

En 1913, à proximité des berges du fleuve Sankuru, à quelques kilomètres en aval de Lusambo, dans ce qui est aujourd'hui la République démocratique du Congo, le naturaliste luxembourgeois Edouard Lujà découvrit un nid de termites de forme très étrange. Sa structure ne ressemblait à aucune des formes connues, et son aspect extérieur laissait plutôt penser à un petit objet en terre cuite façonné par quelque habile potier qu'à un nid construit par des insectes sociaux.

Le nid avait été découvert dans un sol sablonneux entre 20 et 50 centimètres de profondeur. Son aspect extérieur surprenait par la régularité et la symétrie des détails de sa structure. De forme ovoïde et d'une dizaine de centimètres de haut, sa surface était couverte de petits orifices en forme de gargouilles disposées en lignes, régulièrement espacées et qui parcouraient toute la circonférence externe de la paroi (voir la figure 2). Mais le plus spectaculaire se trouvait à l'intérieur : une succession de chambres, délimitées par des planchers et plafonds parallèles et régulièrement espacés. Des rampes hélicoïdales assuraient la communication entre les différents étages. Par ailleurs, l'intérieur de la paroi externe était percé d'une série de galeries circulaires. Ces galeries communiquaient avec l'intérieur du nid par de minuscules fentes transversales s'ouvrant entre les planchers successifs, et elles étaient également reliées aux gargouilles externes par de minuscules pores (voir la figure 3).

Les termites qui ont développé l'art de la construction jusqu'à un tel degré de raffinement appartiennent au genre *Apicoterms* et vivent dans la forêt et la savane africaines. Ils ont été beaucoup étudiés dans les années 1950, notamment par le naturaliste belge Jules Desneux, mais, jusqu'à aujourd'hui, personne n'avait percé le mystère de leur construction. Comment des insectes au comportement rudimentaire parviennent-ils à construire de tels chefs-d'œuvre ? À quelles lois la structure interne de ces nids obéit-elle ? Ces questions ont constitué le cœur d'un projet interdisciplinaire débuté fin 2006, destiné à mieux comprendre les mécanismes intervenant dans la construction des nids en terre chez les termites et les fourmis, ainsi que les caractéristiques et les propriétés de ces architectures. Des réponses se dessinent et révèlent le rôle essentiel joué par les processus d'auto-organisation.

On recense à ce jour environ 2600 espèces de termites et plus de 12500 espèces de fourmis. Alors que les sociétés de fourmis sont de type matriarcal et sont généralement fondées par une seule reine, les sociétés de termites sont constituées d'individus mâles et femelles et sont fondées par un couple royal. Le fonctionnement de ces sociétés repose sur des systèmes de communication élaborés et sur une division du travail au sein de la caste ouvrière, qui se manifeste notamment par des différences morphologiques : certains individus défendent la colonie, d'autres construisent le nid, d'autres encore recherchent de la nourriture...

Des nids de boulettes de terre régurgitées

Chez ces insectes sociaux, l'activité de construction est très répandue. Les termites construisent des nids de tailles et de formes variables. Ils sont généralement constitués d'un ensemble complexe de cavités interconnectées, reliées au milieu extérieur par un réseau de galeries souterraines ou couvertes. Ces nids sont construits sous terre (hypogés), sur le sol (épigés), sur les arbres ou dans le bois ; ils combinent parfois des parties hypogées et épigées. Ils sont bâtis soit au moyen de boulettes de terre régurgitées, mélangées à de la salive et des excréments, soit uniquement d'excréments, qui forment en séchant un carton solide. Chez les fourmis, il existe aussi une grande variété de nids, construits à partir de matériaux divers : feuilles, brindilles, aiguilles de pin, carton de bois ou boulettes de terre. Les nids de fourmis sont arboricoles ou souterrains, ou combinent des parties hypogées et épigées ; mais la forme la plus répandue consiste en un réseau souterrain de galeries ramifiées reliant un ensemble de chambres.

Les nids sur lesquels nous avons concentré notre attention sont constitués de réseaux alvéolaires. Le point commun à toutes ces structures est la fragmentation de l'espace habité en une multitude de chambres cloisonnées, mais interconnectées par de petits passages. Ces chambres sont soit isolées les unes des autres par des parois épaisses, soit disposées en étages réguliers, soit organisées selon une structure beaucoup plus irrégulière, de type spongiforme (voir le portfolio en 3D page 36).

L'ESSENTIEL

■ **Termites et fourmis construisent des nids à l'architecture étonnante tant elle est régulière et symétrique.**

■ **La modélisation informatique du nid et de sa construction éclaire l'édification de telles structures.**

■ **Chaque ouvrier bâtisseur dépose des boulettes d'argile là où elles abondent déjà.**

■ **La coordination des activités de construction émerge de ces comportements individuels par un processus d'auto-organisation.**



© C. Jost, CNRS, UPS, Toulouse

2. LES NIDS DES TERMITES du genre *Apicoterms* présentent sur leur surface externe des microstructures régulièrement espacées qui s'ouvrent sur des corridors circulaires logés dans la coque du nid. De 10 à 20 centimètres de largeur, ces nids sont construits à une profondeur d'environ 30 à 60 centimètres dans le sol. Le nid est entouré d'un espace vide ou rempli de sable.

La principale fonction de ces nids est la protection de la colonie contre les prédateurs et le maintien de conditions de température et d'humidité qui permettent le développement de la colonie. Cependant, ces enceintes confinées confrontent leurs habitants à d'autres difficultés. D'une part, il faut réguler les échanges gazeux et assurer un renouvellement de l'oxygène, ce qui nécessite l'adaptation des architectures. D'autre part, il s'agit de circuler efficacement au sein de ces structures. En effet, la complexité du réseau de communication entre les chambres croît à mesure que la taille du nid augmente. Comment les voies de communication sont-elles organisées au sein du nid ? Certaines topologies du réseau favoriseraient la circulation des insectes entre différentes zones. La topologie des connexions jouerait aussi un rôle dans la protection des parties vitales du nid en ralentissant la progression des intrus. Dans quelle mesure la structure des nids satisfait-elle ces différentes contraintes fonctionnelles ?

Pour répondre à ces questions, nous avons développé plusieurs outils permettant de visualiser et caractériser la struc-



3. L'INTÉRIEUR D'UN NID DE TERMITES
Apicotermes reconstitué par tomographie à rayons X. L'épaisseur des cloisons est inférieure à un millimètre.

ture tridimensionnelle des nids. Tout d'abord, nous avons numérisé l'ensemble des nids dont nous disposions (120) au moyen d'un tomographe à rayons X. Certains nids ont été récoltés au cours de missions réalisées en Afrique et en Amérique du Sud, et d'autres provenaient de différentes collections appartenant aux Muséums d'histoire naturelle de Paris et de Toulouse. À partir des données du tomographe, nous avons reconstruit en trois dimensions la structure des nids, ce qui nous a permis de naviguer virtuellement au sein des architectures et d'en extraire de nombreuses mesures. Nous avons ainsi cartographié les réseaux d'interconnexion entre les chambres à l'intérieur des nids et analysé leur organisation spatiale et leur topologie grâce aux outils de la théorie des graphes (voir l'encadré ci-dessous). Dans cette représentation, chaque chambre dans le nid correspond à un nœud du réseau et chacune des galeries reliant deux chambres est figurée par une arête.

Chez les termites *Cubitermes*, par exemple, que nous avons étudiés avec Christian Jost, du Centre de recherches sur la

DES GRAPHES POUR ANALYSER LA STRUCTURE DES GALERIES

On étudie le réseau de communication dans le nid à l'aide de la théorie des graphes. Un graphe est un objet mathématique composé de nœuds et d'arêtes qui décrivent une relation entre deux nœuds. Dans le cas d'un nid, chaque nœud v_i représente une chambre, et il existe une arête e_{ij} entre deux nœuds v_i et v_j s'il existe une galerie entre les chambres correspondantes [a].

La représentation du réseau tridimensionnel de connexions d'un nid – ici d'une termitière du genre *Cubitermes* [b] reconstituée par tomographie à rayons X [c] – permet de visualiser le degré de connectivité de chaque chambre et sa position dans le réseau [d] : la couleur de chaque nœud (chambre) varie selon le nombre de galeries qui lui sont raccordées. La représentation en deux dimensions du réseau [e] montre qu'une grande partie du réseau (en bleu) peut être facilement déconnectée du reste de la structure : il suffit d'obstruer un seul nœud ou une seule arête pour stopper un prédateur arrivant par un chemin bleu.

