées ce qui suggère fortement un effet de cette substance.

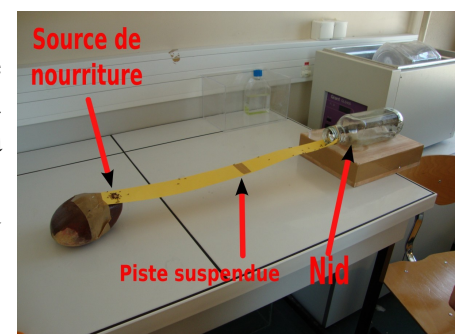
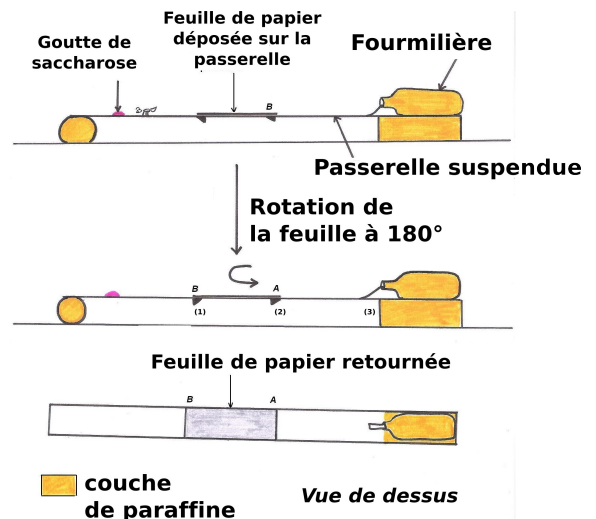
4. Détermination de l'orientation des pistes

Chez de nombreuses fourmis, les pistes sont orientées, c'est-à-dire qu'une fourmi peut savoir lorsqu'elle suit une piste si elle se dirige vers le nid ou pas. Ce mécanisme est bien connu^[5] : lorsqu'elles déposent des phéromones grâce à leur glande abdominale, les fourmis ne les déposent pas linéairement, mais en formant des « flèches », qui montrent le sens de déplacement de la fourmi. Ceci peut être visualisé en faisant évoluer les fourmis sur du verre recouvert d'une fine pellicule de fumée.

Néanmoins, le gastre des *C. scut.* ne peut pas toucher le sol, et il a été montré qu'elles utilisent des glandes tibiales pour le dépôt de phéromones de piste. Nous nous sommes alors demandé s'il existait une orientation des pistes chez les *C. scut.* dont le mécanisme serait alors nécessairement différent.

Une piste de *C. sc.* est laissée s'établir sur une bande de papier, puis une partie de celle-ci est retournée de manière à ce que le sens des piste converge en un point. Le but est d'observer le comportement des fourmis au niveau du point convergent.

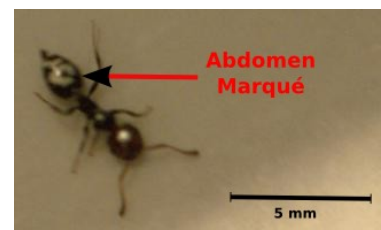
Nous avons pour cela suspendu une passerelle pour que la piste ne s'effectue que dans une direction, puis retourné une partie de la piste, la mettant tête-bêche par rapport à l'ancienne. L'expérience a été filmée. La manipulation a à chaque fois provoqué un grand stress chez les fourmis, et malgré sept essais avec des protocoles différents, nous n'avons pas pu observer une modification de comportement. Nous pensons que notre protocole et les outils utilisés ne nous permettaient pas d'obtenir des résultats concluants. Ceci dit, l'hypothèse qui nous semble la plus probable est que les piste des *C. scut.* ne sont pas orientées.



Montage d'une de nos expériences (longueur de la piste : 1m20)

5. Détermination de l'existence d'éclaireuses

Nous avons cherché à déterminer si les premières fourmis sortant du nid sont toujours les mêmes, c'est-à-dire s'il existe des fourmis « éclaireuses ». Pendant une semaine et demie, les cinq premières fourmis sortant du nid lors de chaque expérience ont été marquées à l'aide d'un feutre adéquat. L'innocuité de celui-ci a préalablement été évaluée sur un échantillon test de cinq individus pendant une semaine. Le rang de sortie de la première fourmi marquée a été enregistré.



L'expérimentation ne nous a pas permis de conclure. Dans 70% des cas, les fourmis marquées sortent dans les dix premières, néanmoins, nous ne connaissons pas la population de la colonie et savons que celle-ci était de l'ordre de la centaine d'individus à cause d'une évason. Ainsi, le nombre de fourmi marquées pouvait représenter une part significative de la population, biaisant nos interprétations. Ceci dit, nous avons souvent retrouvé une fourmi marquée sortant dans les trois première fourmis, et remarquées que celles-ci s'éloignaient souvent plus loin que les autres, ce qui semble indiquer qu'il y aurait des éclaireuses. Ce comportement pourrait aussi s'expliquer par une possible modification de l'odeur coloniale des fourmis marquées, ce qui les pousserait à l'exclusion^[15].

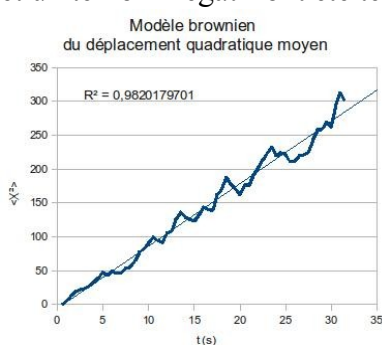
6. Détermination du caractère aléatoire des premières pistes

Nous avons cherché à savoir si les fourmis se déplaçaient de manière aléatoire à la sortie de la fourmilière, c'est-à-dire si le déplacement des fourmis en l'absence de phéromones était aléatoire. Si tel est le cas, les fourmis se déplaceraient suivant un modèle pouvant s'apparenter à un mouvement brownien, dont les caractéristiques peuvent être interprétées par les lois de la diffusion. L'observation du tracé des trajectoires sur la première minute des vidéos ne nous a pas permis de déceler une organisation quelconque dans le mouvement des fourmis, tout en nous fournissant suffisamment de données pour pouvoir réaliser un traitement statistique. Cependant, des échantillons temporels plus longs ont été utilisés pour avoir suffisamment de valeurs.

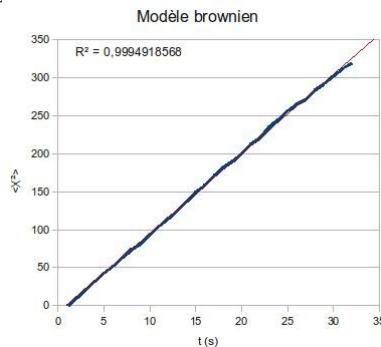
L'analyse des premières pistes de fourmis s'est révélée assez difficile, un modèle à une fourmi a donc été réalisé : une fourmi seule est placée sur une feuille de papier A3 vierge de phéromones. Son déplacement est filmé jusqu'à ce qu'elle sorte d'un cercle de 20 cm de son point de départ. Cette expérience a été répliquée dix fois, ce qui est faible pour réaliser des tests statistiques fiables. Par ailleurs, l'effet d'interactions possibles entre deux fourmis n'a pas été testé. Ce test peut être réalisé en lâchant deux fourmis à la fois sur la feuille. L'observation de la direction du premier virage donne 60% gauche, $n=10$.

Les lois du mouvement brownien prédisent que la densité des particules se répartit en formant une courbe de Gauss autour du point de départ de la fourmi. Ne disposant que de peu de données, la projection de la densité sur un axe passant par le point de départ des fourmis a été réalisée, sans succès. Une autre caractérisation est que la moyenne quadratique des distances au point de départ est proportionnelle au temps ($\langle X^2 \rangle = 2Dt$, avec 2 la dimension du plan et D un coefficient de diffusion). Cette modélisation a fourni de bons résultats ($R^2 > 0,98$).

Pour nous assurer de la validité de ce résultat, un témoin positif et un témoin négatif ont été testés



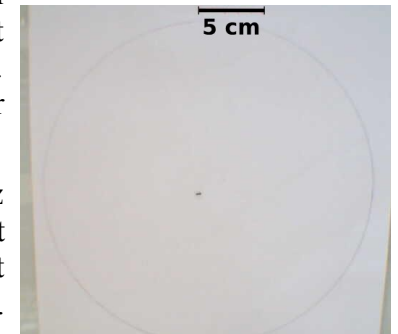
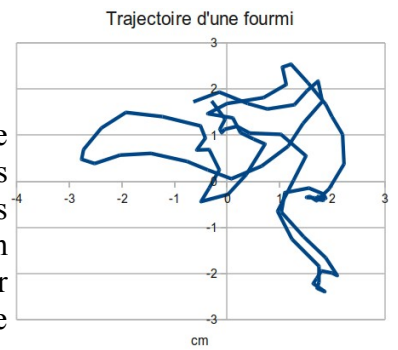
Témoin positif : $n=10$ fourmis,
chg_dir=2/s, $V=4\text{cm/s}$



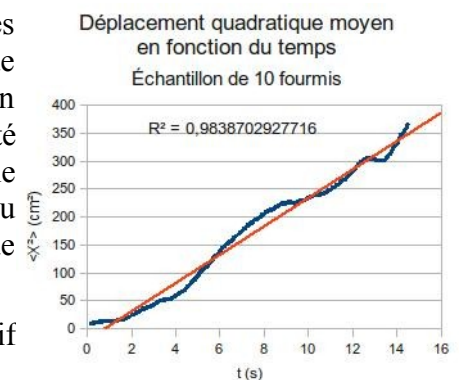
Témoin positif : $n=1000$,
chg_dir=2/s, $V=4\text{cm/s}$

Le témoin positif est une modélisation informatique en Scilab simulant des fourmis se déplaçant de manière aléatoire, $n=10$ fourmis le témoin négatif est une vidéo où les fourmis ne se déplacent pas de manière aléatoire. Nous montrons que leur déplacement est proportionnel au temps (déplacement linéaire). Les expériences sont réalisées sur un temps court, ce qui est dû à une limitation du champ de la caméra, ce qui rend les résultats peu pertinents, en particulier au-dessous de 5 secondes.

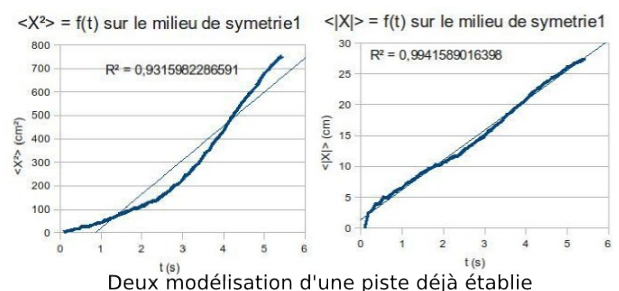
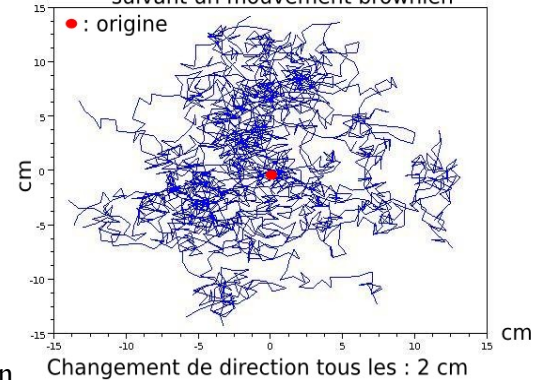
Il était attendu que l'observation de la densité de probabilité des fourmis ou de la moyenne des



Une expérience avec le modèle à une fourmi



Modèle informatique du comportement des fourmis suivant un mouvement brownien



Deux modélisation d'une piste déjà établie

déplacements quadratique fournissent une indication de la transition entre mouvement aléatoire et déterministe. Si l'on peut tirer quelques enseignements de ces résultats, le faible échantillonnage ne permet en aucun cas de conclure.

Conclusion

L'étude du comportement des *Crematogaster scutellaris* à la sortie du nid s'est révélée difficile d'un point de vue logistique car il fallait garder une colonie toute l'année donc la maintenir en bonne santé et surtout éviter le plus possible les évasions. Il n'est par ailleurs pas évident de réaliser des expériences sur des centaines d'individus qui doivent être ensuite récupérés un à un pour être remis dans leur fourmilière. Cela implique que nous avons dû limiter le nombre de fourmis sur certaines expériences qui ont ainsi des résultats moins significatifs. Ils nous permettent cependant de conclure que les fourmis hors de la fourmilière ont une attitude exploratrice pour trouver de la nourriture ayant la composition la plus proche du miellat. Cette exploration s'appuie sur un travail de groupe et donc une organisation avec des éclaireuses, un recrutement, des pistes de phéromones et même des systèmes leur permettant, en groupe, d'atteindre des contrebas comme le phénomène de « dripping faucet ». Cependant, certaines conditions du milieu extérieur peuvent perturber cette organisation comme les faibles températures, l'absence de nourriture adaptée ou son éloignement. Par ailleurs, le comportement hors de la fourmilière des *Crematogaster scutellaris* répond de leur caractère arboricole, marcher la tête en bas leur est possible par exemple. Nous pouvons alors nous demander si ces particularités de fourmis des arbres méditerranéens pouvant trouver de la nourriture dans un espace assez proche de la fourmilière peuvent être trouvées chez des fourmis du désert comme les *Cataglyphis fortis* qui vivent dans des conditions de température extrêmes où la nourriture se fait rare. Par ailleurs, nos résultats montrent une grande adéquation de *Crematogaster scutellaris* à son environnement. Les données récoltées pourraient servir à établir des modèles écologiques, permettant par exemple de prédire la réponse de *C. sc.* face à des perturbations environnementales.

Références

- Luc Gomel, Directeur du zoo du Lunaret, directeur du Service général des collections de l'Université Montpellier II
- Rumsaïs Blatrix, Chargé de recherche au CNRS, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE), UMR 5175
- Dominique Saffray, Ingénieur Agronome, chef du Département Entomologie et Parasitologie Appliquées de Phérosynthèse
1. E. O. Wilson, *Trail Sharing in Ants*, Psyche Volume 72 (1965), Issue 1, Pages 2-7
 2. B. Hölldobler, E. O. Wilson, *The Ants*, Springer-Verlag, 1990
 3. Clé d'identification des fourmis de France : <http://cle.fourmis.free.fr/>
 4. Marie-Sophie Germain, *Les Fourmis*, DeVecchi, 2007, chapitre « Votre colonie de fourmis » en particulier.
 5. Luc Passera, Serge Aron, *Les Fourmis : comportement, organisation sociale et évolution*, NRC Research Press, 2005
 6. Crisanto Gómez *et al.*, *Effects of the Argentine ant Linepithema humile on seed dispersal and seedling emergence of Rhannus alaternus*, Ecography, Vol. 26, No. 4, Aug. 2003
 7. J.L. Deneubourg, J.M. Pasteels, J.C. Verhaeghe, *Probabilistic Behaviour in Ants : a Strategy of Errors?*, J. of Theor. Biol. numéro 105, 1983
 8. D. Cherix, *Les Fourmis des bois*, Atlas Visuel Payot Lausanne, 1986
 9. Pasteels, J.M., Daloze, D., and Boeve, J.L. 1989. *Aldehydic contact poisons and alarm pheromone of the ant Crematogaster scutellaris (Hymenoptera: Myrmicinae). Enzyme-mediated production from acetate precursors*. J. Chem. Ecol. 15:1501-1511
 10. Morgan, E.D., Brand, J.M., Mori, K., and Keegans, S.J. 2004. *The trail pheromone of the ant Crematogaster castanea*. Chemoecology. 14:119-120
 11. B. T. Cho and D. J. Kim, *Efficient synthesis of the pheromones of Myrmica scabrinodis, Crematogaster castanea, C. liengmei, C. auberti and Metamasius hemipterus*, Tetrahedron, 2003, 59(14), 2457-2462
 12. Bonabeau E, Theraulaz G, Deneubourg J.L., *Group and mass recruitment in ant colonies: the influence of contact rates*, J Theor Biol. 1998 Nov 21;195(2):157-66.
 13. Theraulaz, G., Gautrais, J., Camazine, S., Deneubourg, J.L., *The formation of spatial patterns in social insects: from simple behaviours to complex structures*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Serie A, 361: 1263-1282 (2003)
 14. J.L. Deneubourg, J.M. Pasteels et J.C. Verhaeghe, *Probabilistic Behaviour in Ants : a Strategy of Errors?*, Journal of Theoretical Biology, numéro 105, 1983.
 15. Denis D, Blatrix R, Fresneau D, *How an ant manages to display individual and colonial signals by using the same channel.*, Journal of Chemical Ecology [2006, 32(8):1647-61]