



l'écologie, apportent à leur tour leur lot de surprises. L'épigénétique a en effet récemment offert une réponse séduisante à une question soulevée ces dernières années. Dès la fin des années 1990, les phylogénies moléculaires avaient montré que les séquences d'ADN n'évoluent pas à vitesse constante et que cette vitesse varie selon les espèces et selon les gènes. Bref, tout varie en même temps, avec des périodes d'accélération des mutations suivies de périodes de stases de moindres changements évolutifs. Pourquoi observait-on de telles variations? Rien ne permettait de l'expliquer.

Certes, au début des années 1970, Niels Eldredge et Stephen Jay Gould avaient proposé une hypothèse de travail intéressante de ce point de vue – le concept d'équilibres ponctués. À l'époque, les deux paléontologues américains cherchaient à intégrer dans une même théorie la dérive génétique et les idées de Richard Goldschmidt sur les changements brutaux de forme, ces «monstres prometteurs» susceptibles d'apparaître à la suite d'une mutation d'un gène du développement. Suivant leur hypothèse, une nouvelle espèce se forme lorsqu'une population à faible effectif se retrouve isolée. Par dérive génétique, elle évolue alors rapidement du fait de sa petite taille: c'est la ponctuation. En cas de réussite, son effectif augmente, ce qui diminue l'impact de la dérive génétique et ralentit donc la vitesse d'évolution de la population: c'est la stase. Ainsi, dans un même groupe phylogénétique, on aurait, suivant les temps géologiques, des successions de périodes de stabilité et de périodes d'évolution rapide. Le concept d'équilibres ponctués fournissait donc un mécanisme intéressant pour expliquer les variations de vitesse d'évolution observées. Toutefois, faute de preuves, il restait hypothétique.

Or ces dernières décennies ont vu l'émergence de l'épigénétique, l'étude de l'ensemble des changements dans l'expression des gènes qui sont transmissibles au fil des divisions cellulaires, voire des générations, et qui ne modifient pas la séquence d'ADN. Cette discipline a révélé un système complexe de régulation surimposé au génome, impliquant des marqueurs héréditaires comme des méthylations de l'ADN (ajout d'un groupement méthyle CH_3 sur un nucléotide), des modifications des histones, les protéines autour desquelles l'ADN s'enroule, mais aussi des ARN non codants – des produits de la lecture de l'ADN qui ne codent pas de protéines et qui, en interférant de façon spécifique avec d'autres ARN intermédiaires de traduction des protéines, influent sur le lieu et le moment de l'expression de gènes. Pas à pas, différents résultats expérimentaux ont mis en relief ces actions. Citons par exemple la preuve, à la fin des années 1980, de l'inactivation par méthylation, dans des plantes, de transgènes – des gènes transférés dans le génome de plantes à l'aide de la bactérie *Agrobacterium tumefaciens*. Or une telle régulation épigénétique réprime en général la mobilisation des transposons, qui restent figés à leurs places dans le génome (voir l'article page 58).

Une hypothèse évolutive a alors été avancée: si, en temps normal, la régulation épigénétique empêche l'expression de gènes étrangers, on peut imaginer que lors d'une dérégulation, les transposons se mobilisent largement, amenant une restructuration du génome accompagnée de mutations à la source d'innovations génétiques. Naturellement, cette hypothèse s'appuyait sur des résultats expérimentaux, dont l'un des plus démonstratifs a été obtenu en 1998 par une équipe de généticiens français autour de Véronique Ladevèze, de l'université de Poitiers. >

Certaines orques se nourrissent de phoques, d'autres de poissons en les chassant en groupe. Toutefois, les techniques sont si différentes que celles qui ont appris à chasser le phoque ne savent pas chasser le poisson et vice versa. Les deux populations ne se mêlent donc pas, ce qui introduit un biais de sélection.

➤ 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 émergent 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.