

STRUCTURE SOCIO-GENETIQUE DES SOCIETES ET DES POPULATIONS DE
CATAGLYPHIS CURSOR (FORMICIDAE)

M. Pearcy¹, C. Doums², S. Aron¹

¹Laboratoire de Biologie des Communautés Animales, CP 160/12, ULB, 50 Av. F. Roosevelt, B - 1050 Bruxelles

²Laboratoire d'Ecologie, UMR 7625, Université Pierre & Marie Curie, 7 quai St Bernard, 75252 Paris cedex 05

RESUME

Nous avons développé des marqueurs microsatellites et entamé l'étude de la structure socio-génétique des populations chez la fourmi *Cataglyphis cursor*. Nous présentons ici nos premiers résultats quant au coefficient de corrélation génétique entre ouvrières, au nombre d'accouplement des reines, au nombre de reines par colonie, ainsi qu'à la contribution des ouvrières à la production des sexués de la colonie.

INTRODUCTION

L'apparition de l'eusocialité chez les insectes constitue une des transitions majeures de l'évolution et offre un des exemples les plus surprenants d'altruisme et de socialité (Szathmary & Maynard Smith, 1995). La théorie de la sélection de la parentèle (Hamilton, 1964) fournit l'explication actuellement la plus élégante pour justifier la stérilité de la caste ouvrière dans les colonies d'insectes. Dans la mesure où les individus d'une même colonie sont apparentés, l'altruisme de reproduction peut être sélectionné et se maintenir par sélection de la parentèle. Plusieurs facteurs peuvent néanmoins réduire le degré d'apparentement au sein des sociétés. Parmi ceux-ci, le nombre de reines reproductrices dans les colonies (polygynie) et/ou le nombre d'accouplements de celles-ci (polyandrie) sont deux paramètres déterminants.

La fourmi *Cataglyphis cursor* présente plusieurs caractéristiques biologiques qui en font un modèle d'étude particulièrement intéressant pour mettre à l'épreuve la théorie de la sélection de la parentèle. Chez cette espèce, le vol nuptial ne concerne que les mâles, les colonies se multiplient par bourgeonnement, et les ouvrières sont dotées de reproduction par parthénogenèse arrhénotoque (production de mâles) mais également thélytoque (production de femelles). Les ouvrières peuvent donc participer directement à la reproduction des sociétés en produisant des descendants mâles et éventuellement femelles.

Nous avons développé des marqueurs microsatellites afin de déterminer la structure socio-génétique des sociétés de la fourmi *C. cursor*. Nous présentons ici nos résultats quant au coefficient de corrélation génétique entre ouvrières, au nombre d'accouplement des reines, au nombre de reines par colonie, ainsi qu'à la contribution des ouvrières à la production des sexués de la colonie.

MATERIEL ET METHODES

Trente colonies ont été récoltées dans la région de Port Leucate en mai 2001. L'ADN d'une dizaine d'individus a été extrait par précipitation aux sels (High Salt) pour la mise au point des marqueurs microsatellites. L'ADN est fragmenté par une enzyme de restriction et incorporé aux phages. Une fois les bactéries transformées et hybridées, nous avons séquencé 101 clones positifs, parmi lesquels 47 comportaient des séquences microsatellites. Toutes les séquences se sont révélées être de type di-nucléotidique. Le polymorphisme pour sept de ces loci a été testé sur un échantillon de 5 individus x 10 colonies. Nous avons retenu 4 loci présentant de 11 à 14 allèles pour notre analyse.

Pour chaque colonie, nous avons déterminé le génotype de la reine, du liquide séminal contenu dans la spermathèque, de 12 à 16 ouvrières/colonie et de tous les sexués produits par chaque colonie. Les indices de structure génétique des populations (F_{is} , F_{it} et F_{st}) ont été calculés à partir du programme GenePop 3.3 (Raymond & Rousset, 2001). Le coefficient de corrélation génétique moyenne entre ouvrières au sein des colonies a été estimé à l'aide du programme Relatedness 4.2 selon l'algorithme de Queller et Goodnight (1989). Cette valeur a été corrigée pour tenir compte d'un effet de "consanguinité" selon l'équation de Pamilo (1982):

$$r_{ww} = \frac{F_{vw} - \frac{2F_{is}}{1+F_{is}}}{1 - \frac{2F_{is}}{1+F_{is}}}$$

Le nombre d'accouplements minimum des reines a été déterminé de 2 façons différentes: (a) via l'analyse du pedigree des ouvrières ($M_{e,p}$); (b) à partir du calcul de la corrélation génétique:

$$M_e = 1/(2r - 0.5)$$

La participation des ouvrières à la production des sexués a également été analysée à partir de l'analyse des pedigrees des ouvrières et des sexués.

RESULTATS

Les résultats de l'analyse génétique indiquent l'absence de consanguinité ($F_{is} = -0.0158 \pm 0.0178$ non significativement différent de 0, $P > 0.653$), ainsi qu'une divergence génétique importante entre les sociétés ($F_{st} = 0.204$).

La corrélation génétique entre ouvrières est de $r_{w-w} = 0.44$, significativement différente de celle attendue en situation de monogynie et monoandrie ($r_{w-w} = 0.75$, $P < 0.001$). Les observations de terrain montrent que toutes les colonies récoltées comportent une unique reine, confirmant la structure monogyne des sociétés comme initialement observé par Lenoir (1988). L'analyse des pedigrees des ouvrières confirme la structure monogyne pour 27 colonies sur les 30 étudiées (90%). Pour 3 colonies, cependant, nous avons trouvé de 3 à 5 ouvrières sur 12 dont le génotype ne correspondait pas à celui de la mère, ce qui pourrait indiquer un *turnover* (remplacement) des reines. Le nombre moyen d'accouplements, estimé à partir de la corrélation génétique moyenne entre ouvrières au sein des colonies, est de $M_e = 2.69$. Cette valeur est largement inférieure au nombre moyen d'accouplements calculé à partir du pedigree des ouvrières: $M_{e,p} = 4.25$. A ce stade de notre étude, nous ne sommes pas en mesure de déterminer si une telle différence a pour origine un biais de paternité (*paternity skew*) ou une erreur d'échantillonnage (*sampling error*). La valeur précise du nombre d'accouplements via le séquençage des spermathèques n'a pas pu être confirmé car les tentatives d'extraction d'ADN sur les spermathèques ont échoué.

Pour l'ensemble de notre échantillonnage, seules 7 colonies (23%) ont produit plus de 10 sexués. Le sex ratio mâle:femelles calculé sur l'ensemble de la population est fortement biaisé en faveur du sexe mâle et équivaut à 11:1 (219 mâles pour 19 femelles). L'analyse génétique montre que tous les sexués mâles et femelles élevés jusqu'au stade adulte sont issus d'oeufs d'origine royale et non ouvrières. Par ailleurs, la population étudiée est caractérisée par une forte viscosité génétique se traduisant par une corrélation significative entre la distance géographique et la distance génétique (Test de Mantel, $P = 0.046$). Cette tendance est confirmée par la corrélation génétique élevée ($r = 0.24$) entre individus issus des nids voisins les plus proches.

CONCLUSION

Comme l'a suggéré Lenoir (1988), nos analyses génétiques montrent que *Cataglyphis cursor* est une fourmi de type monogyne et polyandre. Cependant, nos résultats ne permettent pas d'exclure l'existence d'une polygynie séquentielle (*turnover* de reines) pour 3 colonies sur 30 (10%). Cet aspect de la reproduction nécessite une étude complémentaire.

Le nombre d'accouplements observé chez *C. cursor* est un des plus élevés connu à ce jour chez les fourmis (voir Boomsma et Ratnieks, 1996; Strassmann, 2001). Bien que les ouvrières soient potentiellement fertiles, nos résultats sont en accord avec le concept de police des ouvrières (*worker policing*) lequel prédit l'absence de sexués adultes d'origine ouvrières lorsque la reine s'accouple avec plus de deux mâles différents.

Enfin, les valeurs du sex ratio et de la structure génétique de la population sont compatibles avec le mode de reproduction par bourgeonnement de cette espèce.

REMERCIEMENTS

Ce projet est financé par le FRIA (M.P.), ainsi que par plusieurs crédits FRFC, FNRS, ULB (S.A.) et CNRS (C.D.). Merci à V. Dumont pour son aide et son soutien.

REFERENCES

- Boomsma J.J., Ratnieks F.L.W. (1996): Paternity in eusocial Hymenoptera. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 351, pp 947 - 975.
- Hamilton W.D. (1964): *Journal of Theoretical Biology* 7, pp 1-52.
- Lenoir A. et al (1988): Habitat exploitation and intercolonial relationships in the ant *Cataglyphis cursor* (Hymenoptera: Formicidae). *Psyche*, 95 (1-2), pp 21-44.
- Pamilo P., (1982): Multiple mating in Formica ants. *Hereditas*, 97, pp 37-45.
- Queller D.C., Goodnight K.F. (1989): Estimation of genetic relatedness using allozyme data. *Evolution* 43:258-275.
- Strassmann J. (2001): The rarity of multiple mating by females in the social Hymenoptera. *Insectes Sociaux* 48, pp 01-13.
- Szathmary E., Maynard Smith J. (1995): *The Major Transitions in Evolution*. Oxford: Freeman.