

Behavioral model for the building dynamics of the epigenous part of the nest in the ant *Lasius niger*. Experimental and theoretical approaches.

Résumé

La structure épigée du nid de la fourmi *Lasius niger*, prise comme un exemple typique des structures alvéolaires construites par les insectes sociaux, résulte de l'accumulation d'actes individuels de prise, de transport et de dépôt de matériau. Nous montrons expérimentalement que ces structures émergent d'une coordination indirecte des actes de prise/dépôt par l'activité précédente : les dépôts sont plus fréquents dans les zones de forte densité, et les prises dans les zones de faible densité. Il s'agit donc d'une dynamique auto-organisée où des boucles de rétroaction amplifient des premiers dépôts aléatoires. Au cours du temps, la surface de la structure devient alvéolaire, et le déplacement des fourmis peut être affecté par ses déclivités et ses courbures. A ce stade, le processus de construction présente donc un double couplage de la structure avec d'une part les décisions comportementales de prise et de dépôt, et d'autre part le déplacement des fourmis. Pour ce dernier, nous proposons le modèle du Marcheur de Boltzmann généralisé qui intègre ces effets d'orientation par la structure. Nous proposons enfin une formulation intégrale des échanges de matériau entre points du système, qui intègre tous ces éléments. Ce formalisme confirme le critère d'émergence obtenu par l'analyse linéaire de stabilité classique sur la phase initiale et permet de comprendre les mécanismes essentiels de cette dynamique, en lien direct avec la représentation du phénomène en termes de comportements individuels.

Mots-clés

insectes sociaux ; auto-organisation ; construction du nid ; dynamiques non-linéaires ; morphogenèse ; *Lasius niger* ; analyse linéaire de stabilité ; analyse en échanges nets.

Abstract

Epigenous part of the nest in the ant *Lasius niger* is a typical example of sponge-like structures built by social insects. It results from accumulated tiny pellets of material which are picked up, moved and dropped by individuals. We show experimentally that these structured patterns emerge from a coordination of individual decisions mediated by the evolving density of material: they pick up more often in depleted zones and drop preferentially in high-density zones. This self-organized process allows random fluctuations in early material density field to be amplified through time. The building then evolves towards a sponge-like structure, so that the surface displays slopes and curvatures, which might in turn affect motion decisions. In late stage, the coupling between density and behavioral decisions is then intricately coupled with coupling between geometry and motion. For the latter, we designed the Generalized Boltzmann Walker model so as to integrate local geometry with random walk. We demonstrate experimentally its relevance for the effect of slopes. Eventually, we analyze the whole process within an analysis of net exchange of material between pairs of locations. We confirm then some results obtained by classical linear stability analysis, and explain essential properties of those dynamics in terms of measured individual behaviors and cognitive properties.

Keywords

social insects ; self-organization ; nest building ; non-linear dynamics ; morphogenesis ; *Lasius niger* ; linear stability analysis ; net exchanges analysis.