

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 galles 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.

de «phénotype étendu». Quand les individus porteurs de mutations qui étaient apparues par hasard et qui modifiaient le phénotype du partenaire tout en leur procurant un avantage adaptatif se sont reproduits davantage que les autres, les gènes mutés se sont multipliés dans les populations concernées : l'extension du phénotype résulte de la sélection naturelle.

Souvent, comme dans le cas des galles et des larves de trichine, l'extension du phénotype profite au parasite. Dans d'autres cas, c'est le génome de l'hôte qui module des caractères du parasite ou du mutualiste. Il existe aussi des associations où l'on a des difficultés à savoir qui influence qui... C'est le cas lorsque deux associés présentent une synchronisation rigoureuse de leurs cycles de reproduction. Tout ce qui précède relève d'échanges d'informations : les phénotypes codés par les génomes «d'origine» s'ouvrent aux phénotypes étendus, parce que les messages émis par les génomes franchissent la frontière physique qui sépare les deux partenaires.

Au cours de l'évolution, la communication entre des cousins éloignés est allée parfois plus loin... Lorsque des organismes ont été associés, génération après génération, des séquences d'ADN de l'un des partenaires ont parfois émigré dans le génome de l'autre. Ce n'est plus un échange d'informations, mais un transfert des supports de l'information eux-mêmes. En théorie, les migrations d'ADN peuvent se produire dans n'importe quel type d'association et dans n'importe quel sens, mais le mécanisme est souvent à sens unique, les migrations se produisant en direction de l'hôte. Elles sont probablement d'autant plus fréquentes que parasites ou mutualistes vivent à l'intérieur même des cellules de leurs hôtes, les barrières à franchir par l'ADN étant moins nombreuses que si le parasite est à l'extérieur des cellules.

On sait aujourd'hui que la cellule eucaryote (pourvue d'un noyau) a été le siège de tels échanges. La plupart des «organites» de la cellule eucaryote, notamment les mitochondries, ont une origine exogène. Ce sont d'anciennes bactéries devenues mutualistes obligatoires. Au cours de

l'évolution, une grande partie de leur génome a été perdue, une autre partie a été conservée, une autre encore a été transférée dans le noyau. D'autres organites cellulaires, tels le flagelle ou le centriole, auraient aussi une origine exogène et la totalité de leur ADN serait aujourd'hui perdue ou incorporée au génome nucléaire. Certains transferts d'information pourraient être l'œuvre des «éléments transposables», ces séquences d'ADN mobiles, capables de quitter les génomes, puis de s'y insérer à nouveau.

Les transferts d'information

De nombreux indices issus de la comparaison des structures des génomes suggèrent qu'aux premiers âges de l'évolution, les transferts ont été fréquents et même entre groupes éloignés. Cela expliquerait que les eucaryotes actuels ont des gènes nucléaires évoquant une origine bactérienne (voire archaebactérienne). Transfert et échange d'information génétique n'ont pas les mêmes conséquences évolutives : le transfert de fragments d'ADN se perpétue dans la descendance, tandis que l'échange d'informations doit être reproduit à chaque génération.

Les phénotypes étendus ne sont pas les seules conséquences des interactions durables. Tout aussi étonnants sont les «phénotypes coordonnés» qui apparaissent dans certaines associations de type mutualiste, où hôte et parasite bénéficient de l'association. Les organes lumineux des poissons des profondeurs en sont un exemple. Certaines espèces de poissons sont dotées des gènes qui codent les substances assurant la bioluminescence. Cette «lumière auto-émise» dans les eaux profondes où ne pénètre aucune lumière solaire a une fonction de reconnaissance interspécifique et d'appât des proies. D'autres espèces doivent leur luminescence à une association avec des bactéries des genres *Photobacterium* ou *Vibrio*.

La localisation de l'organe lumineux varie selon les espèces et, chez les poissons de la famille des *Leiognathidae*, les bactéries qui assurent la luminescence se rassemblent dans l'œsophage. Les muscles entourant l'œsophage sont transparents et jouent le rôle d'une «vitre» ; la vessie natatoire, qui assure l'équilibre du poisson dans l'eau, se transforme en réflecteur, et des cellules spécialisées (les chromatophores) font office d'interrupteur. Le poisson dispose ainsi d'un système optique dont les constituants sont codés par son propre génome, mais dont la source lumineuse est codée par le génome des bactéries. Bien que physiquement distinct, le génome de la bactérie se comporte comme s'il était inséré dans le génome du poisson-hôte, tandis que ce dernier se comporte comme si le génome bactérien lui appartenait. Dans une telle association qui profite aux deux protagonistes, les génomes sont devenus indissociables.

Lorsque les parasites parviennent à modifier les phénotypes de leurs hôtes dans un sens qui leur est favorable, ces «manipulations» leur procurent divers avantages, autorisant notamment l'acquisition de ressources nouvelles, comme c'est le cas dans la relation insecte-plante et dans la relation trichine-mammifère. Dans d'autres cas, la manipulation consiste en un contournement des défenses immunitaires : le parasite sécrète des molécules qui inhibent le système immunitaire de l'hôte et, par conséquent, ses mécanismes de défense. Toutefois, ce procédé présente un risque adaptatif : il permet l'implantation du parasite, mais



2. LES POISSONS LUMINEUX de la famille des *Gonostomidae*, tel ce *Cyclothone*, sont parés d'un organe «lumineux». Des recherches récentes en biologie moléculaire ont montré que ce sont des bactéries qui émettent la lumière. Ces bactéries sont situées dans de petits organes, sous la peau, entre la nageoire pectorale et la nageoire pelvienne. Ainsi, des bactéries ont colonisé des cellules de l'hôte et produisent une lumière dont le poisson tire profit, par exemple lors de la reconnaissance des partenaires de sa propre espèce.