

Quand l'erreur alimente l'imagination d'une société : le cas des fourmis

Jean-Louis Deneubourg,

Chercheur ARC au Service de Chimie Physique II ;

Jacques Pasteels et Jean-Claude Verhaeghe

Professeur ordinaire et 1^{er} assistant au Département de Biologie animale
Université Libre de Bruxelles

Introduction

Les insectes sociaux (abeilles, fourmis, guêpes, termites), ont connu un énorme succès écologique. Ils ont conquis la plupart des milieux, et en particulier les tropiques où leur biomasse peut atteindre plusieurs centaines de kilos par hectare. Les quelques 100.000 articles scientifiques écrits à leur sujet sont sans doute la consécration de ce succès écologique, mais aussi de notre fascination devant l'ingéniosité du fonctionnement de leurs sociétés.

Classiquement, en accord avec la vision globale du monde, la fourmilière, la ruche ou la termitière est l'univers du déterminisme où les insectes sont de petits automates fidèles et obéissants à leur programme génétique.

Aujourd'hui, cette image de la rigidité s'estompe : nous sommes attirés par l'aspect aléatoire, le rôle des fluctuations de l'environnement et la plasticité du comportement ; et ce en accord avec le développement des mêmes thèmes en physique et chimie.

Ce qui frappe le plus sans doute dans les sociétés d'insectes c'est l'existence de deux échelles — l'une au niveau des individus, l'autre au niveau de la société tout entière — et la différence des comportements caractéristiques de ces deux niveaux. En effet, l'individu fourmi présente un comportement largement probabiliste ; mais malgré le caractère extrêmement inefficace et imprédictible des individus, des structures

cohérentes, caractéristiques de l'espèce, se développent à l'échelle de la colonie. Grassé (1967) et Chauvin (1959) furent les premiers à mettre en évidence le rôle du hasard chez les insectes sociaux et celui des différences entre ces deux échelles.

Un grand nombre de structures coloniales (construction du nid, développement d'un réseau de pistes autour du nid), résultent d'événements aléatoires (fluctuations) amplifiés par l'ensemble des non-linéarités que constituent les communications. C'est pour cela que les sociétés d'insectes constituent un excellent prototype de l'auto-organisation, et un outil de choix pour l'étude de l'ordre par fluctuations (Nicolis & Prigogine, 1977).

Le comportement constructeur des termites est un exemple typique qui illustre, d'une part, la dualité entre comportement individuel et structures collectives, et d'autre part le concept d'ordre par fluctuations (Bruinsma, 1979 ; Chauvin, 1959 ; Deneubourg, 1977 ; Grassé, 1967). La termitière commence par la construction de piliers. Leur base naît au hasard par le dépôt de quelques boulettes de terre imprégnées d'une phéromone attractive et stimulante pour les termites (les phéromones sont les substances de communication entre animaux). Ces premières ébauches vont stimuler les termites à les agrandir. Si les conditions sont favorables (par exemple, si la densité de termites est suffisante) ce processus ira en s'amplifiant et conduira à une structure caractérisée par des murs et des piliers régulièrement disposés.

C'est le rôle des fluctuations, et celui de l'auto-organisation qui peut en résulter, qui constituent la différence fondamentale entre notre approche et celle de la théorie des systèmes ou cybernétique où les fluctuations sont réduites à un rôle de bruit de fond et ont perdu toute valeur créatrice. Ces différences se traduisent notamment par une définition parfaite du fonctionnement des différents éléments au niveau microscopique et macroscopique dans un système cybernétique, au contraire des systèmes auto-organisés où le comportement des unités n'est connu qu'imprécisément. Chez les insectes sociaux, des mécanismes « cybernétiques » notamment lors de la construction du nid chez les guêpes (Desmolin, 1983) coexistent avec des processus d'auto-organisation.

Nous savons aujourd'hui que chez les insectes sociaux les fluctuations de comportement ne résultent pas de causes externes à la société, mais renvoient à des caractéristiques de son activité, en particulier à l'imprécision des communications.

Pour illustrer comment ces différentes composantes s'articulent entre elles et avec l'environnement pour organiser la société, nous allons comparer deux situations alimentaires extrêmes : une colonie de pucerons est une ressource prédictible qui peut avoir un temps de vie s'étendant sur l'ensemble de la bonne saison (jusqu'à 4 ou 5 mois), alors que le cadavre d'un oiseau est une source d'alimentation hautement imprédictible.

Dans le cas de l'exploitation du miellat de pucerons, des routes stables de la fourmilière à la colonie de pucerons apparaissent, chacune de ces routes ayant ses utilisateurs spécialisés (fig. 1). Peu de fourmis ayant comme tâche la récolte

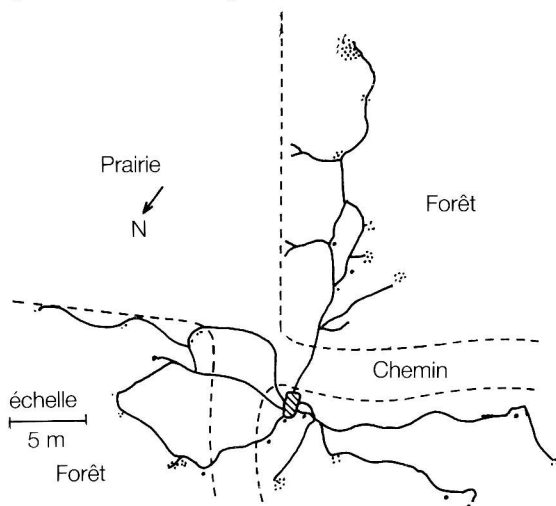




Figure 1 : Cartographie du nid et des routes d'une société de *Lasius fuliginosus*.
(d'après Hennault-Riche & al., 1979)

piste ——— nid 
arbres abritant des pucerons 

du miellat, à la limite aucune n'est trouvée en dehors de ces grands axes (Rosenberg, 1971 ; Hennault & al., 1979). Cette organisation résulte du jeu entre le long temps de vie de la colonie de pucerons et les mécanismes d'amplification internes à la colonie de fourmis. Dans ce cas, il est bénéfique de développer des structures permanentes stables avec un faible niveau de bruit.

A l'opposé, un environnement fluctuant peut empêcher le développement de structures permanentes, mais de plus l'apparition de telles structures dans une écologie aléatoire peut faire perdre à la colonie sa plasticité et la faire évoluer vers des régimes sous-optimaux. Dans ces situations, une réaction possible pour la colonie est de maintenir un taux d'exploration élevé, tout en ayant la possibilité de développer rapidement des structures temporaires propres à exploiter toute occasion favorable se présentant, comme par exemple un cadavre d'oiseau.

Ces situations écologiques nous montrent que des communications trop déterministes qui ne sont pas assez « brouillées » peuvent emballer trop rapidement le système, le figer et inhiber la genèse et le développement des fluctuations. En d'autres termes, il apparaît que le bruit présente une valeur adaptative dans l'organisation de la société (Pasteels, 1980 ; Pasteels & al., 1982 ; Deneubourg & al., 1983) ; cependant, un bruit trop intense peut nuire à l'efficacité du système.

Un ensemble d'expériences réalisées sur des fourmis qui pratiquent une exploitation collective des ressources et des simulations numériques nous ont permis de quantifier le rôle de l'aléatoire dans le fonctionnement de la société.

Avant de discuter l'aspect collectif, les labyrinthes présentés à la figure 2 vont nous permettre de montrer que la question de la valeur adaptative du comportement probabiliste se pose également au niveau individuel. Soit une fourmi au comportement déterministe qui applique les

