

Voyage au centre des termitières et des fourmilières

Guy Theraulaz, Fabien Picarougne et Christian Jost

Grâce à la tomographie à rayons X et à une reconstitution informatique, des éthologues visitent virtuellement les galeries de ces nids à l'architecture remarquable.

Voici les premières images de leur voyage. À vos lunettes 3D !

Les nids construits par les termites sont parmi les structures les plus élaborées et les plus complexes du monde animal. Ces architectures, tout autant que leurs bâtisseurs, sont difficiles à observer. Les constructions s'opèrent dans l'obscurité la plus totale et l'intérieur des nids n'est accessible qu'en endommageant leur structure externe. Aujourd'hui, les outils d'imagerie médicale permettent d'analyser et de voyager au cœur de ces édifices sans les détruire.

Pour étudier l'architecture des nids, on utilise la tomographie à rayons X. Les rayons « découpent » la termitière en minces tranches, au sein desquelles la structure interne de la termitière est repérée par les différences de densité. On obtient une série de coupes virtuelles des nids dont l'épaisseur est de l'ordre d'un demi-millimètre. À partir de ces coupes, on reconstruit par ordinateur la structure tridimensionnelle des nids, que l'on utilise pour quantifier leurs caractéristiques spatiales.

La structure interne des nids est constituée de piliers et de cloisons en terre qui forment un dédale complexe de chambres interconnectées par des tunnels. Pour l'étudier, le Laboratoire d'informatique de Nantes-Atlantique a

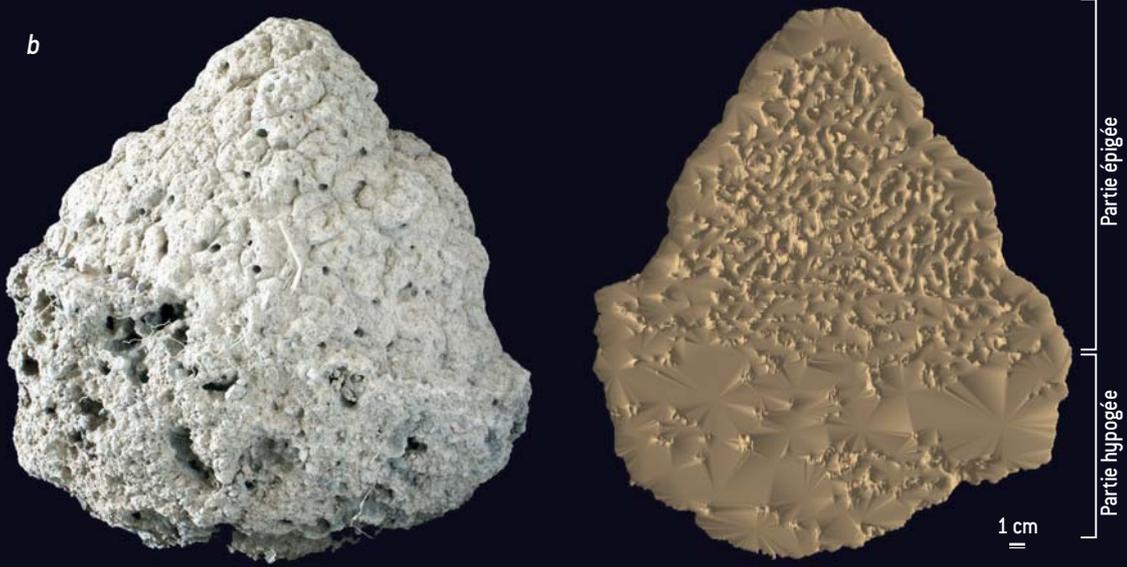
développé un logiciel qui permet de visualiser en temps réel les données issues de la tomographie et de reconstruire la structure tridimensionnelle associée. Ces deux modes de représentation sont complémentaires : avec l'un, on perçoit la forme générale du nid en ajustant la transparence des murs et, avec l'autre, on précise la structure interne du nid grâce à des détails très fins.

Le logiciel a été conçu pour permettre une navigation interactive à l'intérieur des structures visualisées. Grâce à une souris 3D ou à des capteurs inertiels, le navigateur se déplace librement dans le nid virtuel, projeté sur un dôme qui l'entoure. Chaque image est produite en moins de 40 millisecondes. Elle comporte plus de trois millions de facettes (éléments de surface) à afficher.

La perception de la profondeur est facilitée par la production d'images stéréoscopiques selon différents modes : l'anaglyphe, utilisé ici, où chaque œil reçoit une image différente grâce à des lunettes à filtres colorés (détacher les lunettes page 33) ou par projection avec des lunettes actives ou passives. Voici quelques-unes des images en relief produites à partir des nids de cinq espèces de termites et d'une de fourmis.

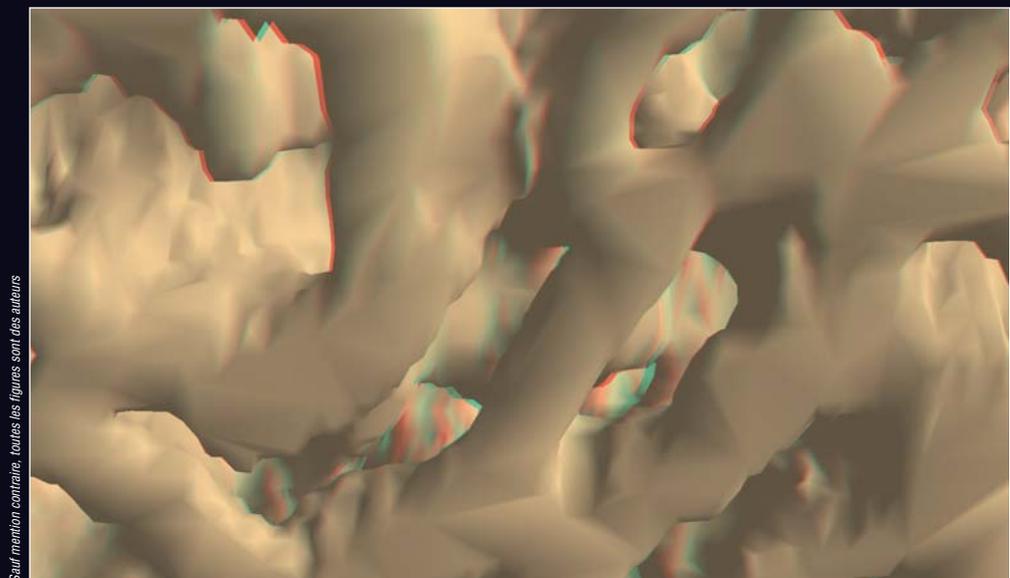
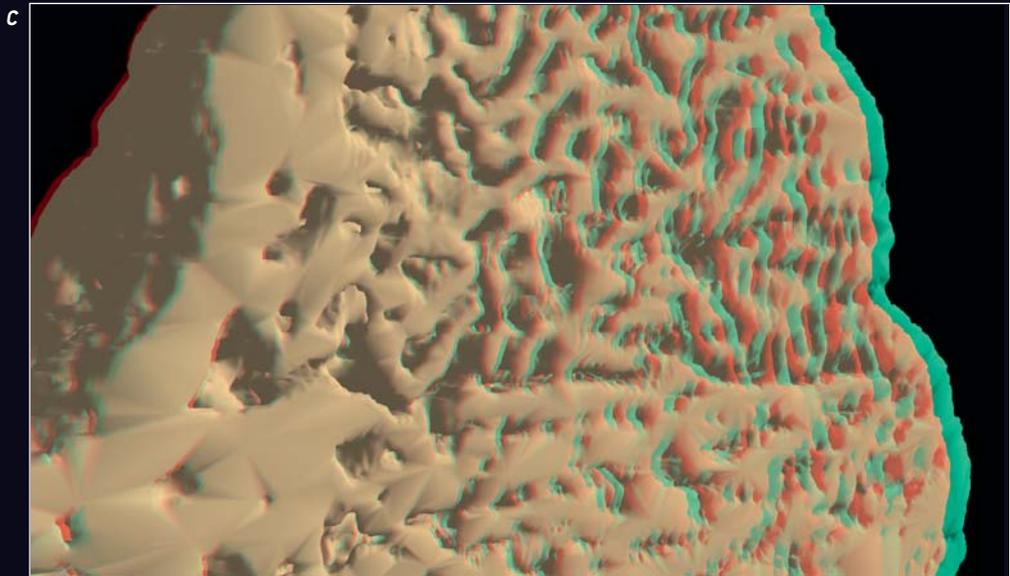
1 Les termites *Trinervitermes geminatus* (a) vivent dans les savanes au Nord du bloc forestier africain, du Sénégal à l'Ouganda. Partiellement enterrés, leurs nids sont constitués de quatre à cinq unités (b) – des calies – interconnectées par des tunnels souterrains. On trouve souvent 40 à 50 calies par hectare, parfois plus de 500. La terre du nid est enrichie en argile que les termites prélèvent parfois à plusieurs mètres de profondeur. La forme de la partie hypogée (souterraine) du nid, fruit du creusement et du renforcement des galeries, est influencée par la structure du sol. La partie épigée (émergée) est en revanche bâtie de toutes pièces par les termites. Sa structure lacunaire, constituée de piliers et de lamelles de terre, ne comporte pas de passages rétrécis (galeries), ce qui autorise un déplacement de masse des termites (c).



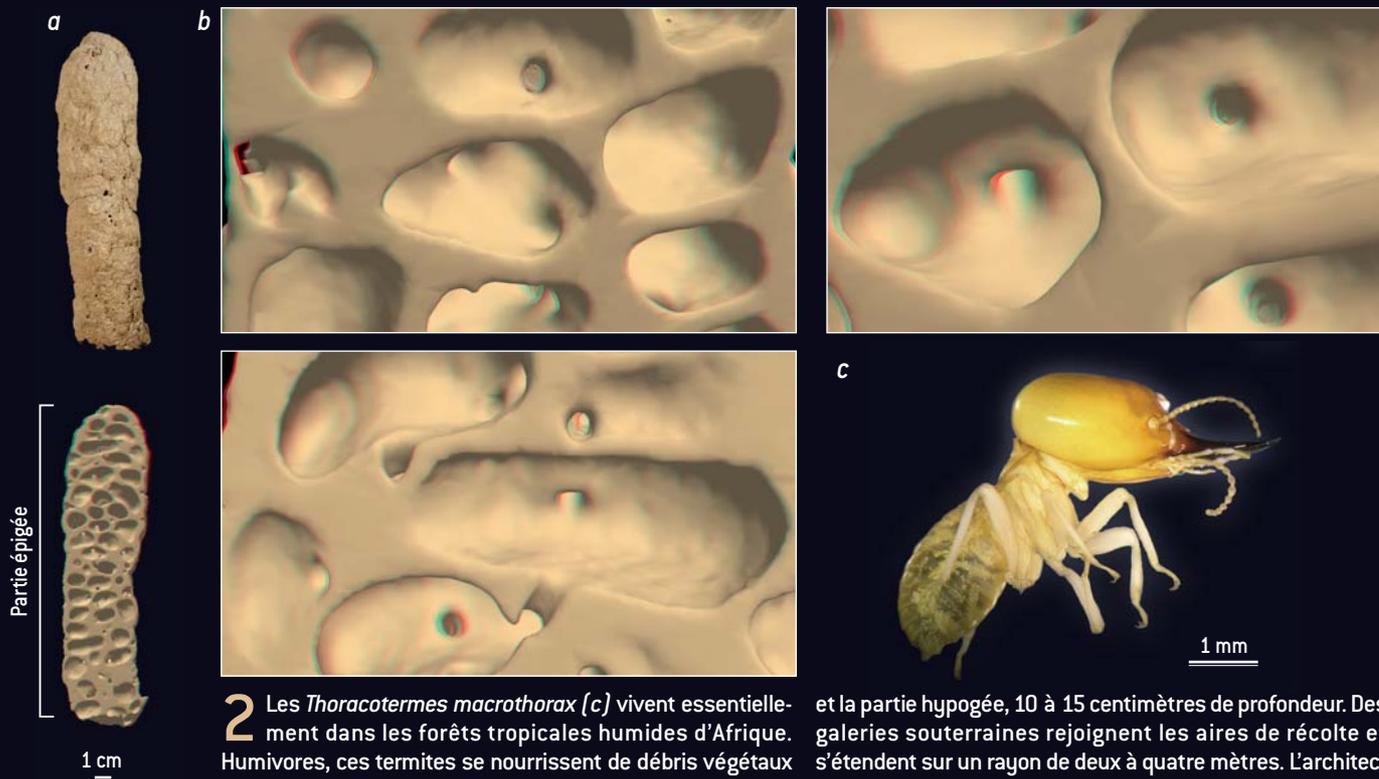


b Une unité (calie) d'un nid réel après son extraction du sol.

Une coupe (ci-dessus) et deux zooms (ci-dessous) de la reconstitution virtuelle de la calie.

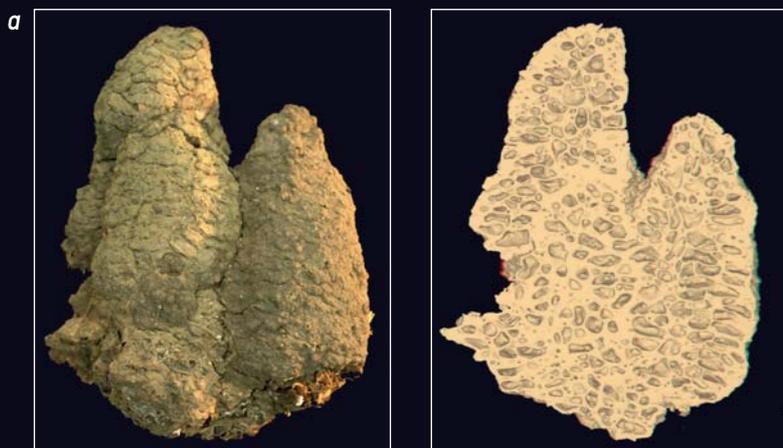


Sauf mention contraire, toutes les figures sont des auteurs



2 Les *Thoracotermes macrothorax* [c] vivent essentiellement dans les forêts tropicales humides d'Afrique. Humivores, ces termites se nourrissent de débris végétaux plus ou moins décomposés et utilisent leurs déjections riches en matière organique comme ciment pour construire leur nid [a]. La partie épigée du nid peut atteindre 80 centimètres

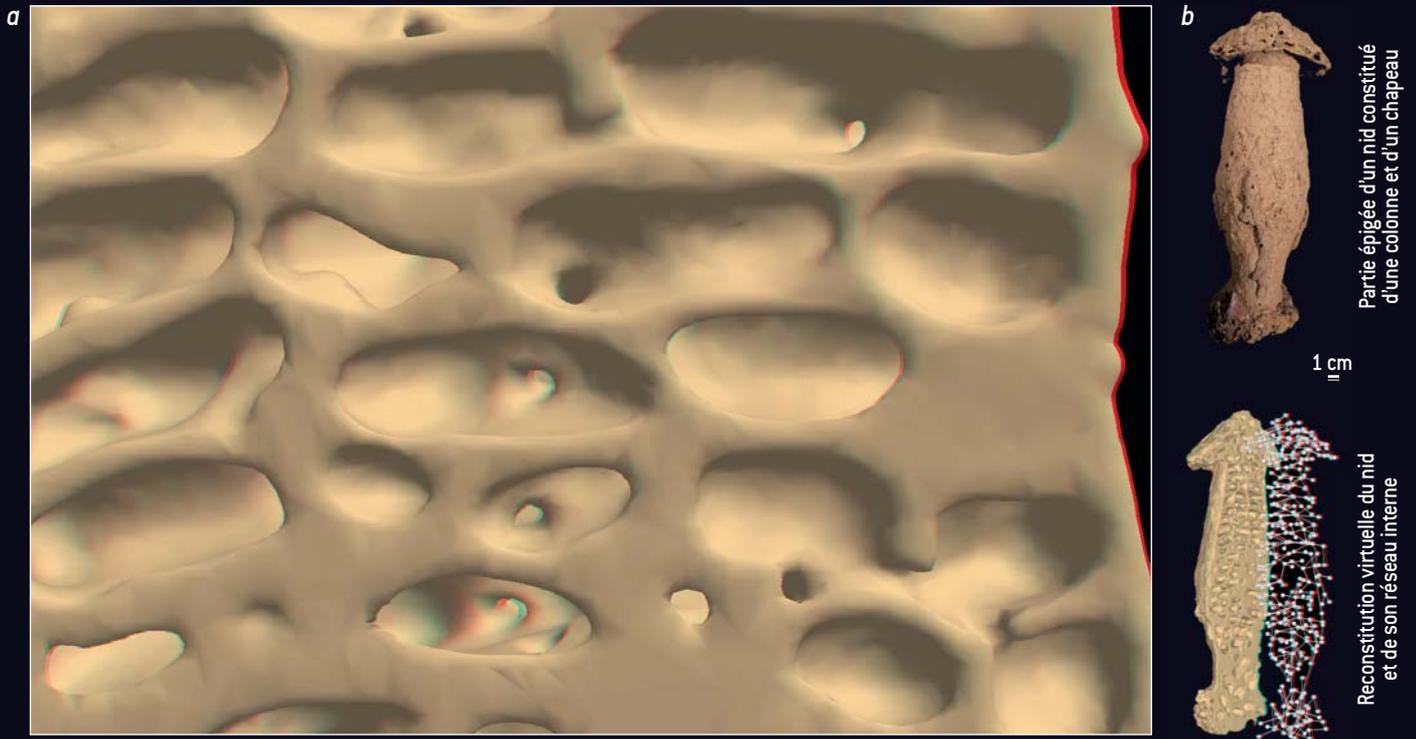
et la partie hypogée, 10 à 15 centimètres de profondeur. Des galeries souterraines rejoignent les aires de récolte et s'étendent sur un rayon de deux à quatre mètres. L'architecture du nid est alvéolaire avec des chambres généralement plus larges que hautes, connectées par des tunnels de petit diamètre ne permettant le passage que d'un seul termite [b].



Un nid à trois gourdes imbriquées (à gauche) et sa reconstitution (à droite et ci-dessous).



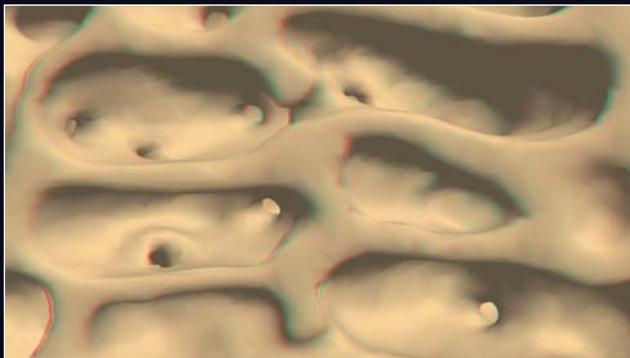
3 Rencontrés dans les savanes arbustives d'Afrique, les termites *Proculitermes sjostedti* construisent des nids épigés riches en excréments [a]. Ces termites jouent un rôle important dans l'ameublissement des sols, la dégradation de la matière organique et le mélange des strates en transportant de la terre des couches profondes vers la surface. Construits entre les contreforts de grands arbres, les nids sont souvent plaqués contre l'écorce. Ils sont constitués de constructions en forme de gourde imbriquées qui communiquent à leurs extrémités. L'intérieur des gourdes est constitué d'alvéoles de forme et de taille variables reliées par de petites galeries [b]. Ces ensembles de gourdes sont connectés au réseau de galeries souterraines par une ou plusieurs grandes galeries.



Partie épigée d'un nid constitué d'une colonne et d'un chapeau

1 cm

Reconstitution virtuelle du nid et de son réseau interne



Un termite soldat *Cubitermes* défend un tunnel de communication pendant que des ouvriers évacuent les larves après une forte perturbation.

Guy Usens

4 Les termites du genre *Cubitermes* (*c*) sont africains. Parmi eux, 60 espèces vivent dans une zone qui s'étend de la forêt équatoriale à la savane du Sud Soudan. Humivores, ils jouent un rôle important dans certains écosystèmes. L'architecture des nids est constituée d'un nombre variable de colonnes juxtaposées qui, selon les espèces, peuvent être recouvertes d'un chapeau (*b*). À l'intérieur du nid, des chambres de forme ovoïde sont reliées par des tunnels dont le diamètre n'autorise le passage que d'un seul termite (*c*):

un unique soldat suffit ainsi pour contrôler l'accès à certaines zones du nid. L'ensemble constitue un réseau de nœuds (chambres) et d'arêtes (tunnels). La croissance du nid est discontinue : l'activité de construction s'effectue au cours de phases assez courtes (quelques jours) entrecoupées de phases de repos plus longues (parfois plusieurs mois). Une colonie de *Cubitermes* peut vivre une dizaine d'années sur un même site. Dans la savane, certains sites comptent jusqu'à 2 000 nids par hectare.

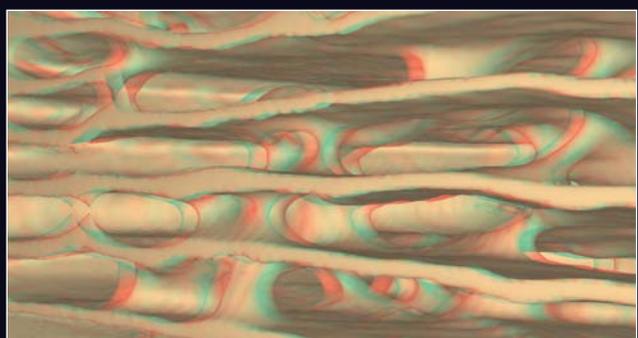
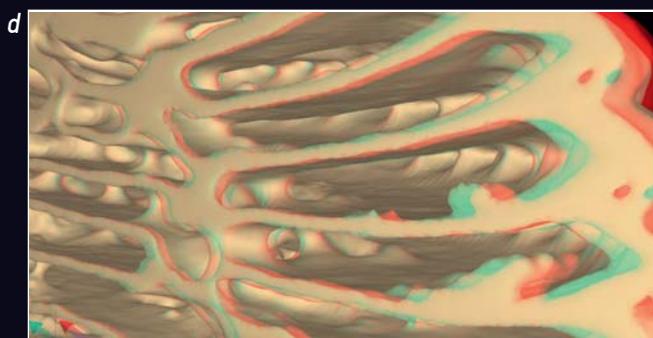
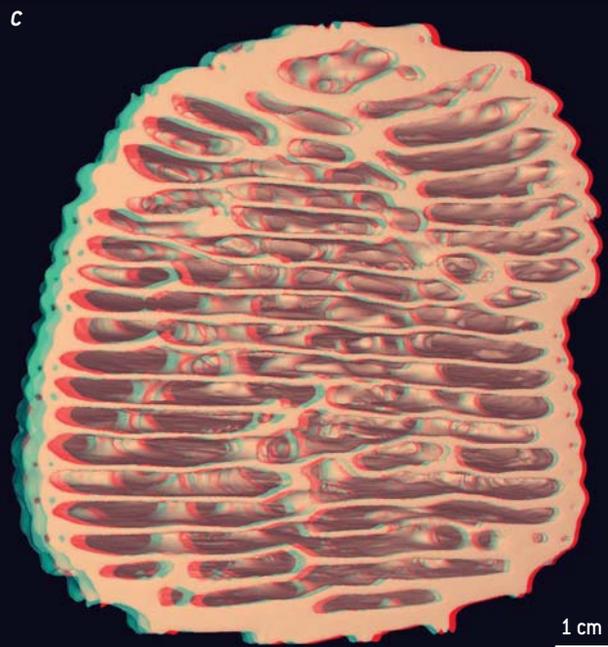


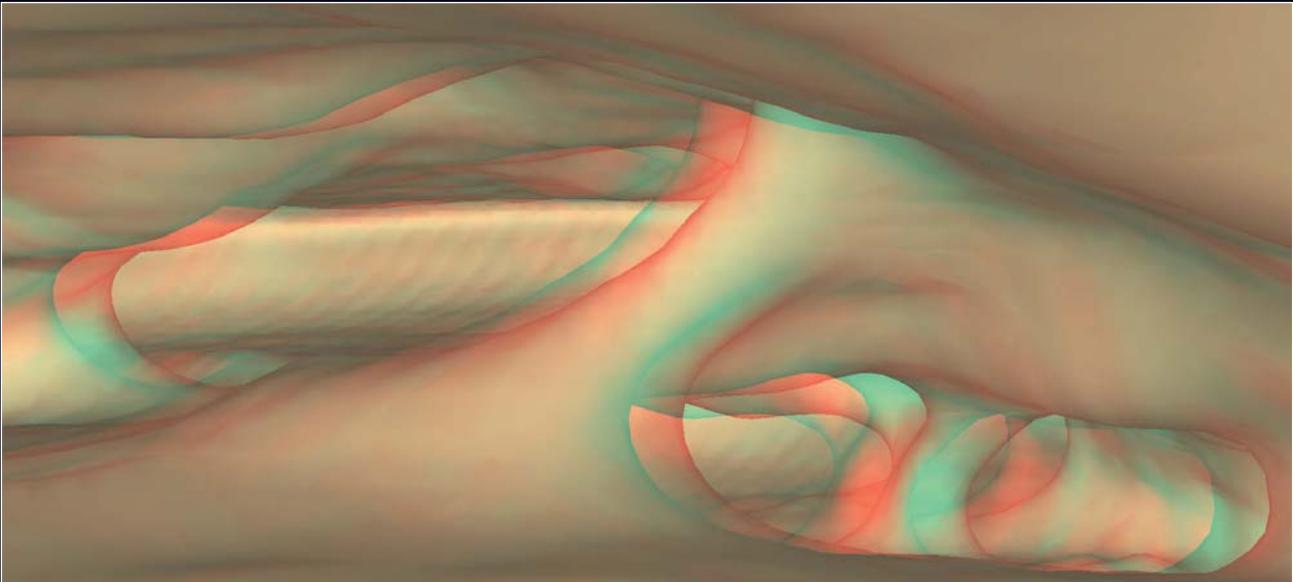
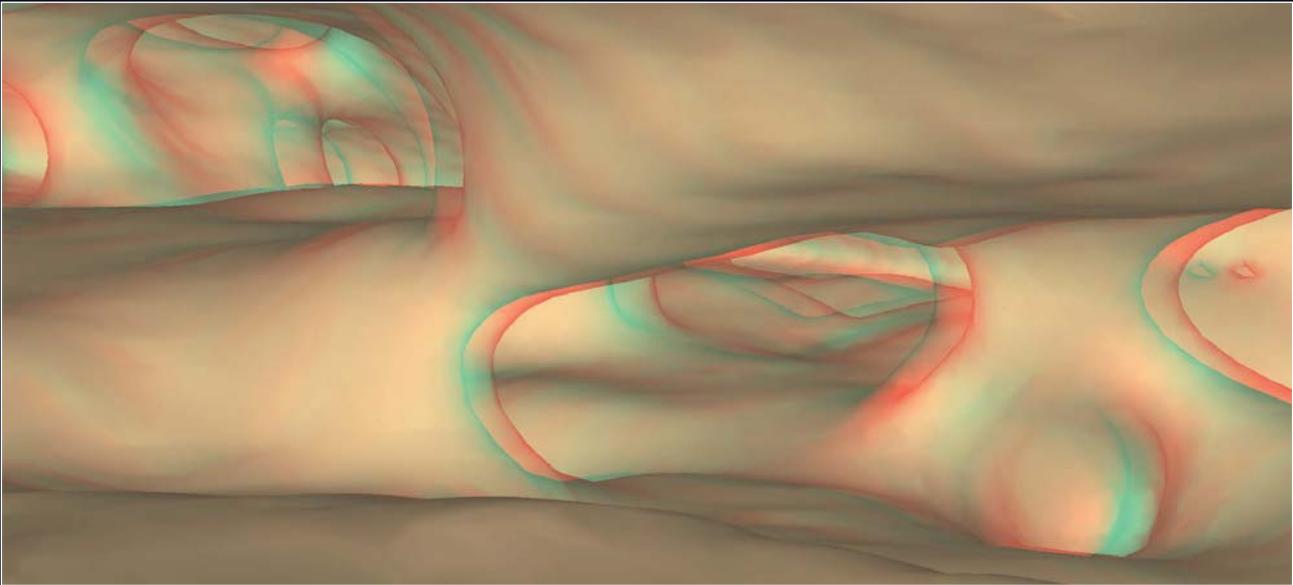
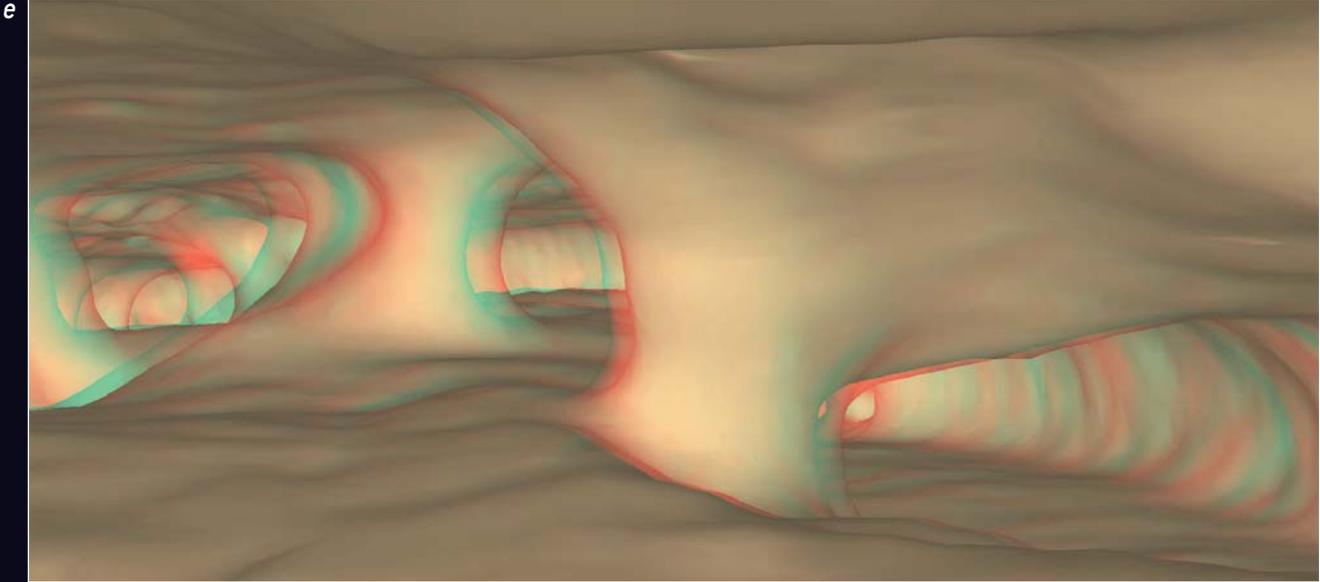
Trois termites du genre *Apicotermes*. L'un est un termite soldat, chargé de la défense du nid (*en haut*) ; les deux autres sont des termites ouvriers (*en bas*).

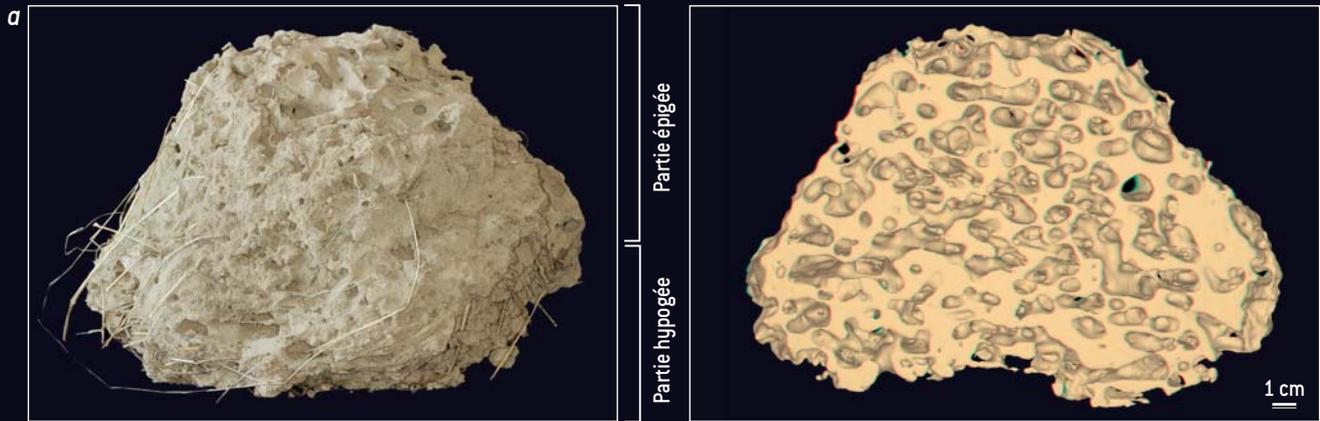


Une calie d'un nid après son extraction du sol (*b*) et sa reconstitution virtuelle (*c*) accompagnée de quelques zooms sur les rampes hélicoïdales (*d* et *e*).

5 Les termites du genre *Apicotermes* (*a*) vivent principalement dans les forêts de l'Afrique centrale et de l'Afrique de l'Ouest et parfois dans les savanes avoisinantes. Leur vie est exclusivement souterraine, ce qui rend leur étude particulièrement difficile. Construit à partir d'excréments, le nid, entièrement hypogé, est constitué de plusieurs unités (calies) de forme ovoïde, semblables à celle représentée ici (*b*). Distantes de moins d'un mètre, ces calies sont reliées par des tunnels. Chaque calie n'est pas directement en contact avec le sol. Elle est entourée d'un espace, nommé paraécie, qui, selon l'espèce, reste vide ou est rempli de sable. L'intérieur de la calie est constitué d'une série de chambres séparées par de minces cloisons horizontales et régulièrement espacées (*c*). Le déplacement entre les chambres se fait par l'intermédiaire de rampes inclinées ou hélicoïdales qui relient plusieurs étages (*d* et *e*), sans toutefois traverser le nid dans son ensemble. Chaque étage compte plusieurs rampes qui constituent autant de passages entre deux chambres adjacentes. Des canaux circulaires parcourent en outre la paroi externe de la calie au niveau des différents étages ; ils présentent des ouvertures étroites vers l'intérieur et l'extérieur du nid. Chez certaines espèces, ces ouvertures sont trop petites pour permettre le passage des ouvriers termites. Cette circuiterie complexe interviendrait dans la régulation des niveaux d'oxygène et de dioxyde de carbone.

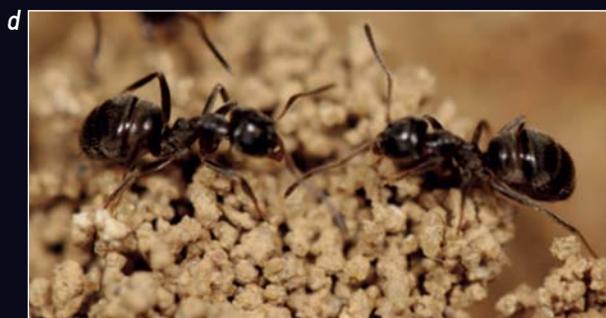
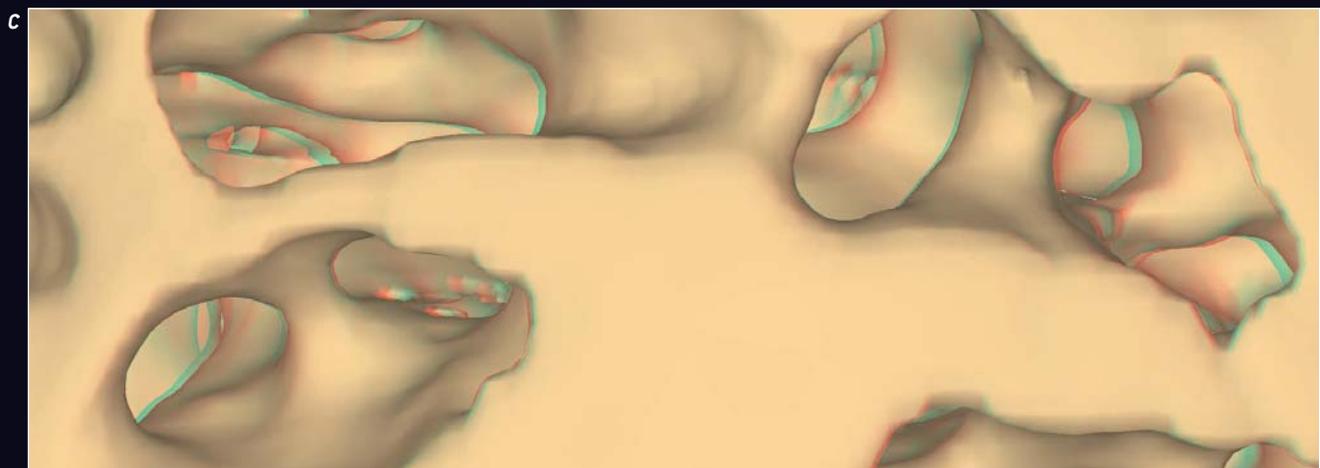
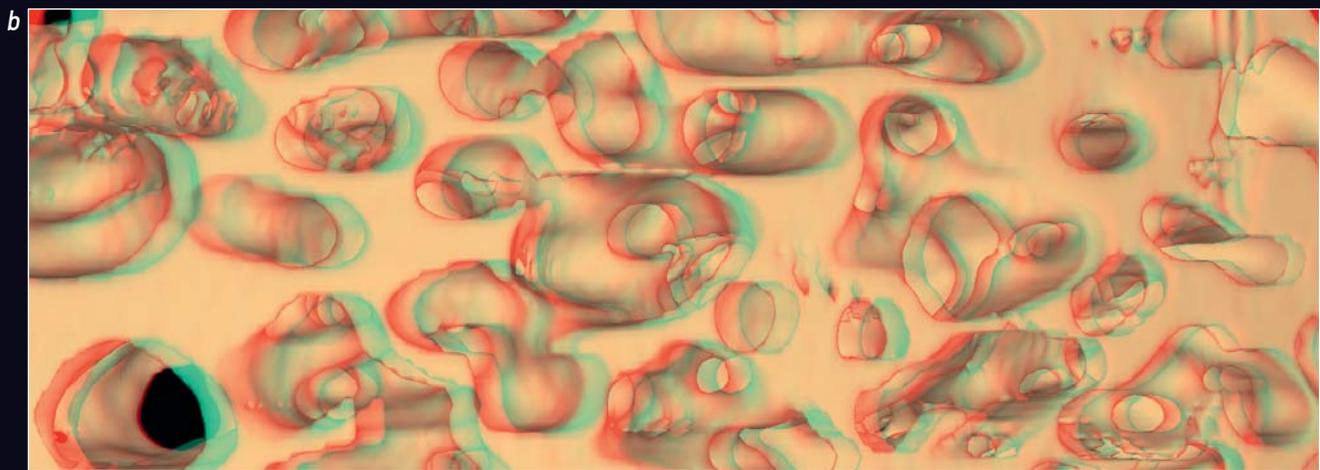




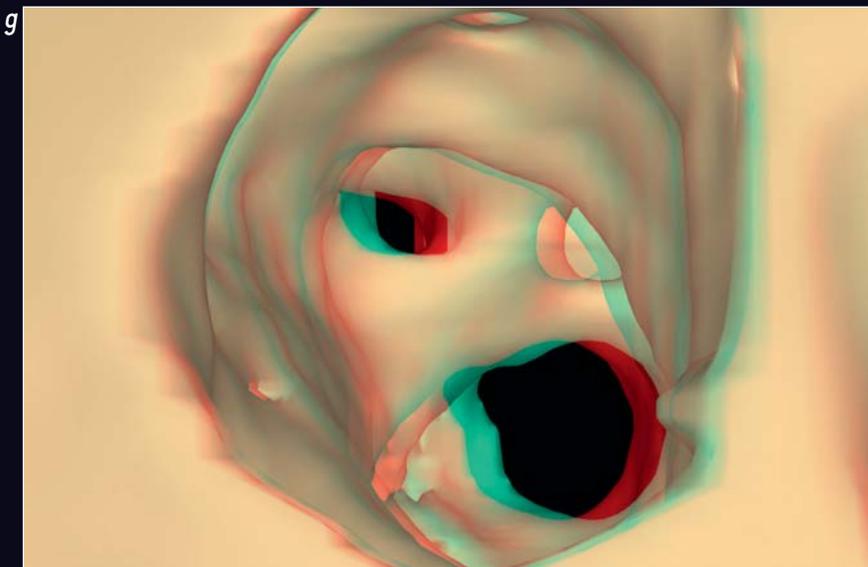
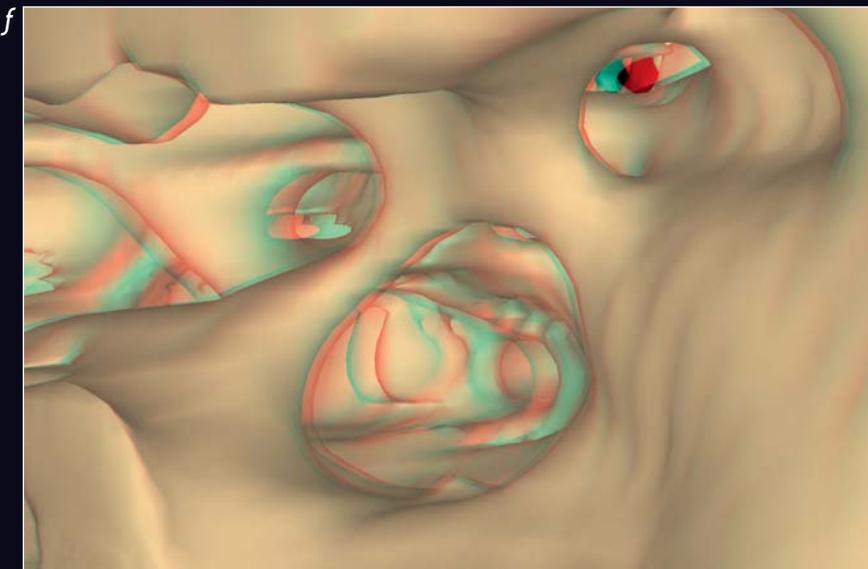
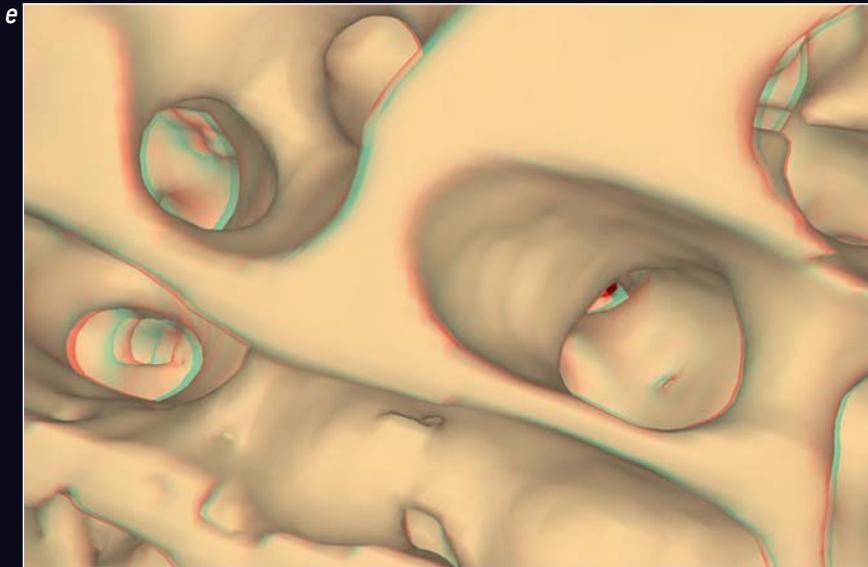


Le nid après son extraction du sol.

Reconstitution du nid. Ci-dessous et ci-contre, divers zooms de la partie épigée sont présentés.



6 *Lasius niger* (*d*) est une espèce de fourmi commune en Europe et présente en Asie et en Amérique du Nord. Les colonies n'ont qu'une seule reine et sont constituées de 5 000 à 15 000 ouvrières de trois à cinq millimètres. Omnivore, l'espèce se nourrit d'insectes, de graines, de nectar et exploite des colonies de pucerons en récoltant leur miellat. Son nid (*a*) comporte une partie hypogée, composée de chambres creusées dans le sol et reliées par un réseau de galeries, et un dôme épigée en terre constitué de nombreuses chambres en forme de bulles imbriquées (*b* et *c*). De taille variable, ces chambres s'organisent selon des plans parallèles et superposés (*e*). Leurs cloisons sont parfois réduites à de simples arches créant des zones de jonction complexes (*f* et *g*).



■ LES AUTEURS

Guy THERAULAZ dirige l'équipe Réseaux d'interactions et dynamiques complexes dans les sociétés animales au Centre de recherches sur la cognition animale, à Toulouse.

Fabien PICAROUGNE, maître de conférences à l'École polytechnique de l'Université de Nantes, travaille au Laboratoire d'informatique de Nantes-Atlantique.

Christian JOST, maître de conférences à l'Université Paul Sabatier, à Toulouse, travaille au Centre de recherches sur la cognition animale.

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Hansell, *Animal Architecture*, Oxford University Press, 2005.

J. S. Turner, *The Extended Organism : The Physiology of Animal-Built Structures*, Harvard University Press, 2002.

P.-P. Grassé, *Termitologia*, tome 2, Masson, 1984.

Ces nids et des vidéos de navigation virtuelle sont visibles sur le site du projet : www.mesomorph.org

Ce portfolio a été réalisé avec le concours de Stéphane Douady, Jacques Gautrais, Anaïs Khuong, Pascale Kuntz, Andrea Perna, Ricard Solé et Sergi Valverde. L'analyse de la structure tridimensionnelle des nids construits par les termites et les fourmis ainsi que l'étude des processus impliqués dans leur morphogenèse ont été réalisées dans le cadre du projet MESOMORPH, soutenu par l'Agence nationale de la recherche [ANR]. Ce projet, dirigé par Guy Theraulaz, a impliqué quatre laboratoires : le Centre de recherches sur la cognition animale à Toulouse, le Laboratoire d'informatique de Nantes-Atlantique, le Laboratoire matière et systèmes complexes à l'Université Paris 7 et le Laboratoire des systèmes complexes de Barcelone.

Ce cahier a été réalisé grâce au soutien de l'ANR, de la délégation Midi-Pyrénées du CNRS, de l'Université Toulouse III-Paul Sabatier, du Laboratoire d'informatique de Nantes-Atlantique, de la Fédération de recherche AtlanSTIC, de l'École polytechnique et de la cellule iRéalité de l'Université de Nantes, et de la Mairie de Toulouse, dans le cadre de la Novela, festival des savoirs partagés, qui se tiendra du 5 au 21 octobre à Toulouse.