

La génétique a pris son essor à l'aube du xx^e siècle avec la redécouverte des lois de l'hérédité du moine morave Gregor Mendel, en 1900, à laquelle s'était ajoutée la théorie des mutations, que le botaniste hollandais Hugo De Vries avait présentée à la même époque. Cette théorie donnait corps au principe de modification de Darwin: selon elle, cette modification était portée par des mutations – des variations qui se produisent par hasard, pour des raisons inconnues, et qui permettent l'évolution. Quelques années plus tard, l'embryologiste américain Thomas Morgan, un des fondateurs de la génétique, développa la théorie chromosomique de l'hérédité: il montra chez la drosophile que les gènes – les facteurs héréditaires – sont disposés le long des chromosomes et peuvent présenter différents états, ou allèles, qui expliquent la diversité héréditaire décrite par Darwin. À partir des années 1920 apparut aussi la génétique des populations, qui visait à appliquer les lois de la génétique mendélienne à l'échelle des populations. Mathématisée par les Britanniques Ronald Fisher et John Haldane, et l'Américain Sewall Wright, elle fournissait un moyen de modéliser l'évolution spatiotemporelle des fréquences des gènes au sein des populations d'organismes vivants, y compris sous l'action de la sélection naturelle.

JOINDRE LA GÉNÉTIQUE À LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION

C'est ainsi qu'entre les années 1935 et 1950, on assista, entre les idées darwiniennes et ces résultats majeurs, à une synergie qui semblait expliquer les observations des zoologistes, botanistes et paléontologues férus d'évolution. Et c'est à cette même époque que Dobzhansky, l'anatomiste Julian Huxley, l'ornithologue Ernst Mayr, le paléontologue George Simpson, le botaniste George Stebbins et d'autres ont formulé la théorie synthétique de l'évolution.

Elle reposait sur deux données essentielles. D'une part, l'adaptation des organismes est la conséquence du tri de la variation génétique par la sélection naturelle, et cette dernière est la cause principale de l'augmentation de la valeur sélective des organismes – de leur aptitude à survivre et à se reproduire. D'autre part, les changements héréditaires – ou mutations – ne sont pas dirigés de manière adaptative: ils ne visent pas *a priori* à faciliter la survie. Néanmoins, en affectant les mécanismes à la base de la biochimie, de la physiologie et du développement des organismes vivants, ils sont à la source de la variation de leurs caractères. En d'autres termes, de tels changements n'apparaissent pas pour résoudre un problème ou favoriser des organismes, mais surviennent indépendamment d'un environnement qui, *a posteriori*, va les sélectionner positivement ou négativement.

Suivant la génétique des populations, le processus de base de l'évolution biologique

était à chercher non au niveau de l'individu, mais à celui de la population, car il y occasionnait, de génération en génération, un changement des fréquences des variations héréditaires, c'est-à-dire un changement dans les proportions des différents variants d'un même facteur héréditaire au sein de la population. Malgré la diversité de leurs disciplines d'origine, les fondateurs de la théorie synthétique de l'évolution adossaient leur pensée autour de ce processus. Les généticiens comme Dobzhansky y voyaient un changement des fréquences d'allèles (ou variants) d'un ou de plusieurs gènes. Les zoologistes comme Mayr ou paléontologues comme Simpson, qui se penchaient surtout sur les organismes (des phénotypes pour le généticien), considéraient explicitement que les variations des caractères qu'ils observaient dans une population étaient sous-tendues par des changements de fréquences alléliques survenus dans les générations précédentes. C'est pourquoi ils ➤



Rien n'a de sens en biologie si ce n'est à la lumière de l'évolution

Theodosius Dobzhansky (1900-1975), généticien

ont pu résumer la théorie synthétique de l'évolution suivant quelques propositions qui ont structuré un nouveau cadre conceptuel.

La première proposition définissait le gène, porté par le chromosome, comme base de l'hérédité. Rappelons que les généticiens ont manié le concept de gène pendant un demi-siècle sans en connaître la nature. Celle-ci n'a été révélée qu'en 1953, grâce à la description de la structure de l'ADN. La deuxième proposition concernait les variations héréditaires: elles sont le résultat de mutations individuelles. Elles surviennent aléatoirement parce qu'elles ne résultent pas d'un besoin, d'un avantage pour l'adaptation, c'est-à-dire pour l'intégration de l'organisme dans son environnement. Ainsi, c'est « par hasard » qu'une mutation entraîne un changement phénotypique bénéfique ou délétère, donnant secondairement prise à la sélection.

Une autre proposition précisait les modalités des changements de fréquences alléliques. Les fréquences des variants héréditaires dépendent de trois facteurs: le taux des mutations, les flux de gènes entre populations et la sélection naturelle. Par sélection naturelle, on entend l'ensemble des paramètres qui influent sur la taille de la descendance des organismes, une sélection positive entraînant une nombreuse descendance. Comme c'est la seule cause directionnelle d'un changement adaptatif, les évolutionnistes de l'époque la voyaient comme source de progrès, sous-entendant que le nouvel état est « mieux » que l'ancien. Remarquons que la dérive génétique, une modification aléatoire des fréquences alléliques (voir l'encadré page 48), bien que postulée dès 1931 par Sewall Wright, avait été laissée de côté par les fondateurs de la théorie synthétique.

Une proposition, enfin, définissait les espèces: les espèces d'organismes sexués sont des groupes de populations isolés de leurs congénères d'un point de vue reproductif, en général géographiquement. Elles évoluent alors graduellement et les changements phénotypiques que l'on peut observer entre espèces apparentées correspondent à la somme de changements produits au cours des temps géologiques.

Les zoologistes, botanistes et paléontologues se sont saisis de ce cadre théorique pour proposer une marche graduelle du vivant, progressant de grade en grade vers une meilleure adaptation, suivant une vision ô combien anthropomorphique. Par exemple, la séquence des grades poisson > batracien > reptile > mammifère était vue comme une amélioration continue de la conquête du milieu terrestre. Différents concepts sur la logique de la classification et les mécanismes de l'évolution sont ensuite venus corriger, affiner et compléter cette première et louable tentative de synthèse.

Sous l'impulsion de l'entomologiste allemand Willi Hennig, dont les idées se sont

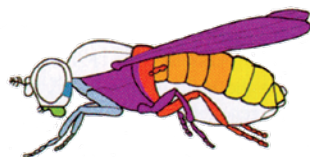
propagées dans les années 1960, la cladistique – la science des classifications du vivant – a exploité de manière rigoureuse le principe de descendance avec modification, menant à des phylogénies (du grec *phulon* – lignée – et *genesis* – genèse –, c'est-à-dire des arbres racontant la genèse de lignées) fondées exclusivement sur la recherche de parenté. On a rassemblé les espèces en une imbrication de groupes monophylétiques, c'est-à-dire d'arbres comportant un ancêtre commun et l'ensemble de ses descendants.

UNE NOUVELLE CLADISTIQUE

Lors de la construction de la phylogénie, on ne tient désormais compte que de l'état dérivé, récent, d'un caractère, et on laisse de côté l'état ancestral dont il est dérivé. Par exemple, si l'on étudie les primates, on constate que certains ont deux os frontaux, d'autres n'en ont qu'un seul. Or nombre d'autres mammifères ont aussi deux os frontaux, ce qui suggère que ce caractère est hérité d'un ancêtre commun aux primates et à nombre d'autres mammifères. Il s'agit donc d'un caractère primitif partagé – d'un état ancestral du caractère « os frontal ». Et les primates qui n'ont qu'un seul os frontal présentent un état dérivé: la fusion des deux os en un seul. Cette innovation qui leur est propre permet de rassembler tous ces primates en un groupe monophylétique, les simiiformes.

La cladistique a ainsi révélé des parentés cachées. Par exemple, les crocodiles et les oiseaux partagent des caractères exclusifs – des innovations que n'ont pas les squamates (lézards, varans, iguanes, serpents...). Ainsi, la cladistique rapproche les crocodiles et les oiseaux au sein des archosaures, alors qu'auparavant, les crocodiles étaient classés dans les reptiles avec les squamates à cause notamment de leur ressemblance morphologique générale, qui n'est autre qu'un caractère ancestral. Démontant la classification par grades (l'oiseau n'est pas un reptile qui a franchi un saut adaptatif en se mettant à voler, et ne constitue donc pas une classe à part), la cladistique a par ailleurs montré que la notion de progrès est obsolète, chaque espèce étant aussi évoluée qu'une autre. En effet, à un moment donné, elles sont toutes les résultats d'un même temps évolutif. Les hiérarchiser relève donc d'une opération subjective hors du cadre scientifique.

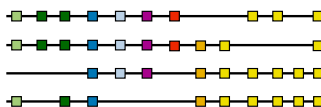
Si la cladistique a été d'une grande utilité pour critiquer les classifications générales incluant les fossiles, à partir des années 1990, elle a très vite été supplantée par les phylogénies moléculaires pour les organismes actuels. De fait, l'essor fulgurant de la biologie moléculaire a été à la source de nombreuses avancées en biologie évolutive. Tout d'abord, elle a apporté nombre de nouveaux caractères à comparer: des mutations sur des gènes, partagées ou non par les organismes comparés, ce qui



Gènes de la mouche



Gènes humains



LES GÈNES HOMÉOTIQUES

Ces gènes du développement (au centre, en couleur, situés sur un chromosome chez la mouche, et sur quatre chez l'humain) forment des complexes que l'on retrouve chez la plupart des animaux. Ils s'expriment de façon similaire dans toutes les espèces, le long de l'axe du corps, et dans le même ordre que celui de leur position sur le chromosome.