

forme d'évolution par fusion assemble des gènes d'origines très différentes : le transfert de gènes. On sait que des transferts de gènes se produisent dans les bactéries de trois façons différentes. Ou bien les gènes circulent d'une bactérie à l'autre par des ponts cellulaires : c'est la conjugaison. Ou bien un virus infecte la bactérie et y introduit des gènes : c'est la transduction. Enfin, il peut exister dans l'environnement, des fragments d'ADN libre qu'une bactérie peut acquérir : c'est la transformation. Souvent, les gènes transférés sont repérables car on les trouve dans des lignées éloignées, mais pas dans les lignées proches.

Transferts de gènes à double sens

Ainsi, si l'on compare les génomes du colibacille (*Escherichia coli*) et de la lignée voisine des *Salmonella*, avec laquelle il partage un ancêtre commun datant de 100 millions d'années, on constate que près de 750 gènes issus d'espèces plus éloignées ont été acquis par le colibacille, soit 18 pour cent de son génome actuel.

Les transferts peuvent se produire entre organismes très éloignés dans l'arbre évolutif. Les bactéries *Chlamydia*, parasites des animaux et des plantes, ont acquis des gènes d'eucaryotes permettant la synthèse des stéroïdes, des lipides tel le cholestérol, que les bactéries ne produisent normalement pas. Pour qu'un transfert de gènes se produise, il suffit que les partenaires coexistent dans un même milieu, quel que soit leur degré de parenté. Ainsi, les fusions par transfert de gènes sont fréquentes chez les bactéries.

On a récemment découvert, grâce au séquençage des génomes de plusieurs eucaryotes, que ces organismes subissent aussi de tels transferts de gènes. Ainsi, les vers nématodes parasites des plantes, tels *Meloidogyne hapla* et *Meloidogyne incognita*, ont acquis des gènes d'enzymes bactériennes détruisant la paroi végétale, ce qui leur permet d'attaquer les plantes. De même, le champignon *Pyrenophora tritici-repentis* est devenu un parasite du blé dans les années 1940 : cette espèce, initialement bénigne, a alors reçu d'un autre champignon parasite du blé un gène codant une toxine affaiblissant l'hôte. À l'évidence, ces transferts de gènes sont au cœur de l'adaptation des organismes à leurs niches écologiques.

Plus surprenant encore, des gastéropodes marins, les Élysides, absorbent des plastides d'algues et les intègrent pour quelque temps dans leurs propres cellules (voir la figure 3). Les plastides fonctionnent alors au bénéfice de l'animal, qui utilise les sucres formés. *Elysia chlorotica* consomme par exemple une algue annuelle éphémère, dont elle conserve les plastides pendant... dix mois. Or le plaste porte un génome si réduit que la plupart de ses protéines sont produites à partir des gènes du noyau de l'algue. Le noyau des Élysides a acquis certains de ces gènes, comme ceux des protéines synthétisant la chlorophylle. Ces chimères sont les seuls animaux à fabriquer de la chlorophylle : elles se transforment en végétaux « transitoires » entre deux prises alimentaires.

Contrairement aux processus à l'œuvre chez les bactéries, les mécanismes des transferts de gènes chez les eucaryotes restent mal compris. Il s'agit vraisemblablement d'événements accidentels. L'incorporation d'ADN issu de la digestion d'aliments est sans doute fréquente chez les unicellulaires, telles les amibes, qui se nourrissent en digérant d'autres cellules. Les virus, quand ils changent d'espèce hôte, sont aussi de possibles vecteurs de gènes.

En revanche, les transferts sont peu fréquents chez les animaux, car les cellules sexuelles, seules à transmettre les gènes, sont à l'abri de l'environnement et ne reçoivent quasiment pas de gènes. Seuls certains virus sont capables de les atteindre, et d'y introduire leur génome : les rétrovirus aujourd'hui intégrés dans le génome humain représentent près de dix pour cent des gènes de l'homme.

Des chimères au cœur des cellules

Par ailleurs, on sait que de nombreux gènes issus de plastides et de mitochondries se sont intégrés dans le génome du noyau cellulaire des eucaryotes. Là, ils permettent non seulement la synthèse de protéines intervenant dans les plastides ou les mitochondries, mais aussi de protéines ayant de nouvelles fonctions dans la cellule.

Par exemple, 2000 des 25000 gènes de l'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*), une plante proche de la moutarde servant de modèle aux biologistes, seraient issus de ses plastides. Ainsi en est-il des gènes codant les phytochromes, protéines sensibles à la lumière qui régulent le développement de

Glossaire

✓ FUSION

Terme proposé pour réunir l'ensemble des mécanismes évolutifs qui regroupent dans une même lignée des gènes issus de lignées différentes : endosymbiose, hybridation et transfert de gènes.

✓ ENDOSYMBIOSE

Symbiose où l'un des partenaires vit dans les cellules de l'autre. Si elle peut être transmise à la génération suivante, c'est une fusion évolutive.

✓ HYBRIDATION

Résultat de la fécondation entre gamètes issus de lignées différentes. L'hybride formé peut être viable ou non. S'il est fertile, il peut constituer une espèce nouvelle.

✓ ALLOPOLYPOÏDIE

Hybridation où l'organisme contient non pas un jeu de chromosomes de chaque parent, mais deux. Les organismes qui en sont issus constituent une espèce nouvelle, car ils ne se croisent plus avec l'espèce des parents.

✓ TRANSFERT DE GÈNE

Passage d'un gène d'un organisme à un autre, d'espèce différente. Mécanisme fréquent chez les bactéries, il existe aussi chez les organismes plus complexes.

✓ SUR LE WEB

<http://sbe.umaine.edu/symbio/index.html>

<http://www.sb-roscoff.fr/ETSymbioses2008>

http://www.cefe.cnrs.fr/coev/MA_Selosse.htm