

# La «descendance avec modification» : l'évolution selon Darwin

# 22



## VOS OUTILS INTERACTIFS

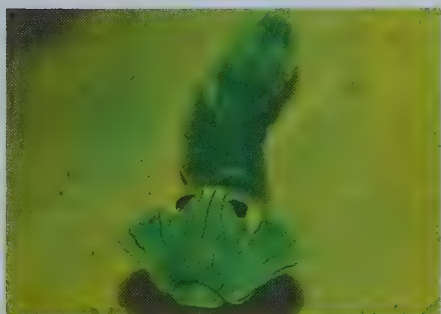


Consultez votre MANUEL NUMÉRIQUE, qui vous donne accès aux animations, aux exercices et à la plateforme d'anatomie interactive.

▲ **Figure 22.1** Ce papillon de nuit ressemble à s'y méprendre à une feuille morte. En quoi cette ressemblance lui est-elle utile ?

## CONCEPTS CLÉS

- 22.1** La théorie de Darwin a révolutionné l'idée d'une Terre jeune et peuplée d'espèces immuables
- 22.2** La descendance avec modification par sélection naturelle explique les adaptations des organismes ainsi que l'unité et la diversité de la vie
- 22.3** Une somme considérable de données scientifiques atteste l'évolution



▲ Stade juvénile (chenille) du papillon feuille-morte.

## L'infinité des formes les plus belles

Dans la forêt tropicale péruvienne, un oiseau affamé aurait du mal à repérer un « papillon feuille-morte » (*Oxytenis modestia*), qui se confond parfaitement avec les feuilles jonchant le sol, son habitat (**figure 22.1**). Ce papillon nocturne particulier fait partie des insectes lépidoptères (papillons), un ordre diversifié réunissant plus de 120 000 espèces. Tous les lépidoptères passent par un stade larvaire caractérisé par une tête bien développée et de très nombreuses pièces buccales masticatrices : à cette période de leur vie, ce sont ces broyeurs voraces et efficaces que nous appelons chenilles. (La chenille du papillon feuille-morte a également un comportement qui la protège : devant une menace, elle ondule de la tête comme un serpent prêt à attaquer.) Les lépidoptères parvenus au stade adulte ont d'autres caractéristiques communes : ils ont tous trois paires de pattes et deux paires d'ailes recouvertes de petites écailles. Toutefois, les nombreuses espèces diffèrent sensiblement les unes des autres. Comment se fait-il qu'il y ait tant d'espèces de papillons diurnes et nocturnes, et comment expliquer leurs ressemblances et leurs différences ?

Le papillon nocturne de la figure 22.1 et ses nombreux proches parents illustrent trois observations sur le vivant :

- la façon frappante dont les organismes sont adaptés à la vie dans leur environnement (ici et tout au long de cet ouvrage, le terme *environnement* fait référence aussi bien aux aspects physiques du milieu d'un organisme qu'aux autres organismes qui s'y trouvent) ;
- les nombreuses caractéristiques communes, même entre différentes espèces (l'unité du vivant) ;
- la très grande diversité du vivant.

Il y a plus d'un siècle et demi, Charles Darwin a élaboré une théorie qui intégrait ces trois grandes observations, et la publication de sa thèse dans *De l'origine des espèces* a inauguré une révolution scientifique: le domaine de la biologie évolutionniste.

Pour le moment, nous définirons l'**évolution** comme la «descendance avec modification», une expression que Darwin a utilisée lorsqu'il a affirmé que les innombrables espèces de la Terre descendaient d'espèces animales ancestrales différentes des espèces contemporaines. L'évolution peut aussi se définir comme l'ensemble des changements dans la composition génétique d'une population de génération en génération (voir le chapitre 23).

On peut également la considérer de deux façons différentes mais complémentaires: soit comme une *tendance*, soit comme un *processus*. La *tendance* des changements évolutifs nous est révélée par des données provenant de plusieurs disciplines scientifiques, notamment la biologie, la géologie, la physique et la chimie. Ces données sont des faits – des observations sur le monde naturel – et ces faits montrent que le vivant évolue au fil du temps. Quant au *processus* de l'évolution, il constitue l'ensemble des mécanismes qui produisent cette tendance des changements observés. Ces mécanismes sont les causes naturelles des phénomènes que nous observons dans la nature. La force de la théorie de l'évolution en tant que principe unificateur réside en effet dans sa capacité à expliquer et à relier un ensemble très vaste d'observations sur le monde vivant.

Comme pour toutes les théories générales en science, nous continuons à tester notre compréhension de l'évolution en vérifiant si elle explique les nouvelles observations et les nouveaux résultats expérimentaux des scientifiques. Dans ce chapitre et les suivants, nous examinerons comment ces découvertes récentes façonnent notre connaissance de l'évolution et de ses mécanismes. Mais commençons par retracer la démarche de Darwin dans sa quête d'une explication des adaptations des organismes, ainsi que de l'unité et de la diversité de ce qu'il appelait «une quantité infinie de belles et admirables formes».

## CONCEPT 22.1

### La théorie de Darwin a révolutionné l'idée d'une Terre jeune et peuplée d'espèces immuables

Qu'est-ce qui a poussé Darwin à douter des idées qui s'imposaient à son époque au sujet de la Terre et de la vie sur Terre ? En fait, la proposition révolutionnaire de Darwin s'est construite et développée peu à peu sous l'influence de ses observations personnelles durant ses voyages et de la lecture des ouvrages d'autres scientifiques (figure 22.2).

### La *scala naturæ* et la classification des espèces

Des siècles avant la naissance de Darwin, plusieurs philosophes grecs pensaient que la vie pouvait avoir évolué graduellement au fil du temps. Contrairement à ceux-là, Aristote (384-322 avant notre ère), qui a grandement influencé les débuts de la science occidentale, croyait plutôt que les espèces étaient fixes (immuables). De ses observations de la nature, il a déduit

l'existence de certaines «affinités» entre les organismes et conclu que les formes de vie pouvaient être classées selon une échelle de complexité croissante. Plus tard, les savants donneront le nom de *scala naturæ* (échelle de la nature) à cette classification. Selon cette échelle, chaque forme de vie est parfaite et permanente, et occupe un rang hiérarchique.

Cette conception de l'Univers concorde avec le récit de la Création dans l'Ancien Testament, qui renforce l'idée selon laquelle les espèces sont conçues par Dieu indépendamment les unes des autres, et sont donc parfaites. Dans les années 1700, un grand nombre de scientifiques considéraient que les formidables adaptations des organismes à leur environnement prouvaient que le Créateur avait destiné chaque espèce à une fin précise.

Carl von Linné (1707-1778) était l'un de ces scientifiques. Ce médecin et botaniste suédois a cherché à classer la diversité du vivant, «pour la plus grande gloire de Dieu». Dans les années 1750, Linné a élaboré la nomenclature binominale, encore en usage de nos jours, qui désigne chaque organisme par son genre et son espèce (comme *Homo sapiens* pour l'humain). Contrairement à la hiérarchie linéaire de la *scala naturæ*, le système de Linné établissait des regroupements d'espèces semblables sous forme de catégories de plus en plus générales: les espèces semblables forment un genre, les genres semblables forment une famille, et ainsi de suite. Linné attribuait au «plan de la Création» les ressemblances entre les espèces et n'y voyait aucune parenté sur le plan de l'évolution.

Un siècle plus tard, Darwin a affirmé qu'une classification des organismes vivants devrait être basée sur les relations produites par l'évolution et souligné que, lorsqu'ils utilisaient le système de Linné, les scientifiques effectuaient souvent des regroupements qui reflétaient ces relations.

### Quelques idées sur le changement au fil du temps

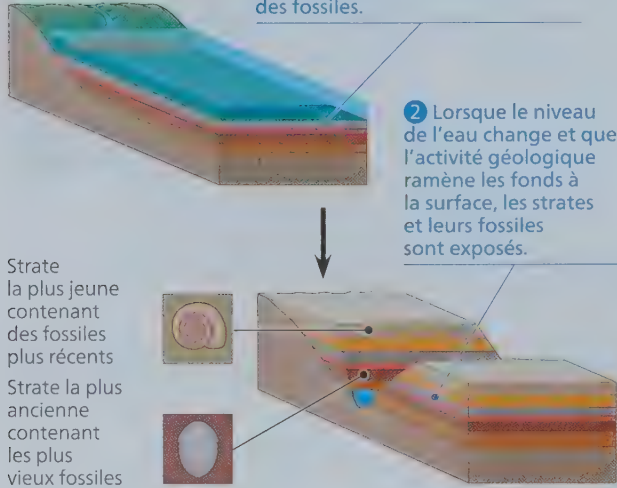
Les idées de Darwin se fondaient, entre autres choses, sur les travaux de scientifiques qui étudiaient les **fossiles**, c'est-à-dire sur les restes ou les empreintes d'organismes ayant vécu dans un lointain passé. Une bonne partie des fossiles se trouvent dans les roches sédimentaires formées par la boue et le sable déposés au fond des mers, des lacs, des marais et autres habitats aquatiques (figure 22.3). Les nouvelles couches de sédiments recouvrent les anciennes et les compriment, entraînant ainsi la formation de couches de roches superposées appelées **strates**. Dans chaque strate, les fossiles témoignent des organismes qui ont peuplé la Terre à l'époque où cette strate s'est constituée. L'érosion peut gruger la surface des strates supérieures (plus récentes), exposant ainsi certaines strates plus profondes (plus anciennes) qui avaient été enfouies.

L'étude des fossiles est l'objet de la **paléontologie**. Créée en bonne partie par le zoologiste français Georges Cuvier (1769-1832), cette science examine les êtres vivants qui ont existé au cours des diverses époques géologiques. En observant les couches rocheuses dans les environs de Paris, Cuvier a fait deux constats. D'abord, plus une strate est enfouie profondément (plus elle est ancienne), plus les fossiles qu'elle contient diffèrent des espèces contemporaines. De plus, des espèces apparaissent, tandis que d'autres disparaissent. Cuvier en a conclu que les phénomènes d'extinction devaient être fréquents dans l'histoire du vivant, mais il s'est vigoureusement opposé aux évolutionnistes



▼ **Figure 22.3** La formation de strates sédimentaires avec fossiles.

1 Les rivières transportent des sédiments dans des habitats aquatiques comme les océans et les marécages. Avec le temps, des couches sédimentaires (strates) se forment au fond de l'eau. Certaines strates contiennent des fossiles.



2 Lorsque le niveau de l'eau change et que l'activité géologique ramène les fonds à la surface, les strates et leurs fossiles sont exposés.

Strate la plus jeune contenant des fossiles plus récents

Strate la plus ancienne contenant les plus vieux fossiles

Lamarck a publié sa théorie en 1809, l'année de naissance de Charles Darwin. En comparant des espèces contemporaines à des formes fossiles, il a cru déceler des lignées, c'est-à-dire des séries chronologiques de fossiles menant à des espèces modernes. Selon lui, les espèces pouvaient se transformer en d'autres espèces (d'où le nom de *transformisme* qu'on a donné à sa théorie), produisant des lignées qui n'auraient toutefois pas d'origine commune. Lamarck expliquait ce phénomène par deux principes en vogue à l'époque. Le premier était celui de l'*usage* et du *non-usage*, selon lequel les organes qu'un organisme utilisait intensivement se développaient et se renforçaient, tandis que ceux dont il ne se servait pas s'atrophiaient. Pour illustrer l'effet de l'*usage*, Lamarck citait parmi d'autres exemples celui de la girafe qui allonge le cou pour atteindre les feuilles situées à la cime des arbres. Le second principe était celui de l'*hérédité des caractères acquis*, voulant qu'un organisme puisse transmettre ses modifications à ses descendants. Lamarck soutenait que le long cou des girafes s'était formé (de même que ses longues pattes antérieures) au fil de nombreuses générations au cours desquelles ces animaux essayaient d'atteindre des feuilles toujours plus hautes.

Lamarck croyait également que les organismes évoluaient en raison d'une tendance innée à devenir de plus en plus complexes. Darwin rejetait cette dernière idée en faveur de la sélection naturelle, mais pensait tout comme Lamarck que la variation était introduite dans le processus de l'évolution en partie par la transmission héréditaire de caractères acquis. Cependant, notre compréhension moderne de la génétique réfute ce principe ; des expériences ont démontré que les caractères acquis par l'usage ou le non-usage au cours de la vie d'un organisme ne se transmettent pas en général (**figure 22.4**). On aura beau couper la queue à des centaines de générations de souris, leurs petits continueront à naître avec une queue !

▼ **Figure 22.4** Les caractères acquis ne peuvent généralement pas être héréditaires. Ce bonsaï a acquis son style et sa taille naine grâce au travail d'un horticulteur expert, mais les graines de cet arbre produiront des rejets dont la taille et la forme seront normales.



Lamarck a fait l'objet de calomnies, particulièrement de la part de Cuvier, qui ne voulait rien entendre de l'évolution. Il faut aujourd'hui rendre à Lamarck les honneurs qui lui reviennent ; il avait bel et bien observé que l'adaptation des organismes à leur environnement s'expliquait par des changements évolutifs graduels et avait proposé une hypothèse vérifiable pour le confirmer.

### Un mécanisme lamarckien pourrait contribuer à l'évolution

Des recherches sur plusieurs générations de bactéries, de souris et même d'humains indiquent cependant que la transmission des caractères pourrait être influencée par des facteurs environnementaux agissant sur les gènes.

**POUR APPROFONDIR** ■ Les deux principes de Lamarck trouvent plus aisément leur application chez les bactéries. Puisque ces petites cellules procaryotes se reproduisent de façon asexuée, elles transmettent directement la totalité de leurs gènes à leur descendance. Elles peuvent donc transmettre aisément une adaptation acquise au cours de leur vie, si cette adaptation modifie leur matériel génétique ou altère la façon dont il est utilisé. Par exemple, une bactérie attaquée par un agent infectieux (un virus ou une bactérie ennemi) pourra intégrer sélectivement dans son bagage génétique les fragments des gènes étrangers qui augmenteront ses chances de survie. La descendance conservera ce nouveau bagage génétique et sera à son tour mieux adaptée à son environnement.

Chez les souris conditionnées par des chocs électriques à avoir peur d'une odeur artificielle (l'acétophénone), la simple

exposition à cette odeur les fait frissonner. Le conditionnement est tellement efficace qu'il suffit de leur faire sentir de l'acétophénone pour provoquer le frisson par la suite, sans que le choc électrique soit nécessaire. Mais le plus étonnant, c'est que cette crainte instinctive à l'égard de cette odeur peut être transmissible à la descendance de ces souris, sans que les petits aient subi de conditionnement ou même sans qu'ils aient été en contact avec l'acétophénone auparavant. Le comportement différent des souriceaux, comparé à celui des petits dont les parents n'ont pas été conditionnés à craindre l'odeur, se transmet même à la génération suivante sans nécessiter plus de conditionnement. Le mécanisme suspecté ne reposerait pas sur une modification des gènes comme tels, mais plutôt sur une altération de leur régulation. Les gènes associés à la sensibilité vis-à-vis de l'odeur de l'acétophénone auraient un niveau d'expression plus élevé chez les descendants des souris conditionnées, même si leur bagage génétique est le même que celui des souris non conditionnées. Des tests ultérieurs sur les gamètes (spermatozoïdes et ovules) des parents conditionnés ont montré que même après fécondation *in vitro*, il est possible d'obtenir des descendants dont l'expression génétique est altérée, donc de transmettre ce conditionnement. Les expériences identiques entreprises avec une autre odeur artificielle, le propanol, ont donné des résultats similaires. Le domaine de recherche qui s'intéresse aux mécanismes modulant l'expression du patrimoine génétique se nomme **épigénétique**. Le concept 15.5 concerne l'*empreinte génomique*, un phénomène reposant sur des mécanismes épigénétiques.

Chez les humains, il est difficile de faire des études dont les paramètres sont rigoureusement contrôlés, mais des situations extrêmes comme une épidémie, une guerre ou une période de famine prolongée peuvent fournir une masse d'information d'une grande valeur. À l'hiver 1944-1945 (fin de la Deuxième Guerre mondiale), une grave pénurie alimentaire sévissait aux Pays-Bas, alors occupés par les armées allemandes. Fort heureusement, les registres médicaux de l'époque sont restés intacts, de même que les documents concernant les rations alimentaires allouées. Ils ont donc permis de retrouver la trace d'un grand nombre de femmes qui étaient enceintes durant cette période. Des études génétiques effectuées sur les descendants de ces femmes ont démontré que la régulation des gènes en cause dans le métabolisme énergétique avait été durablement altérée. En effet, le métabolisme de ces descendants soumis à des restrictions alimentaires avant leur naissance présentait des modifications qui les rendaient plus susceptibles de souffrir de diabète ou d'obésité (ce qui peut être une relativement bonne adaptation en temps de pénurie alimentaire, mais qui devient une nuisance avec une diète normale!). Cette adaptation à la pénurie alimentaire était indépendante de la diète ultérieure, et ne touchait pas les frères et les sœurs nés avant ou après cette période de disette.

Ces résultats indiquent que, bien que les caractères acquis au cours d'une vie n'aient en général aucune incidence sur le bagage génétique au sens strict, certains facteurs peuvent influencer sur le fonctionnement des gènes. En ce sens, un mécanisme lamarckien pourrait contribuer à une certaine forme d'évolution, au moins sur quelques générations, tout en restant un phénomène marginal par rapport aux mécanismes darwiniens. ■

1. Comment les idées de Hutton et de Lyell ont-elles influé sur la pensée de Darwin à propos de l'évolution ?

2. **FAITES DES LIENS** ► Les hypothèses scientifiques doivent être vérifiables et réfutables (voir le concept 1.3). Selon ces critères, l'explication de Cuvier sur les archives fossiles et l'hypothèse de Lamarck sur l'évolution sont-elles scientifiques ? Expliquez votre réponse dans chacun de ces cas.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

## La descendance avec modification par sélection naturelle explique les adaptations des organismes ainsi que l'unité et la diversité de la vie

À l'aube du 19<sup>e</sup> siècle, on croyait généralement que les espèces étaient immuables depuis leur création, et si quelques doutes planaient sur cette permanence des espèces, nul ne pouvait prévoir la tempête qui se préparait à l'horizon. Voyons donc comment Charles Darwin est devenu le pionnier d'une révolution de notre conception du vivant.

### Les recherches de Darwin

Charles Darwin (1809-1882) est né à Shrewsbury, dans l'Ouest de l'Angleterre. Dès sa plus tendre enfance, il s'est passionné pour la nature. Il ne fermait ses livres d'histoire naturelle que pour pêcher, chasser et collectionner des insectes. Son père, un médecin réputé qui jugeait la carrière de naturaliste sans avenir pour son fils de 16 ans, a fini par l'envoyer étudier la médecine à la University of Edinburgh. Cependant, le jeune Charles trouvait les études de médecine ennuyeuses et la chirurgie de l'époque épouvantable (l'anesthésie n'existait pas encore). Il a donc quitté l'école de médecine d'Édimbourg avant d'avoir obtenu son diplôme pour s'inscrire à la Cambridge University dans l'intention de devenir pasteur. (À l'époque, en Grande-Bretagne, la plupart des savants étaient des ecclésiastiques.)

À Cambridge, Darwin est devenu le protégé de John Henslow, professeur de botanique. Il a été reçu bachelier en 1831. Peu après, le professeur Henslow l'a recommandé au capitaine Robert FitzRoy, qui se préparait à faire le tour du monde en mission de reconnaissance cartographique à bord du navire *Beagle*. Darwin paierait son voyage et ferait la conversation au jeune capitaine. Ce dernier a accepté Darwin pour ses connaissances de naturaliste, bien sûr, mais aussi parce qu'ils étaient tous deux de la même classe sociale et presque du même âge.

### Le voyage du *Beagle*

Darwin n'avait que 22 ans lorsque le *Beagle* a levé l'ancre et quitté la Grande-Bretagne en décembre 1831. L'expédition avait pour mission principale de cartographier les régions encore mal connues du littoral de l'Amérique du Sud. Pendant que l'équipage faisait des relevés, Darwin débarquait et se consacrait

à l'observation et à la collecte de milliers de spécimens de végétaux et d'animaux. Durant ses excursions, il prenait des notes sur les caractéristiques qui rendaient les organismes si bien adaptés à des milieux aussi différents que la luxuriante jungle brésilienne, les vastes prairies de la pampa argentine et les sommets vertigineux de la cordillère des Andes. Darwin constatait également que les espèces végétales et animales des régions tempérées d'Amérique du Sud étaient plus proches des espèces des régions tropicales de ce continent que des espèces des régions tempérées d'Europe. Qui plus est, les fossiles qu'il avait découverts au cours de cette partie du voyage différaient des espèces contemporaines, mais, en même temps, présentaient une nette ressemblance aux organismes vivant sur ce continent.

Darwin a également consacré une bonne partie de son temps à réfléchir sur la géologie. Entre ses accès de mal de mer, il a lu les *Principes de géologie* de Lyell à bord du *Beagle*. Il a même fait l'expérience d'un changement géologique lorsqu'un violent tremblement de terre a frappé la côte du Chili, ce qui lui a permis d'observer directement que le séisme avait haussé la côte de quelques mètres. Par ailleurs, en découvrant des fossiles d'organismes marins dans les hauteurs des Andes, Darwin a déduit que les roches renfermant ces fossiles s'étaient retrouvées là à la suite de plusieurs tremblements de terre semblables à celui qu'il venait d'observer. Ces observations confirmaient les propos de Lyell : les preuves physiques n'appuyaient pas l'idée selon laquelle la Terre était âgée d'à peine quelques milliers d'années.

L'intérêt de Darwin pour la distribution géographique des espèces a été comblé par sa visite des Galápagos, un archipel volcanique d'origine relativement récente situé à environ 960 km à l'ouest du littoral sud-américain, à la latitude de l'équateur (figure 22.5). Darwin s'est étonné des singularités de la faune des Galápagos. Parmi les oiseaux qu'il a observés figurent les divers types de géospizes (autrefois appelés *pinsons*) mentionnés au chapitre 1, ainsi que plusieurs sortes d'oiseaux moqueurs. Quoique semblables, ces derniers

semblaient appartenir à des espèces distinctes, certaines propres à une île tandis que d'autres s'étaient établies sur deux ou plusieurs îles rapprochées. Mais Darwin n'a saisi l'importance de ses observations qu'à son retour en Angleterre, en 1836, après avoir étudié en profondeur ses collections de spécimens. Il a alors compris que la plupart des espèces des Galápagos n'existaient nulle part ailleurs, même si elles ressemblaient à d'autres espèces présentes sur le continent sud-américain. Darwin a posé l'hypothèse d'une colonisation de l'archipel par des organismes qui s'étaient écartés du continent et qui, avec le temps, avaient donné naissance à de nouvelles espèces sur les diverses îles où ils s'étaient établis.

### L'adaptation, concept fondamental dans la pensée de Darwin

Durant son voyage sur le *Beagle*, Darwin a observé de nombreux exemples d'**adaptations**, c'est-à-dire de caractéristiques héréditaires qui améliorent les chances de survie et de reproduction des organismes dans un environnement particulier. Ce n'est que plus tard, en réévaluant toutes les observations qu'il avait faites, que Darwin a commencé à comprendre le lien étroit entre le processus de l'adaptation à l'environnement et celui de la formation de nouvelles espèces. Une nouvelle espèce peut-elle émerger d'une forme ancestrale par suite d'une accumulation graduelle d'adaptations à un milieu différent ? Bien des années après l'expédition, des biologistes ont entrepris des études et en sont arrivés à la conclusion que c'est précisément ce qui s'est produit dans le cas des géospizes des Galápagos (voir la figure 1.20). Leurs becs et leur comportement étaient adaptés aux aliments particuliers disponibles dans leurs îles respectives (figure 22.6). Darwin avait compris la nécessité d'expliquer le mécanisme de telles adaptations pour comprendre l'évolution. Comme on le verra, son explication de l'origine des adaptations était centrée sur la **sélection naturelle**, un processus dans lequel les individus dotés de certains caractères héréditaires

▼ **Figure 22.5** Le voyage du *Beagle* (décembre 1831 à octobre 1836).



▼ **Figure 22.6** Trois types de variation du bec chez les géospizes des Galápagos. L'archipel des Galápagos abrite plus d'une douzaine d'espèces de géospizes étroitement apparentées, dont certaines ne se trouvent que sur une seule île. Les espèces se distinguent principalement par leur bec, qui est adapté à un régime alimentaire particulier.



(a) **Mangeur de cactus.** Le bec effilé du géospize des cactus (*Geospiza scandens*) lui permet de déchirer les cactus afin d'en manger les fleurs et la pulpe.



(b) **Insectivore.** Le géospize olive (*Certhidea olivacea*) utilise son bec étroit et pointu pour attraper les insectes.



(c) **Granivore.** Le géospize à gros bec (*Geospiza magnirostris*) possède un bec adapté au cassage des graines se trouvant sur le sol.

**FAITES DES LIENS** ► Revoyez la figure 1.20. Encerchez l'ancêtre commun le plus récent des trois espèces qui se nourrissent d'insectes. Tous les descendants de cet ancêtre sont-ils des insectivores ?

tendent à avoir des taux de survie et de reproduction plus élevés que les autres *en raison de* ces caractères.

En 1844, Darwin avait enfin rédigé un long essai sur l'origine des espèces et la sélection naturelle. Il hésitait toutefois à le faire paraître, sans doute parce qu'il redoutait le scandale que sa théorie soulèverait. En attendant, il continuait d'accumuler les preuves à l'appui de sa théorie. Au milieu des années 1850, il avait fait part de ses idées à Lyell et à quelques autres personnes. Même s'il n'avait pas encore adhéré à la théorie de l'évolution, Lyell l'exhortait à publier ses écrits sur le sujet avant qu'un autre savant en arrive aux mêmes conclusions que lui et lui dame le pion.

En juin 1858, les prédictions de Lyell se réalisaient : Darwin recevait une lettre d'Alfred Wallace (1823-1913), un jeune naturaliste britannique qui travaillait dans les îles malaises du Pacifique Sud et qui venait de formuler une hypothèse de la sélection naturelle semblable à la sienne. Wallace lui demandait d'évaluer son travail et de le faire parvenir à Lyell s'il méritait d'être publié. « Vos prédictions se sont réalisées avec éclat [...], écrit Darwin à Lyell. Je n'ai jamais vu coïncidence plus frappante [...] Toute mon originalité, quelle qu'en soit l'importance, sera anéantie. » Le 1<sup>er</sup> juillet 1858, Lyell et l'un de ses collègues ont présenté à la Linnean Society of London le manuscrit de Wallace ainsi que des extraits de l'essai inédit de Darwin (de 1844). Cette présentation n'a pas eu beaucoup de répercussions, mais Darwin s'est empressé de mettre la dernière main à *De l'origine des espèces*, qui est paru dès l'année suivante et a connu un succès de librairie foudroyant pour l'époque. On dit qu'il demeure l'ouvrage scientifique le plus vendu au monde. Bien que Wallace ait été prêt à publier le premier, il admirait beaucoup Darwin et pensait que ce dernier méritait d'être considéré comme le principal architecte de cette théorie de la sélection naturelle qu'il avait exposée et étayée de façon tellement plus complète qu'il avait pu le faire lui-même.

Dix ans plus tard, l'ouvrage de Darwin et ses partisans avaient rallié la majorité des biologistes de l'époque à l'idée que la diversité de la vie résultait effectivement de l'évolution. Darwin a triomphé là où les évolutionnistes précédents ont échoué, surtout parce qu'il exposait son raisonnement avec une logique sans faille soutenue par une multitude de preuves.

## De l'origine des espèces

Dans *De l'origine des espèces*, Darwin expose les preuves qu'il a réunies pour démontrer que la descendance avec modification par la sélection naturelle explique les trois grandes observations qui sont mentionnées au sujet de la nature dans l'introduction du présent chapitre, soit l'unité du vivant, la diversité du vivant et l'adaptation remarquable des organismes à leur environnement.

## La descendance avec modification

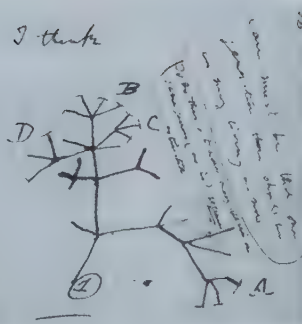
Dans la première édition de son ouvrage, Darwin n'utilisait pas le mot *évolution*, lui préférant plutôt le terme *descendance avec modification*, qui résume toute sa vision du monde. Les organismes ont de nombreuses caractéristiques communes qui ont amené Darwin à percevoir l'unité du vivant. Pour lui, cette unité découlerait du fait que tous les organismes descendent d'un ancêtre commun ayant vécu dans un passé très lointain. En colonisant les divers habitats au fil du temps, croyait aussi Darwin, les descendants de cet organisme primordial ont accumulé des modifications diverses – des adaptations – qui les rendaient capables de vivre dans des milieux particuliers. C'est ainsi qu'il explique comment la descendance avec modification a fini par produire au fil du temps la très riche diversité du vivant que nous connaissons aujourd'hui.

Darwin voit le vivant comme un arbre (**figure 22.7**) : d'un même tronc jaillissent des branches multiples qui se divisent jusqu'à former des ramilles dont les extrémités les plus récentes (appelées A, B, C et D) représentent plusieurs groupes d'organismes vivant aujourd'hui, tandis que les branches non marquées d'une lettre représentent des groupes d'organismes aujourd'hui éteints. Chaque fourche de cet arbre d'évolution représente l'ancêtre commun le plus récent de toutes les lignées qui se séparent à partir de là.

Darwin estimait qu'un tel processus de ramification, doublé d'extinctions massives, pouvait expliquer les différences morphologiques importantes qui existent parfois entre des groupes d'organismes apparentés. Prenons l'exemple de trois espèces contemporaines d'éléphants : l'éléphant d'Asie (*Elephas maximus*)

▼ **Figure 22.7**

«I think...». Dans ce croquis réalisé en 1837, Darwin commence à se représenter l'évolution comme un arbre portant des embranchements. Les branches identifiées A, B, C et D représentent des groupes d'organismes vivant encore aujourd'hui; toutes les autres branches désignent des groupes d'organismes éteints.



et deux espèces d'éléphants d'Afrique (*Loxodonta africana* et *L. cyclotis*). Comme on le voit à la **figure 22.8**, ces espèces sont très similaires parce qu'elles appartiennent à la même lignée issue d'un ancêtre commun jusqu'à ce qu'elles en divergent dans un passé relativement récent. Notez que 7 lignées reliées aux éléphants se sont éteintes au cours des 32 derniers millions d'années, de sorte qu'aucune espèce vivante ne comble aujourd'hui le fossé entre les éléphants et leurs plus proches parents, les lamantins et les damans.

Les extinctions comparables que montre la figure 22.8 ne sont pas rares : de très nombreuses branches de l'arbre de l'évolution – y compris quelques-unes des principales ramifications – débouchent sur des culs-de-sac. Les scientifiques estiment que près de 99% de toutes les espèces qui ont vécu sur Terre se sont éteintes ! Comme le montre cette figure, les fossiles des espèces éteintes peuvent révéler les divergences des espèces contemporaines en comblant les trous entre elles.

**La sélection artificielle, la sélection naturelle et l'adaptation**

Pour expliquer les phénomènes observables de l'évolution, Darwin a proposé le mécanisme de la sélection naturelle. Il a préparé très soigneusement son argumentaire afin de convaincre même le plus sceptique de ses lecteurs. Il invoque d'abord des exemples familiers de **sélection artificielle** pour des plantes ou des animaux domestiques. Au fil des générations, les humains ont modifié diverses espèces en sélectionnant et en croisant des individus possédant les caractères souhaités (**figure 22.9**). En raison de cette sélection artificielle, les végétaux et les animaux que nous cultivons et que nous élevons n'ont souvent que peu de ressemblance avec leurs ancêtres sauvages. Les produits de notre sélection artificielle montrent souvent aussi un vaste éventail de formes : il suffit de penser aux différentes races de chiens que l'humain a créées.

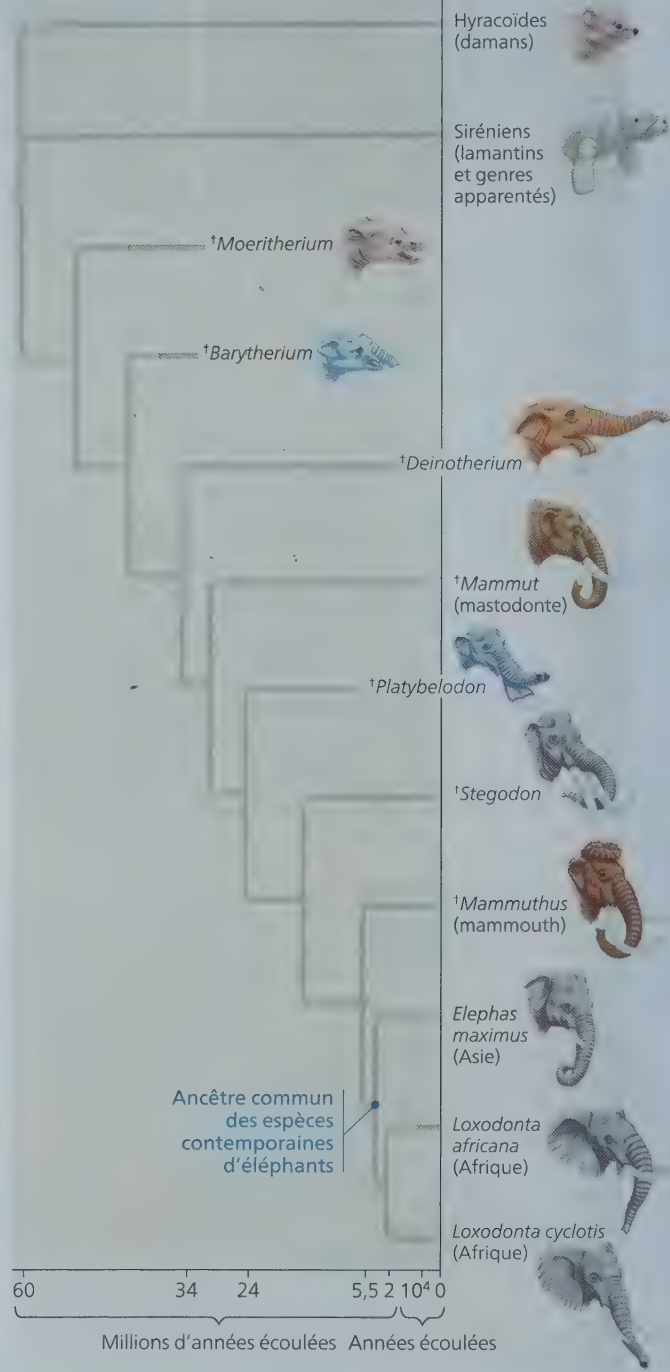
Selon Darwin, un processus similaire se produit dans la nature. Il appuie cette affirmation sur deux observations, dont il tire deux inférences :

**Observation 1 :** Les membres d'une population diffèrent souvent par leurs caractères héréditaires (**figure 22.10**).

**Observation 2 :** Toutes les espèces peuvent produire une descendance plus importante que celle que leur environnement peut soutenir (**figure 22.11**), et une bonne partie de cette descendance n'arrive pas à survivre et à se reproduire.

**Inférence 1 :** Les individus présentant des caractères héréditaires qui leur confèrent de plus grandes chances de

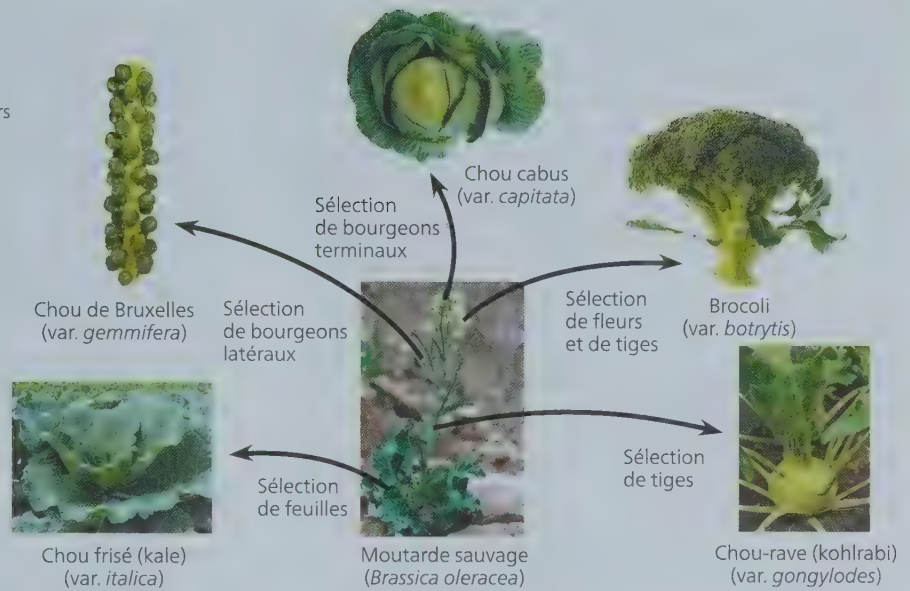
▼ **Figure 22.8 La descendance avec modification.** Cet arbre représente l'évolution de la famille des éléphantidés. Il se fonde principalement sur les fossiles: leur anatomie, leur ordre d'apparition selon la strate et leur distribution géographique. Remarquez que plusieurs branches se terminent par une extinction (indiquée par le signe †). (L'axe du temps n'est pas à l'échelle.)



**HABILITÉS VISUELLES** ► Selon cet arbre d'évolution, à quel moment environ vivait l'ancêtre commun le plus récent des mammouths laineux (*Mammuthus*), des éléphants d'Asie (*E. maximus*) et des éléphants d'Afrique (*L. africana* et *L. cyclotis*) ?

► **Figure 22.9 La sélection artificielle.**

Ces légumes ont tous pour ancêtre commun la moutarde sauvage (*Brassica oleracea*). En accentuant artificiellement tel ou tel autre caractère de la plante d'origine, les producteurs ont obtenu ces résultats divergents.



survivre et de se reproduire dans un environnement donné tendent à laisser une descendance plus nombreuse que les autres individus.

**Inférence 2:** De génération en génération, cette capacité inégale de survie et de reproduction entraîne une accumulation de caractères favorables dans la population.

Comme ces deux inférences le montrent, Darwin voyait une relation cruciale entre la sélection naturelle, qui résulte de ce qu'il appelle la *lutte pour l'existence*, et la capacité des organismes à trop se reproduire. Il a commencé à envisager ce lien après avoir lu un ouvrage de l'économiste anglais Thomas Malthus, pour qui la plupart des souffrances humaines – maladies, famines et guerres – résultent de la tendance de la population humaine à croître plus rapidement que les réserves alimentaires et autres ressources dont elle dispose. La capacité de se reproduire à l'excès, comprend Darwin, semble commune à toutes les espèces. Seule une infime partie des œufs pondus, des jeunes mis au monde et des graines disséminées mènent leur développement à terme et se reproduisent à leur tour. Les autres sont dévorés par des prédateurs, meurent de faim ou de maladie, ne trouvent pas de partenaire ou ne peuvent se reproduire, ou encore sont incapables de tolérer les conditions physiques de leur environnement comme la température ou la salinité.

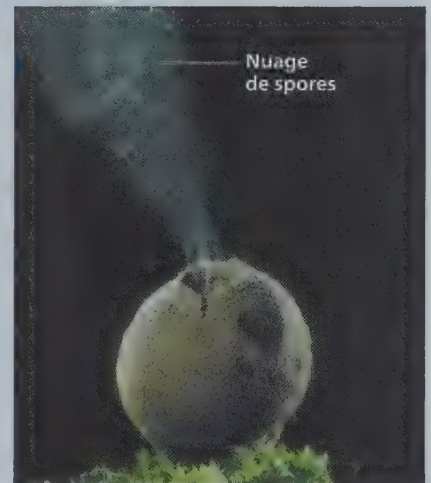
Les caractères héréditaires d'un individu n'influent pas seulement sur sa propre capacité, mais aussi sur la façon dont sa descendance fait face aux défis environnementaux. Par exemple, un organisme pourrait avoir un caractère qui confère à sa descendance un avantage pour échapper aux prédateurs, obtenir de la nourriture ou tolérer certaines conditions physiques de l'environnement. Lorsque de tels avantages augmentent le nombre de descendants qui survivent et se reproduisent, ces caractères favorables sont plus susceptibles d'apparaître dans la génération suivante. Par conséquent, avec le temps, la sélection naturelle résultant de facteurs comme les prédateurs, le manque de nourriture ou des conditions physiques adverses peut entraîner une augmentation des caractères favorables dans une population.

▼ **Figure 22.10 Les variations dans une population.** Dans cette population de coccinelles asiatiques, les individus diffèrent par la couleur et la disposition des points sur les élytres. La sélection naturelle ne peut influencer sur ces variations que si (1) elles sont héréditaires et (2) elles influent sur la capacité des coccinelles de survivre et de se reproduire.



► **Figure 22.11 La surproduction de descendants.**

Cette vesse-de-loup, un eumycète, peut produire des milliards de descendants. Si la totalité de ces derniers et de leur descendance survivait jusqu'à maturité, les vesses-de-loup tapisseraient tout le sol environnant.



À quelle vitesse se produisent de tels changements ? Le raisonnement de Darwin est le suivant : si la sélection artificielle peut entraîner des changements spectaculaires dans un laps de temps relativement court, la sélection naturelle devrait pouvoir modifier considérablement les espèces sur des centaines de générations. Même si les avantages conférés par certains caractères héréditaires sont minimes, les variations avantageuses s'accumuleront graduellement dans la population, tandis que les variations moins favorables diminueront. Avec le temps, ce processus accroîtra la proportion d'individus dotés des caractères adaptatifs favorables et, ainsi, perfectionnera l'adéquation entre les organismes et leur environnement.

### La sélection naturelle en résumé

On peut résumer ainsi les idées principales de Darwin :

- La sélection naturelle est un processus dans lequel les individus dotés de certains caractères ont, grâce à ces caractères, des taux de survie et de reproduction plus élevés que d'autres individus.
- Au fil du temps, la sélection naturelle améliore l'adaptation des populations à leur environnement (figure 22.12).

▼ **Figure 22.12** Un exemple de l'évolution adaptative : le camouflage. Les espèces parentes de mantes présentent des formes et des couleurs diverses qui ont évolué en fonction de leur environnement, comme le montrent la mante fleur (*Pseudocrebobtra wahlbergi*; en haut) et la mante orchidée de Malaisie (*Hymenopus coronatus*; en bas).



**HABILÉTÉS VISUELLES** ► À l'aide des photographies ci-dessus, expliquez en quoi ces mantes illustrent les trois observations sur la vie présentées dans l'introduction de ce chapitre : l'adéquation entre les organismes et leur environnement ainsi que l'unité et la diversité du vivant.

- Si un environnement change au fil du temps, ou si des individus d'une espèce donnée se déplacent vers un nouvel environnement, la sélection naturelle peut permettre l'adaptation à ce nouveau milieu et débouche parfois sur l'apparition de nouvelles espèces.

Avant de poursuivre, arrêtons-nous sur trois subtilités importantes concernant la sélection naturelle. D'abord, même si la sélection naturelle met en jeu des interactions entre les individus et leur milieu, *les individus n'évoluent pas* ; ce sont les générations successives qui évoluent avec le temps. Deuxièmement, la sélection naturelle peut amplifier ou atténuer uniquement des caractères héréditaires qui diffèrent entre les individus d'une population. Autrement dit, un caractère a beau être héréditaire, si tous les individus d'une population sont génétiquement identiques par rapport à ce caractère, l'évolution par sélection naturelle ne pourra pas se produire. Troisièmement, les facteurs environnementaux varient d'un endroit à l'autre et d'une époque à l'autre, de sorte qu'un caractère favorable dans une situation donnée peut devenir inutile, voire nuisible, dans d'autres contextes. La sélection naturelle est toujours à l'œuvre, mais les caractères favorables varient selon le milieu et le contexte où les espèces vivent et se reproduisent.

Dans la prochaine section, nous allons examiner le vaste éventail d'observations qui étayent la vision darwinienne de l'évolution par sélection naturelle.

## RETOUR SUR LE CONCEPT 22.2

1. Comment le concept de descendance avec modification explique-t-il autant l'unité que la diversité du vivant ?
2. **ET SI ?** ► Imaginez que vous découvrez un fossile d'un mammifère éteint qui vivait en haute altitude dans les Andes. À votre avis, ce mammifère ressemblerait-il davantage aux mammifères qui vivent aujourd'hui dans les jungles d'Amérique du Sud ou à ceux qui vivent maintenant en haute altitude dans les montagnes africaines ? Pourquoi ?
3. **FAITES DES LIENS** ► Révisez les relations entre le génotype et le phénotype (voir les figures 14.4 et 14.6). Supposons que, dans une population donnée de pois, les fleurs au phénotype blanc sont favorisées par la sélection naturelle. Qu'advient-il avec le temps de la fréquence de l'allèle  $p$  dans la population ? Expliquez votre raisonnement.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

## CONCEPT 22.3

### Une somme considérable de données scientifiques atteste l'évolution

Dans *De l'origine des espèces*, Darwin compile un vaste ensemble de données à l'appui du concept de descendance avec modification. Malgré tout, on l'a vu, il lui manquait certaines données clés. Ainsi, il parlait de l'origine des plantes à fleurs comme d'un « abominable mystère » et déplorait le manque de fossiles

révélant comment d'anciens groupes d'organismes en avaient engendré de nouveaux.

Depuis un siècle et demi, de nouvelles découvertes ont comblé plusieurs des lacunes dont se plaignait Darwin. Par exemple, l'origine des plantes à fleurs est beaucoup mieux comprise (voir le concept 30.3), et on a découvert de nombreux fossiles qui clarifient l'origine de nouveaux groupes d'organismes (voir le concept 25.2). Dans cette section, nous passons en revue quatre types de données qui documentent l'évolution et éclairent les processus par lesquels elle se produit : les observations directes de changements apportés par l'évolution ; l'homologie ; les archives fossiles ; et la biogéographie.

## Les observations directes de changements apportés par l'évolution

Des milliers d'études scientifiques établissent les preuves des changements apportés par l'évolution. Nous examinerons un bon nombre de ces études dans ce chapitre et ceux qui suivent, mais penchons-nous dès maintenant sur deux exemples.

### La sélection naturelle en réponse à l'introduction de nouvelles espèces végétales

Les herbivores disposent souvent d'adaptations qui les aident à se nourrir efficacement de leurs principales sources d'aliments. Mais que se passe-t-il lorsqu'ils commencent à se nourrir d'espèces végétales présentant des caractéristiques différentes de leurs sources habituelles ?

Les punaises à épaules rouges (*Jadera haematoloma*) utilisent leur rostre, une pièce buccale en forme d'aiguille creuse, pour perforer les graines des fruits de diverses plantes dont elles se nourrissent ; elles nous fournissent une formidable occasion d'étudier cette question. Dans le Sud de la Floride, les punaises à épaules rouges mangent les graines d'une plante indigène, le faux persil (*Cardiospermum corindum*). Cependant, comme cette plante est devenue rare dans le Centre de cet État, les punaises à épaules rouges s'y nourrissent maintenant des graines de savonnier (*Koeleruteria elegans*), un arbre originaire d'Asie introduit récemment en Amérique du Nord.

Les punaises à épaules rouges se nourrissent plus efficacement lorsque la longueur de la pièce buccale qui leur sert de paille est similaire à la profondeur à laquelle les graines sont enfouies dans le fruit. Or, le fruit du savonnier est constitué de trois lobes plats, et ses graines sont beaucoup plus près de la surface du fruit que les graines rondes et dodues du fruit du faux persil. Ces différences ont incité des chercheurs à prédire que, chez les populations qui se nourrissent du savonnier, la sélection naturelle favoriserait des pièces buccales plus courtes que chez les populations qui se nourrissent sur le faux persil, et leur prédiction s'est avérée (**figure 22.13**).

Les chercheurs ont également étudié l'évolution de la longueur du rostre de populations de punaises à épaules rouges qui se nourrissent de plantes introduites en Louisiane, en Oklahoma et en Australie. Dans chacun de ces endroits, le fruit des plantes nouvellement introduites est plus gros que celui de la plante indigène. Les chercheurs ont donc prédit que, chez les populations qui s'attaquent aux espèces introduites dans ces régions, l'évolution favoriserait un rostre *plus long*. Là encore, les données recueillies sur le terrain ont confirmé cette hypothèse.

Les changements observés dans la longueur du rostre des populations de punaises à épaules rouges ont eu d'importantes conséquences. En Australie, par exemple, l'allongement de leur rostre a presque doublé leur capacité de se nourrir des graines des espèces introduites. Qui plus est, comme les données historiques indiquent que le faux persil n'a été introduit dans le Centre de la Floride que 35 ans avant le début des études scientifiques sur les punaises à épaules rouges, les résultats démontrent que la sélection naturelle peut entraîner une évolution rapide dans une population de type sauvage.

### L'évolution des bactéries pharmacorésistantes

Les pathogènes pharmacorésistants (organismes et virus qui causent des maladies et qui ont acquis une résistance à un ou plusieurs médicaments) sont un exemple de sélection naturelle en cours qui a des répercussions considérables sur les humains. Le phénomène est particulièrement préoccupant dans le cas des virus et des bactéries, car leurs souches pharmacorésistantes peuvent proliférer très rapidement, comme en témoigne l'évolution de la résistance aux antibiotiques de la bactérie *Staphylococcus aureus*. Environ une personne sur trois héberge ce type de bactérie sur sa peau ou dans ses voies nasales sans éprouver le moindre problème. Cependant, certaines souches (variétés génétiques) de cette espèce, les *S. aureus* résistants à la méthicilline (SARM), sont hautement pathogènes et extrêmement dangereuses. La plupart des infections à SARM sont attribuables à des souches apparues récemment, comme le clone USA300, une souche « mangeuse de chair » qui cause des infections potentiellement fatales (**figure 22.14**). Comment cette souche de SARM et d'autres sont-elles devenues si dangereuses ?

En fait, l'histoire commence en 1943, quand la pénicilline est devenue le premier antibiotique utilisé à grande échelle. Depuis, la pénicilline et d'autres antibiotiques ont sauvé des millions de vies. Cependant, en 1945, plus de 20% des souches de *S. aureus* isolées dans les hôpitaux étaient déjà résistantes à la pénicilline ; elles possédaient une enzyme, la pénicillinase, capable de détruire la pénicilline. Les chercheurs ont répliqué en créant des antibiotiques qui échappaient à l'action de la pénicillinase, mais, en l'espace de quelques années, certaines populations de *S. aureus* ont acquis une résistance à chacun de ces nouveaux médicaments.

En 1959, les médecins ont alors commencé à utiliser la méthicilline, un nouvel antibiotique prometteur. Deux ans plus tard, on observait l'apparition des premières souches de *S. aureus* résistantes à la méthicilline. Comment ces souches résistantes sont-elles apparues ? La méthicilline agit en désactivant une enzyme que la bactérie utilise pour synthétiser ses parois cellulaires. Cependant, en analysant des populations de *S. aureus*, on a constaté que certaines bactéries réussissaient à synthétiser leurs parois cellulaires en utilisant une autre enzyme qui, elle, échappait à l'action de la méthicilline. Comme ces bactéries étaient plus nombreuses que les autres à survivre aux traitements à la méthicilline, elles se sont davantage reproduites. Avec le temps, les bactéries résistantes se sont ainsi multipliées, d'où la propagation du SARM.

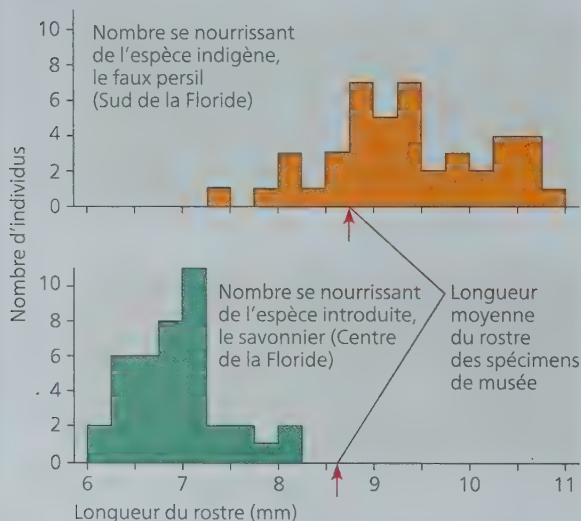
Au début, on pouvait lutter contre le SARM en faisant appel à d'autres antibiotiques qui agissaient différemment de la méthicilline. Cependant, cette solution est devenue de moins en moins efficace, car certaines souches ont acquis une résistance à plusieurs antibiotiques – probablement parce que les bactéries

**Un changement de la source alimentaire d'une population peut-il entraîner une évolution par sélection naturelle ?**

■ **HYPOTHÈSE** ■ Si un changement d'alimentation des punaises peut provoquer, par sélection naturelle, un changement conséquent de la forme de leur rostre, l'introduction de fruits dont la graine est enfouie plus profondément devrait favoriser dans une population de punaises à rostre court une évolution de cette population vers un rostre plus long en moyenne.

■ **EXPÉRIENCE** ■ Les punaises à épaules rouges se nourrissent plus efficacement lorsque la longueur de leur rostre est similaire à la profondeur à laquelle se trouvent les graines dans les fruits dont elles se nourrissent. Scott Carroll et ses collègues ont mesuré la longueur du rostre chez des populations de punaises à épaules rouges qui se nourrissent des graines de faux persil, une plante indigène, ainsi que chez des populations du même insecte qui, elles, se nourrissent des graines d'une plante introduite, le savonnier. Les chercheurs ont ensuite comparé leurs mesures à celles de spécimens conservés dans les musées et provenant de ces deux régions de la Floride avant l'introduction du savonnier.

■ **RÉSULTATS** ■ Chez les populations qui se nourrissent de l'espèce introduite, le rostre est plus court que celui des populations qui se nourrissent de l'espèce indigène, dont les graines sont enfouies plus profondément dans les fruits. Pour chacune des populations, la longueur moyenne du rostre chez les spécimens de musée (flèches rouges) est similaire à la longueur du rostre chez les populations qui se nourrissent sur l'espèce indigène.



▲ Punaise à épaules rouges dont le rostre est plongé dans le fruit du faux persil.

■ **CONCLUSION** ■ Les caractéristiques des spécimens de musée et les données contemporaines indiquent qu'un changement de la taille des fruits sur lesquels se nourrissent les punaises à épaules rouges peut produire une évolution par sélection naturelle favorisant un rostre mieux adapté à leur alimentation.

**Source des données:** S. P. Carroll et C. Boyd, Host race radiation in the soapberrybug: Natural history with the history, *Evolution* 46: 1052-1069 (1992).

**ET SI ?** ► Dans une autre étude, les chercheurs ont nourri avec des graines de savonnier une population de punaises à épaules rouges qui, avant l'éclosion des œufs, avait été nourrie de faux persil (et inversement, ils ont nourri la progéniture de punaises adaptées au savonnier avec des graines de faux persil). On a constaté qu'une fois la progéniture à l'âge adulte, la longueur du rostre de ces insectes était similaire à celle observée dans la population d'où ils provenaient. Selon vous, quels résultats pourrait-on observer après plusieurs générations nourries de cette façon ?

peuvent échanger des gènes avec des membres de leur espèce, mais aussi avec d'autres espèces apparentées (voir le concept 27.2). En somme, les souches multirésistantes d'aujourd'hui sont apparues avec le temps à mesure que des souches de SARM résistantes à divers antibiotiques échangeaient des gènes.

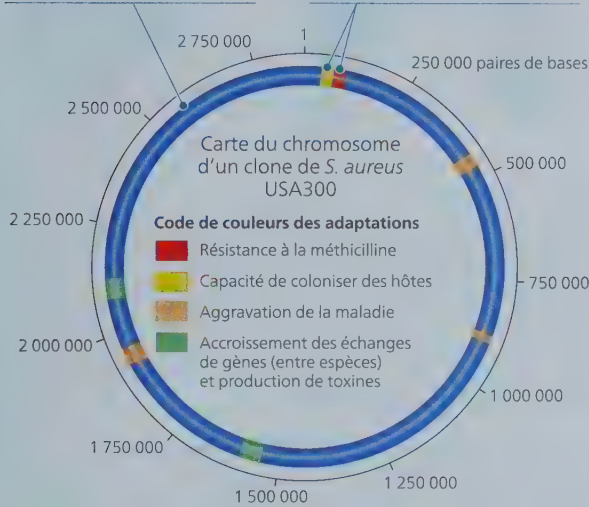
Notez que *S. aureus* n'est pas la seule bactérie pathogène qui a acquis une résistance à de nombreux antibiotiques. De plus, au cours des dernières décennies, la résistance bactérienne aux antibiotiques a été plus rapide que la mise au point de nouveaux antibiotiques, ce qui constitue un problème de santé

▼ **Figure 22.14** Le clone USA300: une souche virulente de *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM).

Résistantes à de multiples antibiotiques et hautement contagieuse, cette souche et ses proches parentes peuvent causer des infections de la peau, des poumons et du sang qui peuvent entraîner la mort. Comme on peut le voir ci-dessous, les chercheurs ont repéré les zones clés du génome du USA300 constituant le code de ses propriétés virulentes.

Le chromosome circulaire du clone USA300 (en bleu) a été séquencé et contient 2 872 769 paires de bases d'ADN.

Les régions autres que celles colorées en bleu contiennent des gènes qui augmentent la virulence de la souche (voir le code de couleurs).



**ET SI ?** ► Les chercheurs tentent actuellement de mettre au point des médicaments qui ciblent spécifiquement *S. aureus* et d'autres qui ralentissent la croissance du SARM sans le tuer. Compte tenu de ce que vous savez sur la sélection naturelle et du fait que les différentes espèces bactériennes peuvent échanger des gènes, expliquez pourquoi chacune de ces stratégies pourrait être efficace.

publique très préoccupant. Toutefois, certaines avancées semblent prometteuses. Par exemple, en 2015, des chercheurs ont découvert un nouvel antibiotique, la teixobactine, qui permettra peut-être de traiter les infections à SARM et d'autres infections bactériennes. Et comme nous le verrons dans l'exercice de la rubrique Habiletés scientifiques du chapitre 27, les méthodes utilisées dans la découverte de la teixobactine pourraient mener à la découverte d'autres nouveaux antibiotiques.

Les exemples des punaises à épaules rouges et de la bactérie *S. aureus* illustrent trois points clés concernant la sélection naturelle. Premièrement, il s'agit d'un processus de « multiplication » et non d'un processus de création. Un médicament ne crée pas de pathogènes pharmacorésistants ; il ne fait que favoriser la sélection des individus résistants déjà présents dans la population. Deuxièmement, chez les espèces qui produisent rapidement de nouvelles générations, l'évolution par sélection naturelle peut avoir lieu en peu de temps, c'est-à-dire en quelques décennies (punaises à épaules rouges) ou en quelques années seulement (*S. aureus*). Troisièmement, la sélection naturelle repose sur le moment et l'endroit : elle favorise chez une population génétiquement variable les caractéristiques qui lui procurent un avantage dans son environnement actuel. Or, ce qui

est avantageux dans une situation donnée peut se révéler inutile, voire nuisible, dans une autre. Ainsi, la longueur idéale du rostre des punaises à épaules rouges est celle qui convient le mieux à la taille du fruit sur lequel se nourrit une population donnée ; un rostre qui convient parfaitement à un fruit d'une certaine taille peut devenir un désavantage lorsque l'insecte se nourrit sur un fruit d'une autre taille.

## L'homologie

L'analyse des similarités entre divers organismes constitue un deuxième ensemble de données attestant l'évolution. On l'a dit, l'évolution est un processus de descendance avec modification : avec le temps, les caractéristiques d'un organisme (l'ancêtre) sont modifiées (par sélection naturelle) chez ses descendants en fonction des conditions environnementales auxquelles ces derniers sont soumis. Résultat : des espèces reliées ont des caractéristiques communes qui présentent une similarité sous-jacente bien que leur fonctionnement diffère. Cette similarité qui résulte d'une ascendance commune s'appelle l'**homologie**. Comme nous le verrons dans cette section, l'homologie permet de formuler des prédictions vérifiables et d'expliquer des observations qui, autrement, seraient déroutantes.

### L'homologie anatomique et moléculaire

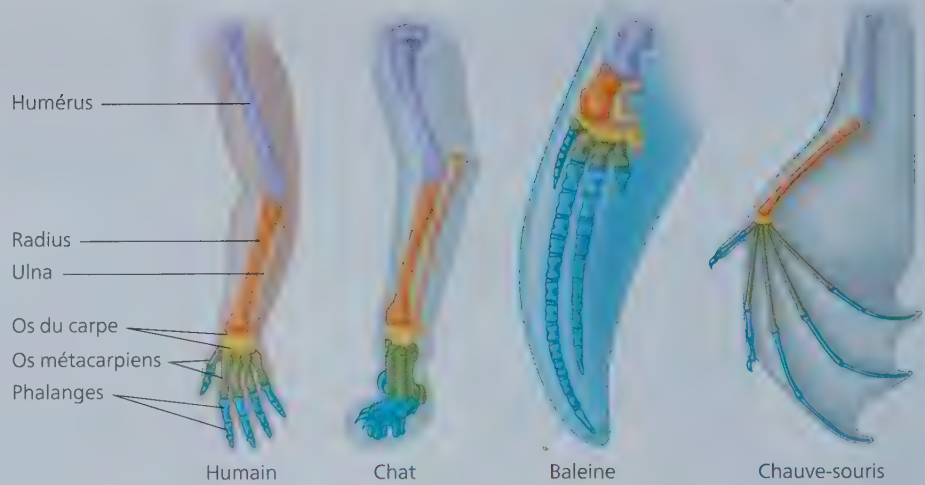
Envisager l'évolution comme un processus de remodelage amène à prédire que des espèces étroitement reliées présenteront des caractéristiques similaires, ce qui est effectivement le cas. Bien sûr, les espèces étroitement reliées ont en commun les caractéristiques qui ont servi à déterminer leur relation, mais elles partagent aussi de nombreuses autres caractéristiques. Certaines d'entre elles ne s'expliquent pas autrement que dans le contexte de l'évolution. Ainsi, bien que les membres antérieurs de l'humain, du chat, de la baleine, de la chauve-souris et de tous les autres mammifères remplissent des fonctions fort différentes – soulever, marcher, nager et voler –, ces appendices se composent des mêmes éléments osseux de l'épaule jusqu'au bout des doigts (**figure 22.15**).

Des similarités anatomiques aussi frappantes n'existeraient pas si ces structures étaient apparues à partir de rien chez chaque espèce. Or, les structures squelettiques des membres, des nageoires et des ailes des divers mammifères sont des **structures homologues**, c'est-à-dire des variations fonctionnelles sur un même thème structural présent chez l'ancêtre commun. De plus, l'embryologie comparative, qui consiste à comparer les premiers stades du développement chez divers animaux, révèle des homologies anatomiques invisibles chez les organismes adultes. Par exemple, à certains stades de leur développement, tous les embryons des vertébrés ont une queue postnatale (derrière l'anus), ainsi que des structures appelées sacs branchiaux dans la région de la gorge (**figure 22.16**). Au cours du développement, ces poches pharyngiennes deviennent des structures homologues aux fonctions extrêmement différentes : par exemple, les sacs branchiaux se transforment en branchies chez les poissons, et en parties auditives et gutturales chez l'humain et d'autres mammifères.

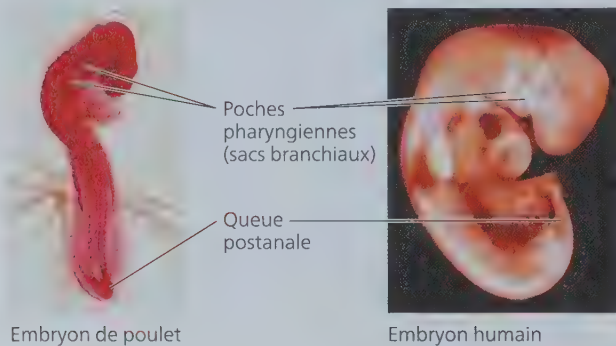
Parmi les structures homologues les plus singulières figurent les **organes vestigiaux** ; leur utilité est marginale ou nulle, mais ils témoignent de l'existence de structures très anciennes qui remplissaient d'importantes fonctions chez les ancêtres des

▼ **Figure 22.15** Les structures homologues des membres antérieurs des mammifères.

Bien qu'ils se soient adaptés pour des fonctions différentes, les membres antérieurs de tous les mammifères comprennent les mêmes éléments osseux : un os volumineux (en mauve), attaché à deux os plus petits (en orangé foncé et clair), se prolongeant eux-mêmes par plusieurs petits os (en jaune), sur lesquels s'attachent les métacarpes (en vert), prolongés par environ cinq doigts ou phalanges (en bleu).



▼ **Figure 22.16** Les similitudes anatomiques chez les embryons de vertébrés. À un certain stade de leur développement embryonnaire, tous les vertébrés présentent une queue localisée à la partie postérieure de l'anus (la queue postonale) ainsi que des poches pharyngiennes (les sacs branchiaux). De telles similitudes peuvent s'expliquer par le fait qu'ils possèdent un ancêtre commun.



organismes qui en étaient dotés. Par exemple, certains serpents ont conservé des vestiges des os du bassin et des pattes de certains de leurs ancêtres marcheurs. Certaines espèces de poissons aveugles des cavernes possèdent des vestiges d'yeux sous leurs écailles. Ces structures vestigiales n'auraient aucune raison d'être si ces animaux avaient des origines distinctes de celles d'autres vertébrés.

Les biologistes observent aussi des similarités moléculaires entre les organismes. Toutes les formes de vie font essentiellement appel au même code génétique, ce qui donne à penser que toutes les espèces descendent d'un ancêtre commun. On pourrait objecter que le code est universel en raison de contraintes d'ordre chimique et que le fait qu'il soit universel n'implique pas nécessairement une origine commune de toutes les espèces, mais de nombreux faits prouvent que de telles contraintes n'existent pas. Les homologies moléculaires vont au-delà du partage du code. Des organismes aussi différents que les humains et les bactéries possèdent beaucoup de gènes en commun qu'ils ont hérités d'un ancêtre commun éloigné. Certains de ces gènes homologues ont acquis de nouvelles fonctions, tandis que d'autres ont conservé leurs fonctions originales, tels ceux qui codent pour

les sous-unités ribosomiques utilisées pour la synthèse des protéines (voir la figure 17.18). Il est assez commun que des gènes aient perdu leurs fonctions chez certains organismes, alors que ces gènes homologues sont encore fonctionnels chez des espèces apparentées. Comme les structures vestigiales, il semble que ces « pseudogènes » inactifs sont présents simplement parce qu'ils l'étaient chez un ancêtre commun.

**Les homologies et la « pensée arborescente »**

Certaines caractéristiques homologues, comme le code génétique, sont communes à toutes les formes de vie, car elles appartiennent à un passé ancestral lointain mais commun. En revanche, c'est dans les ramifications secondaires de l'arbre de la vie que l'on observe les homologies découlant d'une évolution plus récente. C'est le cas, par exemple, de tous les tétrapodes (du grec *tetra*, « quatre », et *pod*, « pied »), cette branche des vertébrés regroupant les amphibiens, les mammifères et les reptiles. Comme tous les vertébrés, les tétrapodes possèdent une colonne vertébrale, mais contrairement à d'autres vertébrés, ils ont aussi des membres composés d'une même structure à cinq doigts (voir la figure 22.15). Les homologies forment donc une configuration ramifiée montrant que tous les êtres vivants partagent un ensemble de caractéristiques lointaines représentant un tronc commun (dans le cas présent, tous les vertébrés ont une colonne vertébrale). À ce tronc est venue se greffer une série de nouveaux embranchements successifs au sein desquels se sont ajoutées de nouvelles homologies (dans le cas présent, tous les tétrapodes ont une colonne vertébrale et une structure à cinq doigts), et celles-ci ont contribué à caractériser des groupes de rang supérieur, et ainsi de suite. Cette configuration ramifiée correspond exactement au modèle de la descendance avec modification d'un ancêtre commun.

Les biologistes représentent souvent la descendance d'ancêtres communs et les homologies qui en résultent par un **arbre phylogénétique**, un diagramme qui reflète les relations résultant de l'évolution entre des groupes d'organismes. C'est donc un arbre d'évolution d'un type plus spécifique, puisqu'il tient compte des filiations génétiques dans le temps. Nous examinerons plus en détail ces arbres d'évolution au chapitre 26, mais voyons dès maintenant comment on peut les interpréter et les utiliser.

La **figure 22.17** est un arbre phylogénétique des tétrapodes et de leurs plus proches parents vivants, les dipneustes. Dans ce diagramme, chaque embranchement représente l'ancêtre commun de toutes les espèces qui en descendent (à droite). Par exemple, les dipneustes et tous les tétrapodes descendent de l'ancêtre **1**, tandis que les mammifères, les lézards et les serpents, les crocodiles et les oiseaux descendent tous de l'ancêtre **3**. Comme on pouvait s'y attendre, les trois homologues signalées sur l'arbre – des membres avec des doigts, un amnios (une membrane embryonnaire protectrice) et des plumes – forment une configuration ramifiée. Comme ils étaient présents chez l'ancêtre commun **2**, tous les descendants de cet ancêtre (les tétrapodes) possèdent des membres munis de doigts. L'amnios, qui n'était présent que chez l'ancêtre **3**, n'est donc partagé que par certains tétrapodes (les mammifères et les reptiles). Quant aux plumes, comme elles n'étaient présentes que chez l'ancêtre commun **6**, on ne les trouve que chez les oiseaux.

Notez que, dans cette figure, les mammifères sont placés plus près des amphibiens que des oiseaux. À première vue, on pourrait en conclure que les mammifères sont plus proches des amphibiens que des oiseaux. En fait, c'est le contraire, car les mammifères et les oiseaux ont un ancêtre commun (ancêtre **3**) plus récent que l'ancêtre commun des mammifères et des amphibiens (ancêtre **2**). L'ancêtre **2** est aussi le plus récent ancêtre commun des oiseaux et des amphibiens, de sorte que la proximité de la relation des mammifères et des oiseaux est équivalente à celle de la relation entre les oiseaux et les amphibiens. Remarquez également que cet arbre montre le moment approximatif des événements relatifs à l'évolution, mais ne précise pas leurs dates. On sait donc que l'ancêtre **2** a vécu avant l'ancêtre **3**, mais on ignore quand.

Les arbres d'évolution sont des hypothèses qui résument notre conception actuelle des modes de descendance. Comme pour toute hypothèse, notre degré de confiance en ces relations hypothétiques dépend de la solidité des données sur lesquelles

elles reposent. L'arbre présenté à la figure 22.17 a été construit à partir de données provenant de nombreuses études, notamment de données anatomiques et de données de séquençage d'ADN. Les biologistes ont donc toutes les raisons de supposer qu'il reflète avec exactitude l'histoire de l'évolution. Les scientifiques peuvent utiliser de tels arbres d'évolution solidement documentés pour avancer des prédictions précises et parfois étonnantes sur des organismes (voir la figure 26.17).

### Une autre cause de ressemblance : l'évolution convergente

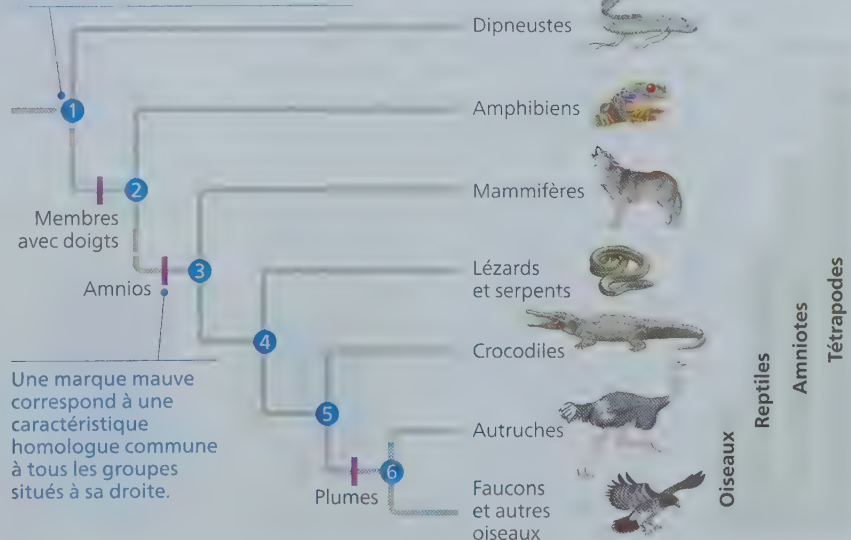
Si des organismes étroitement liés présentent des caractéristiques communes en raison de leur ascendance commune, des organismes aux relations lointaines peuvent aussi se ressembler, mais pour une tout autre raison. En effet, une certaine ressemblance peut aussi découler de l'**évolution convergente**, un processus qui mène de façon indépendante à l'apparition de caractères similaires chez des lignées différentes. Pour illustrer cette notion, comparons les deux groupes de mammifères que forment les marsupiaux et les placentaires. Les marsupiaux sont surtout présents en Australie et se caractérisent par un développement embryonnaire qui commence dans l'utérus maternel et se poursuit dans une poche ventrale. Ils se distinguent des placentaires, dont le développement embryonnaire se déroule entièrement dans l'utérus. Malgré ces différences importantes, certains marsupiaux australiens ressemblent à première vue à des mammifères placentaires habitant d'autres continents : ils présentent des adaptations semblables, puisqu'ils sont dotés les uns et les autres de membranes qui leur permettent de planer d'un arbre à l'autre. Ainsi, le phalanger du sucre (*Petaurus breviceps*), un marsupial arboricole, ressemble en apparence à l'écreuil volant (*Glaucomys volans*), un placentaire qui saute d'arbre en arbre dans les forêts d'Amérique du Nord (**figure 22.18**). Cependant, le phalanger possède tous les autres caractères qui en font un marsupial, et il est beaucoup plus proche du kangourou

#### ► Figure 22.17 La pensée arborescente : l'information fournie par un arbre phylogénétique (arbre d'évolution).

Cet **arbre phylogénétique** des tétrapodes et de leurs plus proches parents vivants, les dipneustes, repose sur des données anatomiques et des données de séquençage d'ADN. Les barres mauves indiquent l'apparition de trois homologues importantes, qui n'ont évolué qu'une fois chacune. Ainsi, le groupe des oiseaux est un embranchement du groupe des reptiles ; techniquement, le groupe d'organismes appelé « reptiles » inclut donc les oiseaux.

**HABILETÉS VISUELLES** ► D'après cet arbre phylogénétique, les crocodiles sont-ils plus étroitement reliés aux lézards ou aux oiseaux ? Expliquez votre réponse.

Chaque embranchement représente l'ancêtre commun des lignées qui commencent à ce point ou se situent à sa droite.



Une marque mauve correspond à une caractéristique homologue commune à tous les groupes situés à sa droite.



▲ **Figure 22.18** L'évolution convergente. La capacité de planer est le résultat d'une évolution indépendante pour ces deux mammifères dont la parenté est très lointaine.

et d'autres marsupiaux australiens que de l'écureuil volant ou de tout autre mammifère placentaire. Là encore, ce que nous savons de l'évolution explique ces observations. Bien qu'ils aient évolué indépendamment, à partir d'ancêtres différents, ces deux mammifères se sont adaptés de manière similaire à un environnement semblable. Quand des espèces présentent des caractéristiques communes en raison d'une évolution convergente, on parle de caractéristiques **analogues** et non pas homologues. Les caractéristiques analogues remplissent une fonction similaire, mais elles ne découlent pas d'une ascendance commune. En cela, elles s'opposent aux caractéristiques homologues, qui viennent d'une ascendance commune mais ne remplissent pas forcément une fonction similaire.

## Les archives fossiles

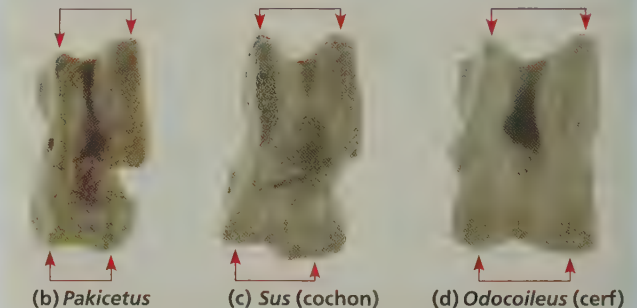
Le troisième ensemble de données qui atteste l'évolution nous vient des fossiles. Comme l'explique plus en détail le chapitre 25, les archives fossiles documentent le modèle de l'évolution, démontrant que les organismes du passé différaient des organismes actuels et que de nombreuses espèces se sont éteintes.

► **Figure 22.19** Les os de la cheville : une pièce du casse-tête. La comparaison entre des fossiles et des exemplaires contemporains du talus (un des os de la cheville) fournit des indices sur la proche parenté des cétacés et des artiodactyles. (a) Chez la plupart des mammifères, la forme du talus est celle du talus du chien, avec une double protubérance à une extrémité (flèches rouges), mais pas à l'autre (flèche bleue). (b) Les fossiles montrent que l'ancien cétacé *Pakicetus* avait un talus à double protubérance aux deux extrémités, une caractéristique qu'on ne trouve plus aujourd'hui que chez le cochon (c), le cerf (d) et tous les autres artiodactyles.

La majorité des mammifères



Cétacés et artiodactyles



(b) *Pakicetus*

(c) *Sus* (cochon)

(d) *Odocoileus* (cerf)

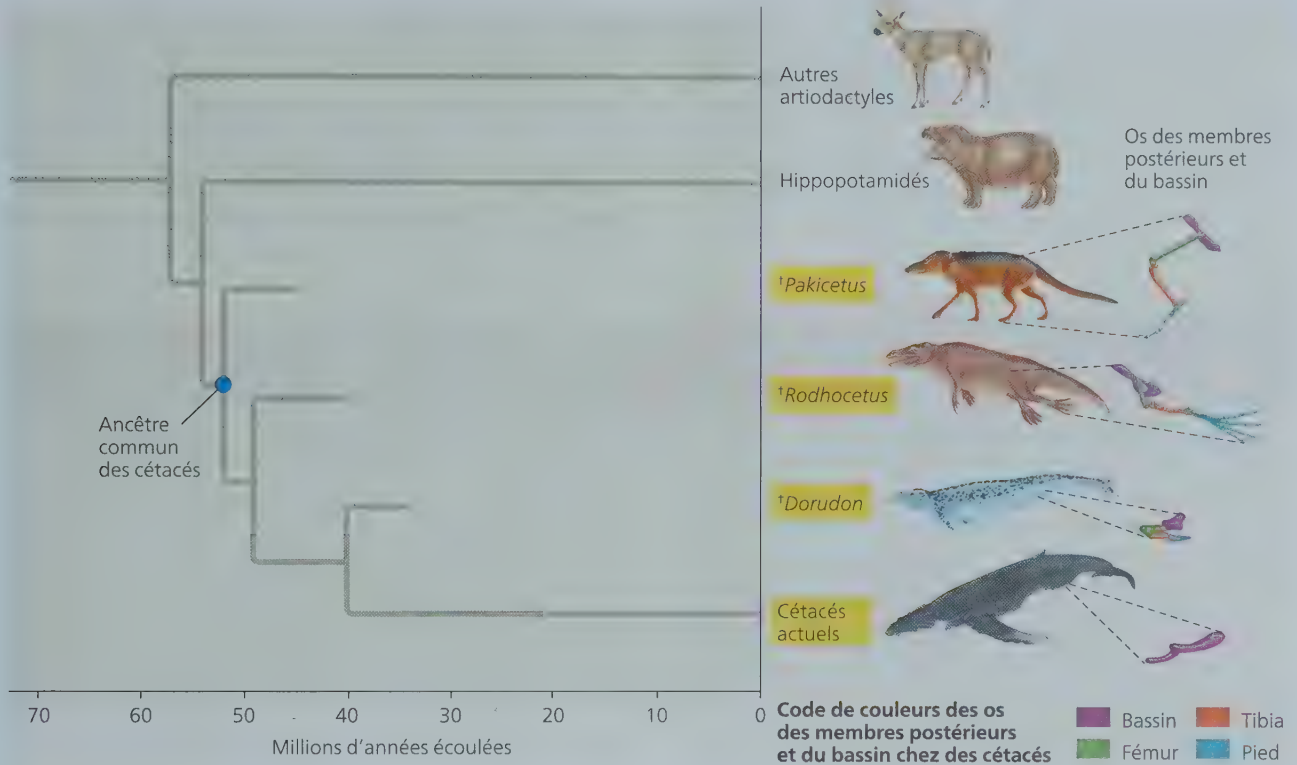
Les fossiles témoignent également des changements évolutifs survenus chez divers groupes d'organismes. Pour ne donner qu'un exemple parmi tant d'autres, les chercheurs ont découvert que, sur une période de plusieurs milliers d'années, la taille de l'os iliaque du poisson qu'on appelle l'épinoche a considérablement diminué avec le temps. La nature constante de ce changement au fil du temps donne à penser que cette réduction de la taille de l'os iliaque résulte de la sélection naturelle.

Les fossiles peuvent également nous éclairer quant aux origines de nouveaux groupes d'organismes. Les archives fossiles des cétacés, cet ordre de mammifères qui comprend la baleine, le cachalot et le dauphin, en sont un bon exemple. Certains de ces fossiles (figure 22.19) ont permis d'étayer solidement une hypothèse émise à partir de données sur les séquences d'ADN, selon laquelle les cétacés sont étroitement reliés aux artiodactyles (du grec *artios*, « pair », et *dactylos*, « doigt »), un groupe d'ongulés qui inclut les hippopotames, les cochons, les cerfs et les vaches.

Qu'est-ce que les fossiles peuvent nous apprendre d'autre sur l'origine des cétacés ? Les premiers cétacés ont vécu il y a de cela 50 à 60 millions d'années. Les archives fossiles indiquent qu'avant cette époque la plupart des mammifères étaient terrestres. Les scientifiques avaient compris il y a longtemps que les baleines et autres cétacés étaient issus de mammifères terrestres, mais on n'avait trouvé peu de fossiles qui auraient pu témoigner de la façon dont la structure des membres des cétacés avait évolué avec le temps pour entraîner la perte des membres postérieurs et le développement d'une nageoire caudale à deux lobes (sur la queue d'une baleine) et de nageoires latérales. Cependant, au cours des dernières décennies, on a découvert des séries de fossiles remarquablement conservés au Pakistan, en Égypte et en Amérique du Nord. Ces fossiles apportent des indices des étapes de la transition de la vie terrestre à la vie marine, et comblent certaines lacunes dans notre compréhension de l'évolution des ancêtres des cétacés vers leur forme actuelle (figure 22.20).

Collectivement, les récentes découvertes de fossiles éclairent l'origine d'un groupe d'animaux : les cétacés. Ces découvertes montrent aussi que les cétacés d'aujourd'hui sont beaucoup plus différents de leurs proches parents actuels (hippopotames et autres groupes d'artiodactyles) que l'étaient le *Pakicetus* et les anciens artiodactyles comme le *Diacodexis* (figure 22.21). Ce modèle est attesté par l'existence de fossiles qui témoignent des origines d'autres groupes d'organismes, y compris des mammifères (voir la figure 34.42), des plantes à fleurs (voir la figure 30.14) et des tétrapodes (voir la figure 34.21). Dans

▼ **Figure 22.20** La transition vers la vie marine. De multiples sources de données appuient l'hypothèse selon laquelle les cétacés (surlignés en jaune) ont évolué à partir de mammifères terrestres. Les fossiles documentent la réduction au fil du temps du bassin et des membres postérieurs de cétacés aujourd'hui éteints (+), notamment les animaux des genres *Pakicetus*, *Rodhocetus* et *Dorudon*. Les données de séquençage d'ADN étayent l'hypothèse selon laquelle les cétacés sont les plus proches parents vivants des hippopotamidés, un sous-groupe des artiodactyles.



**HABILETÉS VISUELLES** ► Utilisez ce diagramme pour indiquer quel changement est apparu en premier au cours de l'évolution des cétacés : les modifications structurales des membres postérieurs ou la formation des lobes de la nageoire caudale ? Expliquez votre réponse.

chacun de ces cas, les archives fossiles montrent qu'au fil du temps la descendance avec modification a entraîné des différences de plus en plus importantes entre les groupes d'organismes reliés, ce qui a produit la diversité du vivant que nous connaissons aujourd'hui.

▼ **Figure 22.21** Un ancien artiodactyle aujourd'hui éteint, appartenant au genre *Diacodexis*.



## La biogéographie

Le quatrième ensemble de données qui prouve l'évolution nous vient de la **biogéographie**, c'est-à-dire de l'étude scientifique des distributions géographiques des espèces. Plusieurs facteurs influent sur les distributions géographiques des organismes, notamment la dérive des continents, c'est-à-dire le lent déplacement des continents au fil du temps. Il y a environ 250 millions d'années, toutes les masses continentales de la Terre étaient plus ou moins soudées en un seul continent qu'on appelle la **Pangée** (voir la figure 25.16). Il y a quelque 200 millions d'années, la Pangée a commencé à se diviser en gros blocs et, il y a 20 millions d'années, les continents que nous connaissons

aujourd'hui étaient situés à quelques centaines de kilomètres de leur localisation actuelle.

Nous pouvons utiliser ce que nous savons de l'évolution et de la dérive des continents pour prédire dans quels endroits on devrait trouver des fossiles des divers groupes d'organismes. Ainsi, les scientifiques ont construit des arbres d'évolution des chevaux en se basant sur des données anatomiques. Ces arbres et l'âge des fossiles des ancêtres du cheval portent à croire que le genre auquel appartiennent les espèces actuelles de chevaux (*Equus*) est apparu il y a 5 millions d'années en Amérique du Nord. Les études géologiques indiquent qu'à cette époque, l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud ne s'étaient pas encore reliées, de sorte que les chevaux auraient eu de la difficulté à traverser d'un continent à l'autre. On pouvait donc prédire que les plus anciens fossiles de chevaux se retrouveraient uniquement sur le continent dont ces chevaux sont originaires, soit l'Amérique du Nord. Cette prédiction et d'autres du même type concernant divers groupes d'organismes ont été confirmées, ce qui fournit d'autres preuves de l'évolution.

Nous pouvons également utiliser notre compréhension de l'évolution pour expliquer des données biogéographiques. Ainsi,

les îles hébergent généralement de nombreuses espèces végétales et animales **endémiques** (c'est-à-dire qu'on ne trouve nulle part ailleurs dans le monde). Néanmoins, comme l'a décrit Darwin dans *De l'origine des espèces*, la plupart des espèces insulaires sont étroitement reliées aux espèces du continent le plus proche ou d'une île voisine. Darwin a supposé que les îles sont colonisées par des espèces du continent voisin. À mesure que ces colonisateurs s'adaptent à leur nouvel environnement, ils finissent par engendrer de nouvelles espèces. Un tel processus explique aussi pourquoi deux îles au milieu similaire, mais situées dans différentes parties du monde, tendent à être peuplées non pas par des espèces étroitement reliées les unes aux autres, mais plutôt par des espèces reliées à celles du continent le plus proche, même si l'environnement y est souvent assez différent.

## En quoi la vision darwinienne du vivant est-elle encore une « théorie » ?

Certains rejettent les idées de Darwin en alléguant qu'il s'agit d'une « simple théorie ». Pourtant, nous avons pu constater que le **modèle** de l'évolution – l'observation du fait que le vivant évolue au fil du temps – a été documenté directement et qu'il est étayé par de multiples données. De plus, l'explication que donne Darwin du **processus** de l'évolution – la sélection naturelle est la principale cause des changements évolutifs observés – éclaire d'immenses quantités de données. Enfin, il est possible d'observer les effets de la sélection naturelle directement dans la nature. L'exercice de la rubrique **Habilités scientifiques** qui suit nous donne un exemple d'expérience qui permet de le faire.

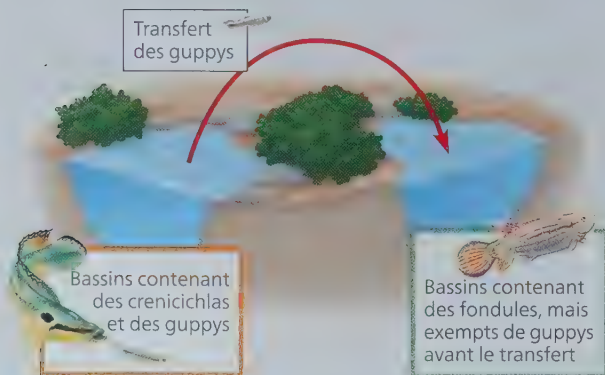
### DÉMARCHE SCIENTIFIQUE HABILETÉS SCIENTIFIQUES

#### Faire une prédiction et la vérifier

#### ■ LA PRÉDATION PEUT-ELLE DONNER LIEU À UNE SÉLECTION NATURELLE FAVORISANT CERTAINS MOTIFS COLORÉS CHEZ LES GUPPYS ? ■

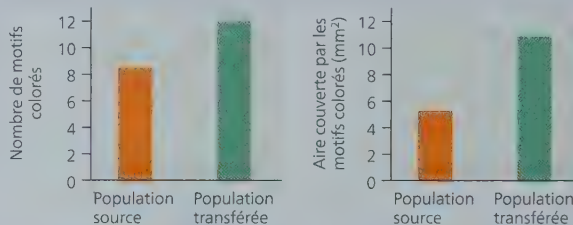
De nouvelles observations modifient continuellement notre compréhension de l'évolution en suscitant de nouvelles hypothèses; celles-ci, en retour, inspirent de nouvelles façons de vérifier et d'enrichir notre compréhension de la théorie de l'évolution. Prenons comme exemple les guppys (*Poecilia reticulata*) qui vivent dans des bassins communiquant avec des ruisseaux sur l'île de Trinidad, dans les Caraïbes. Les guppys mâles arborent des motifs vivement colorés. Ces motifs dépendent de gènes qui ne s'expriment que chez les mâles. Pour s'accoupler, les guppys femelles choisissent plus souvent les mâles aux couleurs vives que les mâles aux couleurs fades. Toutefois, ces mêmes couleurs vives qui attirent les femelles attirent également les prédateurs. Des chercheurs ont constaté que les couleurs vives semblent être plus avantageuses et davantage présentes dans les bassins qui abritent peu d'espèces prédatrices que dans ceux où règne une forte prédation.

Un des prédateurs des guppys, appelé fondule, se nourrit de jeunes guppys encore dépourvus de leur coloration adulte. Des chercheurs ont prédit que si on transférait les guppys adultes peu colorés dans un bassin contenant seulement des fondules, les descendants de ces guppys finiraient par être plus colorés (en raison de la préférence des femelles pour les mâles très colorés).



■ **MÉTHODE** ■ Les chercheurs ont capturé 200 guppys des bassins contenant des crenicichlas, prédateurs voraces des guppys adultes, et les ont transportés dans des bassins contenant des fondules, un prédateur moins vorace qui se nourrit principalement de jeunes guppys. Les chercheurs ont ensuite compté et noté le nombre de motifs très colorés des guppys mâles de chaque génération ainsi que l'aire corporelle totale couverte par ces motifs.

■ **RÉSULTATS** ■ Après 22 mois (15 générations), les chercheurs ont comparé les données sur la coloration de la population source avec les données sur la coloration de la population transplantée.



Source des données: J. A. Endler, Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*, *Evolution* 34: 76-91 (1980).

#### INTERPRÉTEZ LES DONNÉES ▼

1. Dans cet exemple de démarche scientifique visant à vérifier une hypothèse, repérez les éléments suivants: (a) la question, (b) l'hypothèse, (c) la prédiction, (d) le groupe témoin et (e) le groupe expérimental. (Pour plus d'information sur la démarche scientifique, voir le chapitre 1 et l'appendice F.)
2. Expliquez comment le choix du type de données recueillies permet aux chercheurs de vérifier leur prédiction.
3. Quelle conclusion tirez-vous des données présentées ci-dessus ?
4. Selon vous, qu'arriverait-il si, après 22 mois, on remettait les guppys de la population transplantée dans le bassin source. Décrivez l'expérience qui vous permettrait de vérifier votre prédiction.

Alors en quoi l'évolution est-elle encore théorique ? Souvenez-vous que le terme *théorie* n'a pas la même signification dans le domaine scientifique que dans le langage courant. Dans son emploi familier, le mot a sensiblement le sens que les scientifiques donnent au terme *hypothèse* ; dans le langage courant, quelque chose de théorique est aussi possible qu'incertain. En science, une théorie est beaucoup plus globale qu'une hypothèse et, même si elle ne prétend pas offrir de certitude absolue, elle repose sur des bases solides. Une théorie scientifique comme la théorie de la sélection naturelle de Darwin rend compte d'un faisceau d'observations, et tente d'expliquer et d'intégrer une multitude de phénomènes divers. Une telle théorie unificatrice ne devient largement admise que si elle résiste à des vérifications systématiques et répétées sous forme d'expériences et de nombreuses observations (voir le concept 1.3). Comme nous le verrons dans la suite de cette partie du manuel, c'est assurément le cas pour la théorie de l'évolution par la sélection naturelle.

Le scepticisme qui pousse les chercheurs à continuer à tester les théories empêche qu'on érige ces idées en dogmes. Par exemple, alors que pour Darwin l'évolution était un processus extrêmement lent, nous savons maintenant que ce n'est pas toujours le cas : l'évolution d'une population peut se faire rapidement, de sorte que de nouvelles espèces peuvent se former sur des périodes de temps relativement courtes (quelques milliers d'années ou même moins). Qui plus est, les biologistes qui étudient l'évolution reconnaissent maintenant que la sélection naturelle n'est pas le seul mécanisme responsable de l'évolution. En effet, de nos jours, l'étude de l'évolution est plus vivante que jamais, et les scientifiques utilisent toutes sortes de méthodes expérimentales et d'analyses génétiques pour tester des hypothèses basées sur la sélection naturelle et sur d'autres mécanismes

de l'évolution, comme l'épigénétique. Si la théorie de Darwin attribue la diversité de la vie à des processus naturels, les divers produits de l'évolution n'en sont pas moins élégants et inspirants. Comme l'écrivait Darwin dans le paragraphe de conclusion de son ouvrage *De l'origine des espèces* :

N'y a-t-il pas une véritable grandeur dans cette manière d'envisager la vie [... où] une quantité infinie de belles et admirables formes, sorties d'un commencement si simple, n'ont pas cessé de se développer et se développent encore. (En fait, le tout dernier mot du dernier paragraphe de l'ouvrage était le verbe « évoluer » : « *endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being, evolved* », qui a été traduit par le terme « développer », par Edmond Barbier.)

## RETOUR SUR LE CONCEPT 22.3

1. Expliquez pourquoi l'énoncé suivant est inexact : « Les antibiotiques ont créé une pharmacorésistance chez le SARM. »
2. Comment la théorie de Darwin explique-t-elle (a) le fait que les membres antérieurs des mammifères que montre la figure 22.15 soient similaires, mais aient des fonctions différentes, et (b) que les modes de vie de deux mammifères qui sont des cousins éloignés soient similaires (voir la figure 22.18) ?
3. **ET SI ?** ► Les fossiles nous apprennent que l'origine des dinosaures remonte à quelque 200 à 250 millions d'années. Sachant cela, vous attendez-vous à ce que la distribution géographique des plus anciens fossiles de dinosaures soit vaste (qu'ils se retrouvent sur plusieurs continents) ou limitée (sur un ou deux continents) ? Expliquez votre réponse.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

# RÉVISION DU CHAPITRE 22



Consultez votre MANUEL NUMÉRIQUE, qui vous donne accès aux **animations**, aux **exercices** et à la plateforme d'**anatomie interactive**.

## Résumé des concepts clés

### CONCEPT 22.1

#### La théorie de Darwin a révolutionné l'idée d'une Terre jeune et peuplée d'espèces immuables (p. 512 à 515)

- Darwin a révolutionné les idées dominantes de son temps en soutenant que l'unité et la diversité des espèces pouvaient s'expliquer par une ascendance commune et par la sélection naturelle.
- Cuvier a étudié les **fossiles**, mais il ne soutenait pas l'idée d'évolution ; il était plutôt d'avis que des événements catastrophiques soudains avaient causé dans le passé la disparition de certaines espèces vivant dans les régions dévastées par ces événements.
- Hutton et Lyell estimaient que les changements survenus à la surface de la Terre peuvent résulter d'actions lentes et continues qui sont toujours à l'œuvre aujourd'hui.

- Lamarck supposait que les espèces évoluent, mais il proposait un mécanisme d'évolution que les données expérimentales n'appuyaient pas.

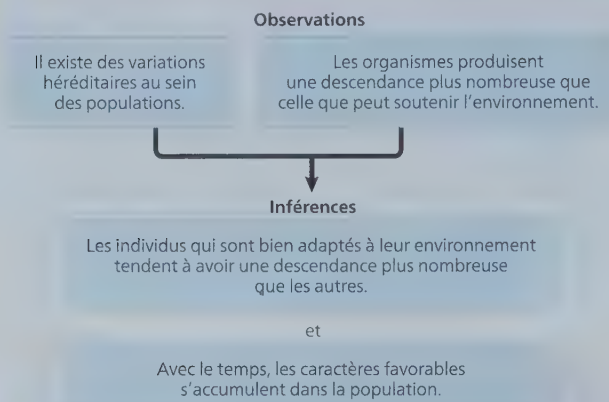
**?** Pourquoi l'âge de la Terre était-il important dans les idées de Darwin sur l'évolution ?

### CONCEPT 22.2

#### La descendance avec modification par sélection naturelle explique les adaptations des organismes ainsi que l'unité et la diversité de la vie (p. 515 à 520)

- C'est grâce aux connaissances acquises au cours de l'expédition du *Beagle* que Darwin a montré que de nouvelles espèces dérivent d'espèces ancestrales par l'accumulation graduelle d'**adaptations**. Après son retour en Angleterre, il a précisé sa théorie. En 1859, après avoir appris que Wallace était parvenu aux mêmes conclusions, Darwin a publié sa théorie.

- Dans *De l'origine des espèces*, Darwin a soutenu que c'était la descendance avec modification, sur de longues périodes de temps, qui produisait la riche diversité du vivant par le mécanisme de la **sélection naturelle**.



Expliquez la relation entre, d'une part, la reproduction excessive et les variations de traits héréditaires et, d'autre part, l'évolution par la sélection naturelle.

### CONCEPT 22.3

#### Une somme considérable de données scientifiques atteste l'évolution (p. 520 à 529)

- Dans plusieurs études, les chercheurs ont observé directement la sélection naturelle menant à l'évolution adaptative, notamment en effectuant des recherches sur les punaises à épaules rouges et sur le SARM.
- Les organismes présentent des caractéristiques communes en raison de leur ascendance commune (**homologie**) ou parce que la sélection naturelle produit des effets similaires chez des espèces qui évoluent de manière indépendante dans des environnements similaires (**évolution convergente**).
- Les archives fossiles démontrent que les organismes du passé lointain différaient des organismes actuels, que plusieurs espèces se sont éteintes et que l'évolution des espèces se fait sur de longues périodes de temps. De plus, les archives fossiles documentent l'origine des principaux groupes d'organismes.
- La théorie de l'évolution peut expliquer des phénomènes biogéographiques.

Résumez les différents ensembles de données qui appuient l'hypothèse selon laquelle les cétacés descendent de mammifères terrestres et sont étroitement reliés aux artiodactyles.

## Évaluation

### NIVEAU 1 : CONNAISSANCES ET COMPRÉHENSION

1. Parmi les énoncés suivants, lequel n'est ni une observation ni une inférence sur laquelle se fonde la théorie de la sélection naturelle ?
  - a) Il existe des variations héréditaires entre les individus.
  - b) Les individus peu adaptés ne produisent jamais de descendants.
  - c) Les espèces produisent plus de descendants que peut en soutenir leur environnement.
  - d) Souvent, seule une partie de la descendance d'un individu peut survivre et se reproduire.
2. Parmi les observations suivantes, laquelle a aidé Darwin à formuler son idée de la descendance avec modification ?
  - a) La diversité des espèces diminue à mesure que la distance par rapport à l'équateur augmente.

- b) Le nombre d'espèces vivant sur les îles était inférieur au nombre d'espèces trouvées sur les continents les plus proches.
- c) Les oiseaux vivaient sur des îles situées à une distance du continent supérieure à leur distance maximale de vol.
- d) Les plantes du climat tempéré d'Amérique du Sud étaient plus semblables aux plantes tropicales d'Amérique du Sud qu'aux plantes des climats tempérés d'Europe.

### NIVEAU 2 : APPLICATION ET ANALYSE

3. Six mois après que l'on eut utilisé avec succès de la méthicilline pour traiter une infection à *S. aureus* dans une collectivité, toutes les nouvelles infections à *S. aureus* ont été causées par le SARM. Parmi les énoncés suivants, lequel explique le mieux ce résultat ?
  - a) Un patient a été infecté par un SARM provenant d'une autre collectivité.
  - b) En réaction au médicament, *S. aureus* a commencé à synthétiser une variante résistante de l'enzyme dont l'action est bloquée par la méthicilline.
  - c) Certains *S. aureus* résistants à la méthicilline étaient déjà présents au début du traitement, et la sélection naturelle a augmenté leur nombre.
  - d) *S. aureus* a évolué de telle façon qu'il est devenu résistant aux vaccins.
4. L'analyse anatomique des membres antérieurs des humains, des chauves-souris et des baleines montre que les structures osseuses des humains et des chauves-souris sont assez semblables, tandis que les formes et les proportions des os des baleines sont assez différentes. Cependant, l'analyse de plusieurs gènes de ces espèces laisse penser que ces trois mammifères se sont séparés de leur ancêtre commun environ au même moment. Lequel des énoncés suivants explique le mieux ces données ?
  - a) L'évolution des membres antérieurs des humains et des chauves-souris était adaptative, mais pas celle des baleines.
  - b) La sélection naturelle en milieu aquatique a produit des changements considérables dans l'anatomie des membres antérieurs de la baleine.
  - c) Les gènes mutent plus rapidement chez les baleines que chez les humains ou les chauves-souris.
  - d) Les baleines ne sont pas à proprement parler des mammifères.
5. Les séquences d'ADN de très nombreux gènes humains sont très similaires à celles des gènes correspondants chez les chimpanzés. Lequel des énoncés suivants explique le mieux cette donnée ?
  - a) Les humains et les chimpanzés ont un ancêtre commun relativement récent.
  - b) Les humains descendent des chimpanzés.
  - c) Les chimpanzés descendent des humains.
  - d) L'évolution convergente a produit ces similarités de l'ADN.

### NIVEAU 3 : SYNTHÈSE ET ÉVALUATION

#### 6. INVESTIGATION

**FAITES DES LIENS** ► Les premiers moustiques résistants au pesticide DDT sont d'abord apparus en Inde en 1959, mais on en trouve aujourd'hui dans le monde entier. (a) Servez-vous des données du tableau ci-dessous pour construire un graphique. (b) Analysez ce graphique et formulez une explication de l'augmentation rapide du nombre de moustiques résistants au DDT. (c) Proposez une explication de la mondialisation de la résistance au DDT.

Mois	0	8	12
Moustiques résistants* au DDT	4 %	45 %	77 %

\* Les moustiques étaient considérés comme résistants s'ils n'étaient pas morts 1 heure après avoir été exposés à une dose d'une solution à 4 % de DDT.

**Source des données:** C. F. Curtis et coll., Selection for and against insecticide resistance and possible methods of inhibiting the evolution of resistance in mosquitoes, *Ecological Entomology* 3: 273-287 (1978).

Voir les réponses proposées à l'appendice A.