

> Après avoir transformé des lignées de drosophiles en injectant à des embryons un transposon nommé *hobo* dont elles étaient dépourvues, l'équipe a suivi les lignées pendant 100 générations. Dans l'une d'elles, les chercheurs ont détecté à cinq reprises des inversions de portions de chromosomes, avec des éléments *hobo* situés aux points de cassure. Cette découverte est essentielle, car l'une des objections les plus importantes à la théorie des équilibres ponctués touchait à l'apparition de la nouveauté au cours de la ponctuation. Certes, la dérive génétique change drastiquement les fréquences alléliques, mais elle ne peut tout expliquer. Ici, l'épigénétique fournit une explication fascinante.

Lorsqu'une population à faible effectif s'isole, elle occupe un nouveau territoire avec de nouvelles conditions de milieu susceptibles d'entraîner des stress physiologiques. De son côté, la dérive génétique peut aussi avoir comme effet des perturbations du génome et contribuer au stress. Or nombre d'études, au départ surtout sur des végétaux, ont montré en laboratoire que la régulation épigénétique est modifiée par des stress physiologiques résultant de perturbations environnementales : radiations, attaques virales, pollution de l'air, variations brutales de température, changements de régime nutritionnel pour les animaux. En d'autres termes, un tel isolement pourrait entraîner une importante mobilisation de transposons. Dans la plupart des cas, tous ces bouleversements génomiques seraient létaux. Mais dans de rares cas, le succès serait présent, accompagné d'innovations génétiques apparues très rapidement. Naturellement, la régulation épigénétique s'installerait de nouveau, à la source d'une nouvelle stase.

Cet exemple montre à quel point l'épigénétique est d'importance en évolution : des successions de régulations et de dérégulations expliqueraient au niveau moléculaire les successions de stases et de ponctuations mises en évidence tant en phylogénomique qu'en paléontologie. Certaines régulations épigénétiques pourraient donc être transmises de façon héréditaire sur plusieurs générations au cours de ces stases.

LE RÔLE DE L'HÉRITAGE CULTUREL

L'éthologie a quant à elle révélé l'influence de la culture dans la sélection naturelle. La connaissance de plus en plus précise du comportement de primates et d'oiseaux a révélé que l'espèce humaine n'est pas la seule à posséder des cultures. Or il est clair que la culture apparaît comme un facteur évolutif : elle change les paramètres de la sélection naturelle et peut être à la source d'un isolement reproducteur.

L'exemple le plus spectaculaire est sans doute celui des orques ou épaulards (*Orcinus orca*). Ces cétacés vivent (sauf exception) en groupes, qui se nourrissent soit de poissons,



soit de phoques. Or les techniques de chasse, qui impliquent la participation de l'ensemble du groupe, sont bien différentes et, surtout, apprises. Un adulte qui a appris à chasser les poissons ne sait pas chasser les phoques et *vice versa*. Cela signifie qu'une orque vivant dans un groupe ichtyophage ne peut rejoindre un groupe chasseur de phoques. Cela entraîne ainsi un isolement reproducteur, ce que démontre la génétique des populations. La culture n'agit donc que comme composante de la sélection naturelle. Doit-on en tenir compte ? Certes ! Doit-on la considérer comme une force essentielle de l'évolution ? Sans doute pas.

La construction de niche est un autre concept émergeant issu cette fois de l'écologie, candidat à être une des composantes majeures de l'évolution. En fait, la construction de niche met l'accent sur l'importance évolutive des modifications de l'environnement réalisées par les organismes vivants. En effet, certains organismes modifient leur milieu et agissent ainsi sur sa valeur sélective. Le castor du Canada (*Castor canadensis*), notamment, est un animal ingénieur qui perturbe le régime hydraulique naturel de zones humides (tourbières, petits cours d'eau), ce qui change les pressions de sélection (température, humidité, courants, parasites...) qu'il subit. Il existe donc une rétroaction de l'animal sur son environnement, laquelle peut être transmise à la génération suivante et devenir ainsi un

Le castor du Canada fait partie de ces animaux ingénieurs qui modifient considérablement leur environnement. En construisant des barrages sur les cours d'eau, ils créent de vastes zones humides en amont. En retour, ce nouvel écosystème influe sur leur évolution.



héritage écologique. L'idée clé est que les propriétés évoluées d'un organisme (comportement, métabolisme...) transforment certains aspects de son environnement, lesquels agiront à leur tour comme nouveaux paramètres de la sélection naturelle, orientant ainsi la future évolution des populations.

Le meilleur exemple est peut-être le remplacement, il y a entre 2,4 et 2,2 milliards d'années, de l'atmosphère primaire terrestre réductrice, sans dioxygène, par une atmosphère oxydante grâce à l'expansion des organismes photosynthétiques, dont les dégagements de dioxygène ont été suffisants pour que celui-ci s'accumule dans l'atmosphère: le métabolisme de certains organismes vivants transforme un milieu, ce qui change certains paramètres biophysiques de la sélection naturelle. Un parallèle fort avec la culture apparaît ici: l'héritage écologique est héritable et n'agit que comme composante de la sélection naturelle. Doit-on en tenir compte? Évidemment. D'ailleurs, Darwin fut le premier évolutionniste à le faire. N'oublions pas que son dernier ouvrage, publié en 1881, soit un an avant sa mort, était intitulé: «Rôle des vers de terre dans la formation de la terre végétale avec des observations sur leurs habitudes». Darwin y montre non seulement que les vers de terre ont la capacité de tirer profit de leurs expériences, mais qu'ils ont une influence géologique majeure sur les changements du paysage. Dans cette

même veine, on peut leur associer les animaux ingénieurs (les castors, mais aussi les éléphants qui aèrent les forêts, les hippopotames qui labourent les estuaires...) ou ceux clés de voûte comme les loutres marines, qui, en chassant les oursins, favorisent le développement du kelp, une algue dont ces derniers se nourrissent. Bref, ici encore, des éléments classiques jouent exclusivement sur certains paramètres de la sélection naturelle. Attention cependant, ne nous y trompons pas: comme la culture, la construction de niche est héritable, mais pas héréditaire. Si toutes deux jouent un rôle dans l'évolution biologique, c'est en orientant la sélection naturelle. On parle alors d'héritage «inclusif» ou «non génétique».

VERS DES BOUCLES ÉTRANGES?

Sommes-nous réellement bien loin de la théorie synthétique de l'évolution? D'un côté, on pourrait dire que nous l'avons plutôt précisée. La classification phylogénétique a été revue, de même que la place prépondérante de la sélection naturelle comme moteur de l'évolution et son corollaire, l'idée de progrès au fil de l'évolution. La dérive génétique et le neutralisme sont désormais devenus incontournables. Différents approfondissements ont par ailleurs eu lieu. On connaît maintenant les subtilités moléculaires de la mutation et de la fluidité du génome. On saisit l'importance des symbioses – et plus généralement des interactions durables – qui redessinent l'entité soumise à la sélection. Les composantes de la sélection naturelle sont de plus en plus élucidées, mêmes celles relevant de la culture ou de la construction de niche.

Mais d'un autre côté, la prise en compte des transferts horizontaux, de l'évo-dévo et de l'épigénétique est une réelle nouveauté, ceux-ci apparaissant comme les sources majeures d'explications sur la variation et l'innovation biologique. Qui plus est, ces apports laissent place à la modélisation. Les réseaux de régulation génétique peuvent être traités suivant une logique booléenne. Par ailleurs, les théoriciens qui utilisent la mathématique des réseaux pour suivre les transferts de gènes (voir la figure page 47) se rendent compte que cet outil peut être utilisé pour relier de manière plus vaste les données obtenues à trois niveaux d'organisation différents – génomique, organique et écologique –, qui sont justement les trois niveaux de la biodiversité. Une telle intégration répondrait aux rêves des fondateurs de la théorie des systèmes qui, dans les années 1950, n'avaient pas assez de données expérimentales à disposition. On donnerait ainsi peut-être corps à des boucles de régulation unissant différents niveaux d'organisation – les fameuses «boucles étranges» postulées par le philosophe américain Douglas Hofstadter. ■

BIBLIOGRAPHIE

Vingt contributions dans le numéro : « New trends in evolutionary biology : biological, philosophical and social science perspective », *Interface Focus*, vol. 7(5), 2017.

E. Davidson, *Emerging properties of animal gene regulatory networks*, *Nature*, vol. 468, pp. 911-920, 2010.

H. Vaucheret et al., *Transgene-induced gene silencing in plants*, *The Plant Journal*, vol. 16(6), pp. 651-659, 1998.

V. Ladevèze et al., *Hobo transposons causing chromosomal breakpoints*, *Proc. R. Soc. Lond. B*, vol. 265, pp. 1157-1159, 1998.