

ACTES DES COLLOQUES INSECTES SOCIAUX

Édités par l'Union Internationale pour l'Étude des Insectes Sociaux
Section française

VOL. 4 – COMPTE RENDU COLLOQUE ANNUEL,

PAIMPONT 17-19 Sept. 1987



Charles Fernal
1899

L'ORIENTATION LE LONG DE LA PISTE CHEZ
MYRMICA RUBRA (HYMENOPTERA FORMICIDAE)

par

S. GERARDY & J-C VERHAEGHE

Laboratoire de Biologie Animale et Cellulaire
 Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles
 Avenue F. Roosevelt, 50, C.P. 160. B-1050 Bruxelles

Résumé : La meilleure compréhension possible des mécanismes régissant le suivi de la piste chez les fourmis est indispensable à l'étude du recrutement. Nous nous sommes attachés à quantifier un maximum d'aspects du comportement de l'ouvrière afin de pouvoir vérifier les prédictions du modèle osmotropotactique. Nous avons montré que l'angle que forme la fourmi avec la piste est le facteur principal de son orientation, car il influence la probabilité de suivre la piste et la probabilité de la quitter. Ce résultat conforte l'hypothèse d'une orientation essentiellement osmotropotactique chez Myrmica rubra. Cependant, certains aspects du comportement de l'ouvrière sur la piste suggèrent l'existence d'autres mécanismes d'orientation.

Mots clés : orientation, osmotropotaxie, piste, phéromone de piste, Myrmica rubra

Summary : Trail orientation by the ant Myrmica rubra (Hymenoptera formicidae).

A better understanding of the mechanisms of orientation along terrestrial trails is essential to the study of recruitment. Hangartner (1967) has shown that two mechanisms are involved: osmotropotaxis and klinotaxis. A mathematical model has been proposed by Pasteels and al. (1966), based on the perception of a difference in trail pheromone concentration between the ant's two antennae. Different predictions of the model were experimentally tested, especially the role of the angle of orientation. This was confirmed to be a principal factor in osmotropotaxis and osmotropotaxis was seen to be the principal mechanism of trail following orientation in Myrmica rubra, without excluding the intervention of other mechanisms.

Key-words : orientation, osmotropotaxis, trail, trail pheromone, Myrmica rubra

Introduction

La meilleure compréhension possible des mécanismes régissant le suivi de la piste chez les fourmis est indispensable à l'étude du comportement de recrutement, alimentaire ou autre . Ces différents mécanismes ont été , jusqu'à présent, très peu étudiés .

Hangartner (1967) a montré que les fourmis utilisaient deux taxies pour s'orienter le long de la piste : l'une directe dans l'espace : l'osmotropotaxie ; l'autre indirecte, successive dans l'espace et dans le temps : la clinotaxie . La piste chimique est une zone tridimensionnelle, représentant un espace actif, situé le long de la ligne de dépôt de la phéromone de piste sur le substrat . En ce qui concerne l'osmotropotaxie, la piste est sondée simultanément en deux points de l'espace actif, par l'intermédiaire des antennes de l'animal . La fourmi s'oriente selon la différence de concentration perçue, en faveur de la concentration la plus élevée . Elle tend à équilibrer les perceptions des deux antennes (Hangartner, 1967) .

Le seul modèle mathématique ayant été proposé, à notre connaissance, est le modèle de Pasteels et al. (1986). Ce modèle est basé sur la loi de diffusion de Fick (Bossert et Wilson, 1963), sur la perception d'une différence de concentration seuil par l'animal et ne tient compte que de l'osmotropotaxie .

Nous nous sommes attachés à quantifier un maximum d'aspects du comportement de l'ouvrière lorsqu'elle suit la piste et ce, afin de déterminer l'importance relative des différents mécanismes qui interviennent dans l'orientation des fourmis le long de la piste .

Matériel et méthodes

La colonie est installée dans un nid de Janet en plâtre situé dans un bac en aluminium de 90 X 90 cm dont le fond est recouvert de plâtre . Ce bac est relié à un second bac en chlorure de polyvinyle de 37 X 53 cm, par un pont en carton de 34,5 cm .

Des pistes artificielles circulaires, tracées au 3-éthyl-2,5-diméthylpyrazine synthétique (Evershed et al. 1982 ; 0,1 ml de solution par piste ; les dilutions sont réalisées dans de l'hexane) sont présentées aux fourmis sur un disque de papier bristol de 20 cm de diamètre (voir plus loin) . Chaque expérience dure 11 minutes et est enregistrée sur bande vidéo VHS . La piste est présentée aux fourmis dans la seconde aire de récolte, ceci pour éviter qu'il y ait trop de fourmis sur la piste, et placée à 10 cm de la base du pont .

Les expériences ont été effectuées à deux niveaux différents : nous avons suivi l'évolution de plusieurs paramètres (angle d'attaque, longueur moyenne de piste parcourue, inversions d'orientation, angle de sortie) en fonction de la concentration de la piste, ceci pour 9

concentrations différentes . Nous avons alors réalisé une étude plus détaillée pour la concentration en phéromone à laquelle la réponse à la piste était maximale : la concentration optimale .

Mise au point d'une technique de dépôt de la phéromone

Un tourne-disque est relié par un tube en teflon de 1mm (0,038 inches) à une pompe péristaltique . Une aiguille en acier est fixée à chaque extrémité du tube . Un petit flacon en verre d'une contenance de 0,1 ml contient la solution de phéromone . Son bouchon est percé par l'une des aiguilles et par un fin tube en acier afin d'assurer l'écoulement continu et homogène de la solution . L'autre aiguille est maintenue au bras du tourne-disque entre deux plaquettes vissées .

La piste est déposée sur un disque de papier bristol blanc, sur lequel est tracé au crayon noir un cercle de 5 cm de rayon divisé en 36 secteurs de 10 degrés. Le bras du tourne-disque est maintenu à une distance de 5 cm du centre, par un système de tiges verticales ajustables . Le tourne-disque tourne à une vitesse de 45 tours/minutes . La piste est déposée en 30 tours . L'utilisation d'un colorant nous a permis de mesurer la largeur du dépôt de phéromone . Celui-ci mesure 1 mm de large après diffusion de la solution colorée sur le papier. A titre de comparaison, l'envergure moyenne des antennes d'une ouvrière de Murmyca rubra est de 4 mm environ .

Resultats

Le modèle tropotactique prédit que la réponse à la piste dépend de l'angle d'attaque . Nos résultats confirment cette prédiction . En effet, un angle aigu augmente la probabilité de répondre et de suivre la piste, la fraction d'angles entraînant une réponse positive dépendant de la concentration (figure 1, a et b) .

Une fourmi qui aborde la piste perçoit d'abord la phéromone avec l'antenne la plus proche de l'axe de dépôt de celle-ci . Dans l'hypothèse d'une orientation osmotropotactique, il n'est donc pas étonnant que la fourmi pivote sur elle-même afin de s'orienter vers la concentration la plus élevée et inverse son orientation en attaquant la piste . Cependant, les inversions d'orientation observées ne se produisent pas pour tous les angles mais seulement pour ceux se rapprochant de l'angle droit . Ce résultat suggère, qu'en plus de l'angle d'attaque, d'autres facteurs puissent intervenir dans la probabilité qu'ont les fourmis de présenter ou non une inversion d'orientation .

Le nombre de fourmis restant sur la piste après avoir parcouru une certaine distance est une fonction exponentielle négative de la distance de piste parcourue . La représentation semi-logarithmique de cette fonction

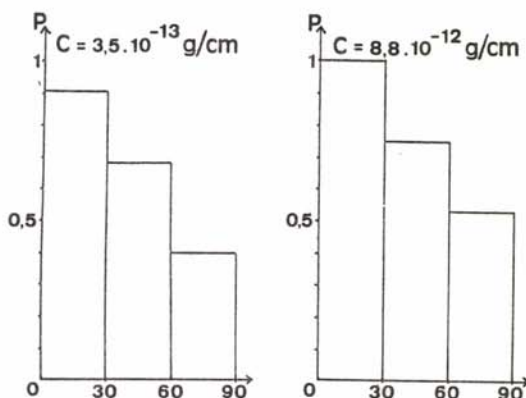


Figure 1 : Proportion de fourmis répondant à la piste (P)
 en fonction de l'angle d'attaque (en degrés)
 C : concentration
 a : $C = 3,5 \cdot 10^{-13}$ g/cm
 b : $C = 8,8 \cdot 10^{-12}$ g/cm (Conc. optimale)

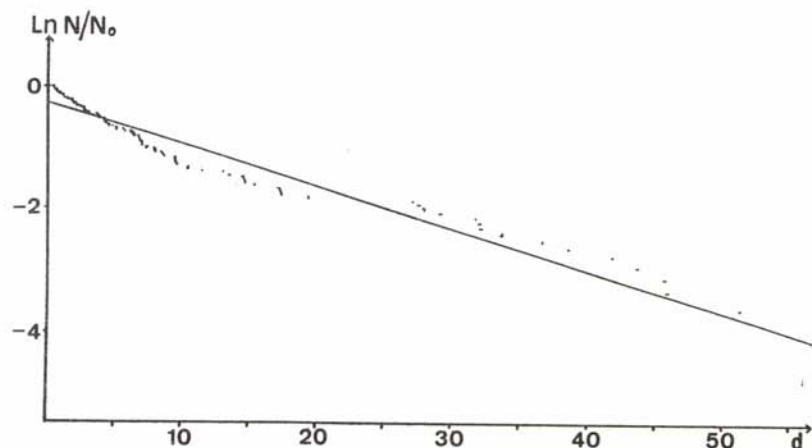


Figure 2 : Le logarithme népérien N/N_0 en fonction de la distance d (cm) parcourue sur celle-ci
 N = nombre de fourmis encore présentes sur la piste à la distance d
 N_0 = nombre total de fourmis ayant répondu à la piste

donne une droite (figure 2) dont la pente est égale à la probabilité de quitter la piste . Ceci a été vérifié pour toutes les concentrations étudiées . La relation exponentielle, reliant le nombre d'ouvrières sur la piste

au trajet effectué par celles-ci. montre que la probabilité de quitter la piste reste constante avec la longueur de piste parcourue, indépendamment d'un apprentissage ou de la fatigue. Ceci semble être dû au mécanisme tropotactique lui-même. En effet, l'orientation osmotropotactique induit une démarche sinusoidale au cours de laquelle la différence de concentration perçue est périodiquement inversée. Il n'y a pas de saturation des organes des sens et la perte de la piste semble être due à des mouvements fortuits de l'animal. Dans le cas de la distribution exponentielle, la probabilité de quitter la piste correspond à l'inverse de la distance moyenne parcourue. Cette dernière et la réponse à la piste évoluent de la même manière suivant une courbe en forme de cloche, comme l'ont observé plusieurs auteurs (Van Vorhis Key et al. 1981, Evershed et al. 1982 et Pasteels et al. 1986, Detrain et al. ce volume) (figure 3) .

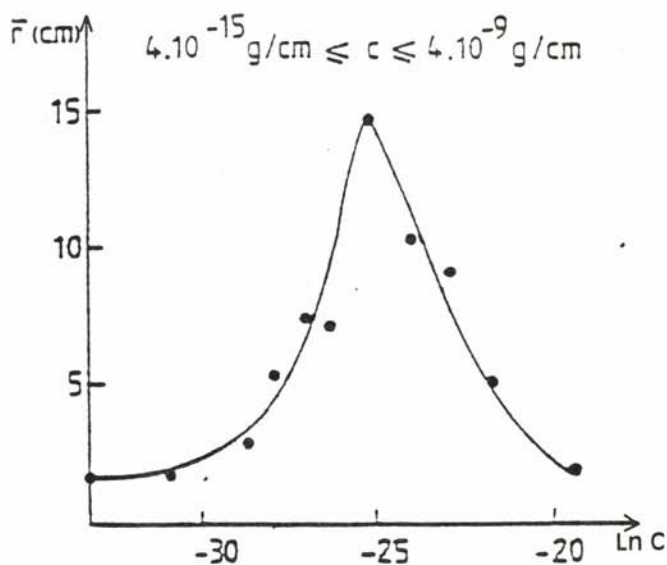


Figure 3 : Evolution de la distance moyenne parcourue (\bar{F}) en fonction du logarithme népérien de la concentration (C) en phéromone (de Pasteels et al. 1986)

Lorsqu'elle suit une piste, l'ouvrière se déplace selon une trajectoire sinusoidale. Cette dernière s'amortit progressivement avec la longueur de piste

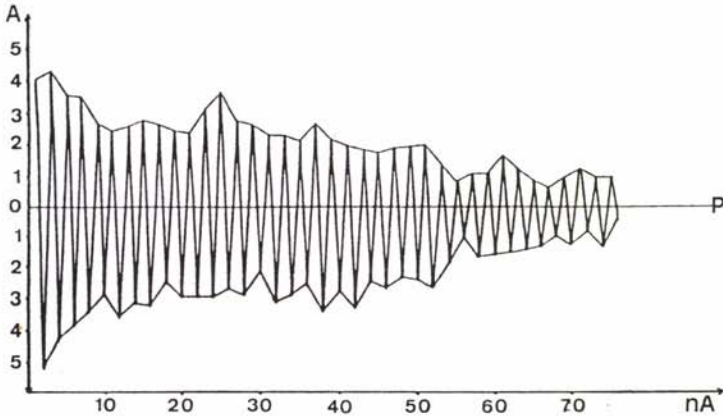


Figure 4 : Evolution de l'amplitude moyenne (A) du mouvement sinusoïdal en fonction du nombre d'amplitudes effectuées (nA)
 P : piste
 Test de corrélation de Spearman : $r_s = -0,58$

parcourue, semblant indiquer un perfectionnement de l'orientation de la fourmi au fur et à mesure qu'elle avance sur la piste (figure 4) . Ces mouvements situent la fourmi selon un certain angle par rapport à la piste . Si cet angle est aigu, la probabilité de quitter la piste est faible mais elle augmente lorsqu'il se rapproche de l'angle droit (figure 5) . La probabilité de quitter la piste, si elle ne dépend pas de la longueur de piste parcourue, dépend donc à chaque instant de l'angle que forme la fourmi avec la piste . Cette probabilité est complémentaire à la probabilité de répondre à la piste, confirmant l'existence d'un mécanisme commun .

Discussion

Nous avons pu démontrer que l'angle que forme la fourmi avec l'axe de dépôt de la phéromone est un facteur primordial dans le suivi de la piste . Il influence la probabilité de monter sur la piste et d'y rester .

L'introduction d'une certaine inertie , c'est-à-dire un temps de réaction à la phéromone, au niveau du comportement de la fourmi, pourrait être à l'origine du faible taux d'inversions d'orientation observé dans nos expériences . Cependant, on peut imaginer que d'autres facteurs interviennent, telle qu'une recherche active de l'axe de dépôt de la phéromone de piste dès que la fourmi la perçoit .

L'étude reliant l'efficacité de la piste à sa concentration montre un phénomène paradoxal qui n'est pas

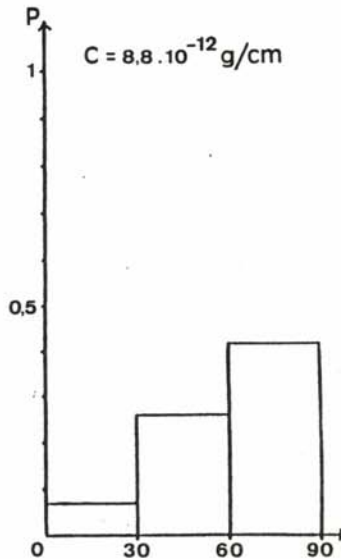


Figure 5 : Probabilité (P) de quitter la piste en fonction de l'angle (en degrés) formé par celle-ci et l'axe de la fourmi

expliqué par le modèle tropotactique . A fortes concentrations, le suivi de la piste est moins bon et cette perte d'efficacité ne semble pas résulter d'un effet répulsif de la phéromone . Une hypothèse est que l'orientation osmotropotactique se fait moins bien si l'espace actif est trop large . Il pourrait aussi y avoir saturation des antennes de la fourmi et celle-ci s'orienterait dès lors moins bien le long de la piste .

Notre étude suggère donc fortement que l'angle que forme la fourmi avec la piste est le facteur principal de l'orientation osmotropotactique chez Murmica rubra . Son influence sur le suivi de la piste a clairement été démontrée .

Bien que certains aspects du comportement de l'ouvrière indiquent l'intervention probable de facteurs secondaires dans le suivi de la piste, l'osmotropotaxie semble être le mécanisme central de l'orientation le long de celle-ci .

Remerciements : Nous remercions très vivement J.M. Pasteels J.-L. Deneubourg et S. Aron pour l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée dans la réalisation de ce travail .

Références

- BOSSERT W.H. and WILSON E.O., 1963.- The analysis of Olfactory Communication among animals . *J. Theoret. Biol.* 5, 443-469
- EVERSHED R.P., MORGAN E.D. and CAMMAERTS M.C. 1982.- 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine, the trail pheromone from the venom gland of eight species of *Myrmica* ants . *Insect Biochem.* Vol 12, 4, 383-391
- HANGARTNER W., 1967.- Specificität und Inaktivierung des Spurpheromons von *Lasius Fuliginosus* Latr. und Orientierung des Arbeiterinnen im Duftfeld . E . Orientierung der *fuliginosus*-arbeiterinnen im Spursubstanz-Duftfeld . *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 57, 103-136 .
- PASTEELS J.M., DENEUBOURG J.L., VERHAEGHE J.C., BOEVE J.L., QUINET Y., 1986.- Mechanisms of Perception and Orientation to Insects Olfactory Signals . M.C. Birch and T.L. Payne Eds. *Oxford University Press, Oxford*, 131-138 .
- VAN VORHIS KEY S.E., GASTON L.K. and BAKER T.C. 1981.- Effects of gaster extract trail concentration on the trail following behaviour of the argentine ant, *Iridomyrmex humilis* (Mayr). *J. Insect Physiol.*, Vol 27, 6, 363-370 .