

Les interactions durables des génomes

CLAUDE COMBES

Les associations de certains parasites avec leur hôte forment des systèmes dont le tout est plus que la somme des parties : les interactions de longue durée des génomes font apparaître des propriétés nouvelles.

Une manière de représenter l'évolution du monde vivant consiste à dessiner un arbre gigantesque dont les branches se sont multipliées et ont divergé sans cesse depuis quelque quatre milliards d'années : plus les branches sont éloignées, plus la divergence génétique entre les espèces est grande et, par conséquent, plus leur plus proche «ancêtre commun» est lointain dans le temps. Par exemple, l'homme et le chimpanzé, dont l'ancêtre commun aurait vécu il y a sept ou huit millions d'années, sont voisins sur l'arbre, tandis que le chien et le ver de terre, dont le plus proche ancêtre commun vivait il y a quelque 600 ou 700 millions d'années, se trouvent sur des régions de l'arbre très écartées.

Aussitôt que l'on prend en compte les liens qui se nouent entre les êtres vivants dans les écosystèmes actuels, la représentation d'un arbre aux branches qui divergent sans cesse ne convient plus : des espèces dont la parenté évolutive est extrêmement lointaine peuvent se retrouver rapprochées dans l'espace par les liens qu'elles contractent. Parmi ces rapprochements, ceux qui donnent lieu à des interactions durables entre individus d'espèces différentes sont riches en conséquences fonctionnelles et évolutives.

Considérons le «lien» qui unit dans un écosystème une «espèce prédatrice» et une «espèce proie», par exemple le renard et le campagnol des champs. Lorsqu'un individu-renard poursuit et capture un individu-campagnol, l'interaction entre eux dure peu de temps : celui de la poursuite et de la capture elle-même (souvent quelques secondes seulement) plus celui de la digestion et de l'assimilation (au plus quelques heures). De surcroît, pareille interaction implique seulement un flux d'énergie : toute l'information génétique que représentait le campagnol disparaît lorsque son organisme est digéré. Le support matériel de cette information, l'ADN, ne survit pas davantage que les tissus de la proie et se trouve emporté dans le tourbillon des sucs digestifs du prédateur. Pareille interaction est qualifiée d'instantanée. À l'échelle des populations, la prédation par les renards peut contribuer à la sélection naturelle de certains génotypes (ou ensemble de gènes) chez les campagnols mais, à l'échelle individuelle, le génome du renard et celui du campagnol

n'interagissent pas. Au contraire, les interactions qui peuvent s'établir entre un parasite ou un mutualiste et son hôte sont d'une tout autre nature. De nombreux exemples illustrent ces interactions.

Le gîte et le couvert

Certains insectes provoquent chez les végétaux des galles, des excroissances aux couleurs souvent voyantes. Parmi ces insectes, de petites guêpes (des Hyménoptères du groupe des cynipides) pondent leurs œufs sur les feuilles des chênes ou des rosiers sauvages : peu de temps après le dépôt de l'œuf et l'éclosion de la larve d'insecte, une galle apparaît. Cette dernière est due à une multiplication accélérée des cellules végétales. La galle dissimule la larve d'insecte sous une épaisse paroi, lui procurant une certaine protection contre ses ennemis potentiels. Ces ennemis sont, par exemple, des insectes parasitoïdes qui pondent leurs œufs dans d'autres insectes. La galle offre aussi à la larve qui s'y terre une nourriture abondante et facile à prélever : la larve consomme par l'intérieur les tissus qui constituent la galle. La larve de l'insecte exerce un contrôle sur l'édification de la galle : celle-ci grossit graduellement, selon les exigences de son «locataire».

Citons un autre exemple d'interaction. Le nématode *Trichinella spiralis*, ou trichine, est un ver qui contamine les mammifères lorsqu'ils consomment les muscles d'un autre mammifère précédemment infesté ; ces muscles contiennent de minuscules larves du nématode qui évoluent en adultes, mâles et femelles, dans le tube digestif du mammifère contaminé. Les femelles donnent naissance à de nouvelles larves, qui traversent la barrière intestinale et vont coloniser les muscles du nouvel hôte. La larve de trichine est constituée de nombreuses cellules, mais réussit pourtant à pénétrer dans une cellule musculaire de son hôte. En quelques semaines, la larve de trichine réorganise son «habitat», c'est-à-dire la cellule musculaire de l'hôte. Par des signaux moléculaires codés par son génome, la larve de trichine «dissout» les filaments d'actine et de myosine de la cellule-hôte (qui en constituent l'«ossature») et

déclenche la croissance d'un ensemble de capillaires qui vont apporter à la cellule infectée et, par conséquent, au parasite, les éléments nécessaires à sa croissance.

On déduit de ce comportement que les gènes de la trichine envoient des instructions à des cellules et à des tissus qui, normalement, sont contrôlés par un autre génome, celui du mammifère, tout comme l'insecte envoyait des signaux à la plante pour qu'une galle adaptée à ses besoins se développe. En activant sélectivement l'expression de certains gènes de l'hôte, les parasites obtiennent les transformations qui satisfont leurs besoins métaboliques. Les interactions de l'insecte et de la plante ou de la trichine et du mammifère diffèrent de celles qui caractérisaient la capture d'un campagnol par un renard. Au simple échange d'énergie s'ajoute une cohabitation de longue durée. Pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, des individus ayant deux génomes différents survivent côte à côte : l'interaction durable des génomes devient possible parce que l'un des partenaires (la plante dans le premier exemple, le mammifère dans le second) fournit à l'autre (l'insecte et la trichine respectivement) l'habitat et le couvert.

Les deux associations décrites illustrent le parasitisme au sens strict, où l'association ne bénéficie qu'à un seul des partenaires. Au contraire, dans le mutualisme (ou symbiose), l'association bénéficie aux deux espèces. Il résulte de cette dichotomie que le dialogue entre génomes prend l'aspect d'une dispute parfois violente entre un parasite et son hôte, alors qu'il revêt plutôt celui d'une conversation de salon (qui peut dissimuler quelques trahisures) entre deux mutualistes. Toutefois, même lorsqu'une harmonie de surface paraît régner, la sélection naturelle privilégie dans les génomes les instructions qui optimisent leur probabilité de survie, ce qui signifie que l'égoïsme est toujours sous-jacent aux interactions durables. Ces dernières sont responsables de deux mécanismes dont les conséquences sur le fonctionnement de la biosphère et sur son évolution sont notables : elles favorisent les échanges et les transferts d'informations génétiques.

Les échanges d'informations génétiques

Les génomes des chênes et des guêpes qui se réfugient dans les galls du chêne sont très différents : peu de séquences se ressemblent et l'organisation même du génome varie. Pareille divergence signifie que l'insecte et la plante qui entretiennent une interaction durable sont, en termes d'évolution, des cousins très éloignés, séparés l'un de l'autre depuis des centaines de millions d'années.

Cependant, la multiplication intense des cellules de la plante n'aurait pas eu lieu si l'insecte n'avait pas été présent : c'est le génome de l'insecte qui modifie les caractères (le phénotype) de la plante. Ainsi, un génome peut agir sur des cellules, des tissus, des organes construits sur un autre plan que le sien. En effet, si la divergence génétique est grande entre la plante et l'insecte, le langage de leurs informations génétiques est le même : le code génétique, qui permet de construire les protéines, est quasi universel, et toutes les protéines sont construites avec la même série d'acides aminés (les mêmes briques élémentaires). Le langage des plans de vie est fondamentalement le même : pour tous les organismes, il est écrit avec le même vocabulaire et avec la même syntaxe. Des cousins aussi éloignés que l'insecte et la plante, ou le nématode et le mammifère, utilisent le même langage :

ils peuvent se « parler », et c'est la promiscuité durable de leurs génomes qui autorise le dialogue.

Aujourd'hui, on ignore encore les détails des cascades d'interactions qui conduisent de l'information génétique au caractère exprimé, au sein d'un même organisme. Dès lors, on ne doit pas s'étonner que les connaissances soient encore plus ténues lorsque la communication s'établit entre deux organismes distincts ! On sait pourtant que les instructions codées dans le génome de l'un des partenaires provoquent l'apparition de caractères nouveaux dans le phénotype de l'autre partenaire. Le parasite et l'hôte constituent un « système » doté de nouvelles propriétés. Richard Dawkins, de l'Université d'Oxford, a qualifié ce processus



1. CETTE GALLE sur une feuille de chêne est un exemple des interactions durables qui s'établissent entre des génomes très éloignés : celui du chêne et celui des guêpes qui pondent leurs œufs sur les feuilles de chêne. La larve de l'insecte stimule la prolifération des tissus végétaux sous la forme d'une galle : elle s'y dissimule et dévore cette excroissance végétale de l'intérieur.