



Académie royale
des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts
de Belgique

Vie collective et immunité sociale: prophylaxie et hygiène au sein des sociétés d'insectes

Claire Detrain

Service d'écologie sociale - Université Libre de Bruxelles

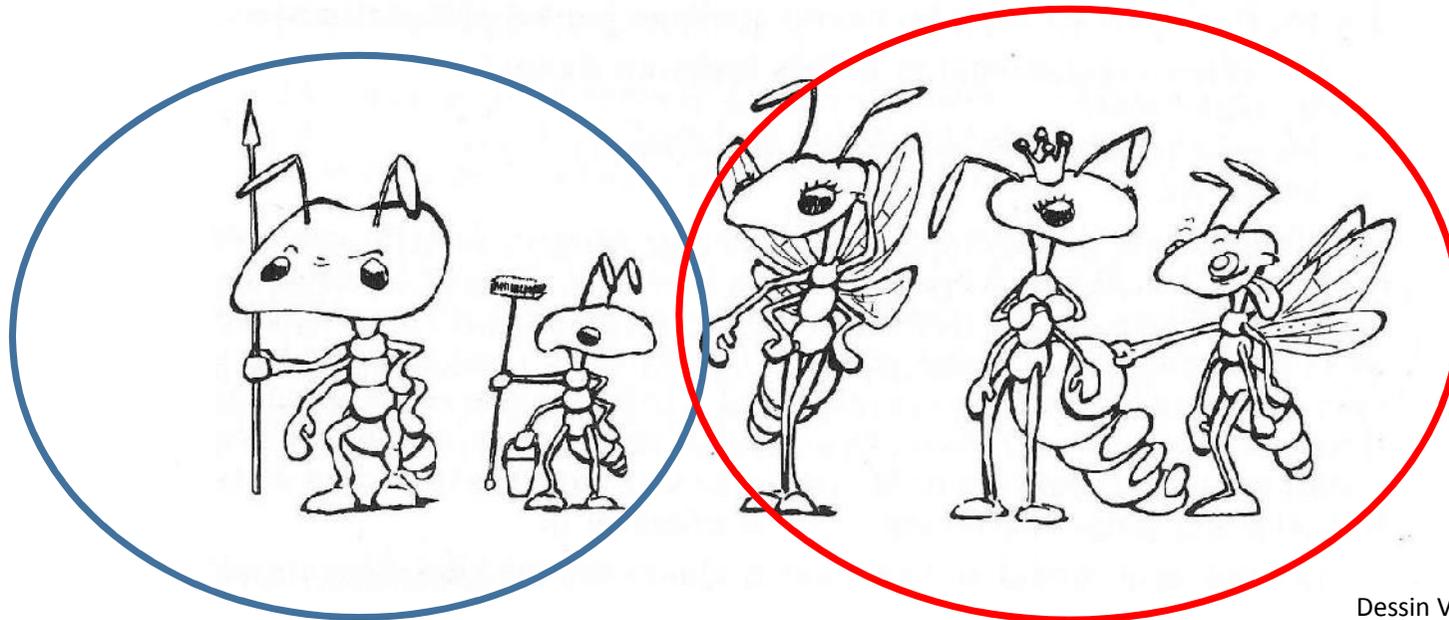
11 octobre 2016 - Namur



Lépisme – poisson d'argent
Ordre zygentomes - Insecta

EUSOCIALITE

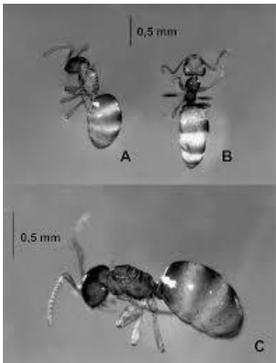
Division du travail - Individus sexués et individus stériles
Ouvrières, soldats



Dessin V. Quinet

Les fourmilières se distinguent par une diversité

- De taille (1mm -> cm)
- De morphologie (minors, majors,sexués)
- De nombre d'individus (10 -100.000 ind)



Plagiolepis delaugerii
www.antwiki.org



Dinoponera quadriceps
www.wikipedia.org



A. Bockoven 2009



Fourmi légionnaire (*Dorylus sp*)
www.wikipedia.org

Les sociétés d'insectes forment des structures

- dont l'ampleur dépasse largement leur taille
- Adaptatives et efficaces en absence de decision centralisée

Optimisation du trafic



*Dussutour et al.
J.Exp.Biol. 2009*

Maladies de l'abeille



Couvain en mosaïque

Bactérie: *Paenibacillus larvae* (la loque): pourriture des larves

Champignon: *Ascosphaera apis* (Couvain plâtré): momification des larves

Nosema apis (Nosemose) : Dysenterie et abandon de la ruche

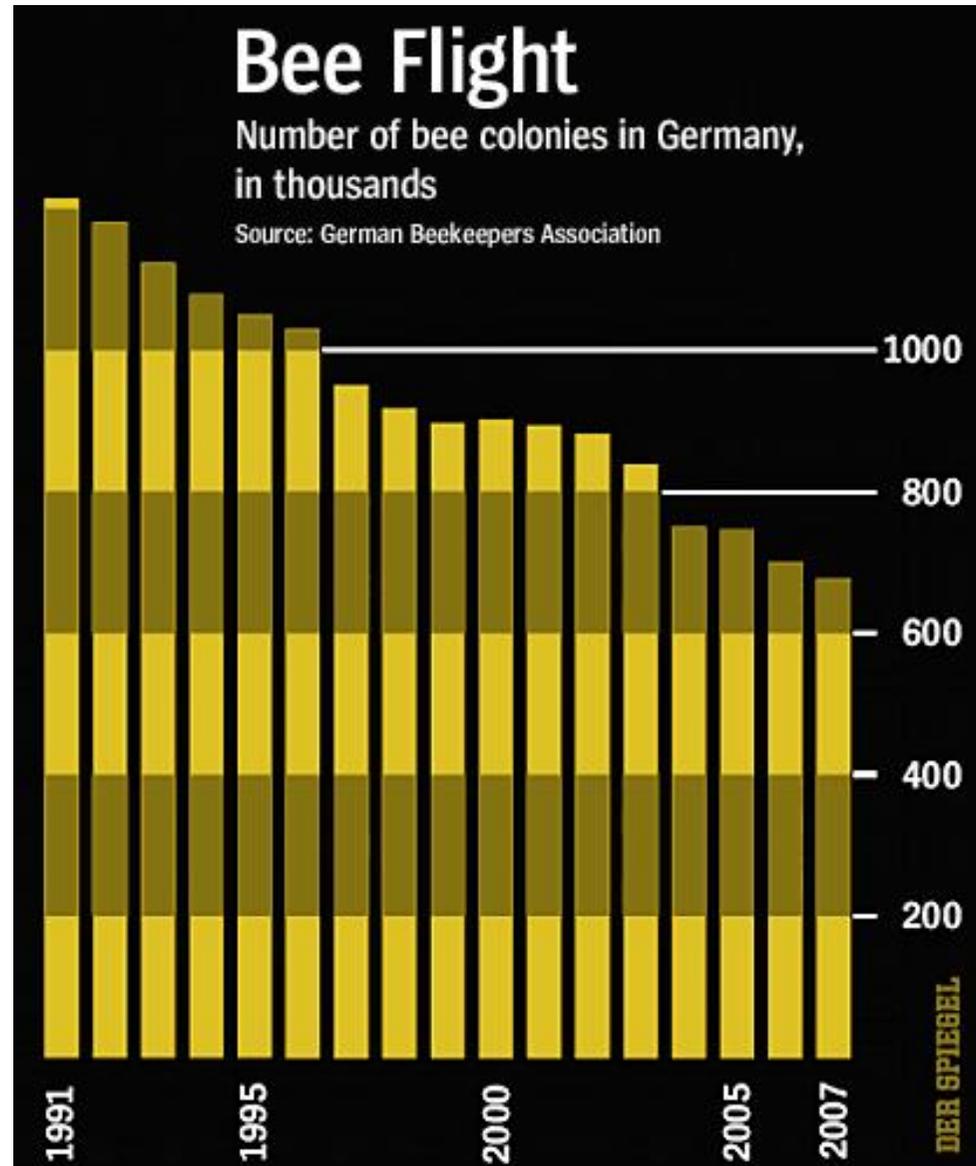
Virus: *Chronic Bee Paralysis Virus* (Maladie noire): paralysie des butineuses

Acarien: *Varroa destructor* (Varroase):
Hematophage + vecteur de virose

Syndrome d'effondrement
des colonies d'abeilles

Colony Collapse disorder

Varroase
+ pesticide (neuro)
+ monoculture (désert)



Le syndrome d'effondrement des abeilles: un enjeu biologique, sociétal et économique



La fourmilière : un concentré de vie sociale
.....et un paradis pour les pathogènes

*Haute densité

*Haut degré de parenté (haplo-diploidie: $r=0.75$ VS $R=0,5$ pour ouvrières)

*Espace confiné et sédentarité (> 10 ans pour colonie)

*Transit important de nutriments et de déchets

* Fréquentes interactions et trophallaxie

Maladies des fourmis

Exposée à différent types de pathogènes

- Virus
- Bactéries: *Serratia*, *Pseudomonas*
- Champignon : *Ophiocordyceps*, *Beauveria* , *Aspergillus*, *Metarhizium*,....

Utilisé en lutte intégrée contre les fourmis invasives (*Solenopsis*, *Wassmania*,...) **MAIS**
.....assez peu efficace



Desmidiospora myrmecophila



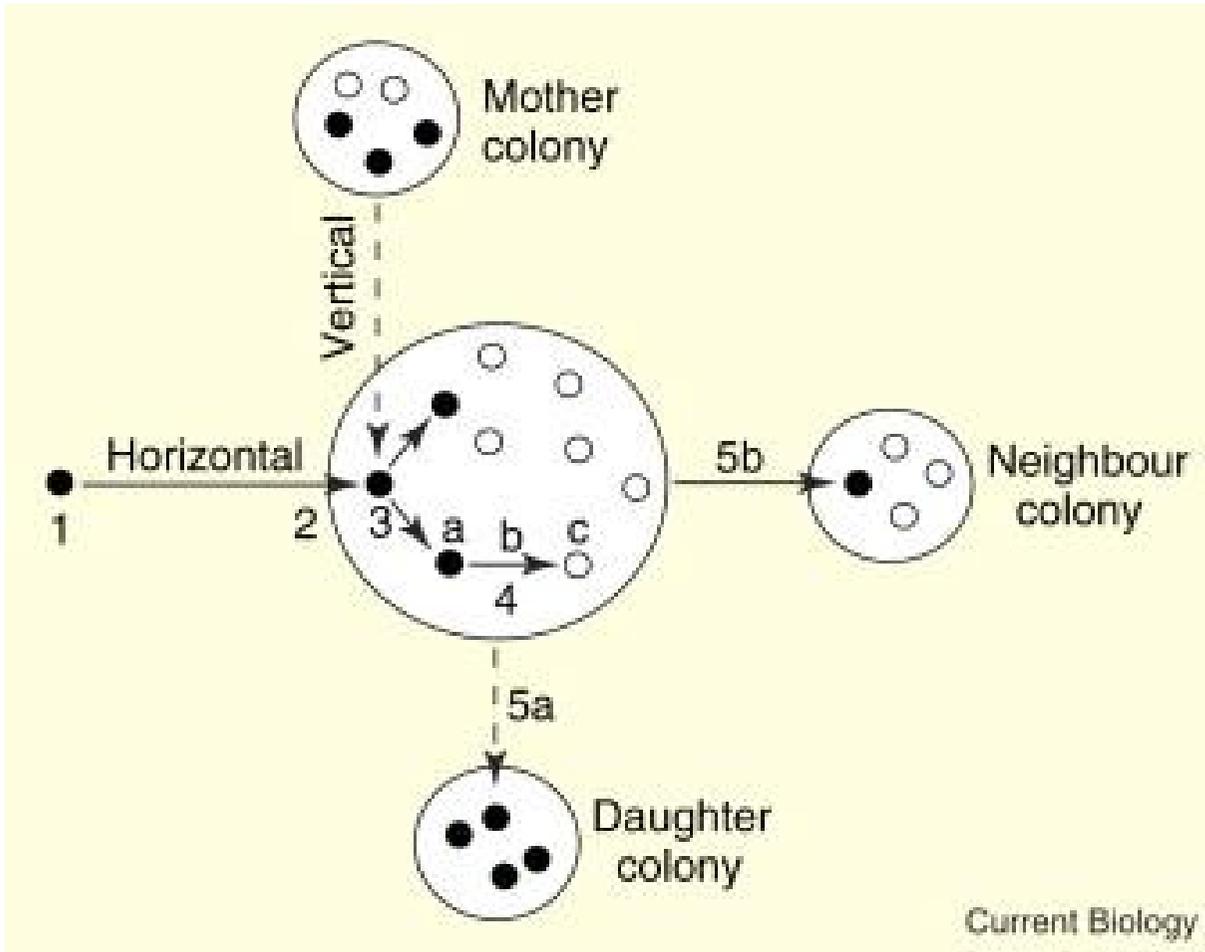
Ophiocordyceps sp



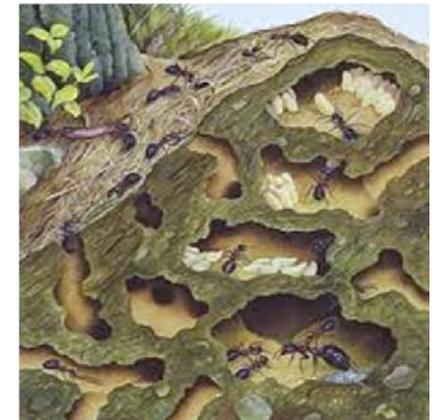
Metarhizium sp

Ophiocordyceps

Transmission verticale et Horizontale (intra- et inter-coloniale)



IMMUNITÉ SOCIALE



Cremer et al Current Biology 2007

Garder les Pathogènes à Distance

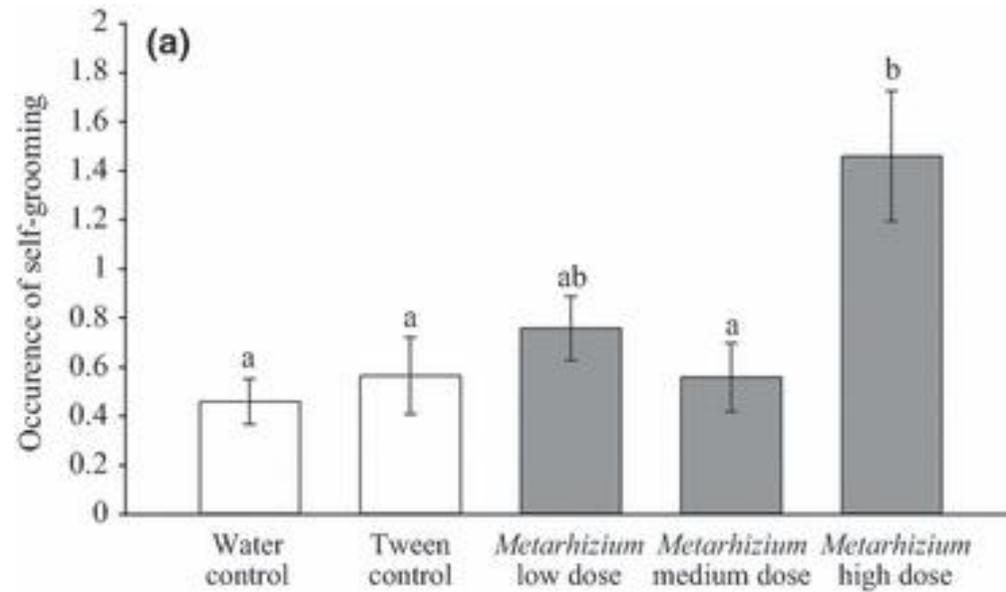
Reduire exposition

*Auto-nettoyage et nettoyage mutuel
(+ subst. antibiotiques cuticulaires
(Hölldobler & Engel 1985, Ortius et al 2000)

→ Transmission INTRAcoloniale limitée

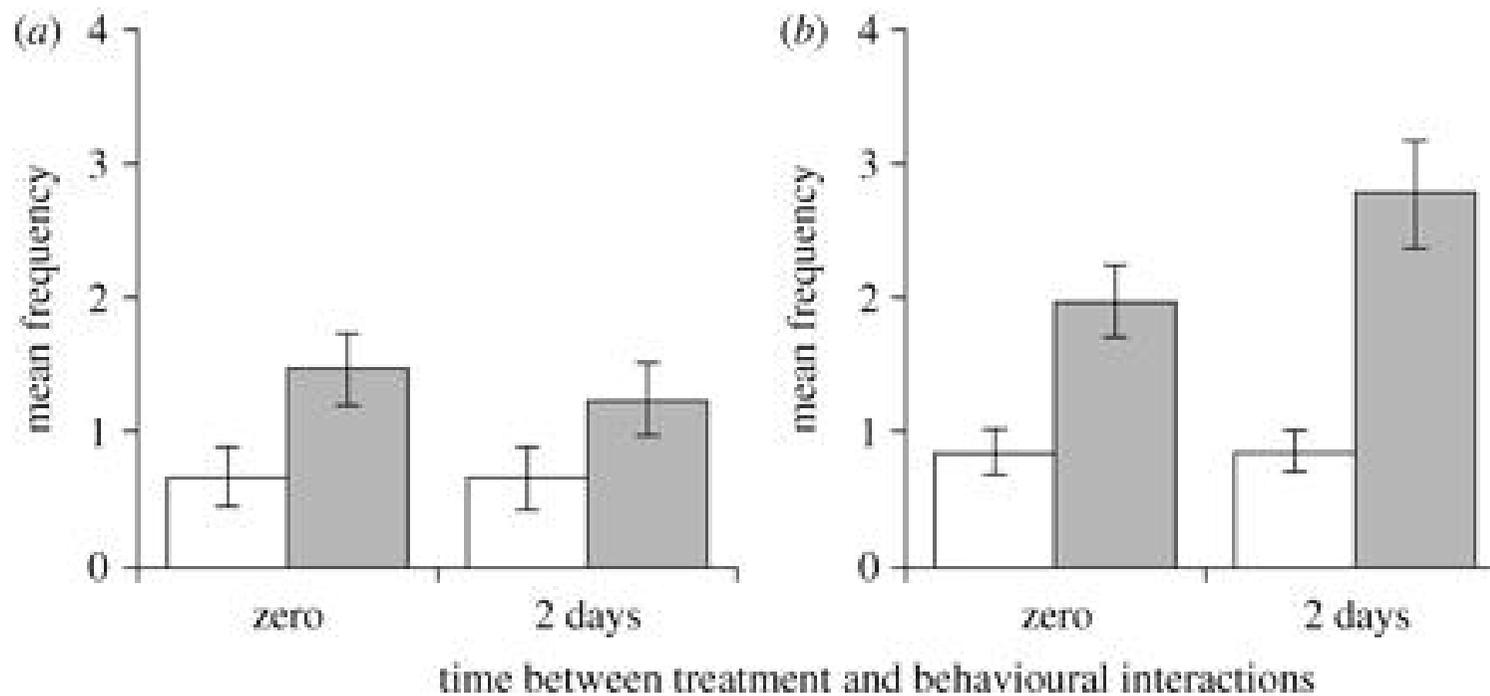


Expression des comportements de nettoyages en présence de spores (*Formica selysi*)



Augmentation des auto-nettoyages





Nettoyage mutuel entre ouvrières d' *Acromyrmex echinatior* suite à traitement par *Metarhizium* (gris) ou solution contrôle (blanc)
 (A) Colonie naïve (B) colonie « immunisée » From Walkers & Hughes, Biol Letters (2009)

- * Nettoyage mutuel plus fréquent suite à infection
- * Augmenté si exposition antérieure

Garder les Pathogènes à Distance

Reduire Expostion

*Auto-nettoyage+ subst
antibiotique

(Hölldobler & Engel 1985, Ortius et al 2000)

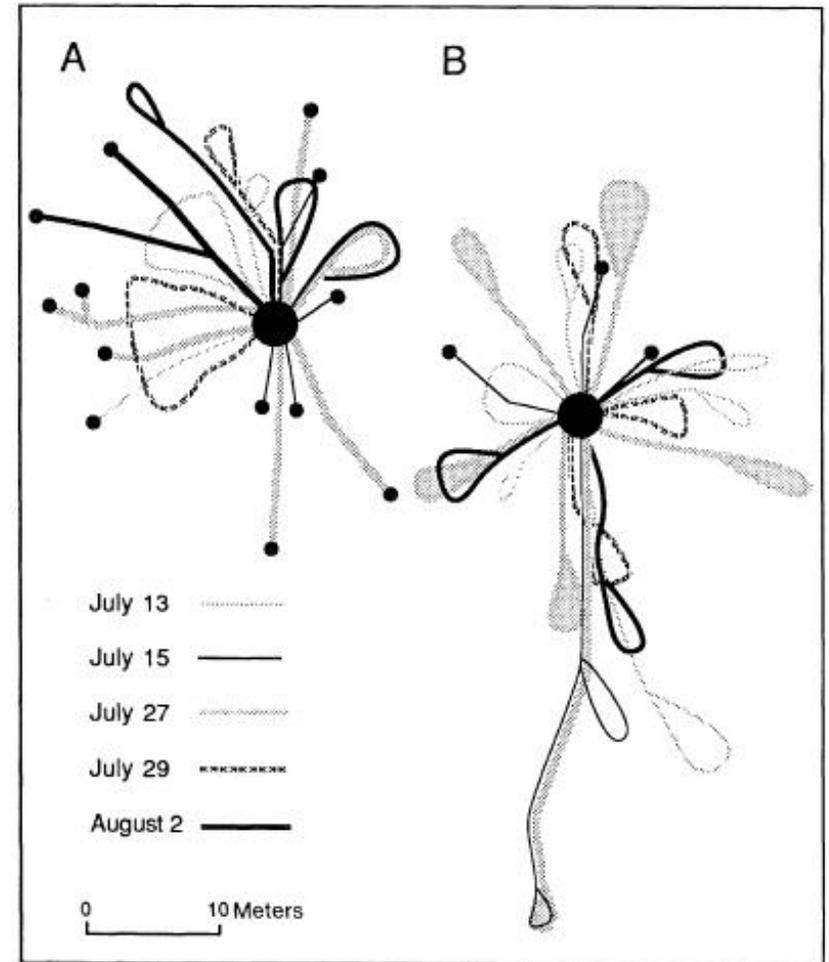
*Séparation zones de récolte

Boomsma et al 2005

→ Transmission INTERcoloniale limitée



NO ANTS LAND



Gordon 1991 Am.Nat.

Reduire Exposition

*Auto-nettoyage+ subst
antibiotique
(Hölldobler & Engel 1985, Ortius et al 2000)

*Séparation zones de récolte
Boomsma et al 2005

*Isolement zones/items
infectés
Marikovsky1962, Zhou et al 2002



Garder les Pathogènes à Distance

NIMBY
Not In My Back Yard

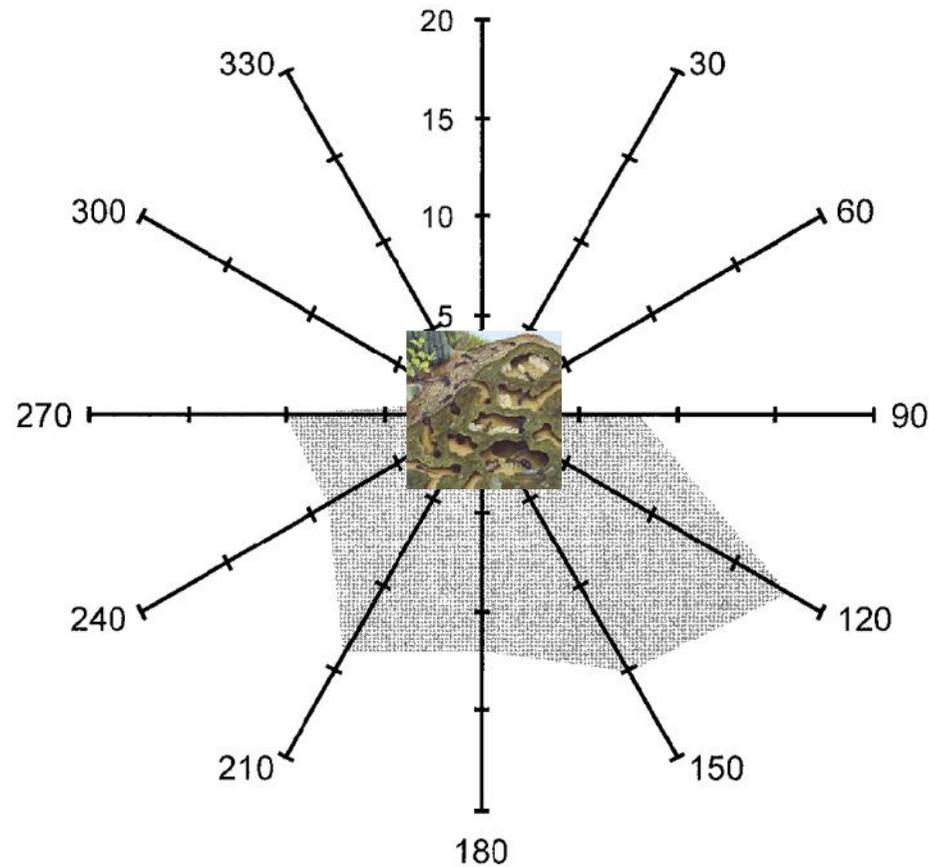


Figure 7
Direction of foraging trails in relation to the waste heap for 88 trails in 36 nests. The 0 axis represents the line from the waste heap to the foraging entrance, which is represented by the center of the web plot. Hart & Ratnieks 2002 Behav. Ecol.

Garder les Pathogènes à Distance

Reduire Expostion

*Auto-nettoyage+ subst
antibiotique

(Hölldobler & Engel 1985,Ortius et al 2000)

*Séparation zones de récolte

Boomsma et al 2005

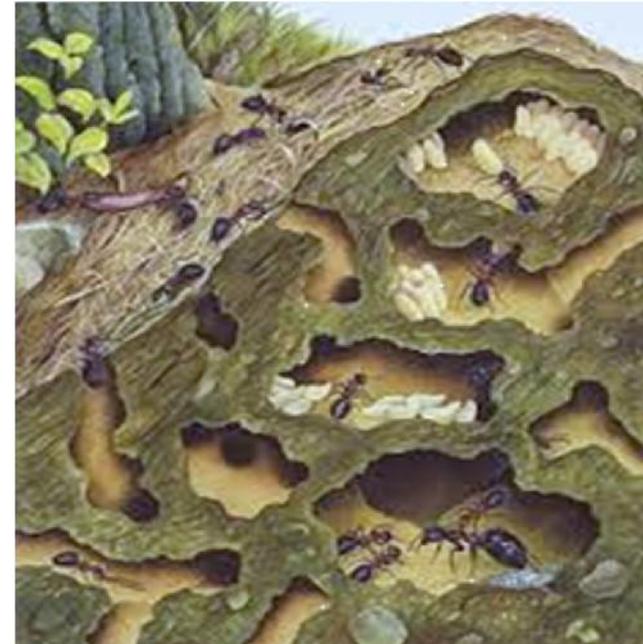
*Evitement zones/items infectés

Marikovsky1962, Zhou et al 2002

*Division du travail

Nettoyeuses/ Foragers/ Soigneuses

(Naug &Camazine 2002,Schmid Hempel 1993,Pie et al 2004)



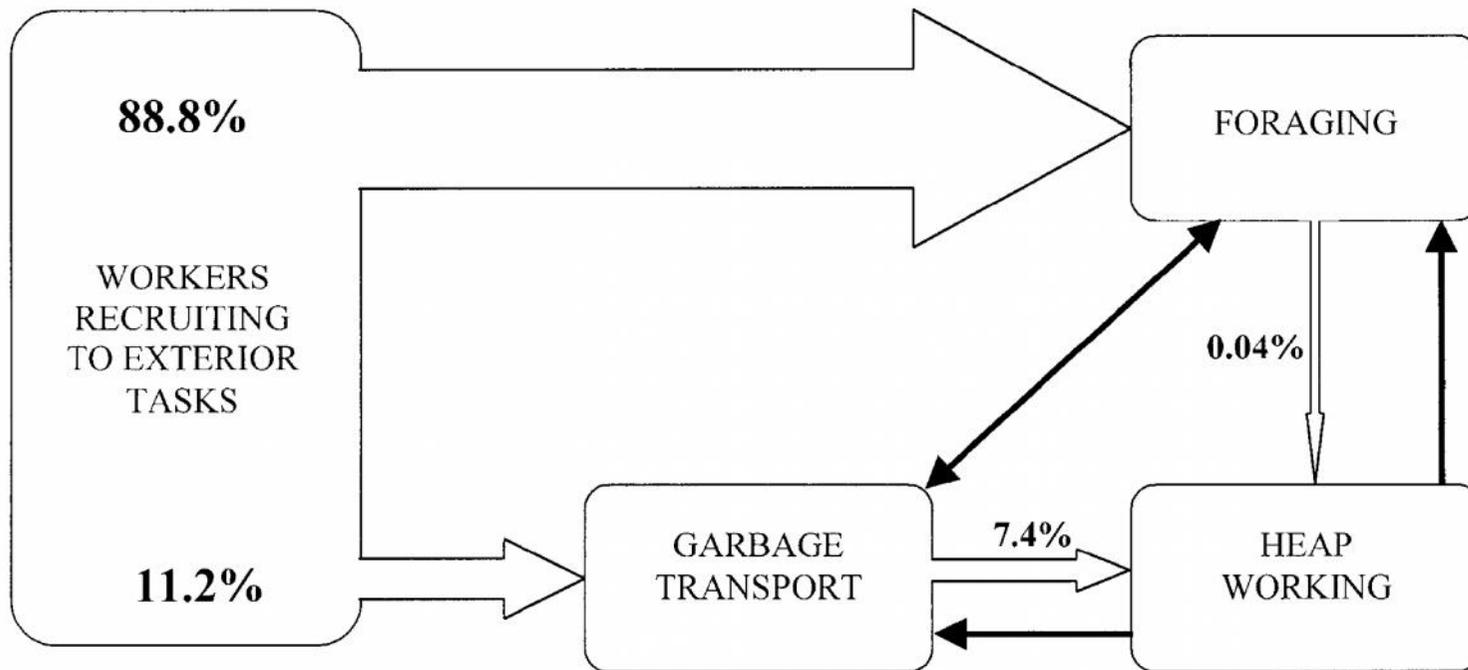


Figure 3
 Transitions of workers between foraging and waste work. Waste work consists of two subtasks, transporting waste loads to the heap and working with waste on the heap. Together with foraging, these are the main tasks performed outside the nest. Black arrows mean that a transition was not observed.

Garder les Pathogènes à Distance

Reduire Exposition

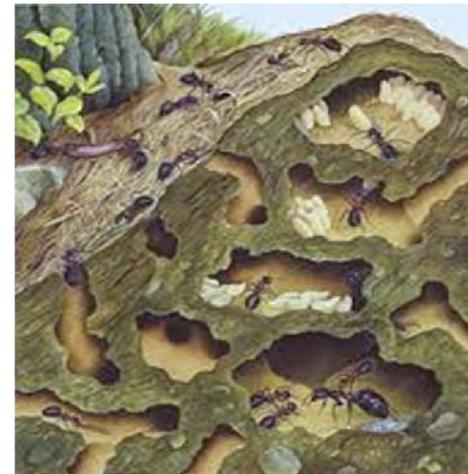
Reduire Entrée

*Contrôle sanitaire des Entrées

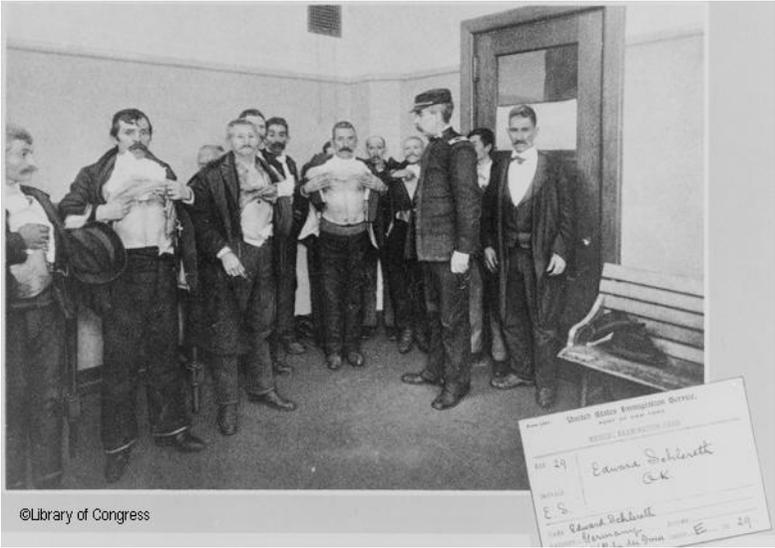
Extérieur



Nid



Contrôle sanitaire



Contrôle sanitaire à l'entrée des fourmilières

Rejet des individus infectés/moribonds ?

Jean-Baptiste Leclerc
Doctorant FRIA



Dynamique d'Aggression des fourmis infectées

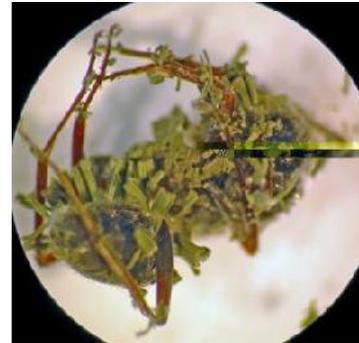
Myrmica rubra

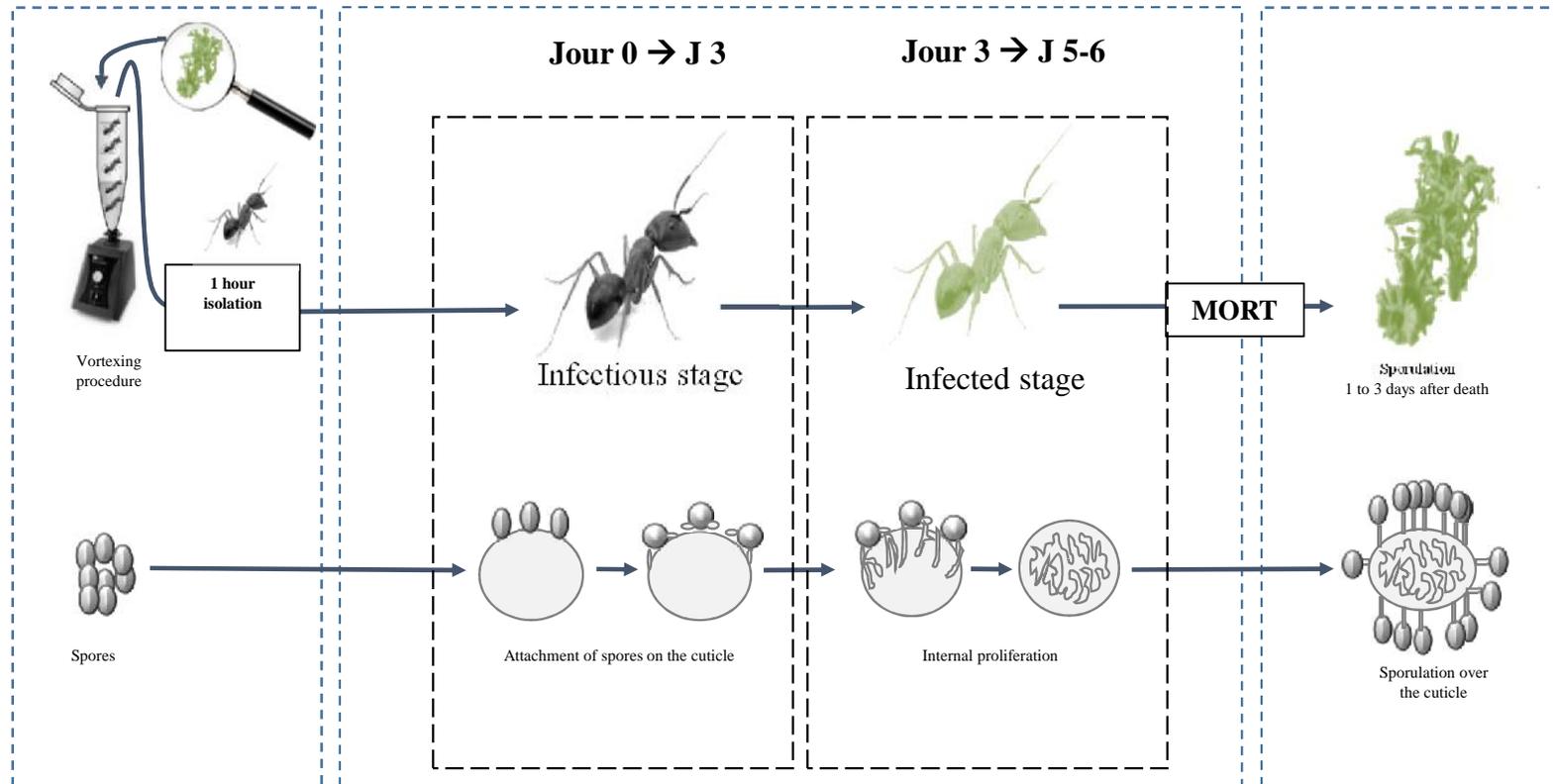
- Commune en Europe
- Polygyne, polyandre
- Plusieurs centaines individus



Metarhizium anisopliae

- Champignon pathogène
- Infecte > 200 espèces
- Utilisé en lutte biologique





Contamination

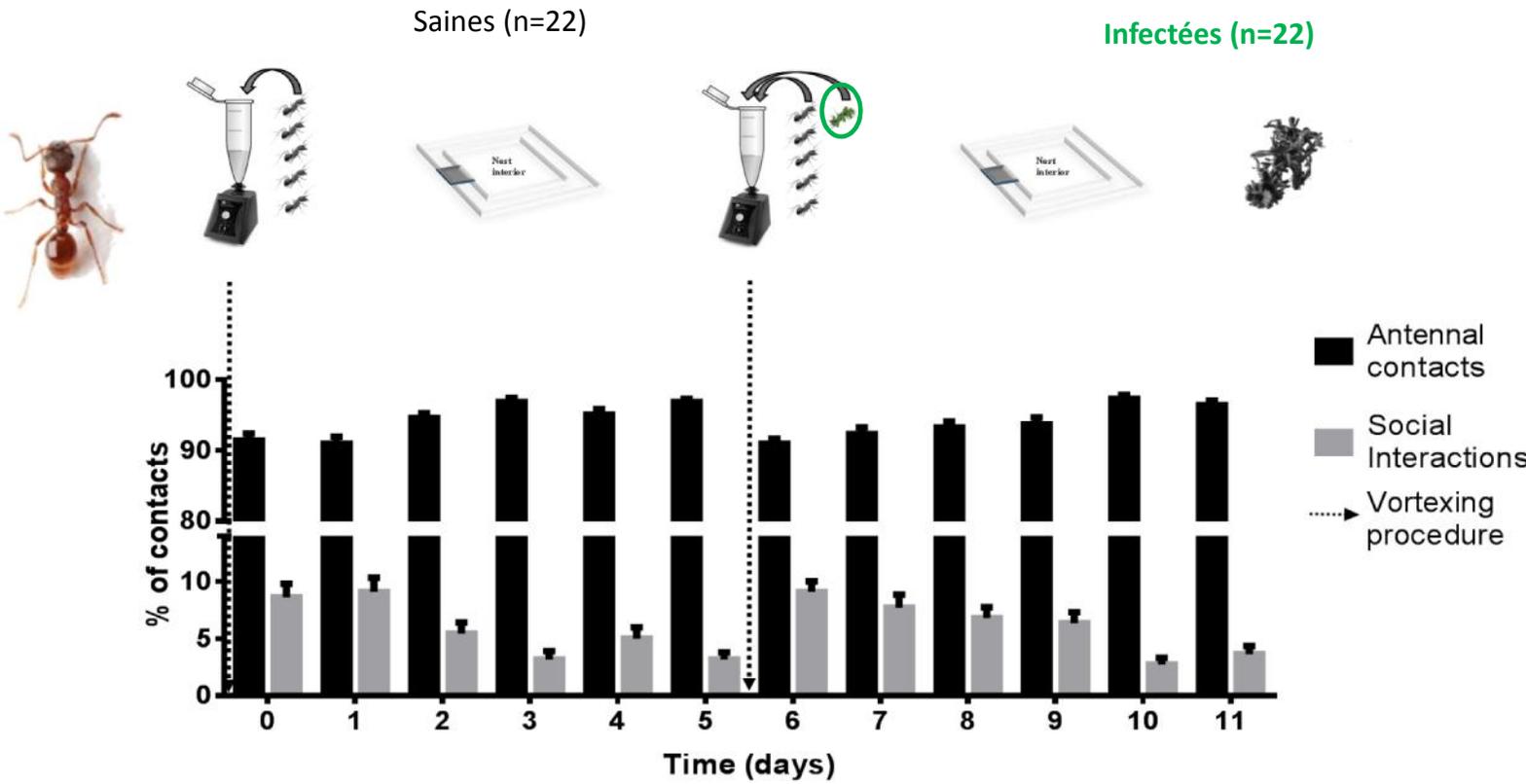
Phase Experimentale

Sporulation



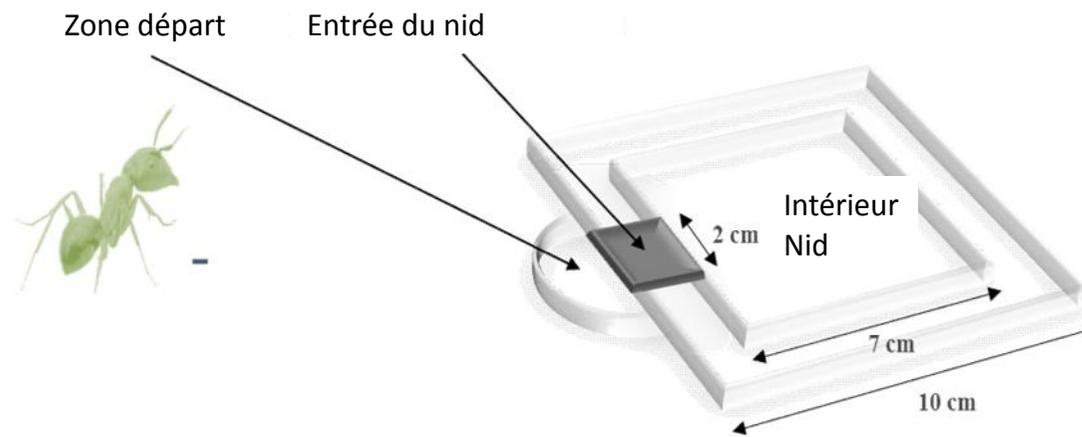
* Interactions avec les congénères – Rejet?

Les fourmis malades sont-elles discriminées dans le nid?



Pas d'agression – Même schéma d'interactions
 -> Pas de discrimination des fourmis malades dans le nid

Qu'en est-il des gardiennes ?



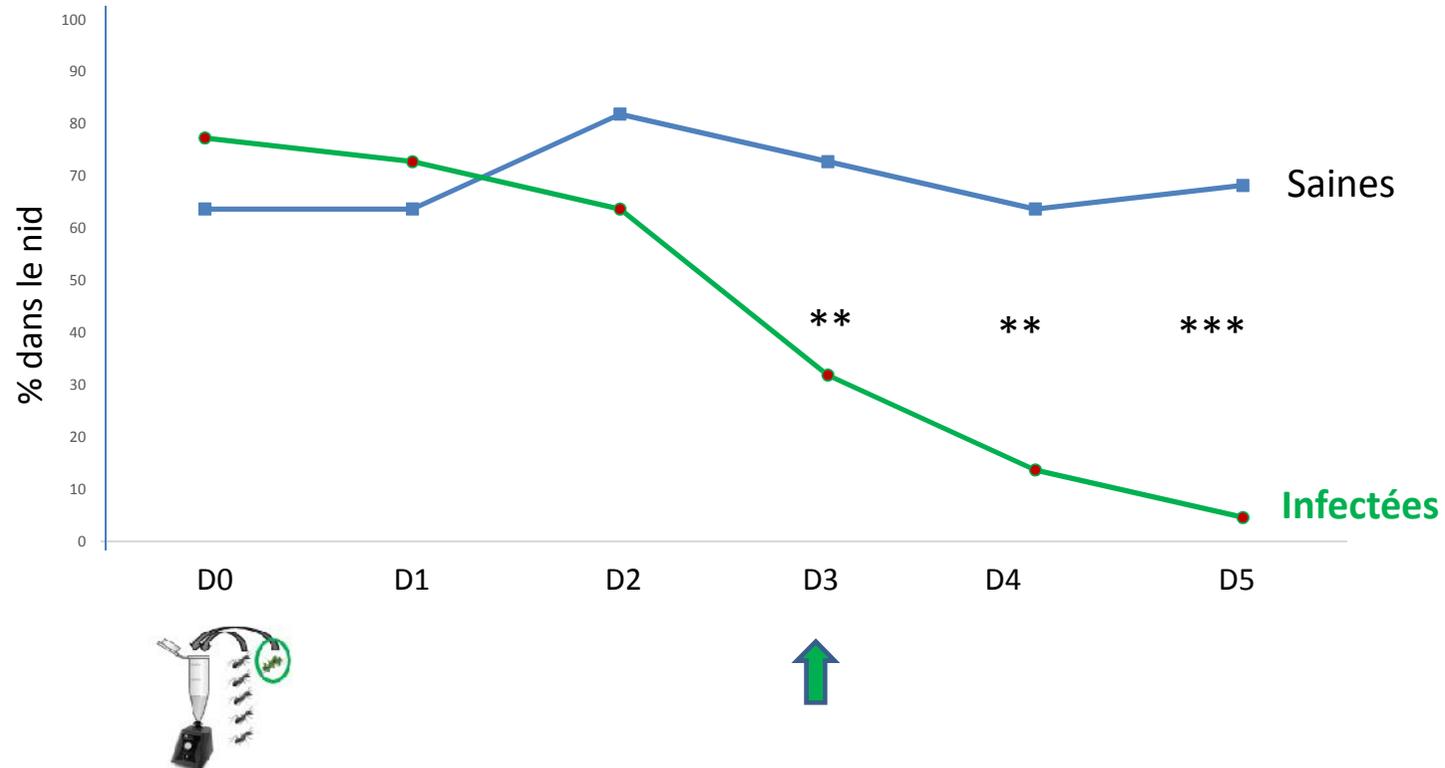
Qu'en est-il des gardiennes ?

		Healthy	Infected	Statistical test	
		n= 47	n= 27		
Antennal contacts	% of individuals	89.58%	92.59%	$\chi^2= 0.21 ; p= 0.65$	-> NS
	Duration (mean \pm SD)	27.9 s \pm 8.1 n= 42	39.9 s \pm 15.5 n= 25	M-W test : U= 481 p= 0.57	-> NS
Allogrooming (as receiver)	% of individuals	12.5%	14.8%	$\chi^2= 0.06 ; p= 0.80$	-> NS
	Duration (mean \pm SD)	22.3s \pm 7.9 n= 6	13.2s \pm 1.8 n= 4	M-W test : U= 9 ; p= 0.68	-> NS

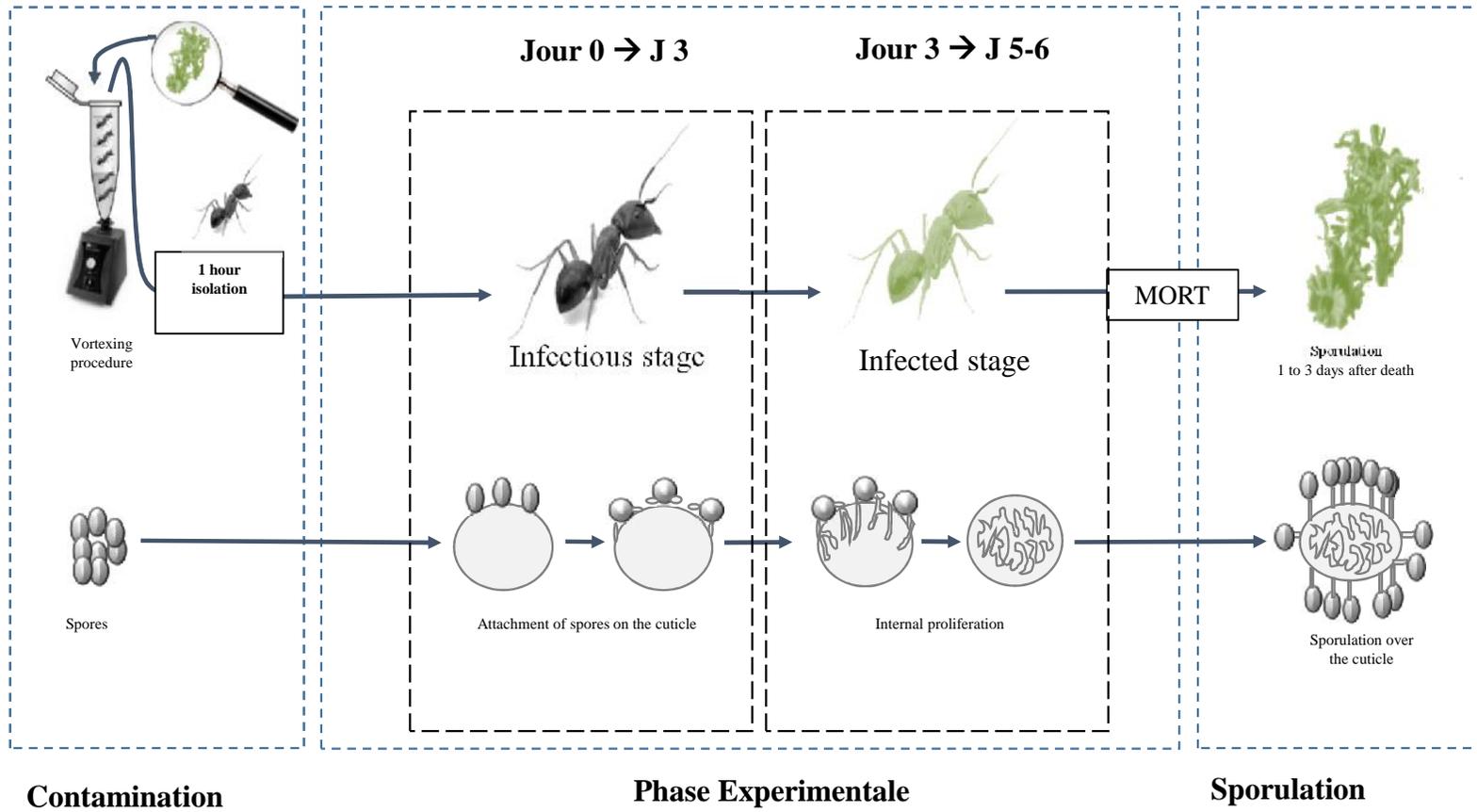
Jamais d'interactions agressives

Les fourmis malades ne sont pas rejetées par leurs sœurs
MAIS.....
Elles s'isolent spontanément

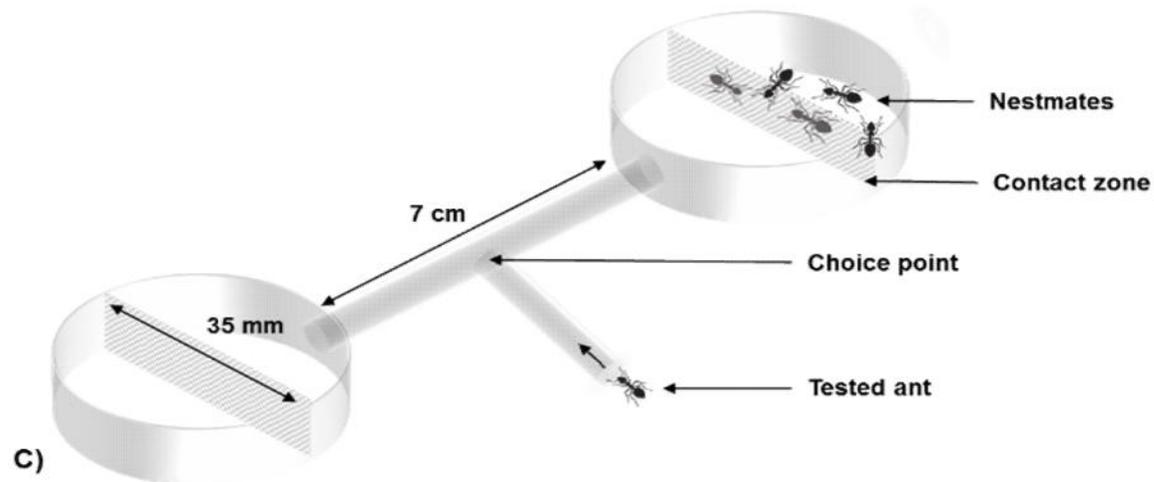
Dynamique d'isolement social



Abandon Progressif du nid par les fourmis infectées



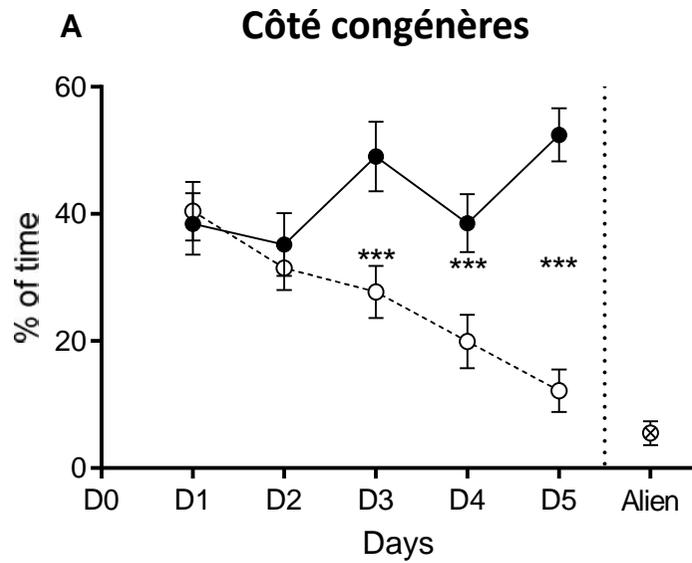
Test d'isolement social



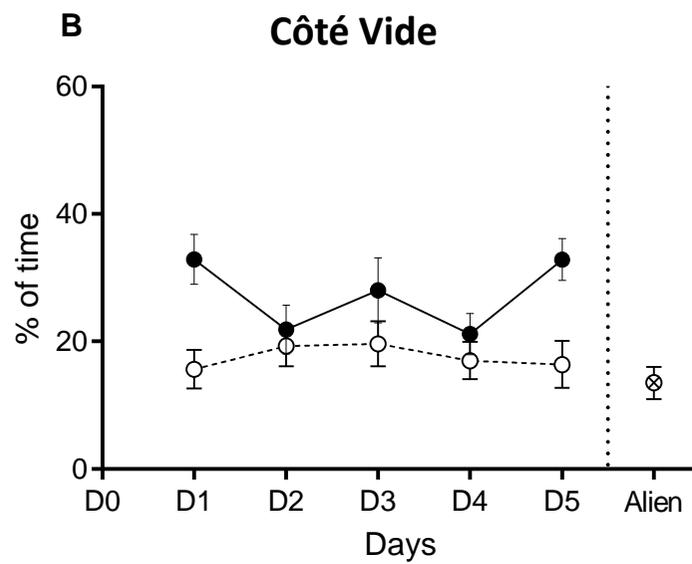
Point de choix: % vers Gauche = % vers Droite
Pas d'évitement à distance

MAIS

Comportement Différent à la zone de contact



Perte progressive d'attraction sociale à l'approche de la mort



Pas d'évitement

- Saines
- Infectées

Garder les Pathogènes à Distance

Reduire Exposition



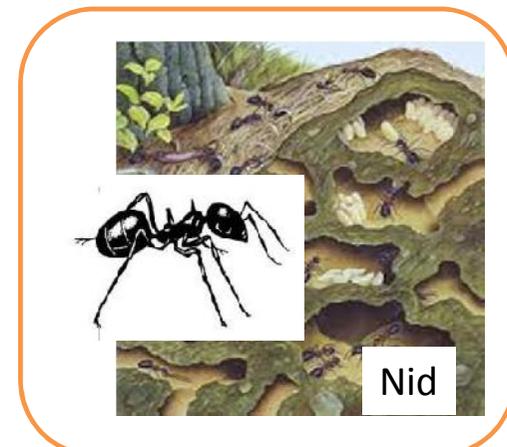
Reduire Entrée



Hygiene du nid

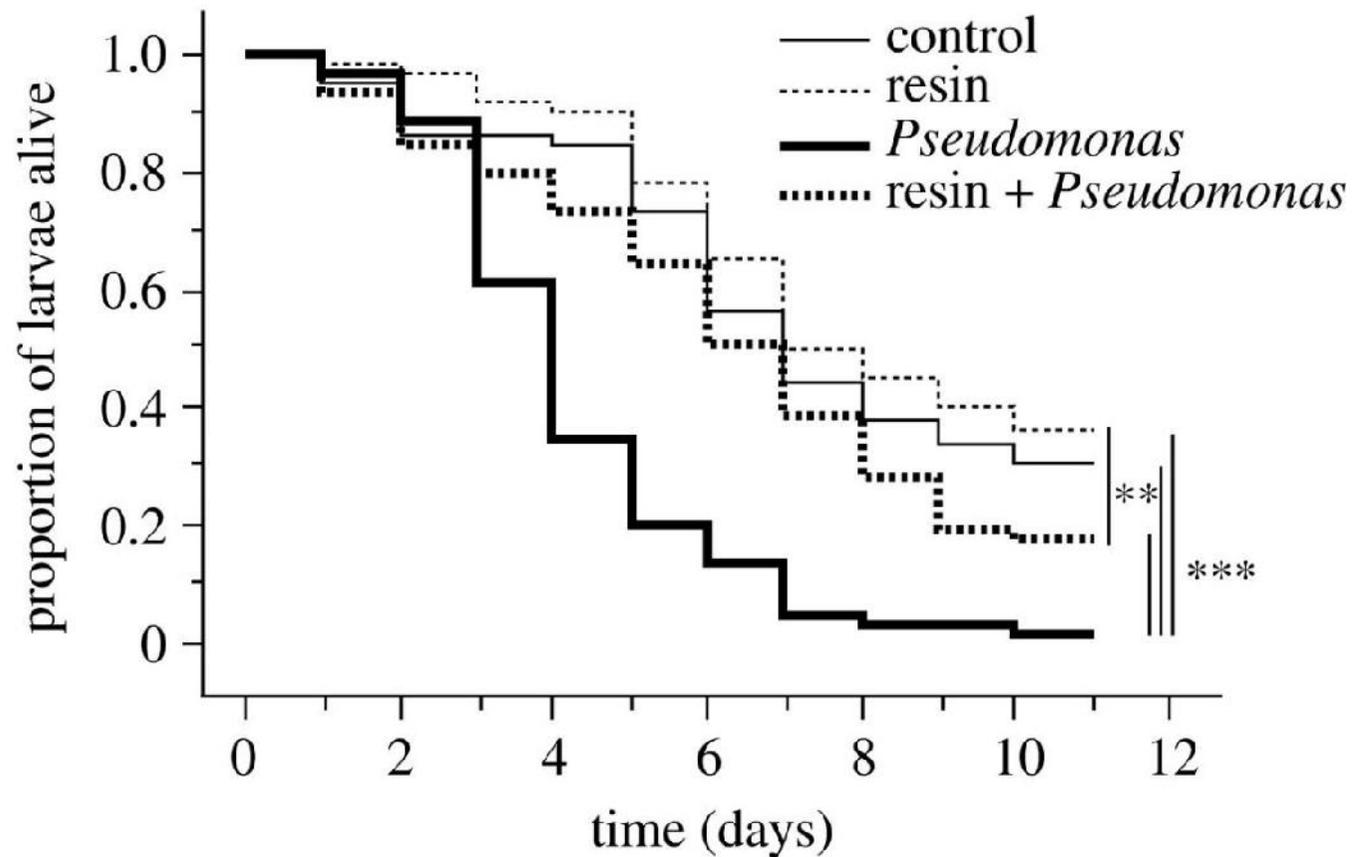
- Collecte de composés antibiotiques (résine)
(Christe et al 2003)

Extérieur



Assainir son Espace de Vie

Effect of resin on the survival of larval wood ants (*Formica paralugubris*) challenged with bacteria (*Pseudomonas fluorescens*).



Assainir son Espace de Vie

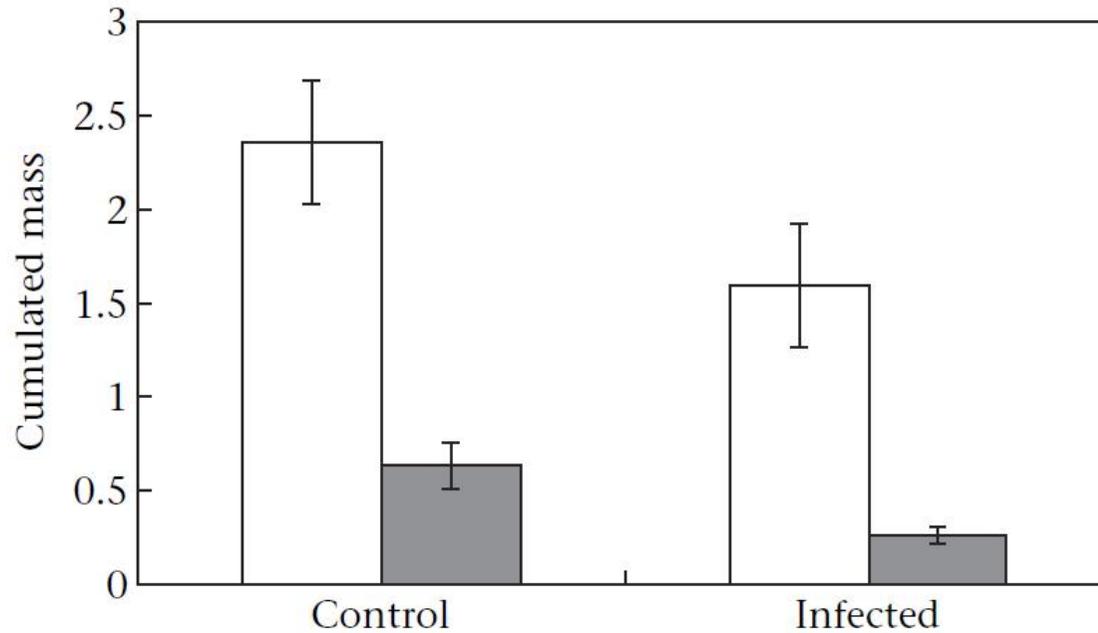


Figure 3. Mean \pm SE mass of resin (white bars) and stone (black bars) collected by workers in the infected and control groups. The masses of both material types (resin and stone) are summed over 20 days.

Récolte de résine:
Un comportement prophylactique
et hygiénique

Garder les Pathogènes à Distance

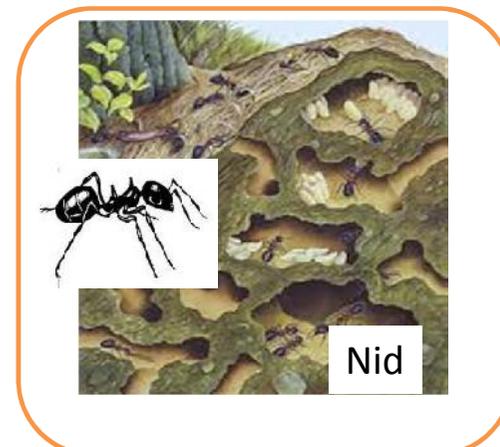
Reduire exposition



Reduire Prise

Hygiene du nid

- Collecte de composés antibiotiques (resine)
- **Gestion des déchets**
(Hart & Ratnieks 2002; Ribeiro & Navas 2007, Ballari et al 2007, Hart & Ratnieks 2001)
- **Gestion des cadavres??**



Rejet des cadavres: Necrophorese

Abeilles

L



Nettoyage de printemps - abeille

Rejet des cadavres chez Insectes Sociaux Necrophorese

Fourmi (Diez et al.2011, 2012, Ataya &Lenoir 1984; Wilson 1958)



L

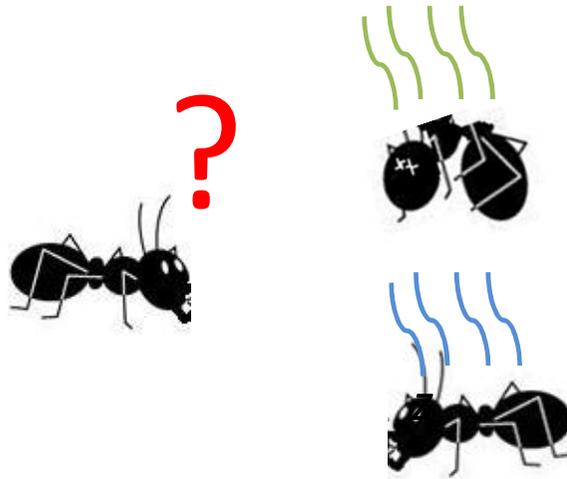
Corps transporté par *Myrmica rubra*



Lise Diez

- 1. Detection** Reconnaître le décès d'une congénère?
- 2. Gestion des Corps** Cadavre est-il un déchet comme les autres? Cimetières?
- 3. Spécialisation** Existe-t'il des Croque-mort chez les fourmis?

1. Les fourmis reconnaissent-elles les cadavres?



-Quels composés déclenchent la necrophorèse?
Necromones?

Modèle: La fourmi rouge *Myrmica rubra*

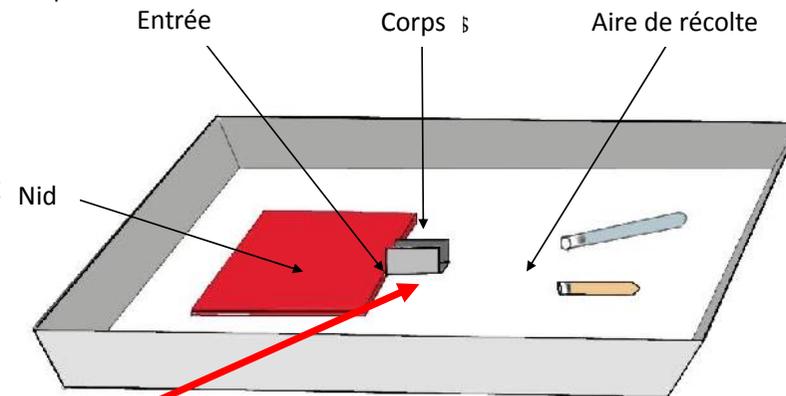


Test Rejet

Deplacement Corps (> 7cm du nid, 1h)

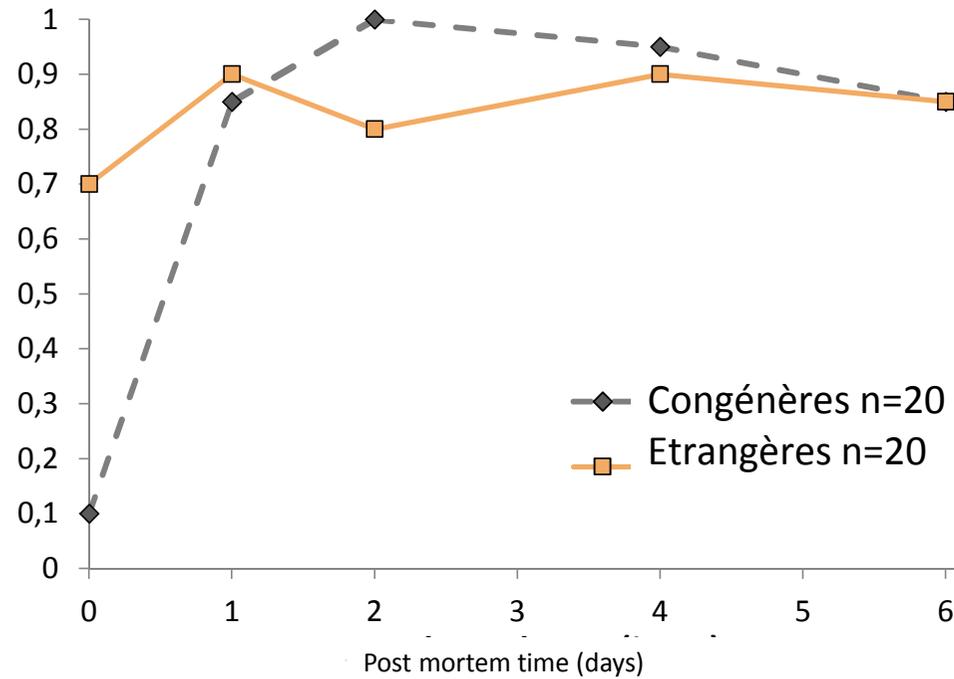
0, 1, 2, 4 ou 6 jours post mortem

Congénère ou étrangères



1. Les fourmis reconnaissent-elles les cadavres?

Taux de Rejet :



Test de rejet:

Corps étrangers immédiatement rejetés

Congénères mortes ne sont PAS immédiatement rejetées

Apparition de « necromones » stimulant le rejet de corps après 24 h?

1. Les fourmis reconnaissent-elles les cadavres?



Existe-t'-il des nécromones?

0, 1, 2, 4 ou 6 jours post mortem
Congénère ou étrangères

Analyses Chromatographie gazeuse couplée à spectrométrie de masse
Extraits Hexaniques de composés cuticulaires

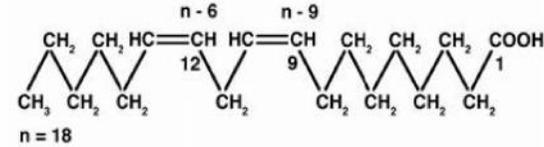


1. Les fourmis reconnaissent-elles les cadavres?

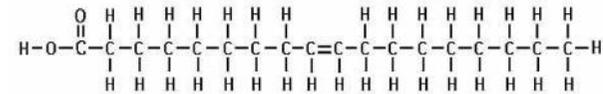


Extraction -> Analyses GC-MS

Apparition Post Mortem
d'acides gras



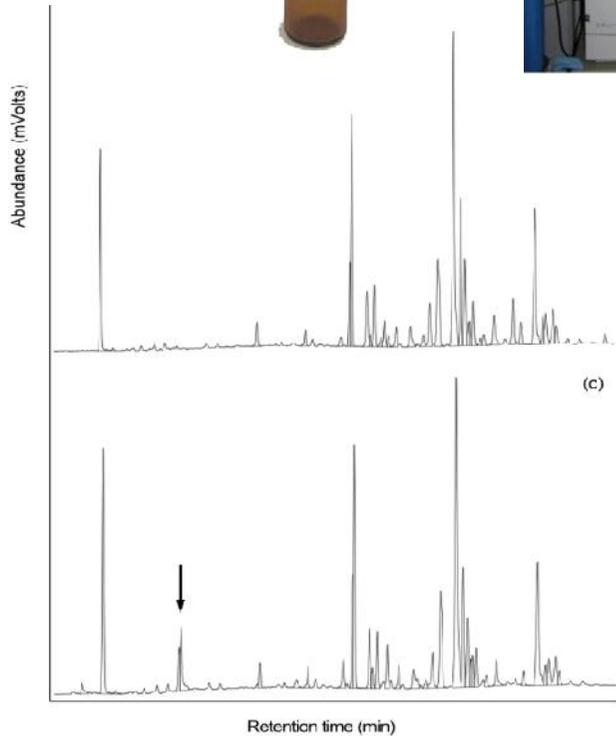
Linolenic Acid



Oleic Acid



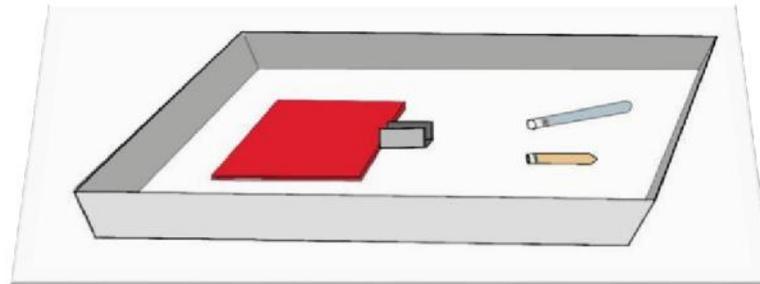
Hydrolyse de triglycérides des corps gras
Processus de décomposition



Fraichement morte

Jour 2
post mortem

1. Les fourmis reconnaissent-elles les cadavres? : Rôle des acides gras?



- Corps frais + 0,5 μ l **hexane**
- Corps frais + 0,5 μ l acide **oléique OU linoléique**
- Corps frais + 0,5 μ l acide **oléique ET linoléique**

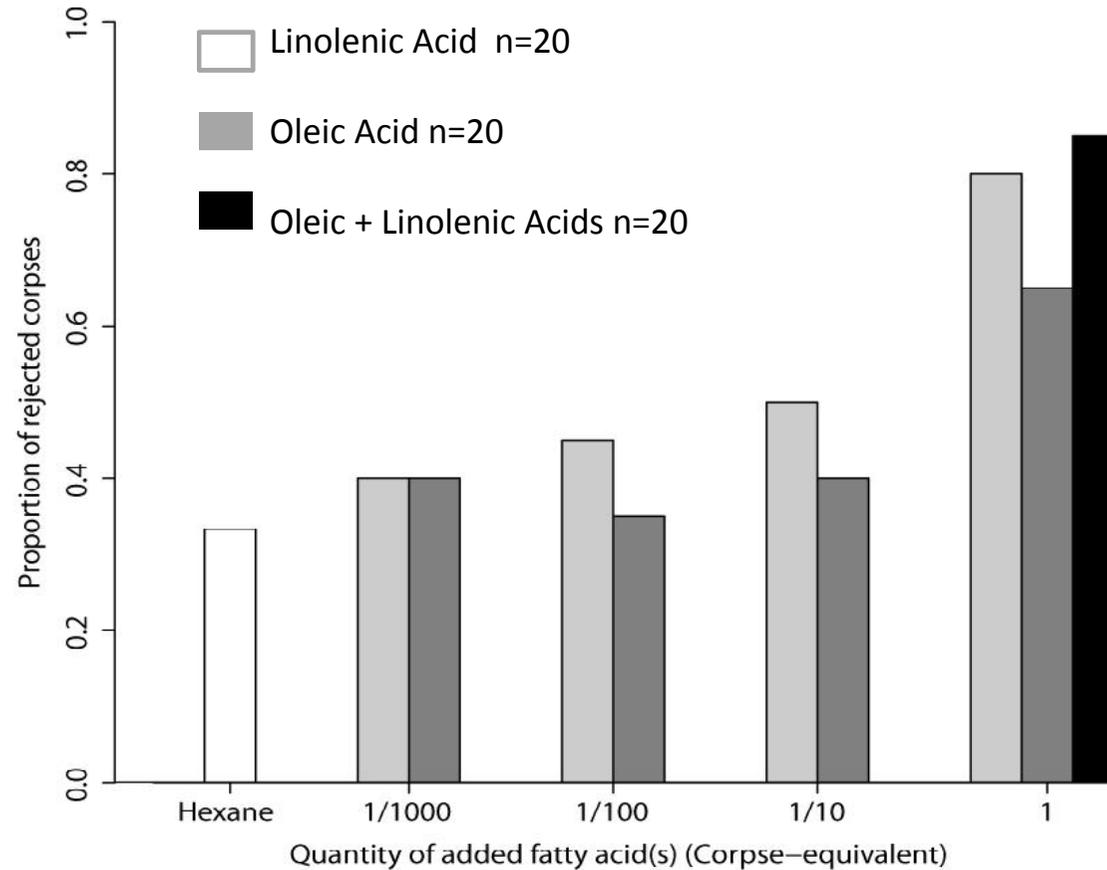
Corps equivalent : 2 to 6 jours post mortem
linoléique 1.6 μ g; oléique : 1.4 μ g

Dilutions: 1; 1/10 ; 1/100 ; 1/1000

20 corps testés par condition



1. Les fourmis reconnaissent-elles les cadavres? : Rôle des acides gras?



- Addition d'acides oleique/linoléique déclenche necrophorese à « 1 corps-equivalent »
 - Pas d'effet synergique des deux acides gras
- > Acides gras =Nécromones

2. Que font-elles des cadavres ?

Gestion Differentielle des déchets et des corps?

Evitement des zones frequentées?

Existence de Cimetieres?

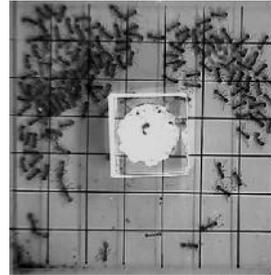
1. Dynamique de rejet

2. Localisation des dépôts



2. Que font-elles des cadavres ?

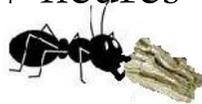
DYNAMIQUE DE REJET



Differents items n=15

0.2 ± 0.07 heures

Argile





2.3 ± 0.47 h

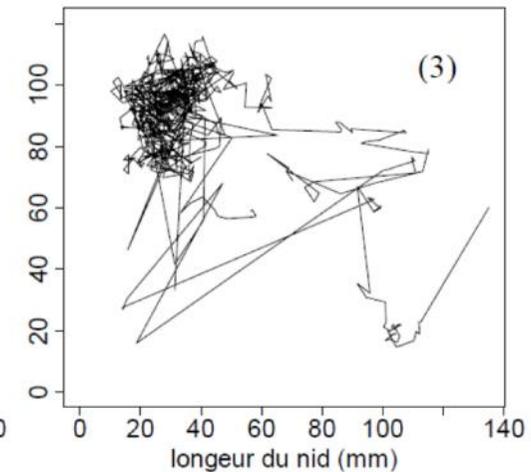
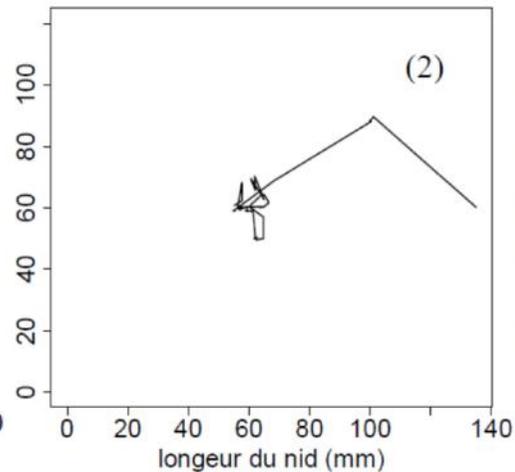
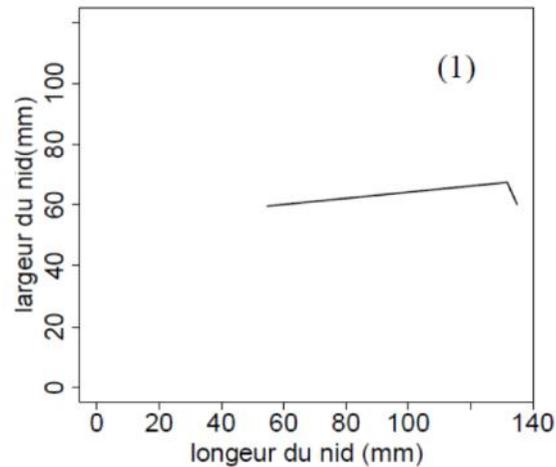
Corps





17.3 ± 0.3 h

Proie



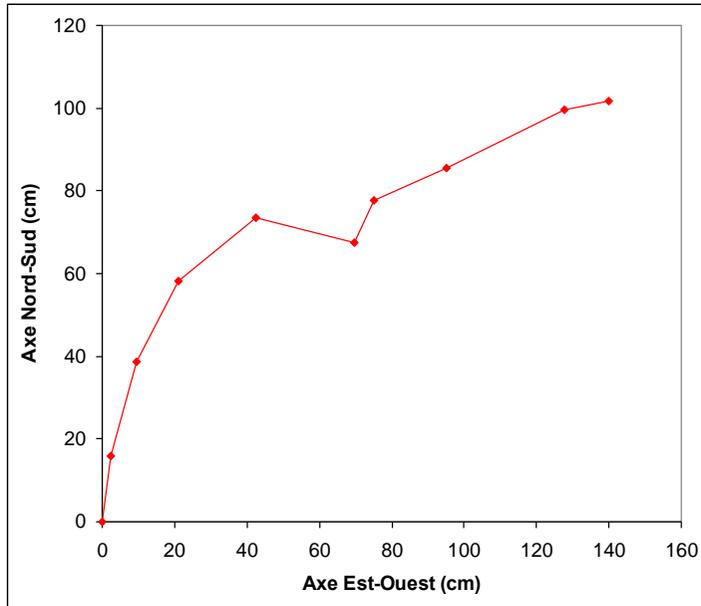
Proies déplacées près des larves et rejetées plus tard
-> Zones Limitées et plus court séjour des corps dans le nid

2. Que font-elles des cadavres ?

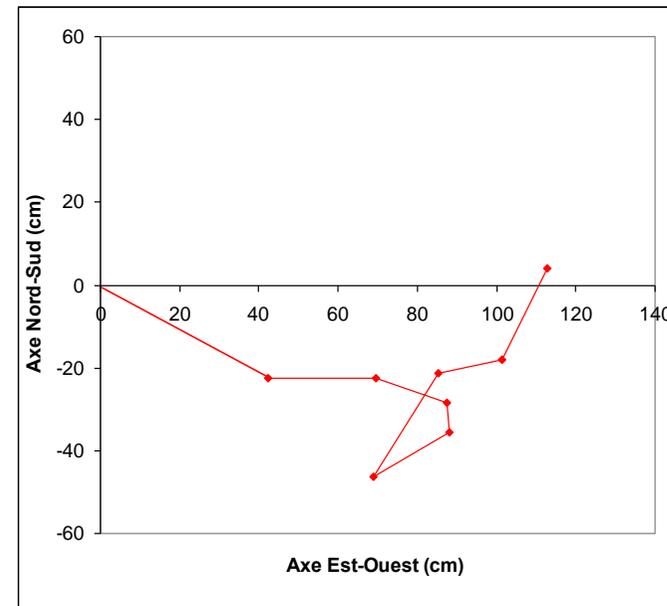
LOCALISATION des REJETS

Suivi Individuel foragers (trajectometrie, max distance)
 transporteuses (trajectometrie, localisation du dépôt)





Transporteuses de Corps



Foragers

	CORPS	FORAGERS	
Distance au nid (cm)	72.2 ±60.2 cm (N=63)	42.0 ±22.6 cm, N=64)	Wilcoxon W=1380, p<0.003 S

Transport de corps :

Trajet plus directionnel et plus long

2. Que font-elles des cadavres ?

Prophylaxie de base:

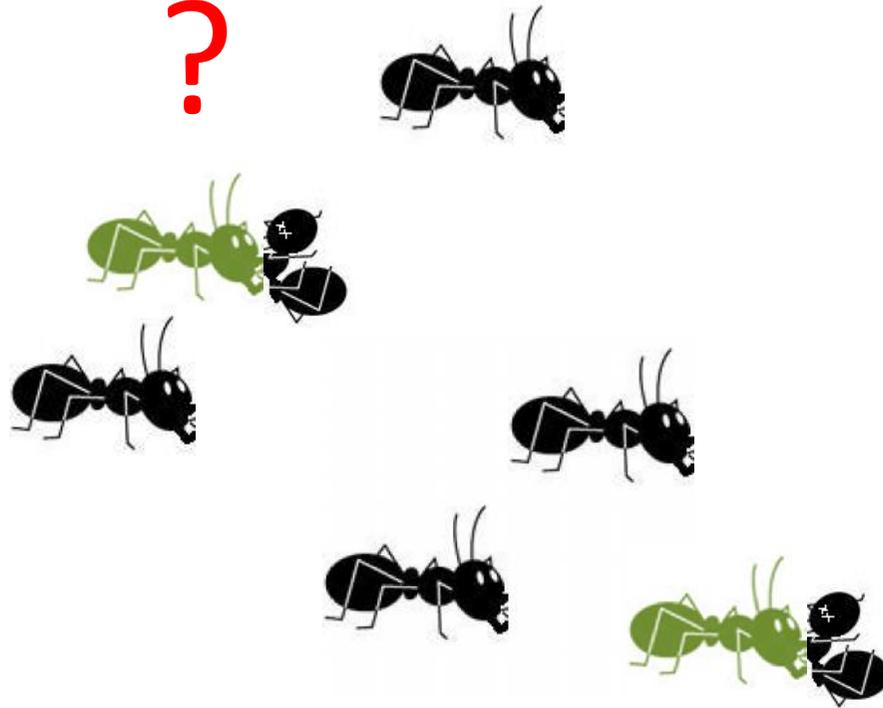
- * Rejet rapide des corps loin du nid -> Decroit probabilité de rencontres

- * Pas de cimetières

3. Existe-t-il des fourmis « croque morts »?



?



3. Existe-t-il des fourmis « croque morts »?



3. Existe-t'-il des fourmis « croque morts »?

Moyen terme (10 jours)
Pas de spécialistes

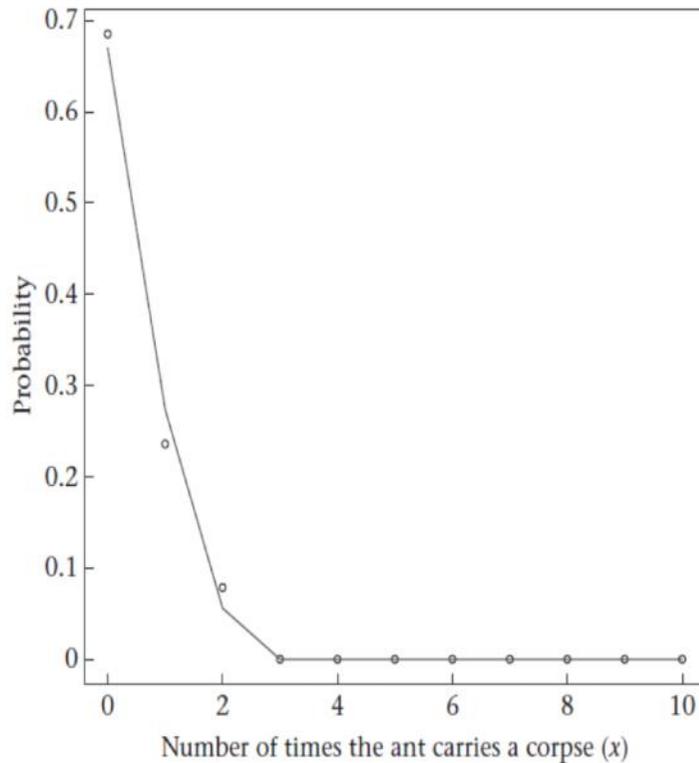


Figure 2. Probability of an ant being involved in corpse transport a given number of times (x) during 10 successive observations. Circles: experimental data; line: Poisson distribution, $\lambda = 0.40$. $N=89$ marked ants

Court terme (1h)
Quelques Spécialistes

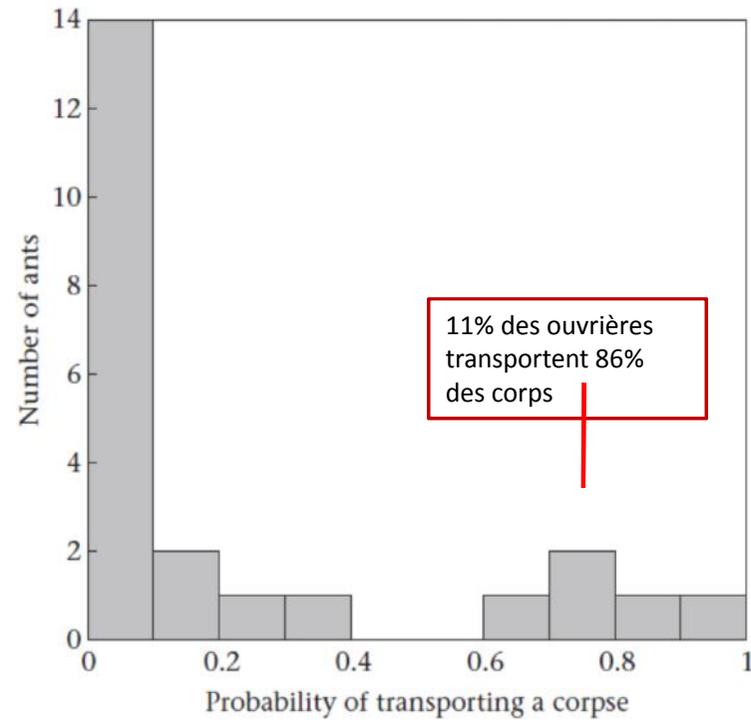


Figure 3. Distribution of corpse-carrying ants as a function of their probability of transporting a corpse after coming close to it. $N=23$ ants (>7 contacts)

3. Existe-t-il des fourmis « croque morts »?

- ★ Seuls quelques individus (foragers) impliqués
(1%-2% spécialistes chez champignonistes *Acromyrmex* sp (Julian & Cahan 1999), chez abeilles Visscher 1983)
- ★ Seulement sur courte échelle de temps

*** Population Limitée est exposée aux risques sanitaires (% , âge)**

*** Pendant durée limitée**

-> Solution à risques occasionnels

Solution n°1: Faire
« disparaître » le corps

Necrophagie
Predateur, Cannibalisme

Potentiellement de nombreuses espèces

Solution n°2: S'écarter du
Corps
« necrophobie »

Déménagement, arrêt de
l'exploitation de la zone

Insectes, crustacés, poisson,
rongeurs,....

Solution n°3: Gestion
ACTIVE des corps

Organisation sociale
du rejet des corps

Insectes Sociaux
Sociétés humaines



**Pourquoi?
Points communs?**

Pourquoi les sociétés humaines et d'insectes pratiquent-elles un éloignement des corps ?



Sedentarité / Construction collective
Grande « Valeur » des lieux de vie



Coûts trop élevés associés au déménagement
Mettre une Barrière (enfouissement) ou un
espace (necrophorese) entre la vie et la mort



Pourquoi les sociétés humaines et d'insectes pratiquent-elles un éloignement des corps ?

Sedentarité / Construction collective
Grande « Valeur » des lieux de vie

Coûts trop élevés associés au déménagement
Mettre une Barrière (enfouissement) ou un
espace (nécrophorèse) entre la vie et la mort

Fortes Densités
Larges fluctuations de population (hiver, epidemies)

Indépendance, vitesse, flexibilité du rejet des corps
-> Gestion Active



Pourquoi les sociétés humaines et d'insectes pratiquent-elles un éloignement des corps ?

Sedentarisme / Construction collective
Grande « Valeur » des lieux de vie

Fortes Densités
Durée de vie des individus <<< Sociétés
Larges fluctuations de population (hiver, epidemies)

Haut degré de Socialité avec division du travail

Coûts trop élevés associés au déménagement
Mettre une Barrière (enfouissement) ou un espace (nécrophorèse) entre la vie et la mort

Indépendance, vitesse, flexibilité du rejet des corps
-> Gestion Active (e.g. cimetières)

Emergence de « croque-morts »
Exposition aux risques sanitaires limitée
aux spécialistes

