



CHAPITRE 21

Données probantes en faveur de l'évolution

Aperçu du chapitre

- 21.1 Le bec des pinsons de Darwin (géospizes) : une illustration de la sélection naturelle
- 21.2 La phalène du bouleau et le mélanisme industriel : une illustration de plus de la sélection naturelle
- 21.3 La sélection artificielle : un changement d'origine humaine
- 21.4 Données fournies par les fossiles en faveur de l'évolution
- 21.5 Données anatomiques en faveur de l'évolution
- 21.6 Évolution convergente et données biogéographiques
- 21.7 Critiques adressées au darwinisme

Introduction

Comme nous l'avons vu au chapitre 1, lorsque Darwin a proposé sa théorie révolutionnaire de l'évolution par sélection naturelle, peu d'arguments effectifs étaient disponibles pour soutenir sa thèse. Darwin se basait sur des observations du monde naturel, sur la logique et les résultats obtenus par des éleveurs travaillant sur des animaux domestiques. Depuis son époque, cependant, les observations en faveur de la théorie de Darwin sont devenues innombrables.

Le dossier repose sur deux piliers : d'une part, les observations qui montrent que la sélection naturelle peut produire des changements évolutifs et, d'autre part, les études des fossiles qui montrent les effets de l'évolution. Le cliché montre le squelette de la baleine de Vogtle (*Georgiacetus vogtlensis*), qui est le fossile de baleine le plus ancien trouvé en Amérique du Nord (40 millions d'années). Les os pelviens et les membres postérieurs révèlent un lien entre les mammifères terrestres et les baleines. En outre, les informations provenant de plusieurs domaines différents de la biologie, anatomie, biologie moléculaire et biogéographie, ne peuvent être interprétées autrement que par l'évolution.

Le bec des pinsons de Darwin (géospizes) : une illustration de la sélection naturelle

Objectifs

1. Décrire comment les espèces des pinsons de Darwin se sont adaptées pour se nourrir de diverses façons.
2. Expliquer comment une variation climatique peut entraîner un changement évolutif chez le géospize à bec moyen.

Comme nous l'avons vu au chapitre 20, divers processus produisent des changements évolutifs. Néanmoins, en accord avec Darwin, la plupart des biologistes évolutionnistes considèrent que la sélection naturelle est le processus principal responsable des changements évolutifs majeurs. Nous ne sommes pas capables de remonter le temps, mais diverses observations actuelles confirment l'importance de la sélection naturelle comme agent du changement évolutif. Ces données proviennent d'observations faites sur le terrain et au laboratoire ainsi que de situations naturelles et artificielles.

Les géospizes de Darwin (NDT : communément et improprement appelés pinsons) constituent un exemple classique de l'évolution par sélection naturelle. Lorsqu'il a visité les îles Galápagos, au large des côtes de l'Équateur, en 1835, Darwin collecta, dans trois îles, 31 spécimens de ces oiseaux. Darwin, qui n'était pas un ornithologue averti,

identifia avec peine les spécimens ; en comparant les becs, il croyait que sa collection contenait des roitelets, des gros-becs et des merles.

Au retour de Darwin en Angleterre, l'ornithologue John Gould remarqua que la collection était constituée en fait d'espèces distinctes étroitement apparentées, se ressemblant sauf par leur bec. En tout, 14 espèces ont été identifiées.

Les pinsons des Galapagos diffèrent par la manière de prélever leur nourriture

La figure 21.1 illustre la diversité des pinsons de Darwin. Les géospizes terrestres dotés de grands becs (figure 22.2) se nourrissent de graines qu'ils broient dans leur bec puissant, tandis que ceux qui sont pourvus d'un bec plus étroit se nourrissent d'insectes. D'autres sont des mangeurs de fruits et de bourgeons ; il y a aussi des insectivores et des espèces qui se nourrissent de fruits de cactus et des insectes que ceux-ci attirent. Certaines populations du géospize terrestre au bec pointu se comportent même comme des « vampires » ; ils s'approchent furtivement d'oiseaux de mer et utilisent leur bec pointu pour se nourrir de leur sang. Les espèces les plus remarquables sont peut-être celles qui utilisent des outils ; les géospize pique-bois saisissent une brindille, une épine de cactus ou le pétiole d'une feuille, qu'ils taillent avec leur bec ; ils l'introduisent alors dans des branches mortes pour en extraire des larves.

La correspondance entre les becs des espèces de pinsons et l'origine de leur nourriture suggéra à Darwin que la sélection naturelle avait déterminé leur aspect. Dans *Le voyage du Beagle*, Darwin écrivait : « En observant cette gradation et la diversité de structure dans un petit groupe d'oiseaux étroitement apparentés, on pourrait réellement imaginer qu'à partir d'une pauvreté originale d'oiseaux dans cet archipel, une espèce a été sélectionnée et modifiée à différentes fins. »



Géospize pique-bois (*Cactospiza pallida*)



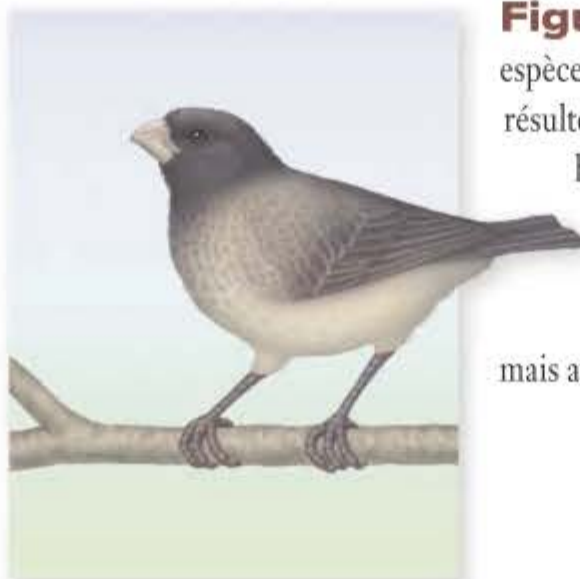
Géospize à gros bec (*Geospiza magnirostris*)



Géospize des cactus (*Geospiza scandens*)



Géospize olive (*Certhidea olivacea*)



Géospize crassirostre (*Platyspiza crassirostris*)

Figure 21.1 Les pinsons (ou géospizes) de Darwin. Ces espèces diffèrent par leur bec et leurs habitudes alimentaires. Ce qui résulte probablement du développement de nouvelles espèces dans des habitats dépourvus d'oiseaux de cette taille. Les becs de plusieurs espèces ressemblent à ceux de familles distinctes d'oiseaux vivant sur le continent. Par exemple, le pinson olive a un bec très semblable à celui d'autres populations de la même espèce, mais auxquelles il n'est pas étroitement apparenté.

La recherche moderne a vérifié l'hypothèse de la sélection selon Darwin

Les observations de Darwin suggèrent que les différences de la taille et de la forme du bec entre les espèces sont apparues avec l'adaptation de la population à la consommation de différentes nourritures, mais peut-on vérifier cette hypothèse ? Comme nous en avons discuté au chapitre 20, la théorie de l'évolution par sélection naturelle requiert que trois conditions soient remplies.

1. Il doit exister de la diversité dans la population.
2. Cette diversité doit mener à des différences de survie et de succès reproductifs entre individus.
3. La variation entre individus doit être génétiquement transmissible.

La patience fut la clé du succès dans la vérification de la proposition de Darwin. Dès 1973, Peter et Rosemary Grant de l'université de Princeton, ainsi que des générations d'étudiants, étudièrent le géospize à bec moyen, *Geospiza fortis*, vivant sur une petite île au milieu des Galápagos, appelée Daphne Major. Ces géospizes se nourrissaient de graines petites et tendres, que les plantes produisent en abondance durant les années humides. Les oiseaux ne recourent aux graines plus grandes et plus sèches, qui sont plus dures à broyer, que lors des longues périodes de sécheresse, quand les plantes produisent peu de petites graines.

Les Grant mesurèrent minutieusement l'épaisseur du bec (hauteur du bec, de haut en bas, à sa base) de divers individus de géospizes à bec moyen de Daphne Major. En appliquant ces mesures à de nombreux oiseaux chaque année, ils réussirent à établir pour la première fois une description détaillée de l'évolution en action. Les Grant ont trouvé que

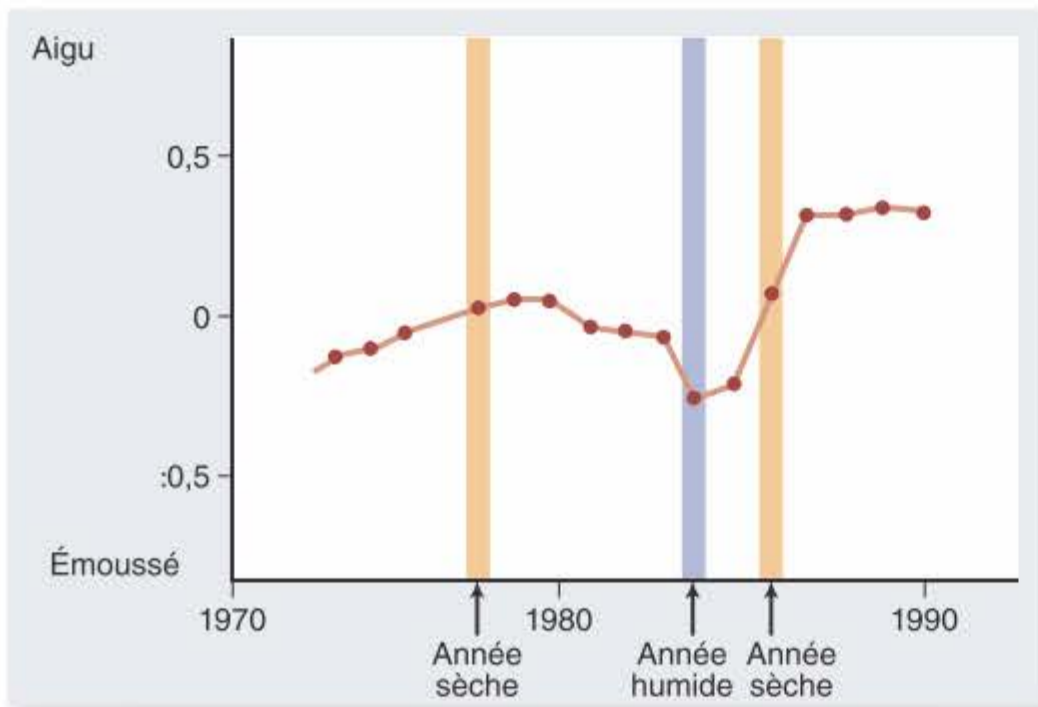
non seulement l'épaisseur du bec variait grandement entre les membres de la population, mais que la moyenne changeait d'une année à l'autre de manière prévisible.

Durant les années sèches, les plantes produisaient peu de graines, et toutes les petites graines disponibles étaient rapidement consommées ; seules les grosses graines restaient pour nourrir ces oiseaux. En conséquence, ceux qui étaient pourvus d'un grand bec survivaient mieux, puisqu'ils étaient mieux à même de briser les grosses graines. C'est pourquoi, l'épaisseur moyenne du bec dans la population augmentait durant l'année suivante, mais pour décroître à nouveau lorsque les saisons humides revenaient (figure 21.2a).

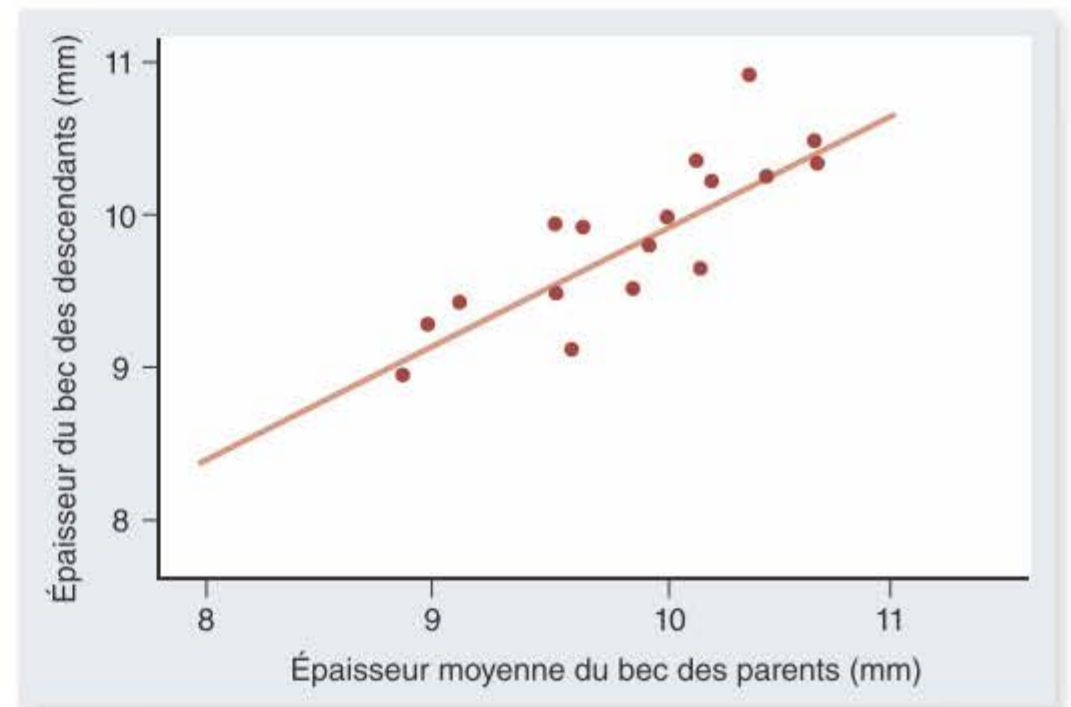
Par contre, au cours des années particulièrement humides, les plantes prospéraient, produisant une grande quantité de petites graines ; en conséquence, les oiseaux pourvus d'un fin et long bec étaient favorisés, et les becs sont devenus plus pointus.

Ces changements dans la taille du bec pouvaient-ils refléter l'action de la sélection naturelle ? Une autre explication pouvait être que ces changements dans l'épaisseur du bec ne reflétaient pas des changements dans les fréquences géniques, mais étaient simplement une réponse au régime ; par exemple, écraser de grosses graines pouvait peut-être induire chez l'oisillon le développement d'un gros bec.

Pour écarter cette possibilité, les Grant ont mesuré la relation entre la taille du bec des parents et celle du bec des descendants, en examinant de nombreuses couvées au cours de plusieurs années. L'épaisseur du bec était transmise fidèlement d'une génération à la suivante, quelles qu'aient été les conditions de l'environnement (figure 21.2b), ce qui montrait que les différences entre individus reflétaient bien des différences génétiques et que, dès lors, les changements d'année en année dans l'épaisseur moyenne des becs représentaient bien un changement évolutif résultant de la sélection naturelle.



a.



b.

Figure 21.2 Observation indiquant que la sélection naturelle modifie la taille du bec chez le géospize terrestre à bec moyen (*Geospiza fortis*). a. Durant les années sèches, lorsque de grosses graines dures sont seules disponibles, la taille moyenne du bec augmente. Durant les années humides, lorsque les petites graines abondent, les becs plus petits deviennent plus fréquents. b. L'épaisseur du bec est transmise des parents à leurs descendants.



Question À quoi ressemblerait la relation dans la figure 21.2b si la forme du bec n'était pas déterminée génétiquement, mais plutôt par un facteur environnemental, comme ce qu'un oiseau au nid a mangé pendant sa période de croissance ?



Analyse de données Supposons qu'un mâle avec une profondeur de bec de 10 mm s'est accouplé avec une femelle avec une profondeur de bec de 8 mm. Quelle sera la profondeur de bec de la progéniture ? Quelles seraient les conséquences si le bec de la femelle était de 10 mm et celui du mâle de 6 mm ?

Questions d'apprentissage 21.1

Parmi les pinsons de Darwin, la sélection naturelle a suscité des changements dans la forme du bec pour répondre aux caractéristiques de la nourriture. Puisque la morphologie du bec est un trait transmissible, un bec mieux adapté à la distribution des types de graines disponibles serait devenu plus fréquent dans les générations suivantes.

- Supposons que le fait de manger des graines dures soit la cause de l'acquisition d'un bec plus épais. Cela entraînerait-il une augmentation évolutive de la taille du bec après une période de sécheresse ?

21.2 La phalène du bouleau et le mélanisme industriel : la sélection naturelle à l'œuvre

Objectifs

1. Expliquer les relations entre la pollution et l'évolution de la couleur des phalènes du bouleau.
2. Distinguer la description du processus évolutif de la compréhension du mécanisme sous-jacent.

Lorsque l'environnement change, la sélection naturelle favorise souvent l'apparition de nouveaux caractères dans une espèce. Un exemple classique est celui de la phalène du bouleau, *Biston betularia*. Les adultes ont une coloration qui va du gris léger avec des taches noires (en anglais « peppered » moth ; littéralement, phalène « poivrée ») jusqu'au noir jais (mélanique).

Des études approfondies ont montré que la couleur de la phalène était un trait génétique et reflétait l'existence de plusieurs allèles d'un

seul gène. Les individus noirs ont un allèle dominant, qui était présent, mais très rare, dans les populations avant 1850. À partir de cette époque, la fréquence des individus noirs parmi les phalènes vivant près des centres industriels a augmenté jusqu'à ce que cette forme représente 100 % de ces populations.

Les biologistes ont remarqué rapidement que dans les régions industrialisées où les phalènes noires étaient communes, les troncs des arbres étaient assombris et rendus presque noirs par la suie de la pollution, qui entraînait par ailleurs l'intoxication des lichens de teinte claire poussant sur les troncs des arbres.

Le nombre des phalènes de coloration claire a diminué dans les zones polluées

Pourquoi la survie des phalènes noires a-t-elle été favorisée à partir de 1850 ? Un collectionneur amateur nommé J. W. Tutt proposa en 1896 ce qui devint l'hypothèse la plus communément acceptée pour expliquer le déclin des phalènes de coloration claire. Il suggéra que les prédateurs percevaient mieux les formes claires sur les arbres qui étaient couverts de suie et qui avaient perdu leur lichen. En conséquence, pendant la journée, les oiseaux mangeaient les phalènes claires posées sur les troncs des arbres. Les formes noires au contraire étaient avantagées puisqu'elles étaient camouflées (figure 21.3).

Tutt ne disposait au début d'aucune preuve, mais l'écologiste britannique, Bernard Kettlewell, testa l'hypothèse dans les années 50, en lâchant des nombres égaux d'individus sombres et clairs dans deux sites arborés : l'un à proximité de Birmingham, une zone très polluée, et l'autre dans le Dorset, région non polluée. Kettlewell installa alors des pièges dans les bois pour voir combien des deux types de phalènes survivaient. Pour évaluer ses résultats, il avait marqué les phalènes relâchées avec une tache de peinture sous leurs ailes, là où les oiseaux ne pouvaient la remarquer.

Dans la zone polluée près de Birmingham, Kettlewell n'attrapa que 19 % de phalènes de coloration claire, mais 40 % de phalènes noires. Ceci indiquait que les phalènes sombres avaient une bien meilleure chance de survivre dans ces bois pollués, là où les troncs des arbres étaient noirs. Dans les bois relativement peu pollués du Dorset, Kettlewell récupéra 12,5 % de phalènes claires mais seulement 6 % de noires. Ceci indi-

Figure 21.3 L'hypothèse de Tutt expliquant le mélanisme industriel. Ces photographies montrent des spécimens conservés de la phalène du bouleau (*Biston betularia*) déposés sur des arbres. Tutt a proposé que les prédateurs percevaient mieux le variant mélanique de la phalène sur des arbres non pollués (à gauche), alors que la phalène de coloration claire était plus facilement repérée sur l'écorce noircie par la pollution industrielle (à droite).



quait que là où les troncs d'arbres avaient encore une coloration claire, les phalènes claires avaient une bien meilleure chance de survie.

Kettlewell consolida plus tard son argument en plaçant des phalènes sur des arbres et en filmant des oiseaux à la recherche de nourriture. Parfois, les oiseaux passaient effectivement au-dessus d'une phalène de même couleur que le fond.

Récemment, une vaste étude, qui a duré six ans et qui a impliqué la libération de près de 5000 phalènes, a confirmé les conclusions de Kettlewell. Menée dans une forêt non polluée, l'étude a montré que la vitesse de disparition des phalènes de couleur foncée était de 10 % plus élevée que celle des phalènes de couleur pâle. En outre, l'observation directe de 250 captures par les oiseaux a confirmé que les phalènes noirs étaient capturés beaucoup plus souvent que les phalènes de couleur pâle.

Lorsque les conditions environnementales s'inversent, la pression sélective fait de même

Dans les régions industrielles en Eurasie et en Amérique du Nord, des douzaines d'autres espèces de phalènes ont évolué comme les phalènes des bouleaux. Le terme **mélanisme industriel** se réfère au processus par lequel les individus plus foncés viennent à prédominer par rapport aux plus clairs.

En Grande Bretagne, la pollution de l'air à la base du mélanisme industriel commença à s'inverser à la suite de l'application du *Clean Air Act* en 1956. À partir de 1959, des prélèvements ont été effectués chaque année parmi la population de *Biston* à Caldby Common dans la banlieue de Liverpool. La fréquence de la forme mélanique (sombre) tomba de 93 % en 1959 à 15 % en 1995 (figure 21.4).

Cette chute correspond bien à la réduction significative de la pollution de l'air, particulièrement suite à la diminution des taux de dioxyde sulfurique et de particules en suspension, deux facteurs qui contribuent à assombrir les arbres. La chute est cohérente avec un désavantage sélectif de 15 % agissant à l'encontre des phalènes porteuses de l'allèle mélanique dominant.

Fait intéressant, le mélanisme s'est inversé de la même manière aux États-Unis. De 576 phalènes prélevées dans une station d'observation, près de Détroit de 1959 à 1961, 515 étaient mélaniques, c'est-à-dire 89 %. L'American Clean Air Act, adopté en 1963, a conduit à d'importantes réductions de la pollution atmosphérique. En 1994, de nouveaux prélèvements de phalènes du bouleau ont été effectués dans la station de Détroit et, cette fois, la population mélanique n'était plus que de 15 % (voir figure 21.4). C'est ainsi que le même type d'expérience de terrain sur les phalènes, tant à Liverpool qu'à Détroit, a fourni un solide argument en faveur de la sélection naturelle.

L'identification de l'agent de la sélection peut s'avérer difficile

Alors que la preuve de l'intervention de la sélection naturelle dans le cas de la phalène du bouleau est solide, l'hypothèse de Tutt à propos de l'agent de sélection est actuellement remise en cause. Les chercheurs ont noté que la sélection récente contre le mélanisme ne paraissait pas corrélée avec les changements des lichens des arbres.

À Caldby Common, la fréquence de la forme claire de la phalène a commencé à s'élever bien avant que les lichens ne réapparaissent sur les arbres. À la station biologique de Détroit, les lichens n'ont jamais significativement changé alors que la phalène noire, prédominante au début, s'est mise à décliner durant les trente dernières années. En fait, les cher-

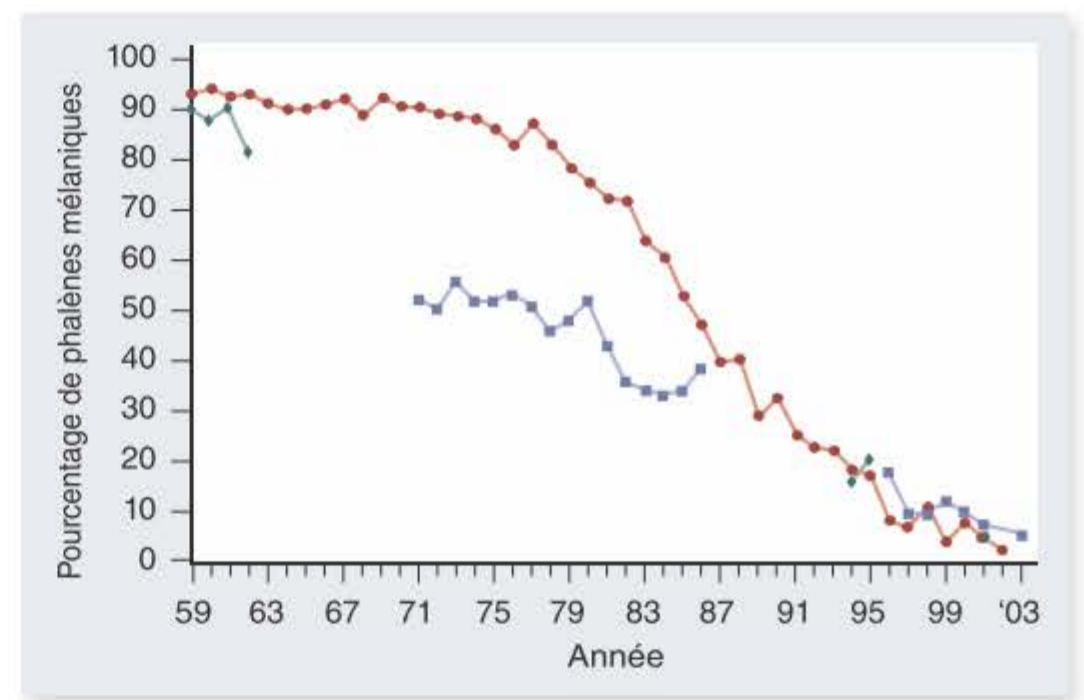


Figure 21.4 Sélection contre le mélanisme. Les cercles rouges indiquent la fréquence des phalènes mélaniques *Biston betularia* capturées chaque année de 1959 à 1995 à Caldby Common en Angleterre. Les losanges verts indiquent les fréquences de *B. betularia* mélanique dans le Michigan de 1959 à 1962 et de 1994 à 1995.

Question Que pouvez-vous conclure du fait que la fréquence des phalènes mélaniques a décru de la même façon dans les deux localisations ?

cheurs n'ont pas réussi à trouver des phalènes du bouleau sur les arbres de Détroit, qu'ils soient couverts ou non de lichens. Quel que soit l'endroit où les phalènes se reposent durant le jour, il ne semble pas que ce soit sur l'écorce des arbres. Certaines observations suggèrent qu'elles se reposent sur les feuilles du sommet des arbres, mais personne n'en est certain. Se pourrait-il qu'un empoisonnement par la pollution plutôt que la prédation par les oiseaux soit l'agent de la sélection naturelle des phalènes ? Peut-être, mais jusqu'à présent, seule l'hypothèse de la prédation par les oiseaux est soutenue par les résultats expérimentaux.

Les chercheurs qui plaident en faveur d'une sélection naturelle basée sur la prédation par les oiseaux soulignent que la capacité des oiseaux de détecter des phalènes peut dépendre moins de la présence ou de l'absence des lichens, et davantage d'autres mécanismes contribuant à l'assombrissement de l'environnement par la pollution industrielle. La pollution tend à couvrir tous les objets de l'environnement d'une fine couche de poussière particulaire, qui tend à diminuer la quantité de lumière réfléchiée par les surfaces claires. De plus, la pollution a un effet plus marqué sur les bouleaux, qui sont de couleur claire. Les deux effets tendraient à rendre l'environnement plus sombre, et favoriseraient ainsi les phalènes noires en les protégeant des oiseaux prédateurs.

Malgré cette incertitude quant à l'agent de sélection, le schéma général est clair. Les expériences de Kettlewell établissent indiscutablement que la sélection favorise les phalènes sombres dans les habitats pollués et les phalènes claires dans les zones non contaminées. L'augmentation et la diminution subséquente de la fréquence des phalènes mélaniques en corrélation avec les niveaux de pollution et cela de manière indépendante sur deux continents, démontrent clairement que cette sélection dirige le changement évolutif.

La remise en question actuelle de l'agent de sélection illustre bien la voie suivie par le progrès scientifique : des hypothèses comme celles de Tutt sont proposées et puis testées. Si elles sont rejetées, de nouvelles hypothèses sont formulées, et le processus recommence.

Questions d'apprentissage 21.2

La sélection naturelle a favorisé la forme sombre de la phalène du bouleau dans les zones sujettes à une grave pollution de l'air, peut-être parce que sur les arbres assombris les individus sont moins visibles par les oiseaux mangeurs de phalènes. Lorsque la pollution a diminué, ce sont les formes claires qui ont été à leur tour favorisées par la sélection. Bien que la sélection s'exerce indubitablement, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour que l'on puisse comprendre si la prédation par les oiseaux est l'agent de sélection.

- Comment pourriez-vous tester l'hypothèse que la prédation par les oiseaux est l'agent de sélection sur la coloration des phalènes ?

21.3 La sélection artificielle : un changement d'origine humaine

Objectifs

1. Comparer les processus de sélection naturelle et artificielle
2. Expliquer ce que la sélection artificielle démontre à propos de la puissance de la sélection naturelle.

Dès l'aube de la civilisation, les humains ont imposé une sélection aux plantes et aux animaux. Comme dans la sélection naturelle, la **sélection artificielle** opère en favorisant les individus dotés de certains caractères phénotypiques, leur permettant de se reproduire et de transmettre leurs gènes à la génération suivante. Si les différences phénotypiques sont déterminées génétiquement, une telle sélection directionnelle doit mener à un changement évolutif, et c'est précisément ce qu'elle fait.

La sélection artificielle, appliquée dans des expériences de laboratoire, en agriculture et lors du processus de domestication a produit des changements substantiels dans pratiquement chacune de ses applications. Son succès est un solide argument en faveur de l'intervention de la sélection comme processus évolutif effectif.

Une sélection expérimentale induit des changements dans les populations

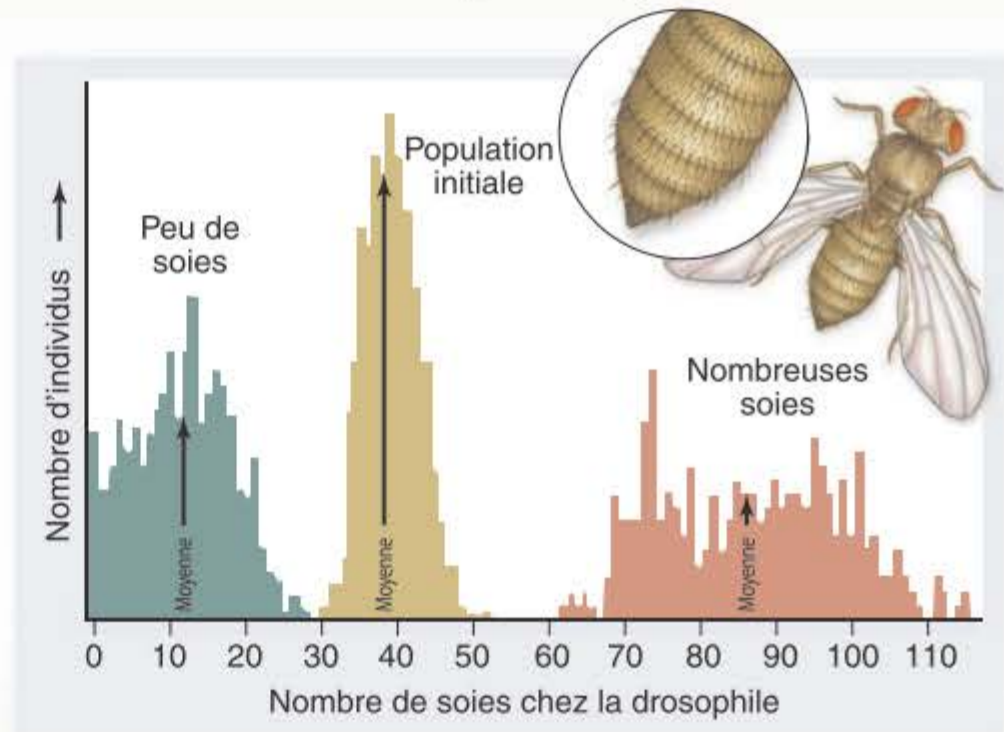
Avec la reconnaissance de la génétique comme discipline scientifique dans les années 1920 et 1930, les chercheurs commencèrent à mener des expériences afin de tester l'hypothèse selon laquelle la sélection produirait un changement évolutif. Un des modèles de laboratoire le plus apprécié par les biologistes est la mouche à vinaigre, *Drosophila melanogaster*. Les généticiens ont imposé une sélection sur pratiquement tous les aspects concevables de la drosophile, par exemple, la taille du corps, la couleur des yeux, la vitesse de croissance, la durée de vie et le comportement exploratoire, avec un résultat constant : la sélection pour un caractère mène à une réponse évolutive claire et prévisible.

RÉFLEXION SCIENTIFIQUE

Question : la sélection artificielle peut-elle conduire à des changements évolutifs substantiels ?

Hypothèse : une sélection directionnelle forte conduira rapidement à un déplacement important de la valeur moyenne de la population.

Expérience : dans une population, à chaque génération, prenez les 20 % des individus porteurs du plus grand nombre de soies et permettez leur de se reproduire entre eux pour former la génération suivante. Faites de même avec les 20 % des individus porteurs du plus petit nombre de soies.



Résultat : après 35 générations, le nombre moyen de soies a changé considérablement dans les deux populations.

Interprétation : notez qu'à la fin de l'expérience, l'échelle de variation s'étend au-delà de la distribution observée dans la population initiale. Une sélection peut déplacer une population au-delà de sa distribution originale car des mutations et des recombinaisons introduisent constamment de nouvelles variations dans les populations.

Figure 21.5 Une sélection artificielle peut conduire à un changement évolutif rapide et substantiel.

? **Question** Qu'arriverait-il si, au sein d'une population, on laissait les individus avec peu ou beaucoup de soies se reproduire, mais pas ceux du groupe intermédiaire ?

Dans une expérience classique, des scientifiques sélectionnèrent les mouches pourvues de nombreuses soies (structures rigides semblables à des poils) sur leur abdomen. Au début de l'expérience, le nombre de soies était de 9,5. À chaque génération, les scientifiques ont prélevé les 20 % de la population ayant le nombre le plus grand de soies et leur ont permis de se reproduire, et d'établir ainsi la génération suivante. Après 86 générations d'une telle sélection, le nombre moyen de soies a quadruplé, pour atteindre le chiffre de 40 ! Dans une autre expérience, des mouches d'une population furent sélectionnées sur base de leur grand nombre de soies, alors qu'une autre colonie était établie à partir de celles dont le nombre était le plus faible. Après 35 générations, les courbes de distribution des deux populations le long de l'échelle de variation ne montraient plus aucune superposition (figure 21.5).

Des expériences semblables ont été menées sur une large variété d'autres organismes de laboratoire. Par exemple, en sélectionnant des rats résistant à la dégradation dentaire, les scientifiques ont réussi à retarder, en moins de 20 générations, le temps d'apparition de cette dégradation, de 100 à plus de 500 jours.

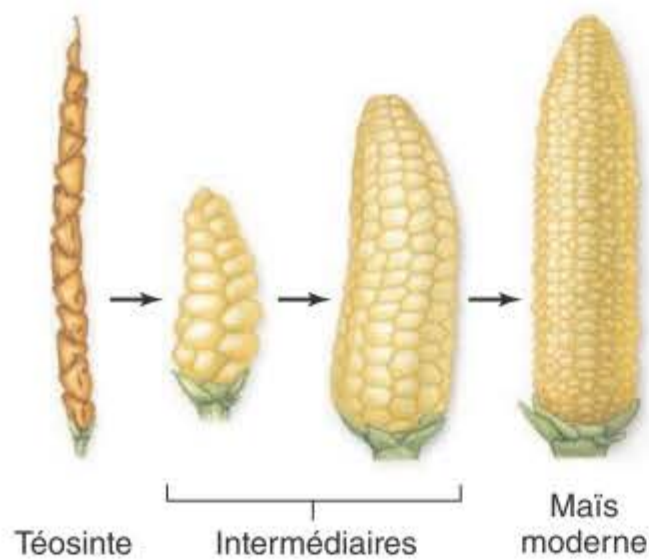


Figure 21.6 Le maïs paraît très différent de son ancêtre. Le téosinte, que l'on peut trouver aujourd'hui dans une région reculée du Mexique, ressemble fort à l'ancêtre du maïs moderne. La sélection artificielle l'a transformé en la forme que nous connaissons à présent.

En agriculture, la sélection a conduit à une modification extensive des céréales et du bétail

Des méthodes semblables ont été mises en pratique en agriculture depuis de nombreux siècles. Du bétail familier, comme les bêtes à cornes et les porcs, ainsi que les plantes cultivées, comme celles du maïs ou des fraises, diffèrent largement de leurs ancêtres sauvages (figure 21.6). Ces différences résultent de générations de sélection visant à des caractères comme la production de lait ou la taille des épis de maïs.

Une expérience utilisant le maïs démontre la capacité de la sélection artificielle de produire rapidement un changement majeur dans les plants de céréales. En 1896, les agronomes ont commencé à sélectionner des plants de maïs sur base du contenu en huile de leurs grains ; il était initialement de 4,5 %. Comme dans les expériences sur la drosophile, on sélectionna les 20 % d'individus qui en produisaient le plus et on les fit se reproduire entre eux. En 1986, après 90 générations, le contenu moyen en huile des grains de maïs avait augmenté de 450 %.

Les races domestiquées proviennent d'une sélection artificielle

La sélection artificielle a été également responsable de la grande variété de races de chats, de chiens (figure 21.7), de pigeons et d'autres animaux

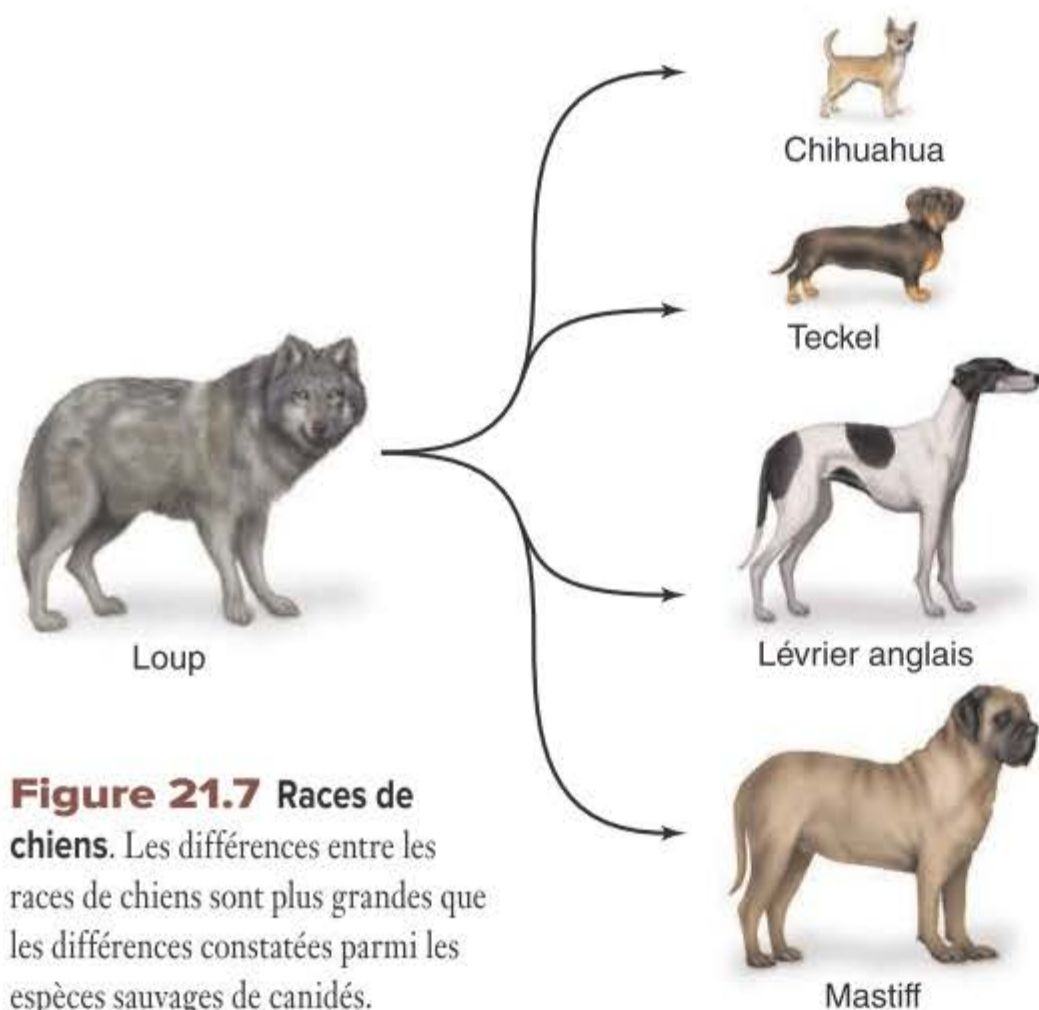


Figure 21.7 Races de chiens. Les différences entre les races de chiens sont plus grandes que les différences constatées parmi les espèces sauvages de canidés.



Figure 21.8 Renards domestiqués. Après 40 ans de reproduction sélective des renards les plus familiers, la sélection artificielle a produit des renards argentés qui sont non seulement aussi amicaux que les chiens domestiques, mais sont aussi dotés de traits physiques présents dans les races canines.

domestiques. Dans certains cas, des races ont été développées pour des objectifs particuliers. La race des chiens lévriers, par exemple, a été développée sur base de la vitesse de leur course, ce qui a donné un animal doté de longues pattes, une longue queue (qui sert de gouverne), un dos arqué (pour augmenter la longueur du pas) et une grande masse musculaire. Par contre, les proportions bizarres et l'allure pataude du teckel résultent de la sélection de chiens qui pouvaient entrer dans les trous étroits à la poursuite des blaireaux. Dans d'autres cas, des races ont été développées surtout pour leur apparence ornementale ou colorée, par exemple des pigeons pour leur plumage ou des chats pour leur pelage.

La domestication a mené aussi à des sélections non voulues de certains traits. Ces dernières années, afin de domestiquer le renard argenté, des scientifiques russes ont choisi les animaux les plus dociles à chaque génération et les ont fait se reproduire entre eux. En 40 ans, la plupart des renards étaient devenus exceptionnellement dociles ; ils se laissaient cajoler, attiraient l'attention en pleurnichant, reniflaient et léchaient ceux qui en prenaient soin (figure 21.8). Sous de nombreux aspects, ils étaient devenus semblables à des chiens de compagnie.

Cependant, ce n'est pas seulement leur comportement qui a changé ; certains ont acquis des pelages de coloration différente et des caractères morphologiques de certaines races de chiens : oreilles tombantes, queue moins longue et recourbée ainsi que des pattes courtes. Il est probable que les gènes responsables du comportement docile affectent également ces caractères, à moins qu'ils ne soient très proches des gènes qui déterminent les caractères morphologiques (les phénomènes de pléiotropie et de liaison génétique, ou *linkage*, sont décrits aux chapitres 12 et 13).

La sélection peut-elle produire des changements évolutifs substantiels ?

Comme la sélection peut agir sur des périodes relativement brèves, la plupart des scientifiques pensent que la sélection naturelle est le processus responsable des changements évolutifs constatés sur les fossiles. Cependant, certains critiques de l'évolution, tout en acceptant que la sélection puisse conduire à des changements au sein d'une espèce, considèrent que de tels changements vus en perspective sont relativement mineurs et ne correspondent pas aux changements substantiels montrés par les fossiles. En d'autres mots, s'il est une chose de changer le nombre de soies d'une drosophile ou la taille d'un épi de maïs, il en est une autre de produire une toute nouvelle espèce.

Cet argument ne tient pas compte de l'étendue des changements que peut entraîner la sélection artificielle. Considérons, par exemple, les races actuelles de chiens ; toutes dérivent du loup qui a été domestiqué, il y a probablement près de 10 000 ans. Si les diverses races de chiens n'existaient pas et qu'un paléontologue trouvait des fossiles d'animaux semblables aux teckels, lévriers, mastiffs et chihuahuas, il ne fait pas de doute que ces animaux seraient considérés comme appartenant à des espèces différentes. En effet, les différences de taille et de forme entre ces races sont plus grandes que celles que l'on observe entre membres de différents genres dans la famille des canidés, comme les coyotes, les chacals, les renards et les loups, qui ont évolué séparément depuis 5-10 millions d'années. En conséquence, l'affirmation que la sélection artificielle ne produit que des changements mineurs est clairement incorrecte. Si la sélection peut produire des différences aussi substantielles sur une période de seulement 10 000 ans, elle devrait être puissante assez pour produire, au cours de nombreux millions d'années, la diversité de la vie que nous voyons autour de nous aujourd'hui.

Questions d'apprentissage 21.3

Dans la sélection artificielle, les hommes choisissent des plantes ou des animaux qu'ils accouplent dans une tentative de conserver des traits souhaitables. Des résultats substantiels et rapides peuvent être obtenus en un temps très court, souvent en quelques générations. On en conclut que la sélection naturelle est capable de produire d'importants changements évolutifs.

- Dans quelles circonstances une sélection artificielle échoue dans la production d'un changement désiré ?

21.4 Données fournies par les fossiles en faveur de l'évolution

Objectifs

1. Décrire comment les fossiles se sont formés.
2. Expliquer l'importance de la découverte des fossiles de transition.
3. Citer les tendances évolutives révélées par l'étude de l'évolution des chevaux.

La preuve la plus directe de l'évolution est fournie par les archives paléontologiques, dont l'interprétation est bien meilleure aujourd'hui que du temps de Darwin.

Les fossiles sont les restes préservés d'anciens organismes vivants. Certains spécimens sont conservés dans l'ambre, le permafrost sibérien ou des cavernes sèches, mais les plus communs sont pétrifiés.

Ces derniers se forment à la suite de l'enfouissement de l'organisme dans des sédiments, de la minéralisation du calcium des os ou d'autres tissus durs et, finalement, de la transformation des sédiments en roches.

Les fossiles sont rares car, habituellement, les restes animaux ou végétaux se décomposent ou servent de nourriture avant que la fossilisa-

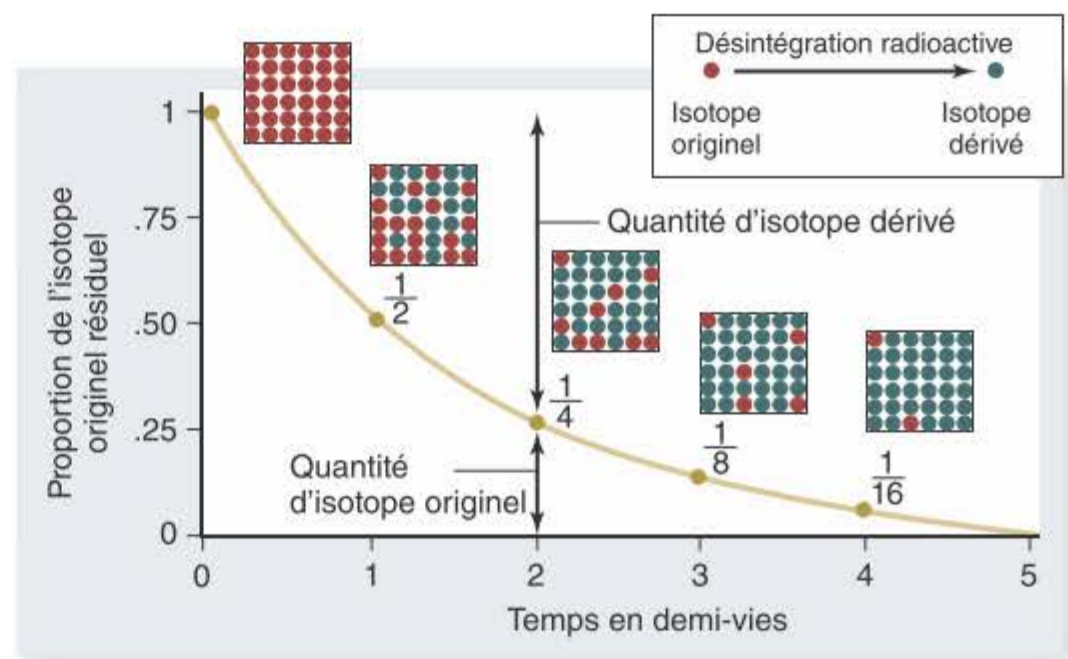


Figure 21.9 Isotopic decay. Isotopes decay at a known rate, called their half-life. After 1 half-life, one-half of the original amount of parent isotope has transformed into a daughter isotope. After each successive half-life, one-half of the remaining amount of the parent isotope is transformed.

tion ne commence. De plus, de nombreux fossiles se forment dans des roches inaccessibles aux chercheurs. S'ils deviennent accessibles, ils sont souvent abîmés par l'érosion ou d'autres processus naturels avant qu'ils ne soient récoltés par les chercheurs. C'est pourquoi, les fossiles ne permettent de connaître qu'une très petite fraction de la multitude d'espèces qui ont existé (certains estiment leur nombre à près de 500 millions). Néanmoins, le nombre de fossiles découverts s'est révélé suffisant pour livrer des informations détaillées sur le cours de l'évolution à travers les âges.

L'âge des fossiles peut être estimé

En datant les roches dans lesquelles les fossiles se trouvent, on peut se faire une idée correcte de leur âge. Du temps de Darwin, les roches étaient datées par la position de l'une par rapport à l'autre (*datation relative*) ; les roches des strates les plus profondes sont en général les plus anciennes. Les géologues du dix-neuvième siècle se sont fait une idée assez précise des âges relatifs des roches.

Aujourd'hui, les géologues peuvent déterminer l'âge absolu des roches en recourant à la datation isotopique. Lorsqu'une roche se forme, certains éléments existent sous forme de différents isotopes. Au fil du temps, l'isotope le moins stable est converti en un autre isotope et le rapport des deux formes change. Le chapitre 26 décrit en détail la datation absolue.

Par exemple, le potassium est un des atomes les plus communs dans les organismes. Tous les atomes de potassium (K) ont le même nombre de protons, mais les isotopes de K varient par leur nombre de neutrons. ^{40}K a 19 protons et 21 neutrons. Par ailleurs, il est moins stable que ^{39}K ou ^{41}K et se désintègre progressivement en argon (^{40}Ar). La demi-vie de ^{40}K est de 1,25 milliard d'années. En d'autres termes, il faut 1,25 milliard d'années pour que la quantité de ^{40}K diminue de 50 %. Cette longue demi-vie permet la datation d'anciens fossiles sur base du rapport entre le ^{40}K et le ^{40}Ar (figure 21.9).

Pour des événements plus récents, on peut recourir à la datation au radiocarbone. La photosynthèse incorpore dans les plantes le carbone du CO_2 atmosphérique, comprenant les isotopes ^{14}C et ^{12}C . La demi-vie du ^{14}C , qui se transforme en ^{12}C , est d'environ 5700 ans. Pour des dates intermédiaires, d'autres isotopes sont disponibles.



Figure 21.10 Fossile d'archéoptéryx, le premier oiseau. La préservation de ce spécimen remarquable révèle des parties molles généralement non conservées dans les fossiles; la présence de plumes indique clairement que l'archéoptéryx était un oiseau, malgré la présence de nombreux traits de dinosaures. La figure 35.29 montre une reconstitution hypothétique de cet animal. Les preuves fossiles documentant l'évolution des oiseaux à partir des dinosaures sont discutées plus en détail au chapitre 23 (voir figure 23.11).

Les fossiles illustrent l'historique des changements évolutifs

Lorsque les fossiles sont disposés selon leur âge, du plus ancien au plus récent, ils fournissent fréquemment des indications sur la séquence des changements évolutifs. À grande échelle, les fossiles documentent le cours de la vie à travers le temps, de l'origine des premiers procaryotes, ensuite des organismes eucaryotes, jusqu'à celle de l'homme, en passant par l'évolution des poissons, l'apparition des premiers organismes terrestres et le règne des dinosaures. De plus, les archives paléontologiques montrent la croissance et la décroissance de la diversité biologique à travers le temps, comme les extinctions de masse périodiques qui ont réduit le nombre d'espèces vivantes. Ces sujets sont davantage détaillés au chapitre 26.

Des fossiles objectivent la transition évolutive

Étant donné la faible probabilité de la préservation des fossiles et de leur découverte, il n'est pas surprenant que les archives paléontologiques comportent de nombreuses lacunes. Néanmoins, des formes intermédiaires sont souvent venues illustrer comment les transitions principales de la vie se sont déroulées.

La forme intermédiaire la plus célèbre est sans doute l'oiseau le plus ancien connu, l'*archéoptéryx*, (qui signifie « plume ancienne »), qui a vécu il y a près de 165 millions d'années (figure 21.10). Ce spécimen est clairement intermédiaire entre les oiseaux et les dinosaures. Ses plumes, semblables à bien des égards à celles des oiseaux d'aujourd'hui, montrent clairement que c'est un oiseau. Néanmoins, sur base de nombreux autres caractères, par exemple, la présence de dents, d'une queue osseuse et d'autres caractéristiques anatomiques, il est impossible de le distinguer de certains dinosaures carnivores. En effet, il est tellement semblable à ces dinosaures que plusieurs spécimens, dont les plumes n'avaient pas été retrouvées, ont été identifiés à tort comme des dinosaures. Des musées d'histoire naturelle les ont ainsi été conservés, pendant plusieurs décennies, parmi les collections des dinosaures avant que l'erreur ne soit découverte !

L'archéoptéryx révèle une tendance qui caractérise les fossiles intermédiaires. Plutôt que de l'être dans chacun de leur caractère, ces fossiles présentent généralement certains traits de leurs ancêtres et d'autres semblables à ceux de leurs descendants. En d'autres termes, les traits évoluent à différentes vitesses et à différents moments ; il ne faut donc pas s'attendre à trouver, dans une forme intermédiaire, des caractères qui seraient tous intermédiaires.

Le premier fossile, l'*archéoptéryx*, a été découvert en 1859, l'année où Darwin publiait *De l'origine des espèces*. Depuis lors, les paléontologues ont continué à combler les lacunes dans les archives paléontologiques. Aujourd'hui, celles-ci sont beaucoup plus complètes, particulièrement pour les vertébrés : on a découvert des fossiles qui relient tous les groupes majeurs.

Ces dernières années, on a assisté à des découvertes spectaculaires, comblant certaines lacunes importantes dans notre compréhension de l'évolution des vertébrés. Par exemple, on a découvert récemment un mammifère aquatique quadrupède qui a fourni d'importants enseignements concernant l'évolution des baleines et des dauphins à partir d'ancêtres ongulés terrestres (figure 21.11). De même, un serpent fossile muni de pattes a permis de mieux suivre l'évolution des serpents ; ils descendent des lézards qui se sont allongés progressivement avec atrophie

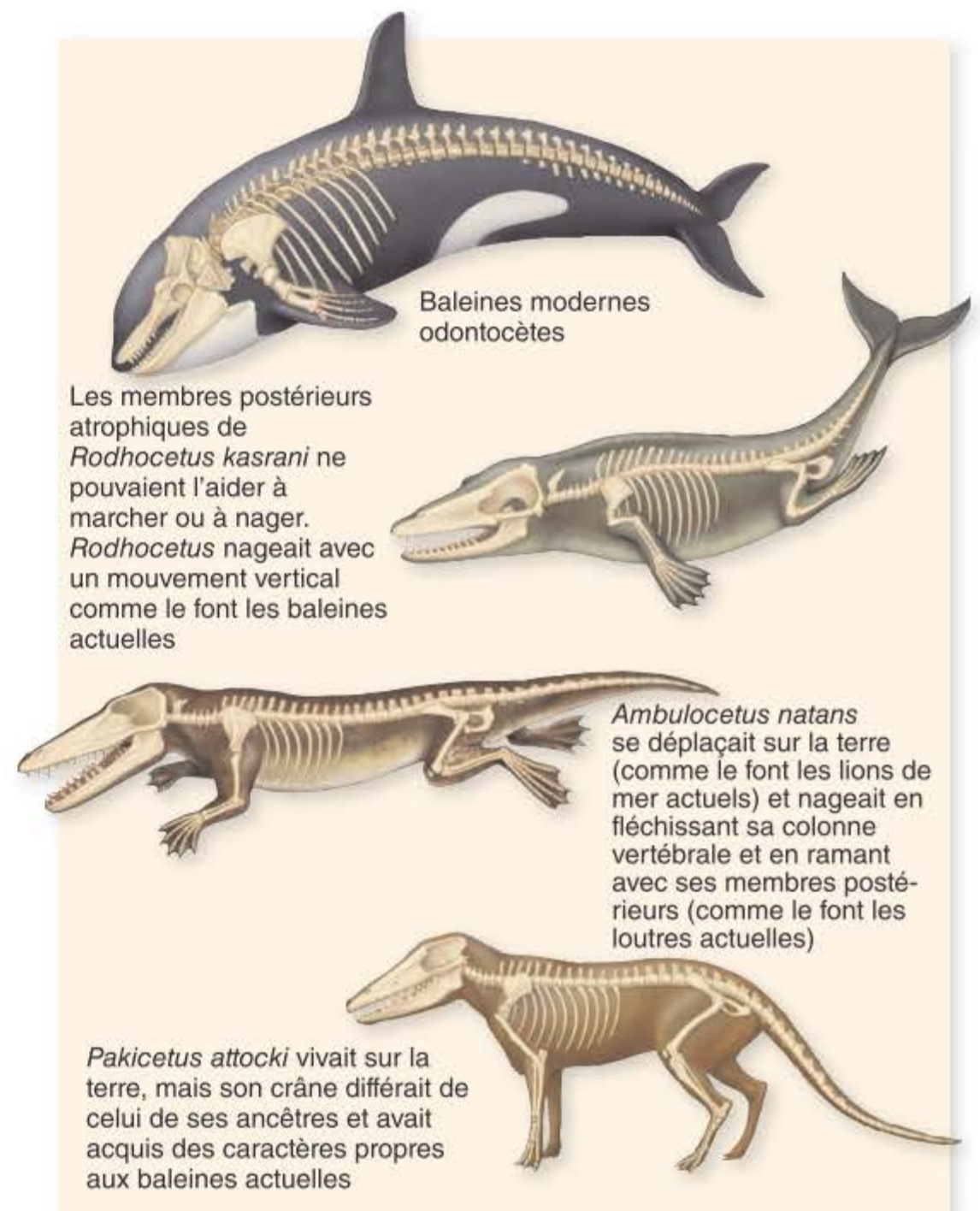


Figure 21.11 Les étapes majeures dans l'évolution de la baleine.

La découverte récente de *Ambulocetus*, *Rodhocetus* et *Pakicetus* ont comblé les lacunes dans l'étude de l'évolution des baleines à partir de mammifères ongulés terrestres. Les caractères de *Pakicetus* montrent que les formes intermédiaires ne le sont pas nécessairement pour tous les caractères ; certains traits ont évolué avant d'autres. Dans le cas des baleines, le crâne s'est modifié avant les membres. Les trois formes de fossiles datent de la période Éocène, il y a 45-55 millions d'années.

simultanée et disparition finale des membres. Au chapitre 35, nous décrivons la plus récente découverte de ce type, *Tiktaalik*, une espèce qui fait le pont entre les poissons et les premiers amphibiens (voir figure 35.17).

À plus petite échelle, les changements évolutifs à l'intérieur de certains types d'animaux sont connus jusque dans les détails. Par exemple, il y a environ 200 millions d'années les huîtres avaient une coquille petite et courbée qui a grandi progressivement et s'est aplatie. C'est ce qu'a révélé l'étude des fossiles qui se sont succédé durant une période de 12 millions d'années. Une foule d'autres exemples illustre la succession des changements. Leur démonstration constitue une des séries d'arguments les plus solides en faveur de la théorie de l'évolution.

L'évolution des chevaux est un excellent exemple des informations fournies par des fossiles

Un des cas les mieux étudiés dans les archives paléontologiques concerne l'évolution des chevaux. Les membres des équidés actuels comprennent les chevaux, les zèbres, les ânes domestiqués ou sauvages ; tous sont relativement grands, ont de longues pattes, sont aptes à la course et adaptés à la vie sur terrain découvert et herbeux. Ces espèces, toutes classées dans le genre *Equus*, sont les derniers descendants vivants d'une longue lignée qui a produit 34 genres depuis son origine au cours de la période Éocène, il y a approximativement 55 millions d'années. L'examen de ces fossiles a fourni un exemple particulièrement bien documenté de la progression de l'évolution par l'adaptation à des environnements changeants.

Le premier cheval

Les premières espèces connues de la famille des chevaux appartenaient au genre *Hyracotherium* et différaient fortement des chevaux actuels. Petites, munies de courtes pattes et de larges pieds, ces espèces vivaient dans des habitats boisés, où elles broutaient les feuilles et les herbes et échappaient aux prédateurs en s'esquivant dans la végétation de la forêt. La voie évolutive qui est partie de ces créatures naines pour aboutir aux chevaux de trait actuels a impliqué d'importants changements comme l'augmentation de la taille, la réduction des orteils ainsi que des modifications du volume et de la forme des dents (figure 21-12).

Changements de taille

Les premières espèces de chevaux avaient la taille des chiens ou étaient même plus petites, alors que les équidés actuels peuvent peser plus d'une demi-tonne. L'examen des fossiles révèle que les chevaux ont peu changé en taille pendant les 30 premiers millions d'années, mais à partir de cette époque, la taille de diverses lignées a augmenté fortement et rapidement. Cependant, une tendance vers des tailles plus petites fut également observée dans certaines branches de l'arbre évolutif des équidés

Réduction des orteils

Le pied des chevaux actuels ne comporte qu'un seul orteil enfermé dans un sabot dur et osseux. Par contre, l'*Hyracotherium* avait quatre orteils à ses pieds antérieurs et trois à ses pieds postérieurs. Ces orteils étaient entourés, non pas de sabots, mais de coussinets charnus comme ceux des chiens et des chats.

Les fossiles montrent clairement la transition à travers le temps : allongement de l'orteil médian, développement du sabot et atrophie progressive des autres orteils (voir figure 21.12). Comme pour la taille du corps, ces modifications survinrent en parallèle dans différentes branches de l'arbre évolutif des chevaux, mais pas dans toutes les lignées.

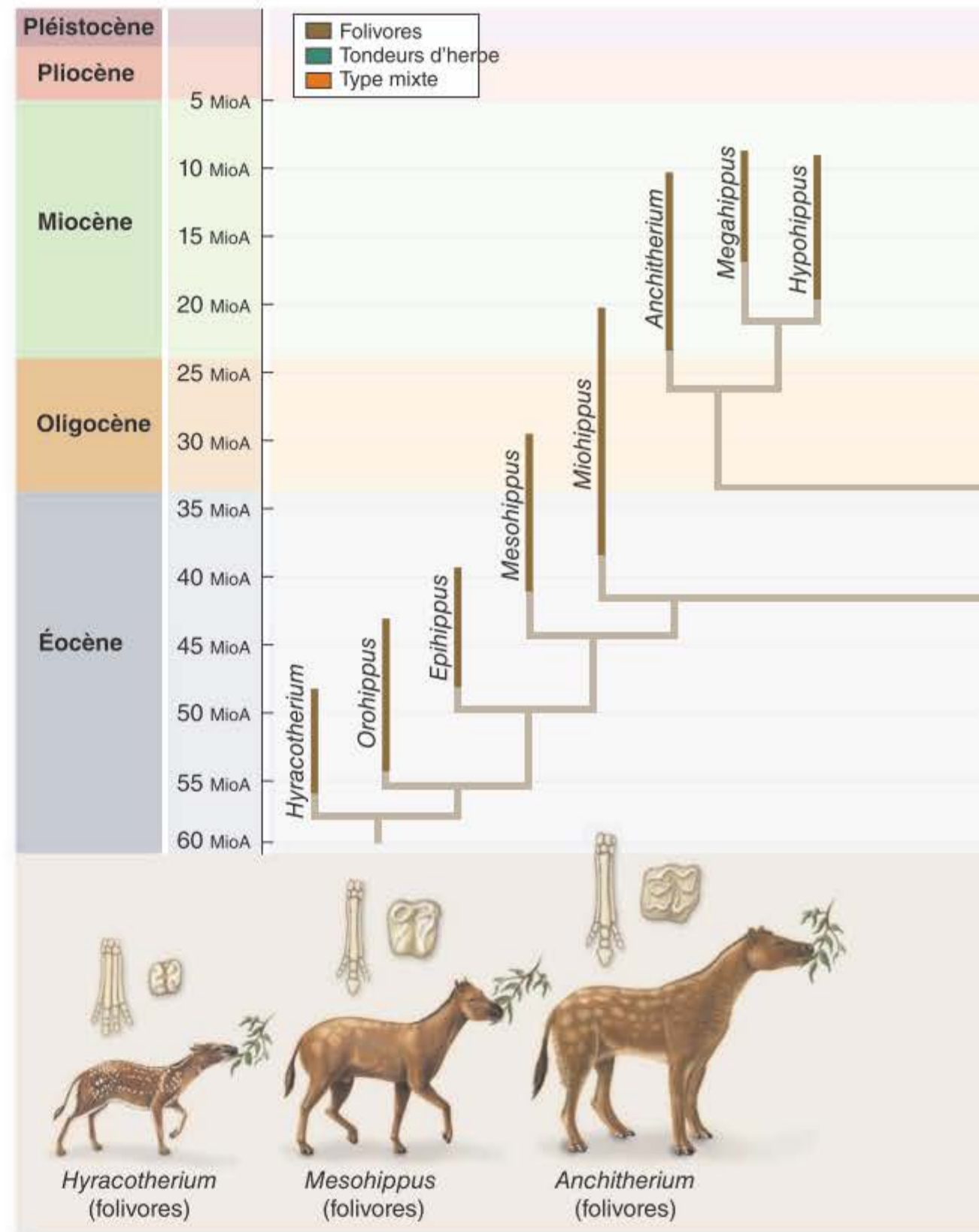


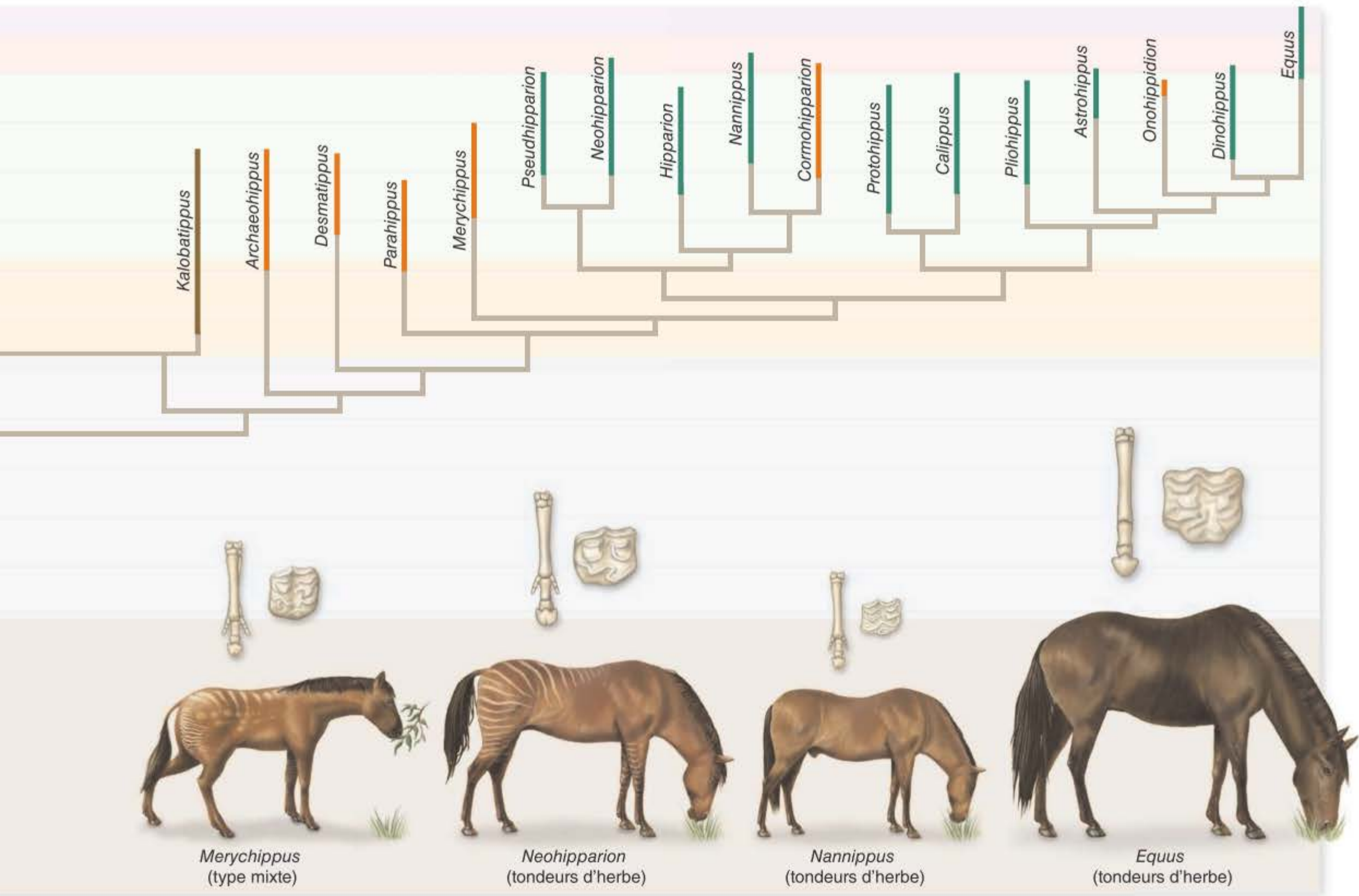
Figure 21.12 Changement évolutif de la taille des chevaux. Les lignes indiquent les relations évolutives de la famille des chevaux. L'évolution du cheval ressemble davantage à un buisson qu'à un arbre à tronc unique ; la diversité était beaucoup plus grande dans le passé qu'elle ne l'est actuellement. En général, il y a eu une tendance vers une augmentation de la taille, vers la complexification des dents molaires et une diminution du nombre d'orteils, mais cette tendance comporte des exceptions. Par exemple, une forme relativement récente, *Nannippus*, a évolué dans la direction opposée, vers une taille réduite.

? **Question** Pourquoi la ligne évolutive menant à *Nannippus* pourrait-elle avoir connu une réduction progressive de la taille corporelle ?

En même temps que la réduction du nombre d'orteils, des changements dans la structure et la longueur du squelette des membres se développaient, rendant ses animaux capables de courir plus rapidement et sur de plus longues distances.

Volume et forme des dents

Les dents de *Hyracotherium* étaient petites et avaient une forme relativement simple. Avec le temps, elles se sont allongées fortement et un réseau d'arêtes s'est formé sur les molaires et prémolaires. Par ces changements, les dents sont devenues plus aptes à mâcher une végétation dure et rugueuse, comme les graminées, qui tendent à user les dents.



Avec ces changements, la forme du crâne s'est aussi adaptée afin de résister aux contraintes exercées par la mastication continue. Comme pour la taille du corps, le changement évolutif n'a pas été constant au cours du temps. Les plus grandes modifications de la forme des dents sont survenues au cours des 20 derniers millions d'années, et les changements n'ont pas été constants parmi toutes les lignées équines.

Tous ces changements peuvent être interprétés comme des adaptations à des changements climatiques. En particulier, durant la fin du Miocène et au début de l'Oligocène (il y a environ 20 à 25 millions d'années), les prairies naturelles s'étendirent en Amérique du Nord, là où l'évolution du cheval s'est principalement déroulée. Pour s'adapter à cet habitat, la course rapide devint probablement vitale pour échapper aux prédateurs. Par contre, la souplesse permise par des membres plus courts et se terminant par plusieurs orteils était avantageuse pour fuir à travers la végétation dense de la forêt, mais elle était devenue inutile. En même temps, les chevaux mangeaient des graminées et d'autres végétaux plus durs et plus siliceux, nécessitant des dents et un crâne qui permettent de mâcher une telle nourriture.

Tendances évolutives

Pendant plusieurs années, l'évolution des chevaux était considérée comme l'exemple d'un changement évolutif constant au cours du temps. Certains y voyaient même la preuve qu'une force conductrice progressive poussait les changements dans une seule direction. Nous savons

maintenant que ce concept est erroné ; les changements évolutifs sur des millions d'années sont rarement aussi simples.

Bien que les tendances générales pour divers caractères soient évidentes, les fossiles montrent que les changements évolutifs sont loin d'être constants et uniformes au cours du temps. Les vitesses évolutives ont varié grandement, avec de longues périodes sans changements observables et certaines périodes de changements rapides. De plus, lorsque les changements ont lieu, ils arrivent souvent simultanément dans différentes branches de l'arbre évolutif du cheval.

Finalement, même quand une tendance existe, des exceptions, comme le nanisme progressif observé dans certaines lignées, ne sont pas rares. Ces faits, évidents dans l'évolution du cheval, sont aussi habituels dans tout autre groupe de végétaux et d'animaux pour lesquels nous disposons de riches archives paléontologiques, comme nous le verrons quand nous étudierons l'évolution humaine au chapitre 35.

La diversité chevaline

Si l'évolution du cheval fut conçue à l'origine comme linéaire à travers le temps, c'est peut-être parce que la diversité du cheval actuel est relativement limitée. Dès lors, il est facile d'imaginer une lignée directe partant de *Hyracotherium* jusqu'à l'*Equus* moderne. Cependant, cette diversité limitée à un seul genre survivant est inhabituelle. En effet, au pic de la diversité chevaline durant le Miocène, 13 genres de chevaux vivaient dans la seule Amérique du Nord. Les espèces différaient par la taille du corps et par de

nombreux autres caractères. Elles occupaient probablement des habitats différents et avaient des préférences alimentaires différentes. Si cette diversité avait persisté jusqu'à présent, les premiers biologistes de l'évolution auraient eu probablement une vue différente de l'évolution chevaline.

Questions d'apprentissage 21.4

Les fossiles se forment quand un organisme est conservé dans une matrice comme l'ambre, le pergélisol ou la roche. Ils peuvent être utilisés pour représenter des transitions évolutives importantes sur de longues périodes de temps. La collection considérable de fossiles de chevaux fournit une vue détaillée de diversification évolutive de ce groupe, bien que les tendances ne soient pas constantes et uniformes, et peuvent comprendre des exceptions.

- Pourquoi les vitesses et la direction des changements évolutifs varient à travers le temps ?

21.5 Données anatomiques en faveur de l'évolution

Objectifs

1. Expliquer la signification évolutive des structures homologues et vestigiales.
2. Décrire comment les premières structures apparues au cours du développement constituent des arguments en faveur de l'évolution.

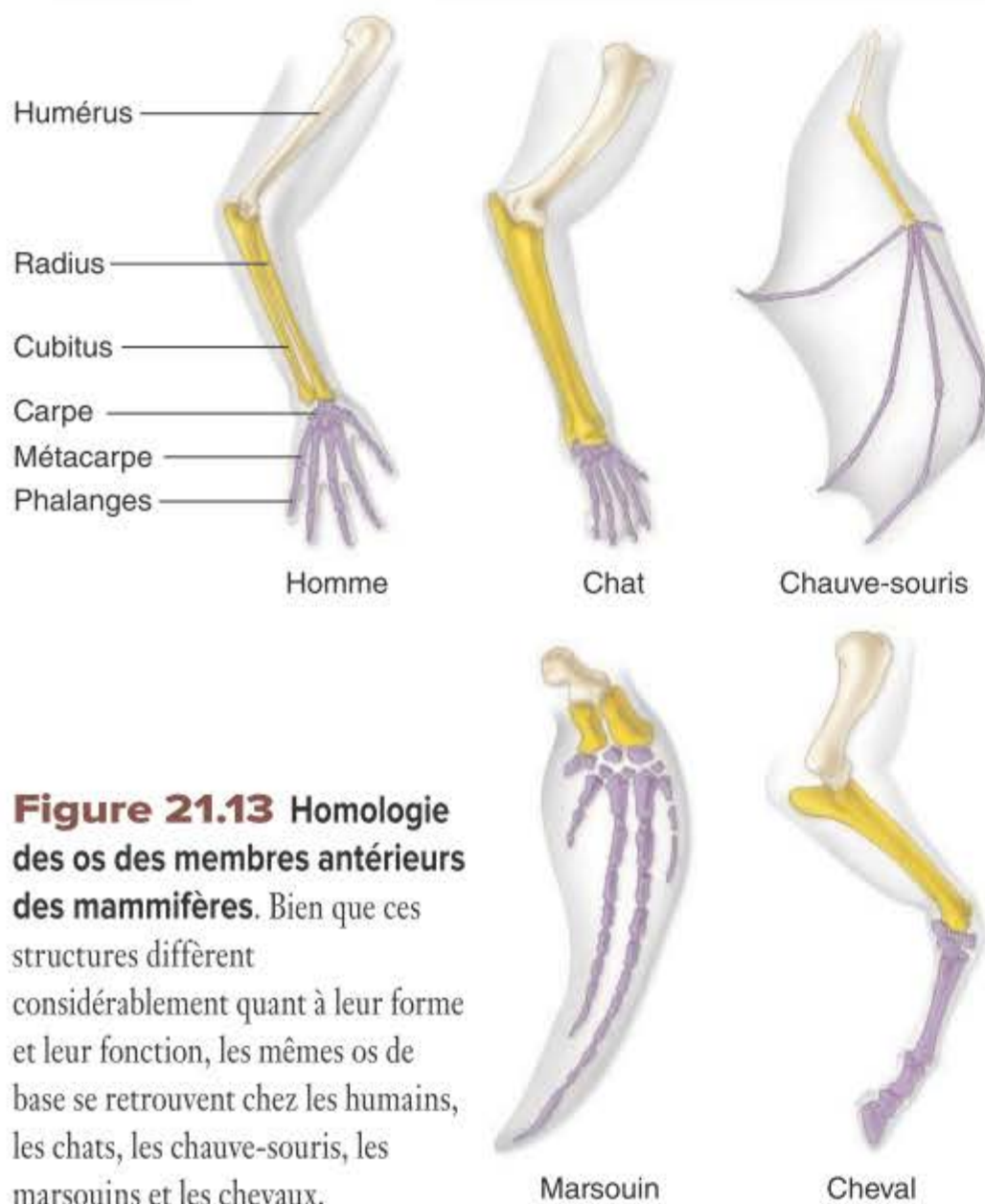


Figure 21.13 Homologie des os des membres antérieurs des mammifères. Bien que ces structures diffèrent considérablement quant à leur forme et leur fonction, les mêmes os de base se retrouvent chez les humains, les chats, les chauve-souris, les marsouins et les chevaux.

La théorie de l'évolution tire sa force de la capacité qu'elle a de fournir un cadre logique permettant l'interprétation de la diversité de la vie. De nombreuses observations dans tous les domaines de la biologie ne peuvent être expliquées que par l'évolution.

Des structures homologues suggèrent une origine commune

Au cours de l'évolution des vertébrés, les mêmes os furent parfois affectés à des usages différents. Ces os restant visibles, leur présence trahit leur passé évolutif. Par exemple, les membres antérieurs des vertébrés sont des **structures homologues**, c.-à-d. qu'elles diffèrent d'apparence et de fonction mais elles dérivent toutes de la même partie du corps d'un ancêtre commun.

Vous pouvez voir dans la figure 21.13 comment la structure du membre antérieur, un os unique dans la partie supérieure, une paire d'os dans la partie inférieure, plusieurs petits os formant le carpe et un ou plusieurs doigts, a été modifiée de diverses manières chez des mammifères. Pourquoi ces structures très différentes devraient-elles être composées des mêmes os ? Si l'évolution n'était pas survenue, cette question resterait sans réponse. Mais, si l'on admet que tous ces animaux descendent d'un ancêtre commun, il est facile de comprendre que la sélection naturelle a modifié la structure de départ pour servir des objectifs très différents.

Le développement embryonnaire précoce montre des similitudes entre certains groupes

Certains des arguments anatomiques les plus convaincants en faveur de l'évolution proviennent des comparaisons du développement des organismes. Les embryons de différents types de vertébrés, par exemple, se ressemblent souvent à un stade précoce, mais diffèrent ensuite au cours du développement. Tôt au cours de leur développement, les embryons humains et des poissons possèdent tous deux des poches pharyngées, qui forment diverses glandes et canaux chez l'homme, mais deviennent des fentes branchiales chez les poissons. À un stade plus tardif, chaque embryon humain a une queue osseuse, dont le vestige persiste chez l'adulte et forme le coccyx à l'extrémité de la colonne vertébrale. Les fœtus humains acquièrent même un fin duvet (appelé *lanugo*) durant le cinquième mois du développement.

Pareillement, bien que la plupart des grenouilles passent par un stade de têtard, certaines espèces se développent directement et éclosent sous la forme de petites grenouilles entièrement formées. Cependant, les embryons de ces espèces présentent encore des caractéristiques des têtards, comme la présence d'une queue, qui disparaissent avant l'éclosion de la grenouille (figure 21.14).

Ces vestiges embryonnaires suggèrent fortement que notre développement a évolué sous l'effet de nouvelles instructions modifiant les plans ancestraux. Nous reviendrons sur le sujet du développement embryonnaire et de l'évolution au chapitre 25.

Certaines structures imparfaitement adaptées à leur usage

Puisque la sélection naturelle ne peut agir qu'à partir des variations au sein d'une population, il n'est pas surprenant que certains organismes ne paraissent pas adaptés parfaitement à leur environnement. Par exemple, la plupart des animaux dotés d'un long cou ont de nombreuses vertèbres cervicales qui leur assurent une plus grande souplesse : les oies en ont jusqu'à 25, et les plésiosaures, les reptiles au long cou qui parcouraient les mers à



Figure 21.14 Certains caractères embryonnaires sont le reflet d'une origine ancestrale. Il existe des espèces de grenouilles dont le développement ne passe plus par le stade de têtard. Néanmoins, durant l'embryogenèse, des caractères de têtard apparaissent de manière transitoire.

l'âge des dinosaures en avait 76. Par contre, presque tous les mammifères, y compris la girafe, n'ont que 7 vertèbres cervicales. En l'absence de variation dans le nombre de vertèbres, la sélection a conduit à une augmentation évolutive de la taille des vertèbres pour aboutir au long cou de la girafe.

L'œil des vertébrés, dans lequel les photorécepteurs sont tournés vers l'arrière et donc vers la paroi oculaire (figure 21.15a), constitue un excellent exemple de réalisation imparfaite. Les fibres nerveuses sont dirigées non pas vers l'arrière et vers le cerveau, mais bien vers l'avant et vers la chambre oculaire, où elles gênent légèrement le passage de la

lumière. De plus, ces fibres forment un faisceau, le nerf optique, qui sort à l'arrière de l'œil par un orifice, qui constitue une tache aveugle.

Par contre, les yeux des mollusques, comme les calmars et les poulpes, sont dessinés de manière optimale : les photorécepteurs sont dirigés vers l'avant, et les fibres nerveuses sortent à l'arrière, n'interférant pas avec la lumière et ne créant pas de tache aveugle (figure 21.15b).

De tels exemples montrent que la sélection naturelle agit comme un bricoleur, qui récupère tout matériel disponible pour accomplir son travail, et non comme un ingénieur, qui lui planifie et construit la structure la mieux adaptée à une tâche déterminée. Utilisables, mais imparfaites, des structures comme l'œil des vertébrés sont un résultat attendu de l'évolution par sélection naturelle.

Des structures vestigiales peuvent être expliquées comme des reliquats du passé

De nombreux organismes possèdent des **structures vestigiales** apparemment dépourvues de fonction, mais qui ressemblent à des structures présentes chez leurs ancêtres présumés. Les humains, par exemple, possèdent une série de muscles pour agiter les oreilles, ce que font de nombreux autres mammifères. Bien que ces muscles permettent à d'autres mammifères de mouvoir leurs oreilles pour repérer des sons tels que le bruit des mouvements ou les grognements d'un prédateur, pour les êtres humains, ils ont peu d'utilité autre que l'amusement.

Le boa constricteur a des os pelviens et des membres postérieurs rudimentaires. Le lamantin, un type de mammifère aquatique souvent surnommé « vache de mer », a des ongles à l'extrémité de ses nageoires, développées à partir de membres. Les poissons cavernicoles aveugles, qui ne voient jamais la lumière du jour, ont de petits yeux non fonctionnels. La figure 21.16 montre le squelette d'une baleine à fanons (mysticètes), qui comporte des os pelviens, comme les autres squelettes mammaliens, bien que de tels os ne servent à aucune fonction connue chez la baleine.

L'appendice vermiculaire humain est apparemment vestigial ; il représente la partie terminale dégénérée du cæcum, la poche aveugle ou sac à partir duquel le gros intestin commence. Chez d'autres mammifères, comme les souris, le cæcum est la partie la plus volumineuse du gros intestin. Chez les herbivores, il sert au stockage de la masse cellulosique. Bien que l'on ait attribué certaines fonctions à l'appendice vermiculaire, il est difficile d'en retenir une pour cet organe, qui par ailleurs peut se révéler dangereux ; une appendicite, conséquence d'une infection, peut être fatale.

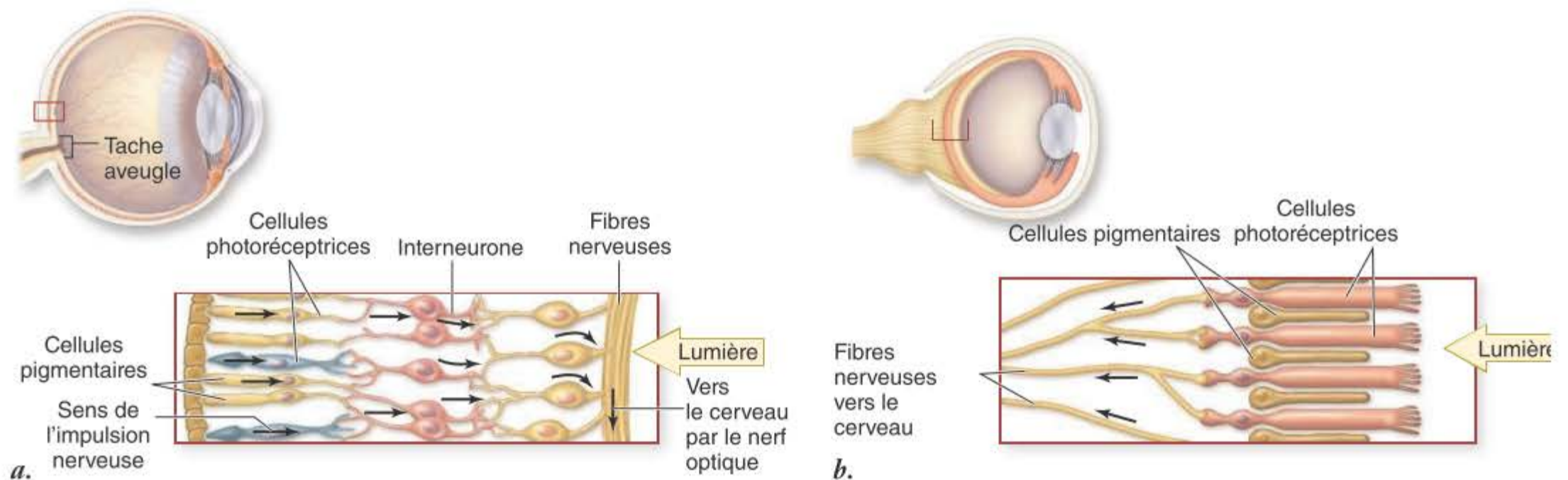


Figure 21.15 Yeux de vertébrés et de mollusques. a Dans la rétine, les photorécepteurs des vertébrés sont dirigés à l'opposé des rayons lumineux, tandis que b ceux des mollusques sont dirigés vers eux. Par conséquent, les fibres nerveuses chez les vertébrés sont positionnées devant les photorécepteurs. Là où elles se rassemblent en un faisceau et sortent de l'œil, elles constituent une tache aveugle. Les yeux de mollusques ne présentent pas cet inconvénient.

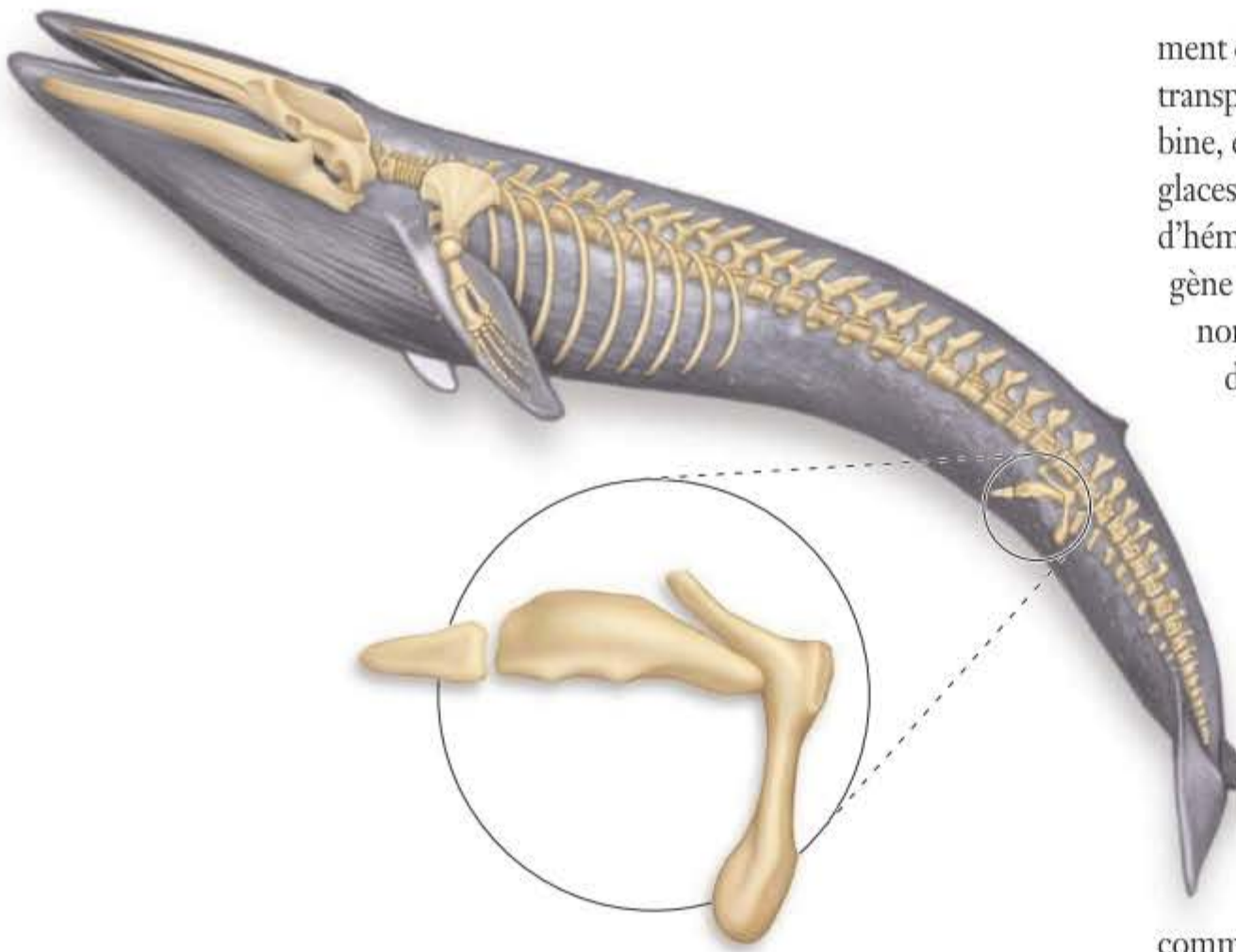


Figure 21.16 Structures vestigiales. Le squelette d'une baleine comporte des os pelviens qui ressemblent à ceux des autres mammifères, mais chez la baleine, ils ne sont que faiblement développés et n'exercent apparemment aucune fonction.

Des caractères rudimentaires peuvent aussi être constatés dans les génomes de nombreux organismes. Par exemple, le poisson des glaces (figure 21.17) est un animal bizarre, presque transparent qui vit dans les eaux glaciales de l'Antarctique. Sa transparence est due non seulement à un manque de pigment dans les structures de son organisme, mais également à la quasi invisibilité de son sang. Notre sang est rouge en raison de la présence de globules rouges qui contiennent l'hémoglobine, la molécule qui transporte l'oxygène des poumons aux tissus (voir chapitre 49). Toutefois, la concentration d'oxygène dans l'eau augmente lorsque la température diminue. Les eaux de l'Antarctique, qui sont environ à 0° C, contiennent telle-

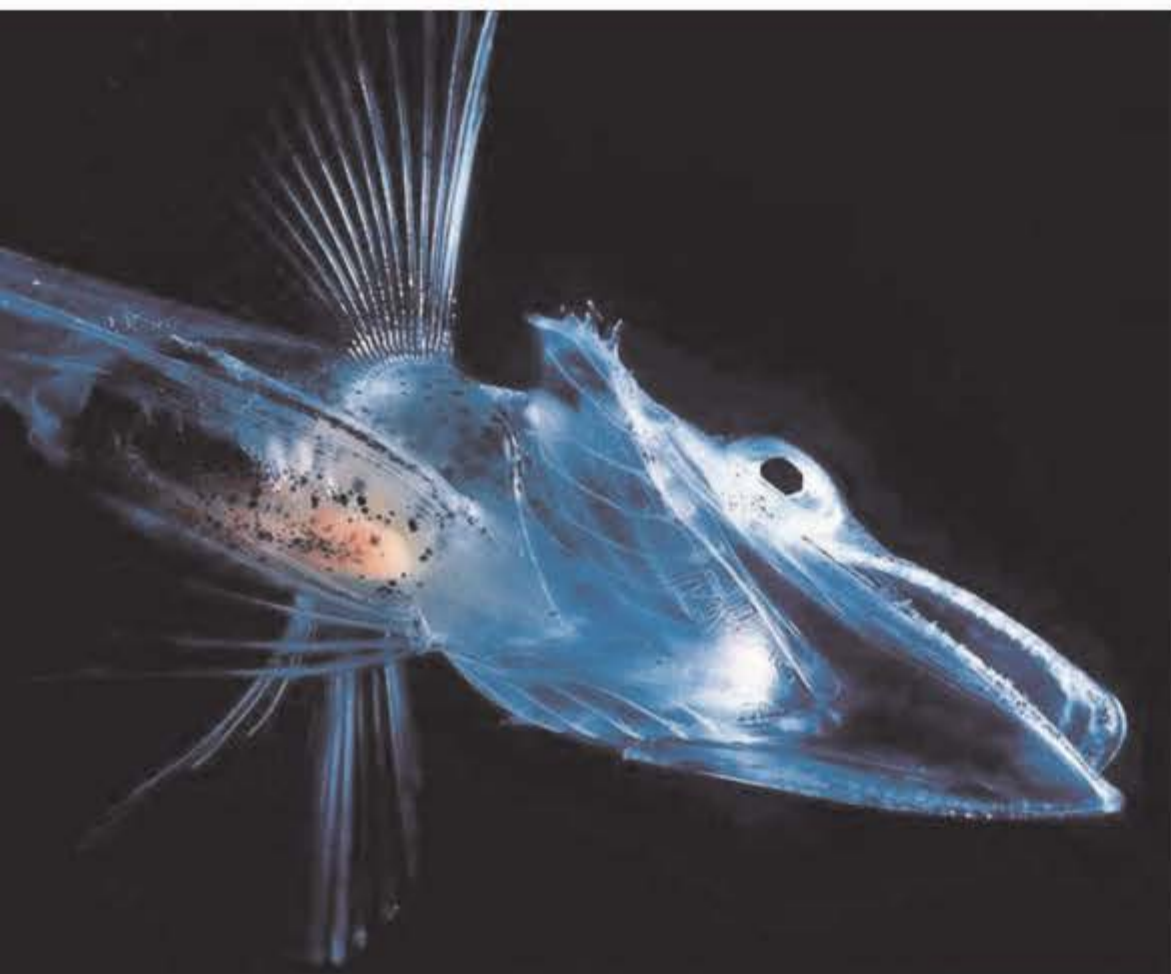


Figure 21.17 Photo d'un poisson des glaces. On trouve ce poisson quasi transparent dans les eaux glacées de l'Antarctique.

ment d'oxygène que les poissons n'ont pas besoin de molécules spéciales de transport de l'oxygène. Par conséquent, ces poissons n'ont pas d'hémoglobine, et leur sang est incolore. Néanmoins, lorsque l'ADN du poisson des glaces a été examiné, les chercheurs ont découvert qu'il avait le même gène d'hémoglobine que celui trouvé chez les autres vertébrés. Cependant, ce gène chez le poisson des glaces a subi diverses mutations qui l'ont rendu non fonctionnel, ce qui explique l'absence d'hémoglobine. La présence de cette version inopérante du gène de l'hémoglobine chez le poisson des glaces signifie que ses ancêtres avaient de l'hémoglobine, mais une fois que les ancêtres de cet animal ont occupé les eaux froides de l'Antarctique et ont perdu le besoin d'hémoglobine, des mutations qui auraient été nuisibles et qui auraient donc été éliminées par la sélection naturelle chez d'autres espèces ont persisté. Un peu par hasard, certaines de ces mutations ont augmenté en fréquence au fil du temps, s'établissant finalement chez tous les individus et supprimant la capacité du poisson de produire de l'hémoglobine.

Des **gènes fossiles**, ou **pseudogènes**, tels que le gène de l'hémoglobine chez le poisson des glaces, sont en fait assez communs dans les génomes de la plupart des organismes ; il en sera question au chapitre 24 : quand un trait disparaît, le gène n'est pas simplement éliminé du génome, mais il subit des mutations qui l'inactivent, et à ce point, d'autres mutations peuvent s'accumuler.

Il est difficile de considérer de telles structures vestigiales comme autres choses que des reliquats de l'évolution, des survivances du passé. Elles plaident fortement en faveur de l'existence d'un ancêtre commun aux membres des groupes qui partagent ces structures quelle que soit l'étendue des différences entre les groupes qui en sont dérivés.

Toutes ces données anatomiques, homologie, développement et structures vestigiales imparfaites, sont facilement compréhensibles comme résultats d'une descendance avec modification, ce qu'est précisément l'évolution.

Questions d'apprentissage 21.5

Les comparaisons anatomiques entre différents animaux vivants fournissent souvent des arguments en faveur d'un ancêtre commun. En cas d'homologie, un même organe a évolué pour aboutir à l'exercice de différentes fonctions. Dans d'autres cas, un organe est encore présent, habituellement sous une forme diminuée, bien qu'il ait perdu complètement sa fonction ; un tel organe ou structure est qualifiée de vestigiale.

- Comment pourriez-vous expliquer l'existence de structures homologues et vestigiales en dehors de la conséquence d'une descendance évolutive avec modification ?

21.6 Évolution convergente et données biogéographiques

Objectifs

1. Expliquer le principe de l'évolution convergente.
2. Montrer comment la distribution biogéographique des espèces végétales et animales sur des îles plaide en faveur d'une diversification évolutive.

La **biogéographie**, l'étude de la distribution géographique des espèces, révèle que des zones géographiques différentes comportent des groupes de plantes et d'animaux d'apparence étonnamment semblables, bien que les organismes soient peu apparentés.

Il est difficile d'attribuer de si nombreuses similitudes à de simples coïncidences. Il semble plutôt que la sélection naturelle ait favorisé des adaptations évolutives parallèles dans des environnements semblables. Puisque la sélection dans ces circonstances tend à favoriser les changements qui rendent les deux groupes plus ressemblants, leur phénotype a convergé. Cette forme de changement évolutif est appelée **évolution convergente**.

Marsupiaux et placentaires montrent une convergence

Dans le cas le mieux connu d'évolution convergente, deux groupes majeurs de mammifères, les marsupiaux et les placentaires, ont évolué de manière très semblable, dans différentes parties du monde. Les marsupiaux constituent un groupe dans lequel les jeunes naissent sous une forme très immature et sont maintenus dans une poche jusqu'à ce qu'ils soient prêts à gagner le monde extérieur (avec des soins parentaux plus ou moins attentifs).

L'Australie s'est séparée des autres continents, il y a plus 70 millions d'années ; à cette époque, les marsupiaux et les mammifères placentaires avaient évolué, mais dans des zones distinctes. En Australie, en particulier, ce sont les marsupiaux qui prédominent ; les seuls mammifères placentaires sont la chauve-souris et quelques colonies de rongeurs, dont l'arrivée est relativement récente.

À quoi ressemblent les marsupiaux australiens ? De manière étonnante, ils ressemblent aux mammifères placentaires vivant aujourd'hui sur les autres continents (figure 21.18). La similitude entre les membres individuels de ces deux groupes de mammifères constitue un solide argument en faveur de l'hypothèse qu'ils sont le résultat d'une évolution convergente ; des formes similaires sont apparues dans différentes zones isolées sous l'effet de pressions sélectives semblables exercées par des environnements similaires.

L'évolution convergente est un phénomène répandu

Lorsque des espèces interagissent avec l'environnement de la même façon, elles sont souvent exposées aux mêmes pressions sélectives ; elles ont donc souvent développé les mêmes adaptations. Considérons, par exemple, des prédateurs marins qui se déplacent rapidement (figure 21.19). Le déplacement dans l'eau requiert une forme hydrodynamique pour minimiser la friction. Ce n'est pas par hasard que les dauphins, les requins et les thons, qui font partie des espèces marines les plus rapides, ont tous acquis la même forme de base. Nous pouvons aussi en déduire que les ichtyosaures, les reptiles marins qui vivaient pendant l'ère des dinosaures, avaient un mode de vie similaire.

Les arbres insulaires présentent un phénomène semblable. La plupart des îles sont couvertes par des arbres (ou l'étaient jusqu'à l'arrivée des humains). Une inspection minutieuse de ces arbres révèle, toutefois, qu'ils ne sont pas étroitement liés aux arbres qui nous sont familiers. Bien qu'ils aient toutes les caractéristiques des arbres, comme une grande taille et un revêtement externe dur, dans de nombreux cas, des arbres insulaires sont les membres de familles de plantes qui, ailleurs, n'existent que sous forme de fleurs, de buissons ou d'autres arbustes. Par exemple, sur de nombreuses îles, les arbres indigènes sont membres de la famille du tournesol.

Pourquoi ces plantes, sur les îles, sont-elles devenues des arbres ? Probablement parce que les graines des arbres parviennent rarement dans les îles isolées. En conséquence, les espèces qui parviennent à coloniser des îles éloignées arrivent dans un environnement écologique vide. En l'absence d'autres plantes arborescentes, la sélection naturelle favorise souvent les plantes individuelles les plus aptes à capter la lumière du soleil pour la photosynthèse ; ce qui aboutit au développement des formes arborescentes dans les îles à travers le monde.

L'évolution convergente est également observée chez l'homme. Dans la plupart des populations, les gens arrêtent de produire la lactase, l'enzyme qui digère le lait, à un certain moment durant l'enfance. Cependant, dans les populations africaines et européennes qui élèvent des

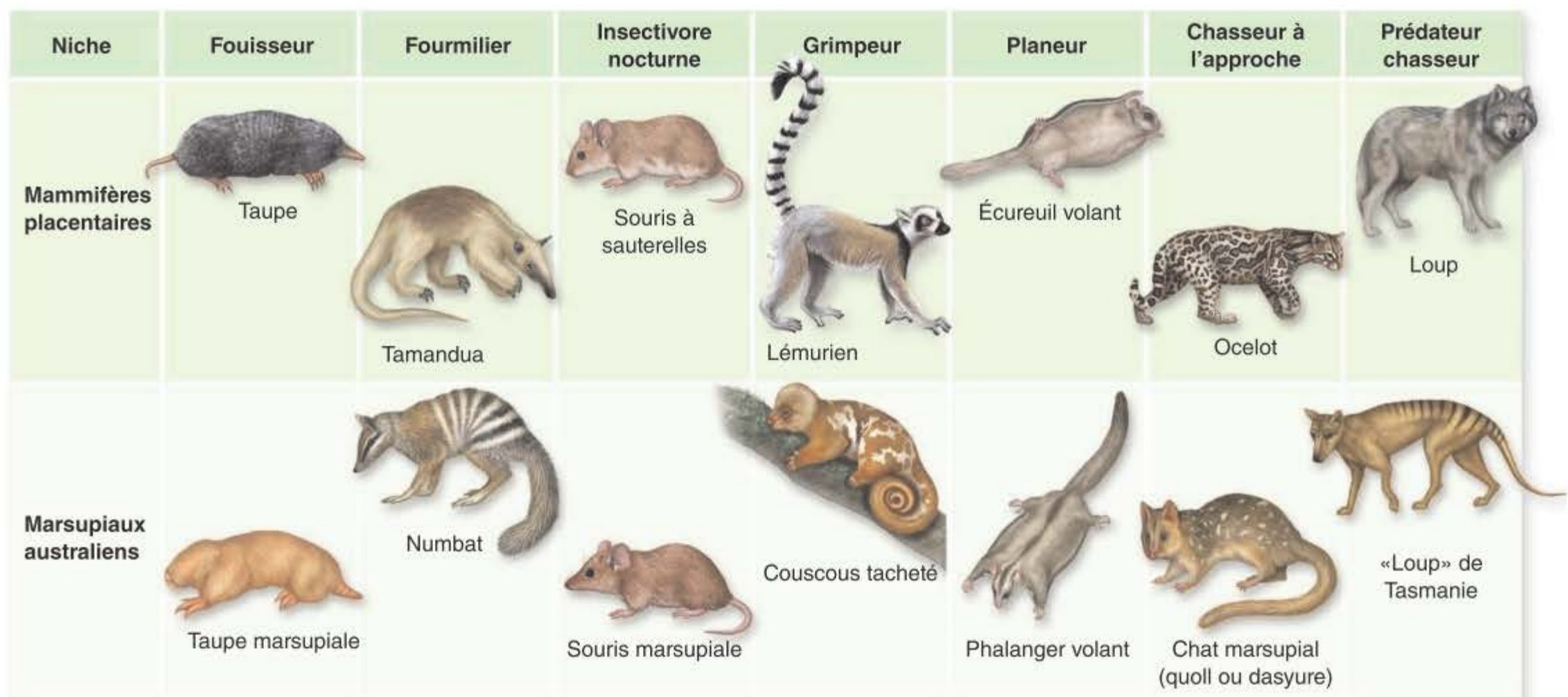


Figure 21.18 Évolution convergente. Les marsupiaux australiens ressemblent aux mammifères placentaires qui occupent les mêmes niches écologiques dans le reste du monde. Ils ont évolué de manière isolée après la séparation de l'Australie des autres continents.

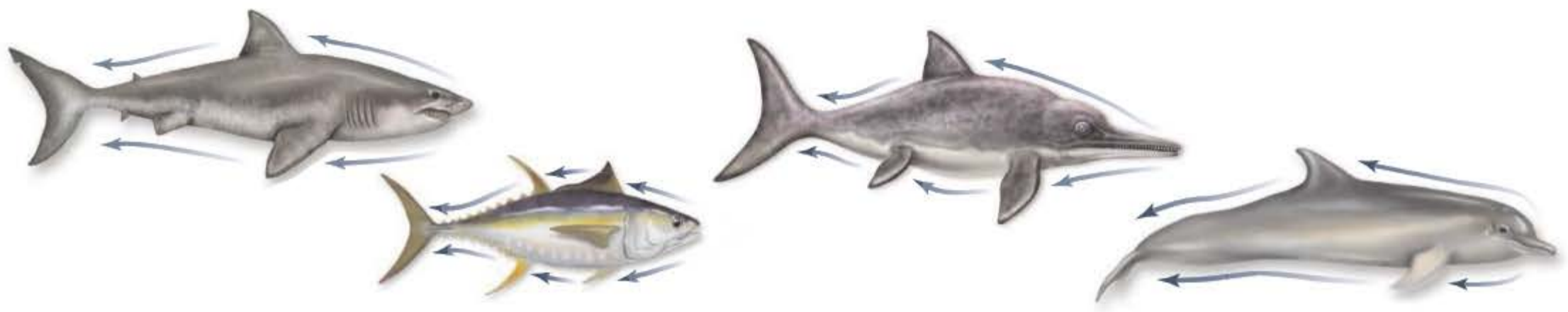


Figure 21.19 Convergence parmi les prédateurs marins à nage rapide. Les mouvements rapides dans l'eau requièrent une forme hydrodynamique, qui a été acquise à de nombreuses reprises au cours de l'évolution.

bovins, les individus produisent de la lactase tout au long de leur vie. L'analyse de l'ADN indique que l'activité enzymatique a été conservée grâce à des mutations différentes en Afrique et en Europe ; ce qui indique que les populations ont acquis indépendamment cette adaptation.

Des études biogéographiques fournissent des arguments supplémentaires en faveur de l'évolution

Darwin a fait plusieurs observations importantes au cours de son voyage autour du monde. Il a noté que les îles étaient souvent dépourvues de plantes et d'animaux communs sur les continents, comme les grenouilles et les mammifères terrestres. L'introduction accidentelle de l'homme a montré que ces espèces, libérées dans les îles, peuvent survivre et que l'inadéquation de l'habitat n'est donc pas en cause. En outre, ces espèces qui sont présentes sur les îles ont souvent divergé de leur famille continentale et, parfois, comme les pinsons de Darwin et les arbres insulaires, dont il vient d'être question, elles occupent des niches écologiques utilisées par d'autres espèces sur les continents. Enfin, les espèces insulaires sont généralement plus étroitement liées aux espèces continentales voisines, même si, souvent, l'environnement n'est pas très semblable à celui de l'île.

Darwin a expliqué ces phénomènes comme suit. De nombreuses îles n'ont jamais été reliées à des zones continentales. Les espèces qui s'y reproduisent sont arrivées par voie aquatique, la dispersion à partir de zones proches étant plus probable qu'à partir de sites plus éloignés, bien qu'occasionnellement une colonisation à longue distance puisse réussir. Certaines espèces, celles qui peuvent voler, flotter ou nager sont plus susceptibles d'accéder à l'île que les autres. Certaines, comme les grenouilles, sont particulièrement vulnérables à la déshydratation dans l'eau salée et n'ont pratiquement aucune chance de coloniser une île.

L'absence de certains types de plantes et d'animaux offre des opportunités aux arrivants ; dès lors, les colonisateurs se transforment souvent en de nombreuses espèces caractérisées par une grande diversité écologique et morphologique. Ce phénomène, appelé radiation adaptative, est décrite au chapitre 22.

Questions d'apprentissage 21.6

Une convergence est l'acquisition de formes similaires par différentes lignées lorsqu'elles sont exposées aux mêmes pressions sélectives. La répartition biogéographique des espèces reflète souvent la diversification évolutive d'espèces étroitement apparentées provenant de zones voisines.

- Pourquoi une évolution convergente survient-elle et pourquoi, parfois, des espèces qui occupent des environnements semblables dans différents endroits ne montrent pas cette convergence ?

21.7 Critiques adressées au darwinisme

Objectifs

1. Examiner les critiques de la théorie de l'évolution tout en y opposant des contre-arguments pertinents.
2. Distinguer entre hypothèse et théorie selon les usages scientifiques.

Au cours des 150 ans qui ont suivi la proposition de Darwin, la théorie de l'évolution par sélection naturelle fut acceptée presque universellement par les biologistes, mais elle souleva des controverses auprès de certaines personnes du grand public. Ici, nous discutons sept objections principales qui ont soulevées contre l'enseignement de la théorie de l'évolution en tant que fait biologique, et nous présentons les réponses que les scientifiques opposent à ces critiques.

1. **L'évolution n'est pas solidement démontrée.** « L'évolution n'est qu'une théorie », disent les critiques de Darwin, comme si *théorie* voulait dire manque de connaissance ; ce serait une sorte d'hypothèse.

Les scientifiques donnent toutefois au mot *théorie* un sens très différent de celui que le grand public lui accorde. Les théories sont les bases solides de la science, celles auxquelles on croit le plus. Peu d'entre nous doutent de la théorie de la gravité en arguant que « ce ne serait qu'une théorie ».

2. **Il n'y aurait pas de fossiles intermédiaires.** « Personne n'a jamais vu une nageoire en train de devenir une jambe », disent les critiques, en signalant les nombreuses lacunes dans les archives paléontologiques datant de l'époque de Darwin.

Depuis lors, on a trouvé de nombreux fossiles intermédiaires, témoins de l'évolution des vertébrés. Une succession de fossiles illustre clairement la transition entre les ongulés et les baleines, entre les reptiles et les mammifères, entre les dinosaures et les oiseaux ainsi qu'entre les singes et les humains. Les résultats de la paléontologie montrent clairement l'évolution entre les structures principales.

3. **L'argument du dessein intelligent.** « Les organes des créatures vivantes sont trop complexes pour être le résultat d'un processus aléatoire ; l'existence d'une horloge est la preuve de l'existence du maître horloger ».

L'évolution par sélection naturelle n'est pas un processus aléatoire. Au contraire, en favorisant les variations qui conduisent à une plus grande capacité reproductive, la sélection naturelle

agit de manière indépendante du hasard ; elle contribue au développement d'organes très complexes par retouches successives d'une génération à l'autre.

Par exemple, on peut identifier sur les fossiles des formes intermédiaires dans l'évolution de l'oreille des mammifères, et l'on connaît de nombreux « yeux » intermédiaires chez divers invertébrés. Ces formes intermédiaires sont survenues pour de bonnes raisons : être capable de détecter un peu la lumière est mieux que de ne pas la détecter du tout. Des structures complexes comme les yeux ont évolué par de petites améliorations successives. De plus, les déficiences de certaines constructions, comme l'œil des vertébrés et l'existence de structures vestigiales, plaident contre l'idée d'un concepteur intelligent.

4. L'évolution viole la seconde loi de la thermodynamique.

« Des cannettes de soda dispersées ne s'empilent pas spontanément ; les événements aléatoires tendent à désorganiser les choses et non à les organiser ».

Les biologistes rappellent que cet argument ignore le contenu exact de la seconde loi : le désordre grandit dans un système fermé, ce que la terre n'est certainement pas. Le soleil fournit en permanence de l'énergie à la biosphère, entretenant ainsi la vie et tous les processus sous-jacents.

5. La synthèse d'une protéine est un événement improbable.

« L'hémoglobine α 141 comporte 141 acides aminés. La probabilité que le premier soit la leucine est de $1/20$, mais que tous les 141 trouvent leur place adéquate par chance est de $(1/20)^{141}$, un événement inconcevable. »

Cet argument illustre un manque de compréhension des probabilités et des statistiques – vous ne pouvez pas utiliser les statistiques pour argumenter a posteriori. La probabilité qu'un étudiant dans une classe ait son anniversaire à un jour donné est de $1/365$; suivant ce raisonnement, la probabilité que chaque élève d'une classe de 50 ait son anniversaire au jour prévu est de $(1/365)^{50}$, et pourtant cette classe existe bien avec ses dates anniversaires effectives.

6. La sélection naturelle n'implique pas l'évolution. « Aucun scientifique n'a réussi une expérience au cours de laquelle un poisson est devenu une grenouille pour échapper ainsi à ses prédateurs. »

La microévolution, l'évolution *au sein* d'une espèce, est-elle le mécanisme qui a produit la macroévolution, l'évolution *entre* espèces ? La plupart des biologistes qui ont étudié la question le pensent. Les différences entre les générations produites par sélection artificielle, comme les chihuahuas, les mastiffs et les lévriers, sont plus distinctes que les différences entre certaines espèces sauvages, et des expériences de sélection en laboratoire créent parfois des formes qui ne peuvent pas se féconder et pourraient donc être considérées, si elles étaient dans la nature, comme des espèces différentes. Ainsi, la production de formes radicalement différentes a bien été observée et de manière répétée. Pour répondre à ceux qui prétendent que l'évolution n'explique pas des différences majeures, comme celles qui existent entre les poissons et les amphibiens, retournons simplement au point 2. Ces changements prennent des millions d'années, et sont clairement visibles dans les archives paléontologiques.

7. L'argument de la complexité irréductible. « La machinerie moléculaire intriquée de la cellule ne peut être expliquée par l'évolution à partir de stades plus simples. Par exemple, puisque chaque partie d'un processus cellulaire complexe comme la coagulation sanguine est

nécessaire à l'ensemble du processus, comment la sélection naturelle pourrait-elle façonner chaque partie ? »

Ce qui est erroné dans cet argument est que chaque part d'une machine moléculaire complexe évolue comme une partie de ce système. La sélection naturelle peut agir sur un système complexe parce qu'à chaque stade de son évolution, le système fonctionne. Des parties qui améliorent la fonction sont ajoutées. Ensuite, d'autres parties peuvent être modifiées ou même perdues, et des parties qui n'étaient pas essentielles lorsqu'elles sont apparues le deviennent par la suite. De cette manière, une structure irréductiblement complexe peut évoluer par sélection naturelle. Le même processus agit à l'échelle moléculaire.

Par exemple, le venin de serpent était à l'origine un mélange d'enzymes qui augmentait la capacité de serpents à digérer les grandes proies, qu'ils capturent par morsure, mais étouffent par leurs anneaux. Par la suite, les enzymes digestives ont évolué pour devenir de plus en plus meurtrières. Les crotales tuent de grandes proies en leur injectant du venin ; ils les laissent s'enfuir, puis les traquent jusqu'à ce qu'elles meurent. À cette fin, ils ont acquis un venin très toxique, des dents frontales très modifiées du type seringue ainsi que de nombreuses autres caractéristiques. Ôtez les crocs ou le venin des serpents à sonnettes et vous les rendrez incapables de se nourrir ; ce qui s'était développé d'abord en tant que pièces non essentielles est désormais indispensable ; la complexité irréductible s'est constituée par sélection naturelle.

Le système de coagulation sanguine chez les mammifères a évolué à partir de systèmes beaucoup plus simples. Le processus central du système de coagulation s'est développé à l'origine des vertébrés il y a plus de 500 millions d'années ; on le trouve aujourd'hui chez un poisson primitif comme la lamproie. Cent millions d'années plus tard, avec l'évolution des vertébrés, des protéines furent ajoutées au système de coagulation, le rendant sensible à des substances libérées par les tissus endommagés. Cinquante millions d'années plus tard, un troisième composant fut ajouté, capable de déclencher la coagulation au contact des irrégularités de surface causées par une blessure. À chaque stade de la complexification du système de coagulation, son efficacité générale est devenue dépendante de la participation des éléments ajoutés. C'est ainsi que la coagulation sanguine, sous l'effet de l'évolution darwinienne, est devenue « irréductiblement complexe ».

Durant les 150 dernières années, il a été affirmé de manière répétée que la sélection naturelle ne pouvait être tenue responsable du développement de telle ou telle structure. Dans de nombreux cas, une étude scientifique détaillée a découvert la voie probable par laquelle cette structure s'était formée.

Questions d'apprentissage 21.7

Dans le grand public, d'aucuns contestent la théorie darwinienne de l'évolution. Les objections sont souvent basées sur une incompréhension de la théorie. En science, une hypothèse est une idée suggérée par quelques observations, tandis qu'une théorie est une explication qui s'accorde aux constats disponibles et qui a résisté à des tests rigoureux.

- Si quelqu'un suggérait que l'origine des hommes est la planète Mars, s'agirait-il d'une hypothèse ou d'une théorie ? Comment cela pourrait-il être testé ?

21.1 Le bec des pinsons de Darwin (géospizes) : une illustration historique de la sélection naturelle

Les pinsons des Galápagos diffèrent par des caractères liés à la prise de nourriture.

La correspondance entre la forme du bec et son utilisation dans l'obtention de la nourriture a suggéré à Darwin que ces espèces de pinsons s'étaient diversifiées et adaptées afin de pouvoir ingérer des aliments différents.

La recherche moderne a vérifié l'hypothèse darwinienne de la sélection.

La sélection naturelle agit sur la diversité morphologique du bec, favorisant les oiseaux pourvus d'un gros bec en période de sécheresse prolongée et les oiseaux dotés d'un petit bec pendant les longues périodes de fortes pluies.

Puisque cette variation est héréditaire, les proportions respectives des oiseaux avec un petit ou un gros bec changent au cours des générations successives.

21.2 La phalène du bouleau et le mélanisme industriel : une illustration de plus de la sélection naturelle

Le nombre des phalènes de couleur claire a diminué dans les zones polluées.

Dans les zones polluées où la suie s'est accumulée sur les troncs d'arbres, la forme de couleur sombre de la phalène du bouleau est devenue plus fréquente. Dans les zones non polluées, les formes de couleur claire est restée prédominante.

Des expériences ont suggéré que la prédation par les oiseaux était la cause ; les phalènes de couleur claire se détachent sur les troncs sombres, et vice-versa.

Quand les conditions environnementales s'inversent, la pression de la sélection change également.

Au cours des 40 dernières années, la pollution a diminué dans de nombreuses régions et la fréquence des papillons de couleur claire a rebondi.

L'agent de sélection peut être difficile à reconnaître.

Des recherches récentes ont remis en question l'hypothèse de la prédation par des oiseaux comme agent de sélection. Néanmoins, l'observation que la forme de couleur foncée a augmenté pendant les périodes de pollution, puis a diminué lorsque la pollution a été réduite indique que la sélection naturelle a eu un impact sur la coloration des papillons.

21.3 La sélection artificielle : un changement d'origine humaine (voir figure 21.5)

La sélection expérimentale produit des changements dans les populations.

Des expériences en laboratoire sur la sélection directionnelle ont montré qu'une part importante des changements évolutifs pouvait se produire dans ces populations contrôlées.

La sélection agricole a conduit à de profondes modifications dans les céréales et le bétail.

Les races domestiques proviennent d'une sélection artificielle.

Les plantes cultivées et les races d'animaux domestiques diffèrent souvent nettement de leurs ancêtres sauvages.

Si la sélection artificielle peut créer rapidement de profonds changements, il est raisonnable de supposer que la sélection naturelle a pu créer la diversité de la vie au cours de millions d'années.

21.4 Données fournies par les fossiles en faveur de l'évolution

L'âge des fossiles est estimé par le taux de désintégration radioactive.

Les échantillons se fossilisent de différentes manières. Les fossiles dans la roche peuvent être datés par la mesure de la désintégration radioactive basée sur la demi-vie d'isotopes connus.

Des fossiles révèlent des changements évolutifs.

Les fossiles objectivent la transition évolutive.

L'histoire de la vie sur Terre peut être retracée à travers les archives fossiles. Ces dernières années, de nouvelles découvertes de fossiles nous ont permis de comprendre de manière plus détaillée des transitions évolutives majeures.

L'évolution des chevaux est un excellent exemple des informations fournies par des fossiles.

Les archives fossiles indiquent que les chevaux ont évolué à partir de petits animaux qui habitaient les forêts pour aboutir aux espèces actuelles habitant les plaines et caractérisées par leur grande taille et la rapidité de leur course.

Au cours de 50 millions d'années, l'évolution n'a pas été constante et uniforme. Au contraire, le changement a été rapide au cours de certaines périodes et lent à d'autres moments. La tendance générale a été une augmentation de la taille, mais certaines espèces ont évolué vers des tailles plus petites.

21.5 Données anatomiques en faveur de l'évolution

Des structures homologues suggèrent une origine commune.

Des structures homologues peuvent avoir des apparences et des fonctions différentes, même si elles sont issues de la même partie d'un corps ancestral commun.

Le développement embryonnaire précoce présente des similitudes dans certains groupes.

Le développement embryonnaire montre une similarité des modes de développement chez des espèces dont les adultes ont des phénotypes très différents.

Les espèces qui ont perdu un caractère qui était présent dans une forme ancestrale le développent souvent, puis le perdent, au cours du développement embryonnaire.

Certaines structures sont mal adaptées à leur fonction.

La sélection naturelle ne peut s'exercer que sur la variation présente dans une population ; de ce fait, l'évolution aboutit souvent à la constitution de structures qui, à l'instar de l'œil des vertébrés, fonctionnent, mais sont imparfaites.

Des structures vestigiales peuvent être considérées comme des reliquats du passé.

L'existence de structures vestigiales soutient le concept d'un ancêtre commun aux organismes qui les partagent.

21.6 Évolution convergente et données biogéographiques

Les marsupiaux et placentaires démontrent la convergence.

Des espèces ou des populations exposées aux mêmes pressions sélectives peuvent évoluer de manière convergente. En Australie, les mammifères marsupiaux ont acquis des caractères de leurs homologues placentaires vivant ailleurs.

L'évolution convergente est un phénomène répandu.

Les exemples incluent l'hydrodynamisme des espèces marines et l'évolution des espèces d'arbres sur les îles à partir de formes ancestrales qui n'étaient pas arborescentes.

Des études biogéographiques apportent des données supplémentaires en faveur de l'évolution.

Les espèces insulaires sont généralement étroitement liées à des espèces vivant sur les continents voisins, même si les environnements sont différents. Souvent, les colonisateurs de l'île évoluent en diverses espèces parce que les espèces concurrentes sont rares.

21.7 Critiques adressées au darwinisme

La théorie darwinienne de l'évolution par sélection naturelle est acceptée presque universellement par les biologistes. Tant jadis que récemment, de nombreuses critiques ont été émises, mais la plupart découlent d'un manque de compréhension des principes scientifiques, du contenu réel de la théorie ou de l'étendue du temps requis par l'évolution.



COMPRÉHENSION

- La sélection artificielle est différente de la sélection naturelle parce que
 - la sélection artificielle n'est pas capable de produire de grands changements.
 - la sélection artificielle ne nécessite pas de variation génétique.
 - la sélection naturelle ne peut pas produire de nouvelles espèces.
 - Les éleveurs choisissent les individus reproducteurs sur base des caractères souhaités.
- Des lacunes dans les archives fossiles
 - démontrent notre incapacité à dater les sédiments géologiques.
 - sont attendues, puisque la probabilité que les organismes soient fossilisés est extrêmement faible.
 - n'ont pas été comblées alors que de nouveaux fossiles ont été découverts.
 - affaiblissent la théorie de l'évolution.
- L'évolution du cheval moderne (*Equus*) est décrite au mieux comme
 - un changement constant et le remplacement d'une espèce par une autre au fil du temps.
 - une histoire complexe de lignées qui ont changé au fil du temps, de nombreuses ayant disparu.
 - une histoire simple de lignées qui ont toujours ressemblé aux chevaux existants.
 - aucune de ces affirmations.
- Des structures homologues
 - sont des structures qui, dans deux ou plusieurs espèces, sont originaires d'une même structure chez un ancêtre commun.
 - sont des structures qui sont les mêmes dans des espèces différentes.
 - ne peuvent pas servir des fonctions différentes dans différentes espèces.
 - doivent remplir des fonctions différentes selon les espèces.
- Évolution convergente
 - est un exemple de sélection stabilisatrice.
 - dépend de la sélection naturelle pour produire de façon indépendante des réponses phénotypiques similaires dans différentes espèces ou populations.
 - se produit uniquement dans les îles.
 - est prévue lorsque différentes lignées sont exposées à de nombreux milieux sélectifs différents.
- Les pinsons de Darwin ont fait l'objet d'une étude de cas remarquable de l'évolution par sélection naturelle parce que les observations suggèrent
 - ils sont les descendants de nombreuses espèces différentes qui ont colonisé les îles Galápagos.
 - ils divergent d'une seule espèce qui a colonisé les Galápagos.
 - ils sont plus étroitement liés aux espèces du continent qu'entre eux.
 - Aucune de ces réponses.
- La présence d'un fin duvet sur les embryons humains de 5 mois indique
 - que l'utérus est froid à ce stade de la grossesse.
 - les humains ont évolué à partir d'un ancêtre poilu.
 - la pilosité est un trait caractéristique des mammifères.
 - certaines parties de l'embryon se développent plus rapidement que d'autres.

APPLICATION

- À propos des pinsons de Darwin,
 - l'alternance d'années sèches et humides préserve la variation génétique de la taille de bec.
 - l'augmentation de la taille du bec au fil du temps prouve que la taille du bec est héréditaire.
 - la grande taille du bec est toujours privilégiée.
 - tout ce qui précède.
- Des expériences de sélection artificielle en laboratoire comme dans la figure 21.5 sont un exemple de
 - sélection stabilisatrice.
 - de sélection négative dépendant de la fréquence.
 - de sélection directionnelle.
 - de sélection diversifiante.
- Une évolution convergente est souvent observée parmi les espèces occupant des îles différentes parce que
 - les populations insulaires sont généralement plus petites et plus touchées par la dérive génétique.
 - une sélection diversifiante se produit généralement dans les îles.
 - des espèces insulaires sont généralement plus étroitement apparentées aux espèces dans des habitats similaires ailleurs.
 - lorsque les îles sont d'abord colonisées, de nombreuses ressources écologiques ne sont pas utilisées, ce qui permet aux descendants d'une espèce colonisatrice de se diversifier et de s'adapter aux nombreuses zones différentes de l'environnement.

RÉVISION

- Quelles sont les conditions nécessaires à l'évolution par sélection naturelle ?
Voir la figure 21.2 pour les deux questions suivantes.
- Expliquer comment les données présentées dans la figure 21.2a et b concernent les conditions que vous avez identifiées à la question 1.
- Sur la figure 21.2b, dessinez la relation entre l'épaisseur du bec de la progéniture et l'épaisseur du bec des parents, en supposant qu'il n'y ait pas de base génétique à l'épaisseur du bec chez le pinson terrestre à bec moyen.
- Voir la figure 21.5, la sélection artificielle en laboratoire. Dans cette expérience, une population de drosophiles a été sélectionnée pour un faible nombre de soies et une autre pour leur grand nombre. Notez que non seulement les moyennes des populations changent fortement en 35 générations, mais aussi que tous les individus dans les deux populations expérimentales se situent en dehors de la distribution de la population initiale. Quel aurait été le résultat de cette expérience si seulement les mouches avec un grand nombre de poils avaient été autorisées à se reproduire ?
- L'ancêtre du cheval était un petit animal doté de nombreux doigts qui vivait dans les forêts, tandis que les chevaux d'aujourd'hui sont de grands animaux avec un sabot unique qui vivent dans les plaines. Une série de fossiles intermédiaires montrent comment cette transition a eu lieu et, pour cette raison, de nombreuses interprétations anciennes de l'évolution du cheval la dépeint comme une augmentation constante dans le temps de la taille du corps accompagnée d'une diminution régulière du nombre des orteils. Pourquoi cette interprétation est-elle erronée ?