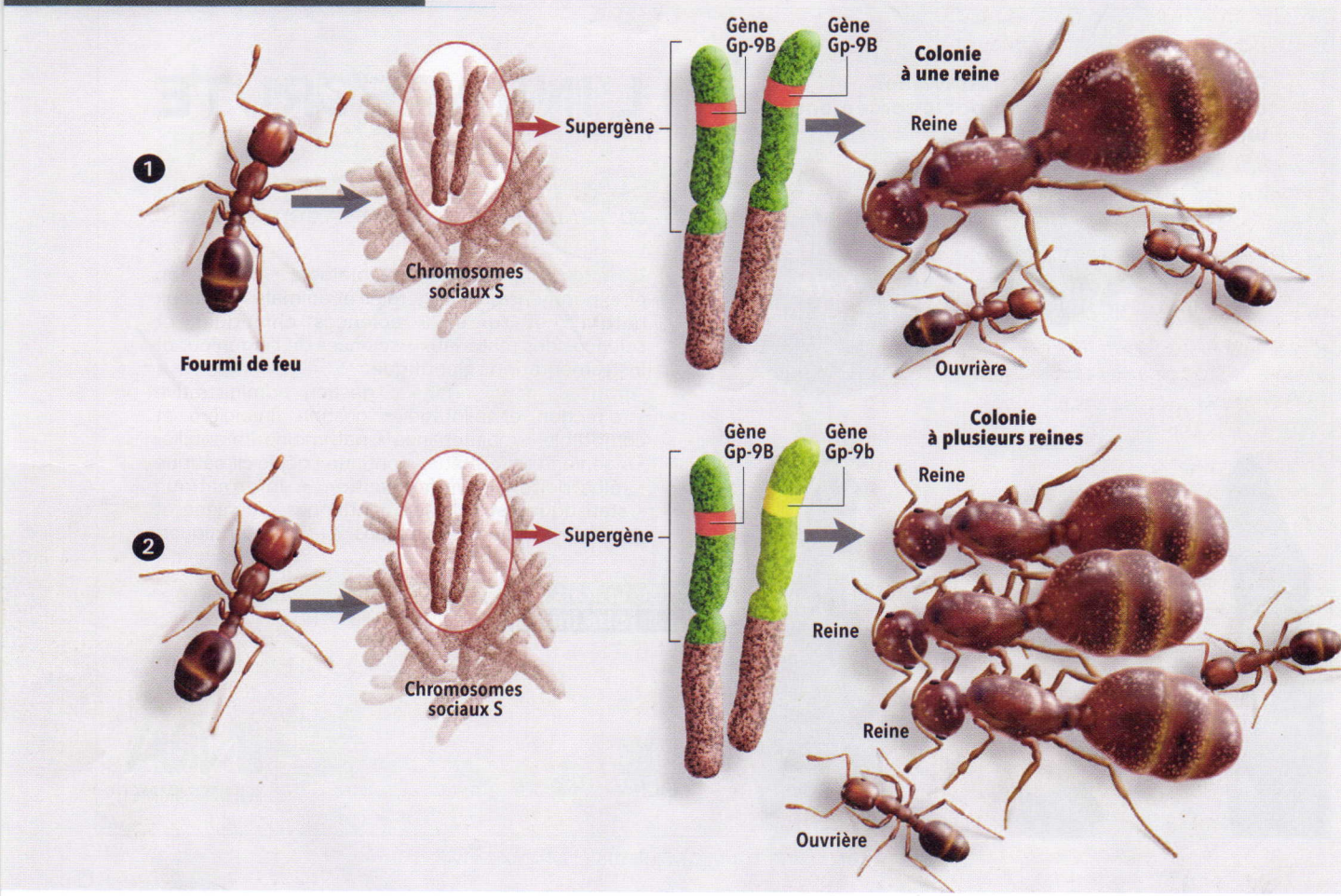

L'organisation sociale codée par les gènes

Pour la première fois dans le règne animal, des chercheurs ont montré que l'organisation sociale de fourmis était gouvernée par un ensemble de gènes indissociables.

Par **Florence Heimburger,** journaliste.

Elles ne forment qu'une seule et même espèce. Et pourtant, les fourmis de feu *Solenopsis invicta* peuvent adopter deux types d'organisation sociale. Certaines colonies, dites monogynes, abritent une seule reine. D'autres, dites polygynes, en comptent au contraire... une cinquantaine, voire davantage.

Comment expliquer l'adhésion des fourmis de feu à un ordre social plutôt qu'à l'autre ? Une équipe menée par Laurent Keller, éthologue à l'université de Lausanne en Suisse, vient de le montrer : la structure sociale des fourmis de feu est déterminée par un ensemble d'au moins 616 gènes indissociables, représentant 55 % d'un chromosome [1]. Ce « supergène » serait apparu il y a 390 000 ans environ et expliquerait mieux comment les deux types d'organisation ont pu se maintenir dans la même espèce au fil des millénaires.

Transporteur d'odeurs. Dès 1998, le spécialiste lausannois des fourmis avait montré, en collaboration avec l'entomologiste et généticien Kenneth Ross, de l'université de Géorgie, à Athens, aux États-Unis, que selon qu'elles appartiennent à l'une ou l'autre des colonies les fourmis de feu possèdent des versions distinctes d'un gène appelé *Gp-9* [2]. Toutes les fourmis monogynes

Les fourmis de feu 1 et 2 portent 16 paires de chromosomes, parmi lesquelles une paire de chromosomes « sociaux » S. Chaque chromosome S porte un « supergène » (en vert), un ensemble d'au moins 616 gènes qui sont transmis d'un bloc, sans aucun brassage entre les gènes. Parmi ces gènes, on trouve le gène *Gp-9* participant à l'odorat des fourmis. La fourmi 1 porte deux exemplaires de la version *B* de ce gène : elle adopte une organisation sociale à une seule reine, dite monogyne. La fourmi 2 porte une version *B* et une version *b* du gène *Gp-9*, elle adopte une organisation sociale à plusieurs reines, dite polygyne. Ces deux types de colonies ont le même habitat : une fourmilière telle que celle-ci (à droite).

© INFOGRAPHIE SYLVIE DESSERT
- VISUAL UNLIMITED/NATURE PL/EBPHOTO

ont deux copies d'une forme normale de ce gène, appelée *B*. Parmi les polygynes, au contraire, beaucoup ont une copie *B* et une autre mutée, notée *b*.

Or ce gène *Gp-9* code un transporteur d'odeurs que l'on trouve dans les antennes et dans l'hémolymphe (l'équivalent du sang) de la fourmi [3]. Cela pourrait expliquer comment les insectes sont capables, sûrement *via* l'odeur de la cuticule des reines, de différencier les reines selon leur type monogyne ou polygyne, et, si nécessaire, d'éradiquer les intruses.

L'essentiel

> UNE ÉQUIPE a identifié un ensemble de gènes indissociables qui contrôlerait l'organisation sociale des fourmis de feu.

> CE « SUPERGÈNE », qui contiendrait plus de 616 gènes, contrôlerait leur fertilité, leur tendance à accumuler des réserves, l'odeur, la taille...

> COMME LES CHROMOSOMES X et Y chez l'homme, il n'échange pas ses gènes, ce qui garantit leur transmission en bloc à la descendance.

Variations physiologiques. Toutefois, les différences entre les fourmis ne se restreignent pas à l'admission d'une ou de plusieurs reines au sein de leur colonie. Les minuscules insectes se distinguent aussi par des variations de comportements et de physiologie : dans les colonies polygynes, les reines sont plus petites, accumulent moins de graisse pendant la maturation sexuelle et ont une fertilité plus faible que les reines monogynes. Elles fondent, en outre, de nouvelles colonies avec l'aide d'ouvrières plutôt que de manière indépendante comme le font les reines monogynes.

« Nous avions du mal à expliquer que les variations d'un seul gène puissent contrôler toutes ces différences, raconte John Wang, du département d'écologie et d'évolution de l'université de Lausanne, en Suisse, et premier auteur de la publication. *Nous avons voulu tester si d'autres séquences d'ADN étaient impliquées, et voir en particulier s'il n'existait pas un groupe de gènes qui pouvait être transmis intact à travers les générations, sans recombinaison génétique. »* De fait, la recombinaison génétique conduit, par des échanges de gènes au sein d'une même paire de chromosome, à l'apparition d'individus génétiquement différents de leurs parents.

Pour en savoir plus, Laurent Keller et ses collègues ont passé au crible des parties du génome de la descendance de centaines de fourmis monogynes et polygynes, et les ont comparées. *« C'est grâce à une technique de séquençage mise au point en 2008 que ces travaux ont été possibles,* explique Yannick Wurm, enseignant-chercheur à l'université Queen Mary de Londres, en Grande-Bretagne, qui a participé aux travaux et au décryptage, en 2011, du génome de *Solenopsis invicta* [4]. *Cette technique permet en effet de réduire l'effort de séquençage d'un génome en ne séquençant que 100 nucléotides* tous les 100 000 nucléotides. Nous obtenons ainsi l'information génétique d'un très grand nombre d'individus. Au total, nous avons analysé 100 milliards* >>>

***UN NUCLÉOTIDE** est un constituant élémentaire de l'ADN, contenant une des quatre bases azotées connues sous les initiales A, T, C ou G.

L'organisation sociale codée par les gènes

© LOAN NGUYEN

L'éthologue Laurent Keller, ici devant des bacs de fourmis dans son laboratoire de l'université de Lausanne, a dirigé l'étude sur les fourmis de feu.

>>> de nucléotides, soit l'équivalent de 276 000 romans de poche ! » Un travail colossal rendu possible par les progrès récents en analyse des données, laquelle a été réalisée à l'aide de superordinateurs mis à disposition par l'Institut suisse de bio-informatique.

Recombinaison génétique. Ces travaux ont révélé que le gène *Gp-9* faisait effectivement parti d'un ensemble de gènes plus important : il est localisé sur un chromosome très particulier, que les chercheurs ont baptisé « chromosome social S ». 55 % de ce dernier, soit au moins 616 gènes, sont transmis intacts de la reine à sa descendance. Une région dans laquelle la recombinaison génétique entre le chromosome porteur de la version B et celui porteur de la version b a été totalement supprimée, ce qui a participé au maintien de deux organisations sociales bien distinctes au fil du temps.

De fait, habituellement, de nombreux échanges de matériel génétique s'opèrent entre les chromosomes d'une même paire, au cours de la reproduction sexuée : on parle de recombinaison génétique. Ici, il n'en est rien : les 616 gènes appartenant à ce chromosome « social » agissent comme un seul et même « supergène ». Indissociables les uns des autres, ils sont toujours transmis en un bloc à la descendance.

Comment est-ce possible d'un point de vue génétique ? La recombinaison entre deux chromosomes nécessite une reconnaissance des séquences génétiques quasi identiques dont ils sont porteurs, puis un appariement physique des deux chromosomes, et enfin un échange d'un certain nombre de fragments génétiques entre eux. Dans le cas du chromosome social des fourmis de feu, une large inversion, de 9 millions de paires de bases d'ADN sur le chromosome Sb par rapport au SB bloque l'appariement entre les deux chromosomes, empêchant ainsi la recombinaison. Ce phénomène est assez semblable à ce qui s'est produit pour les chromosomes sexuels X et Y humains qui ne peuvent s'apparier : au fil de l'évolution, une inversion ou un autre réarrangement s'est produit sur le chromosome Y. La séquence du chromosome ayant subi l'inversion tend alors à accumuler des mutations par rapport au chromosome originel et à se dégrader. Chez les fourmis de feu, ces mutations sont telles que les individus porteurs de deux chromosomes inversés (Sb/Sb) ne sont pas viables.

Ces travaux ont été accueillis avec enthousiasme par les spécialistes. « *Il s'agit d'une découverte majeure, car ces travaux montrent pour la première fois dans le règne animal qu'un comportement social et une structure sociale peuvent être gouvernés par un ensemble de gènes indissociables* », salue Andrew Bourke, professeur de biologie de l'évolution à l'université d'East Anglia, à Norwich, en Grande-Bretagne. « *Cette recherche ouvre désormais la porte à de nombreuses autres voies d'investigation qui permettront de mieux comprendre les détails du système, en particulier les rôles spécifiques de chacun de ces 600 gènes en matière de contrôle des caractéristiques sociales* », souligne quant à lui Kenneth Ross, professeur d'entomologie à l'université d'Athens, aux États-Unis.

John Wang pense, lui, qu'« *il serait intéressant désormais de savoir si d'autres fourmis qui présentent aussi deux types d'organisation sociale à une ou à plusieurs reines, comme la fourmi* Formica selysi, *ont évolué avec des chromosomes sociaux similaires* ». Laurent Keller envisage pour sa part que de tels supergènes sont probablement communs chez d'autres organismes. Les nouvelles techniques de séquençage devraient permettre de tester ces hypothèses. ■

[1] J. Wang *et al.*, *Nature*, doi:10.1038/nature11832, 2013.
[2] L. Keller *et al.*, *Nature, 394*, 573, 1998.
[3] M. Krieger *et al.*, *Science, 295*, 328, 2002.
[4] Y. Wurm *et al.*, *PNAS, 108*, 5679, 2011.

Des similitudes entre les chromosomes sociaux et sexuels

Chez la fourmi de feu, la recombinaison entre les deux versions du chromosome S est impossible. De même, chez l'homme, il n'y a pas de recombinaison possible entre les chromosomes sexuels X et Y. Ce qui est le gage du maintien de la masculinisation au fil des générations. Mais ce phénomène présente des inconvénients : un chromosome qui n'échange pas de matériel génétique avec son voisin tend à accumuler des mutations, voire à perdre des fragments d'ADN, pouvant entraîner la synthèse de protéines anormales. C'est pourquoi la majorité des gènes du chromosome Y ne sont pas fonctionnels. « *Ce système a néanmoins l'avantage de permettre aux porteurs du Y de posséder tous les attributs associés à la masculinité*, explique Laurent Keller. *Et aux fourmis d'être bien adaptées à la colonie dans laquelle elles vivent.* »