

L'évolution, les thèmes de l'étude du vivant et la démarche scientifique

1



VOS OUTILS INTERACTIFS

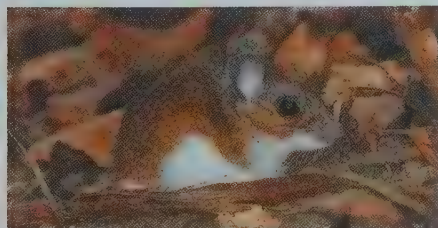


Consultez votre **MANUEL NUMÉRIQUE**, qui vous donne accès aux **animations**, aux **exercices** et à la plateforme d'**anatomie interactive**.

▲ **Figure 1.1** Que nous apprend cette souris des sables (*Peromyscus polionotus*) au sujet de la biologie ?

CONCEPTS CLÉS

- 1.1** L'étude du vivant révèle des thèmes unificateurs
- 1.2** Le thème central, l'évolution, donne un sens à l'unité et à la diversité de la vie
- 1.3** Les scientifiques étudient la nature en faisant des observations, à partir desquelles ils formulent et testent des hypothèses
- 1.4** L'approche multidisciplinaire et la diversité des points de vue contribuent à l'avancement des sciences



▲ **Souris de l'espèce *Peromyscus polionotus* vivant à l'intérieur des terres.** Le pelage de cette souris est beaucoup plus foncé sur le dos et la face que celui de la même espèce qui vit sur la plage.

L'exploration du vivant

Sur la côte de la Floride, aux États-Unis, les dunes de sable blanc et les touffes clairsemées de végétation qui y poussent ici et là offrent bien peu d'endroits où se cacher pour une souris. Heureusement, les souris des sables ont un pelage clair et tacheté qui se fond dans l'environnement (**figure 1.1**). On trouve des souris de cette même espèce (*Peromyscus polionotus*) dans des régions de l'intérieur des terres, mais leur pelage est beaucoup plus foncé, tout comme le sol et la végétation de ces régions (voir la petite photo). Pour ces deux populations de souris, l'une vivant sur les dunes et l'autre à l'intérieur des terres, la fine adéquation entre la couleur du pelage et l'environnement est indispensable à la survie puisque les faucons, les hérons et d'autres prédateurs à la vue perçante survolent périodiquement ces régions à la recherche de proies. Comment le pelage de chacune de ces populations de souris en est-il venu à prendre une couleur aussi bien assortie, aussi bien *adaptée*, à la couleur d'ensemble de leur habitat ?

Les adaptations d'un organisme à son environnement, comme les adaptations qui permettent aux souris de se fondre dans l'environnement, sont le fruit de l'**évo-lution**, le processus de changement qui s'effectue avec le temps et qui a abouti à l'extraordinaire diversité d'organismes qui peuplent la planète aujourd'hui. L'évo-lution est le principe organisateur fondamental de la biologie et le thème central de cet ouvrage.

Les biologistes connaissent déjà beaucoup de choses au sujet de la vie sur Terre, mais il reste encore à percer de nombreux mystères. Poser des questions sur le monde vivant et chercher des réponses fondées sur la recherche scientifique sont les activités centrales de la **biologie**, l'étude scientifique des êtres vivants. Les

questions auxquelles tentent de répondre les biologistes sont parfois ambitieuses. Par exemple, comment une cellule microscopique peut-elle devenir un arbre ou un chien ? Comment l'esprit humain fonctionne-t-il ? Comment les divers organismes vivants d'une forêt interagissent-ils ? Lorsque vous vous posez des questions sur la nature, vous pensez alors déjà comme un biologiste. La biologie est une quête plus que toute autre chose, une recherche permanente sur la nature de la vie.

À l'échelle la plus vaste, on peut se demander : qu'est-ce que la vie ? Même un jeune enfant conçoit d'instinct qu'un insecte ou une plante sont vivants, alors qu'un caillou ou une automobile ne le sont pas. Et pourtant, il est bien difficile de définir en une seule phrase le phénomène que nous appelons la vie. On

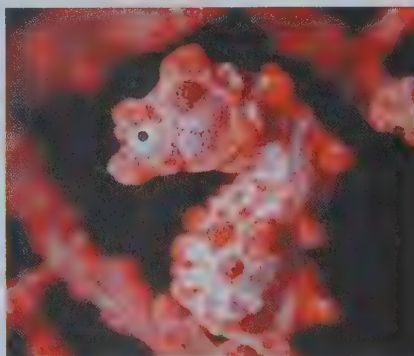
reconnait les êtres vivants par ce qu'ils sont capables de faire. La **figure 1.2** illustre quelques-unes des propriétés et des processus associés au vivant.

Avec ces quelques photographies, la figure 1.2 nous rappelle que la diversité du monde vivant est prodigieuse. Comment les biologistes arrivent-ils à comprendre cette diversité et cette complexité ? Ce premier chapitre propose un cadre de travail qui permettra de répondre à cette question. La première partie du chapitre présente un panorama de la biologie organisé autour de quelques thèmes intégrateurs. Nous nous concentrerons ensuite sur le thème central de la biologie, l'évolution, qui explique l'unité et la diversité du vivant. Ensuite, nous nous pencherons sur la recherche scientifique, le moyen par lequel les scientifiques

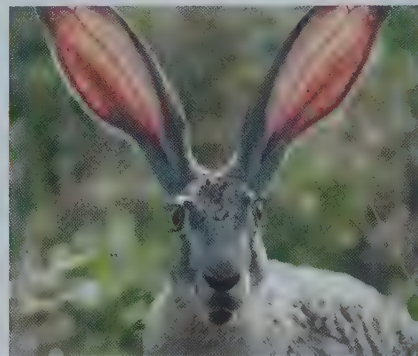
▼ **Figure 1.2** Quelques propriétés de la vie.



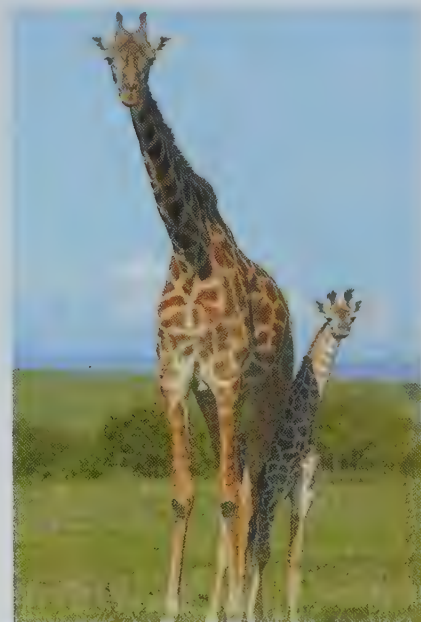
▲ **Ordre.** Ce gros plan d'une fleur de tournesol (*Helianthus annuus*) illustre la structure hautement ordonnée qui caractérise la vie.



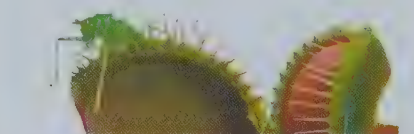
▲ **Adaptation évolutive.** Cet hippocampe nain (*Hippocampus bargibanti*) est capable de modifier son apparence pour se confondre avec son environnement. Acquis au cours des générations successives, ce genre d'adaptation se maintient en raison du succès reproducteur supérieur des individus dont les caractères héréditaires sont les mieux adaptés à leur environnement.



▲ **Homéostasie.** Les très grandes oreilles de ce lièvre de Californie (*Lepus californicus*) sont utiles à la régulation du volume sanguin circulant. Elles aident à ajuster les pertes de chaleur aux conditions extérieures et, par le fait même, à conserver une température corporelle constante.



▲ **Reproduction.** Un organisme (être vivant) produit des organismes qui lui ressemblent.



▲ **Réactions aux stimulus de l'environnement.** Une sauterelle s'est aventurée sur le bord des feuilles ouvertes d'une dionée gobe-mouches (*Dionaea muscipula*). La dionée a fermé rapidement son «piège» en réaction à ce stimulus.



▲ **Utilisation d'énergie.** Ce papillon puise son énergie dans le nectar des fleurs. Il utilise l'énergie chimique stockée dans cette nourriture pour voler et accomplir ses autres activités.



▲ **Croissance et développement.** Les informations héréditaires transmises par les gènes déterminent la croissance et le développement des organismes, comme pour cette pousse de chêne.

posent des questions sur le monde physique, chimique et biologique, et tentent d'y répondre. Enfin, nous nous intéresserons à la culture scientifique et à ses effets sur la société.

CONCEPT 1.1

L'étude du vivant révèle des thèmes unificateurs

La biologie est un domaine qui englobe un large éventail d'intérêts, et les bulletins de nouvelles en révèlent chaque jour les découvertes excitantes. Comment, alors, organiser en un tout cohérent l'immense matière que vous verrez dans votre étude des vastes domaines de la biologie ? Le fait de vous concentrer sur quelques grandes idées générales vous aidera sûrement à organiser vos connaissances et à comprendre la signification de toutes les informations que vous découvrirez en étudiant la biologie. Pour vous faciliter la tâche, nous vous proposons cinq thèmes unificateurs, qui sont autant de manières d'aborder le vivant et qui seront encore pertinents dans des dizaines d'années.

- Organisation
- Information
- Énergie et matière
- Interactions
- Évolution

Dans la présente section et la suivante, nous définirons et nous explorerons brièvement chacun de ces thèmes.

Thème: De nouvelles propriétés émergent à chaque niveau hiérarchique de l'organisation biologique

ORGANISATION L'étude du vivant sur la Terre commence à l'échelle microscopique, celle des molécules et des cellules composant les organismes, et s'étend jusqu'à celle de la planète entière. Les biologistes séparent habituellement ce vaste ensemble en différents niveaux d'organisation biologique. À la **figure 1.3**, nous passons d'un niveau à l'autre pour observer la vie dans une prairie. Cette exploration, présentée ici en une série de niveaux numérotés, met en évidence la hiérarchie de l'organisation biologique.

L'examen de plus en plus rapproché des niveaux d'organisation biologique illustre le *réductionnisme*, une stratégie ainsi nommée parce qu'elle consiste à fragmenter les systèmes complexes en éléments plus simples et plus faciles à manipuler en vue de les étudier. Il s'agit d'une stratégie fort efficace en biologie. Par exemple, c'est en se penchant sur la structure moléculaire d'une substance extraite de cellules que James Watson et Francis Crick ont déduit que l'ADN constitue le fondement chimique de l'hérédité. Le réductionnisme a permis de nombreuses et importantes découvertes, encore qu'il fournisse une vue nécessairement incomplète de la vie sur la Terre, comme nous le verrons maintenant.

Les propriétés émergentes des systèmes

Examinons encore la hiérarchie de l'organisation biologique de la figure 1.3, mais cette fois à rebours, c'est-à-dire en partant du niveau moléculaire. Cette approche du plus petit au plus grand

nous permet de voir apparaître de nouvelles propriétés, les **propriétés émergentes**, qui n'étaient pas présentes au niveau précédent. Ces propriétés résultent de l'arrangement des composants et de leurs interactions de plus en plus complexes. Par exemple, même si on mélange de la chlorophylle et toutes les molécules d'un chloroplaste dans une éprouvette, la photosynthèse ne peut se dérouler, car les processus coordonnés de cette réaction dépendent de la façon très spécifique dont la chlorophylle et les autres molécules sont organisées dans un chloroplaste intact. Les constituants isolés de systèmes vivants (objets d'étude de l'approche réductionniste) sont dépourvus de plusieurs des propriétés importantes qui émergent à un niveau d'organisation plus élevé.

Les propriétés émergentes ne sont pas exclusives au vivant. Une boîte contenant toutes les pièces d'une bicyclette ne vous mènera nulle part, mais si celles-ci sont assemblées de la bonne façon, vous pourrez pédaler jusqu'où bon vous semble. Cet exemple illustre l'importance du concept d'organisation, mais rien ne peut rivaliser avec les systèmes biologiques en matière de complexité. Celle-ci fait des propriétés émergentes de la vie un sujet d'étude particulièrement stimulant.

De nos jours, pour explorer à fond les propriétés émergentes, les biologistes adjoignent à l'approche réductionniste la **biologie des systèmes**, une approche qui consiste à étudier un système biologique à la lumière des interactions entre ses composants. Dans la biologie des systèmes, une simple cellule de feuille est considérée comme un système, tout comme une grenouille, une colonie de fourmis ou l'écosystème d'un désert. Le fait d'étudier et de modéliser le comportement dynamique de systèmes biologiques entiers permet de formuler de nouveaux types de questions. Par exemple, comment les réseaux d'interactions moléculaires du corps humain produisent-ils notre cycle veille-sommeil de 24 heures ? Ou, à plus large échelle, comment une augmentation graduelle du dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique altère-t-elle les écosystèmes et l'ensemble de la biosphère ? La biologie des systèmes permet d'étudier la vie à tous ses niveaux d'organisation.

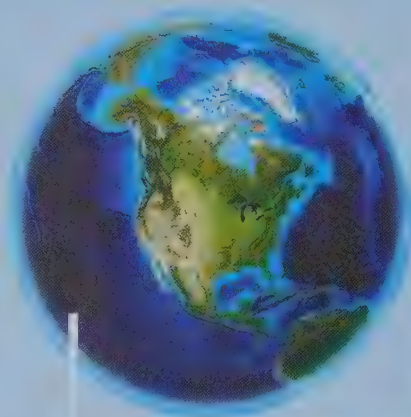
La structure et la fonction

À tous les niveaux d'organisation, on trouve une corrélation entre structure et fonction. La feuille présentée dans la figure 1.3 en est un exemple : sa forme mince et aplatie maximise la quantité de lumière que peuvent absorber ses chloroplastes. L'analyse d'une structure biologique fournit des indices sur sa fonction et son fonctionnement. De même, le fait de connaître la fonction d'un objet nous renseigne sur sa constitution. Le règne animal regorge d'exemples de corrélation entre la structure et la fonction. Ainsi, l'anatomie du colibri fait en sorte que les ailes possèdent une très grande flexibilité au niveau de l'articulation des épaules, ce qui lui permet de voler à reculons ou de faire du surplace, une caractéristique unique parmi les oiseaux. En faisant du surplace, le colibri peut plonger son long bec effilé dans les fleurs et se nourrir de nectar. Cette harmonieuse adéquation entre la structure et la fonction du vivant relève de la sélection naturelle, comme nous le verrons bientôt.



► 1 La biosphère

Même de l'espace, un observateur peut voir des signes de vie, ne serait-ce que dans la mosaïque verte que forment les forêts de la planète. Il peut aussi apercevoir la **biosphère**, qui comprend tout ce qui vit sur la planète et tous les lieux où la vie existe, c'est-à-dire la plupart des régions terrestres, la plupart des étendues d'eau telles que les océans, les lacs et les rivières, l'atmosphère jusqu'à une altitude de quelques kilomètres, et même les sédiments accumulés dans les fonds marins.



► 2 Les écosystèmes

À mesure qu'on se rapproche de la surface de la Terre, on peut distinguer une prairie nord-américaine, un exemple d'écosystème, tout comme le sont les forêts tropicales, les déserts et les récifs de corail. Un **écosystème** renferme tous les êtres vivants d'une même région, de même que tout le non-vivant qui compose l'environnement de ces êtres vivants, c'est-à-dire le sol, l'eau, les gaz atmosphériques et la lumière. L'ensemble de tous les écosystèmes de la Terre forme la biosphère.



► 3 Les communautés biologiques

L'ensemble des organismes qui peuplent un même écosystème est appelé **communauté** biologique. La communauté qui appartient à l'écosystème donné ici en exemple (une prairie) abrite de nombreux types de plantes, toutes sortes d'animaux, de champignons et autres eumycètes, ainsi qu'une quantité faramineuse de microorganismes qui, comme les bactéries, sont invisibles à l'œil nu. Chacune de ces formes de vie appartient à une **espèce**, c'est-à-dire à un groupe d'étroite similarité génétique, dont les membres ne peuvent en général se reproduire qu'avec d'autres membres de leur groupe.



▼ 4 Les populations

Une **population** est l'ensemble des individus d'une même espèce qui vivent dans une même région. Par exemple, la prairie compte entre autres une population de lupins (*Lupinus angustifolius*), dont quelques-uns sont montrés sur la photo, et une population de cerfs muets (*Odocoileus hemionus*). Une communauté biologique est donc constituée de l'ensemble des populations vivant dans une même région.

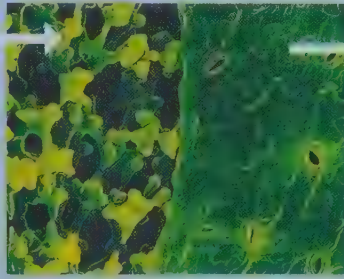


▲ 5 Les organismes

Les **organismes** sont les êtres vivants considérés individuellement. Chacune des plantes de la prairie est un organisme, de même que chaque animal, chaque champignon ou chaque bactérie.

▼ 6 Les organes et les systèmes

La hiérarchie structurale de la vie continue de se déployer à mesure qu'on explore l'architecture des organismes plus complexes. Une feuille est un exemple d'**organe**, une partie d'un organisme constituée d'au moins deux tissus et ayant des fonctions spécifiques. Les feuilles, les tiges et les racines sont les organes principaux des plantes. Au sein d'un organe, chaque tissu est disposé d'une certaine manière et possède des propriétés qui contribuent à la fonction de l'organe.



50 μm
(200x)

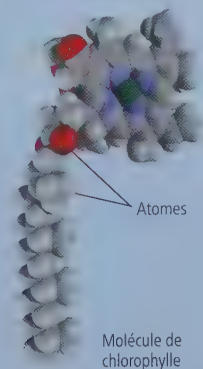


10 μm
(800x)

Cellule

▲ 7 Les tissus

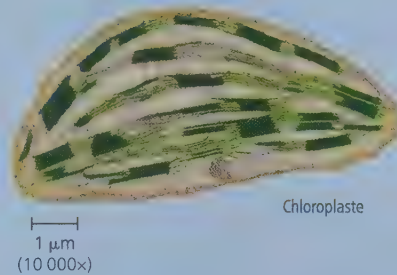
Les **tissus** d'une feuille ne sont visibles qu'au microscope. Chaque tissu se compose d'un groupe de cellules qui travaillent en coopération à l'exécution d'une fonction spécialisée. La feuille ci-dessus a été coupée obliquement. Le tissu en nid d'abeille qui se trouve à l'intérieur de la feuille (le côté gauche de la micrographie) est le siège principal de la photosynthèse, un processus qui convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique, sous la forme de glucides et d'autres nutriments. La micrographie montre également le tissu perforé qui correspond à l'épiderme; l'épiderme est la «peau» qui recouvre la feuille (la moitié droite de la micrographie). Les pores de l'épiderme laissent entrer les molécules de dioxyde de carbone (CO_2), la matière première qui sera transformée en glucides par la photosynthèse. À cette échelle microscopique, on peut voir également que chaque tissu a sa structure cellulaire propre.



▼ 8 Les cellules

La **cellule** est l'unité structurale et fonctionnelle des organismes. Certains organismes sont formés d'une seule cellule qui exécute toutes les fonctions vitales. D'autres organismes sont multicellulaires et sont constitués de cellules spécialisées qui se répartissent les tâches. Nous voyons ici une vue grossie de cellules contenues dans le tissu d'une feuille. Cette cellule ne mesure que quelque 40 μm (micromètres) de largeur. Il faudrait en juxtaposer plus de 500 pour égaler le diamètre d'une pièce de 5 cents. Et dans ces minuscules cellules se trouvent des structures encore plus petites, de couleur verte, qu'on appelle chloroplastes et dans lesquels se déroule la photosynthèse.

◀ 9 Les organites



Le chloroplaste est un exemple d'**organite**. Les organites sont les différents éléments fonctionnels qui composent une cellule. L'image ci-contre, prise à l'aide d'un microscope puissant, nous montre un chloroplaste.

◀ 10 Les molécules

Le niveau moléculaire est le dernier niveau d'organisation dans la hiérarchie de la vie. On voit ici une des molécules de chlorophylle que renferme un chloroplaste. Une **molécule** est une structure chimique qui comprend au moins deux de ces petites unités appelées atomes, représentés ici sous forme de boules par infographie moléculaire. La chlorophylle est la molécule de pigment qui donne à la feuille sa couleur verte et qui absorbe la lumière solaire durant la première étape de la photosynthèse. À l'intérieur de chaque chloroplaste, des millions de molécules de chlorophylle se partagent la tâche de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique nourricière.

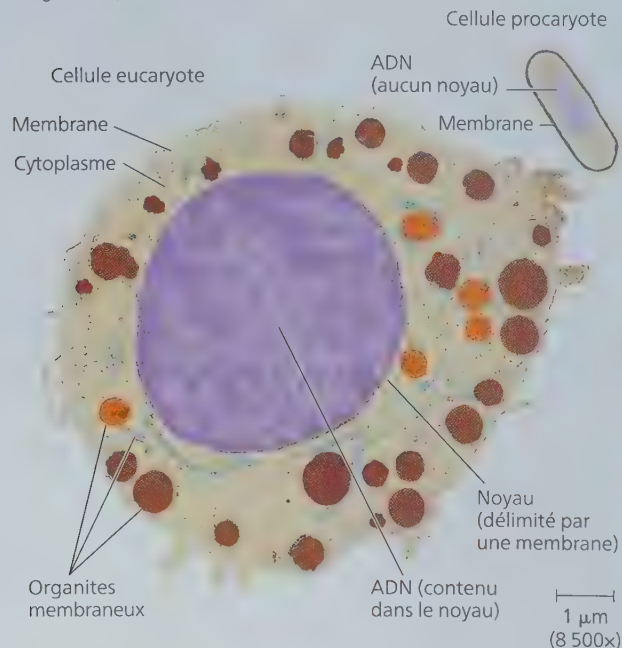
La cellule, unité élémentaire de la structure et de la fonction d'un organisme

Dans la hiérarchie structurale de la vie, la cellule est la plus petite unité capable d'accomplir toutes les activités nécessaires à la vie. La théorie cellulaire, comme on l'appelle, a été formulée dans les années 1800 à partir des observations de nombreux scientifiques. D'après cette théorie, tous les organismes vivants se composent de cellules et celles-ci forment les unités de base du vivant. En fait, les activités des organismes reposent toutes sur celles des cellules. Par exemple, le mouvement de vos yeux pour lire ces mots dépend de l'activité de cellules musculaires et de neurones. Même un processus se déroulant à l'échelle globale, comme le recyclage des atomes de carbone, est le produit des fonctions cellulaires, y compris la photosynthèse qui se déroule dans les chloroplastes des cellules d'une plante.

Toutes les cellules ont en commun certaines caractéristiques. Par exemple, elles sont entourées d'une membrane qui régit le passage des matières entre le milieu interne et l'environnement. Et toutes les cellules utilisent l'ADN comme information génétique. On distingue néanmoins deux grands types de cellules : les cellules procaryotes (du latin *pro*, « avant », et du grec *karuon*, « noyau ») et les cellules eucaryotes (du grec *eu*, « vrai », et *karuon*, « noyau »). Les microorganismes unicellulaires (constitués d'une seule cellule) appelés bactéries et archées sont des procaryotes. Tous les autres êtres vivants, dont les plantes et les animaux, sont composés de cellules eucaryotes.

La **cellule eucaryote** contient des organites délimités par une membrane (**figure 1.4**). Certains organites, comme le

▼ **Figure 1.4** Les différences de forme et de taille entre une cellule eucaryote et une cellule procaryote. Les cellules sont illustrées à l'échelle ici. (Pour une image agrandie d'une cellule procaryote, voir la figure 6.5.)



HABILETÉS VISUELLES ► Mesurez l'échelle graphique et utilisez ce repère pour estimer la longueur de la cellule procaryote ainsi que la plus longue dimension de la cellule eucaryote.

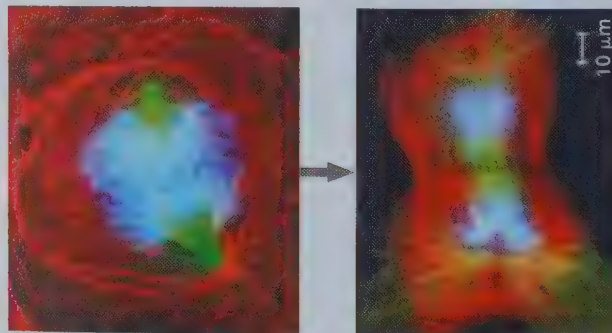
noyau abritant l'ADN, sont présents dans les cellules de tous les eucaryotes; d'autres ne se trouvent que dans certains types de cellules. Par exemple, le chloroplaste de la figure 1.3 est un organe spécifique des cellules eucaryotes capables de photosynthèse. Contrairement aux cellules eucaryotes, la **cellule procaryote** est dépourvue de noyau et d'autres organites membranaires. De plus, elle est généralement plus petite que la cellule eucaryote, comme on peut le voir dans la figure 1.4. Dans une cellule procaryote, l'ADN ne se trouve pas dans un noyau séparé du cytosol par une enveloppe membranaire. En outre, ce type de cellule est dépourvu des organites membranaires caractéristiques de la cellule eucaryote. Les propriétés de tout organisme, qu'il se compose de cellules eucaryotes ou procaryotes, reposent sur la structure et la fonction de ses cellules.

Thème: Les processus du vivant reposent sur l'expression et la transmission de l'information génétique

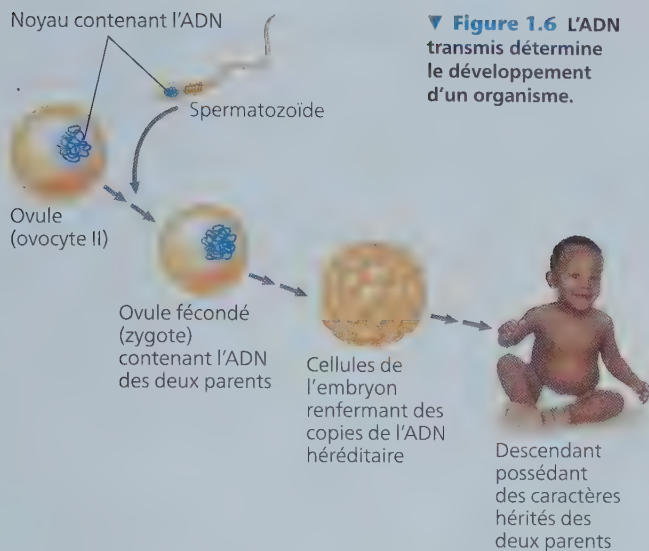
INFORMATION À l'intérieur des cellules, les structures appelées chromosomes contiennent du matériel génétique sous la forme d'**ADN (acide désoxyribonucléique)**. Dans les cellules sur le point de se diviser, on peut mettre en évidence les chromosomes avec un colorant qui devient bleu lorsqu'il se lie à l'ADN (**figure 1.5**).

L'ADN: le matériel génétique

Avant la division d'une cellule, l'ADN est d'abord répliqué, ou copié, et chacune des deux cellules filles qui en résultent hérite d'un ensemble complet de chromosomes, identique à celui de la cellule mère. Chaque chromosome est constitué d'une seule et très longue molécule d'ADN le long de laquelle sont disposés des centaines ou des milliers de **gènes**; chaque gène étant une partie de l'ADN du chromosome. Les gènes sont les éléments d'information que transmettent les parents à leur progéniture. Les gènes contiennent l'information nécessaire à la fabrication de toutes les molécules synthétisées dans une cellule; ils constituent le code qui établit l'identité et la fonction de la cellule. Chacun de nous n'a d'abord été qu'une cellule unique contenant l'ADN provenant de nos deux parents. La réplication de cet ADN avant chaque division cellulaire a ensuite transmis les gènes aux billions (10^{12}) de cellules qui nous composent. Et à mesure que nos cellules croissent et se divisent, l'information génétique codée par l'ADN régit le développement de notre organisme (**figure 1.6**).



▲ **Figure 1.5** Une cellule pulmonaire de triton se divise en cellules plus petites qui grossissent et se divisent à leur tour.



▼ **Figure 1.6** L'ADN transmis détermine le développement d'un organisme.

La structure moléculaire de l'ADN explique sa capacité à emmagasiner l'information. Chaque molécule d'ADN est constituée de deux longues chaînes, appelées brins, formant une double hélice. Chaque chaîne est formée à partir de quatre unités structurales chimiques appelées nucléotides et désignées par les lettres A, T, C et G (**figure 1.7**). L'information génétique réside dans l'enchaînement particulier de ces quatre nucléotides. L'ADN transmet l'information d'une manière analogue à notre façon de combiner les lettres de l'alphabet en des mots et phrases précis correspondant à des significations spécifiques. Vous savez que, selon leur enchaînement, les lettres de l'alphabet forment des mots ayant des sens distincts. Le mot *rat*, par exemple, désigne un rongeur, alors que le mot *art*, qui contient les mêmes lettres, mais agencées de manière différente, a une tout autre signification. Nous pouvons considérer les quatre nucléotides comme l'alphabet de l'hérédité.

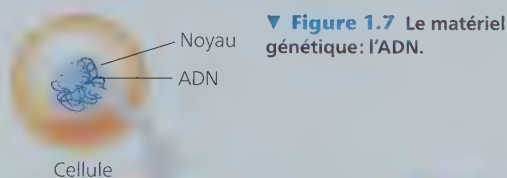
Pour beaucoup de gènes, l'ADN fournit la recette pour fabriquer une protéine. Par exemple, l'information contenue dans un gène bactérien donné peut définir une certaine protéine (une enzyme) nécessaire pour dégrader une molécule de sucre, alors que l'information contenue dans un autre gène humain correspondra à une protéine différente (un anticorps) qui, elle, aide à combattre une infection. La majorité des protéines jouent un rôle essentiel dans l'édification ainsi que l'entretien de la cellule et de ses activités.

Les protéines sont encodées dans des gènes qui régissent leur production en faisant appel à un type de molécule parente, l'acide ribonucléique (ARN), qui leur sert d'intermédiaire (**figure 1.8**). La séquence de nucléotides le long d'un gène est d'abord transcrite en ARN, lequel est ensuite traduit en une chaîne d'unités de base protéiques appelées acides aminés. Une fois complète, la chaîne d'acides aminés forme une protéine spécifique dotée d'une forme et d'une fonction uniques. Tout le processus par lequel l'information d'un gène dicte la fabrication d'un produit cellulaire s'appelle l'**expression génétique**.

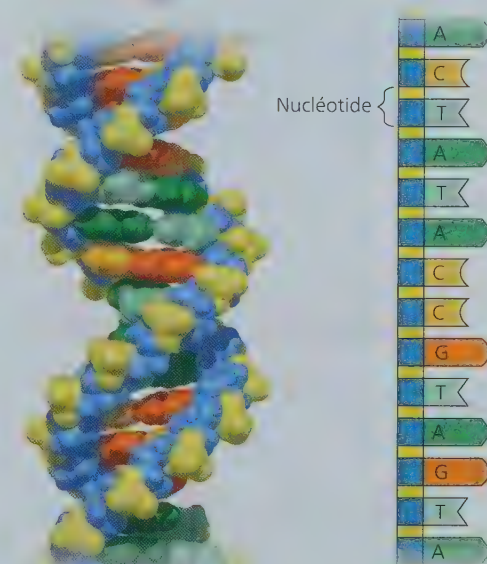
Lorsqu'elles expriment leurs gènes, toutes les formes de vie utilisent essentiellement le même code génétique. Une séquence particulière de nucléotides exprime le même message d'un organisme à l'autre. Les différences entre les organismes ne reflètent

pas les différences entre leur code génétique respectif, mais bien les différences dans les séquences de leurs nucléotides. L'universalité du code génétique témoigne de façon probante que tous les êtres vivants sont apparentés. La comparaison des séquences de plusieurs espèces quant à un gène constituant le code pour une certaine protéine peut fournir des données précieuses tant sur la protéine elle-même que sur la relation entre ces espèces.

La molécule d'ARNm de la figure 1.8 est traduite en protéine, mais d'autres molécules d'ARN remplissent un rôle différent. Par exemple, nous savions depuis plusieurs décennies que certains types d'ARN font partie de la machinerie cellulaire qui fabrique des protéines, mais nous avons appris récemment que des classes entières d'ARN jouent d'autres rôles au sein de la cellule, notamment en régulant l'expression des gènes responsables du codage de protéines. Les gènes déterminent tous ces ARN également, et leur production fait également partie de l'expression génétique. L'ADN garantit la transmission fidèle du bagage génétique d'une génération à l'autre en conservant les instructions pour produire des protéines et des molécules d'ARN, et en se répliquant à chaque division cellulaire.



▼ **Figure 1.7** Le matériel génétique: l'ADN.



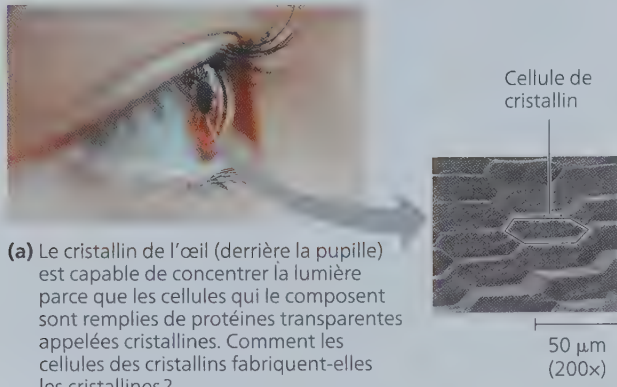
(a) La double hélice de l'ADN.

Dans ce modèle, les atomes d'un segment d'ADN sont représentés par de petites sphères colorées. La molécule d'ADN est formée de deux longues chaînes d'unités structurales appelées nucléotides qui s'enroulent l'une autour de l'autre en formant une double hélice.

(b) Un brin d'ADN. Ces lettres et ces formes géométriques

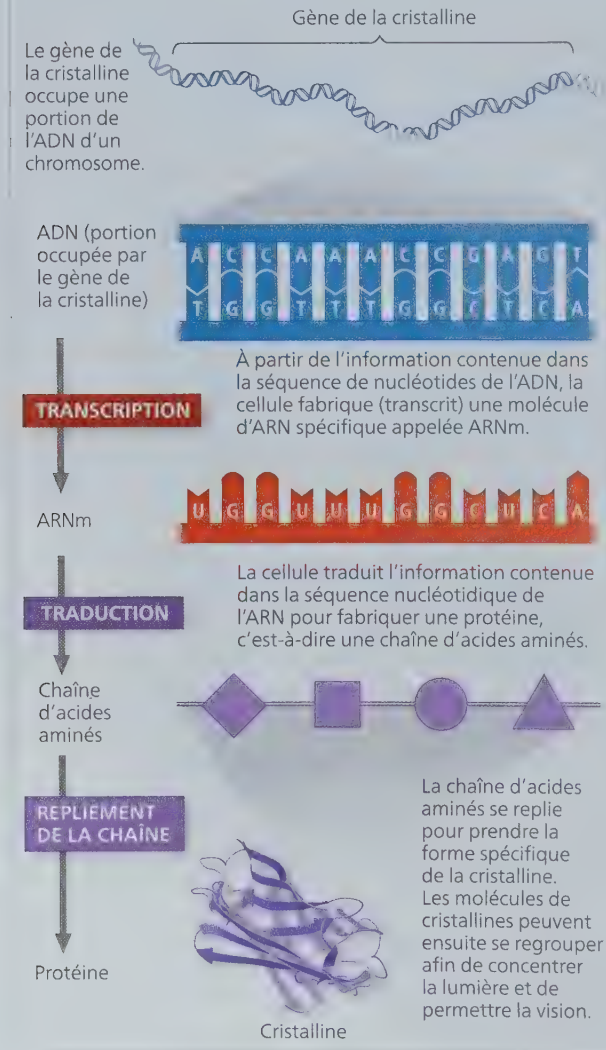
représentent les nucléotides contenus dans un court segment d'une des deux chaînes d'une molécule d'ADN. L'information génétique réside dans l'enchaînement particulier des quatre nucléotides (leurs noms sont abrégés ici avec les lettres A, T, C et G).

▼ **Figure 1.8** L'expression génétique: les cellules utilisent l'information codée dans un gène pour synthétiser une protéine fonctionnelle.



(a) Le cristallin de l'œil (derrière la pupille) est capable de concentrer la lumière parce que les cellules qui le composent sont remplies de protéines transparentes appelées cristallines. Comment les cellules des cristallins fabriquent-elles les cristallines ?

(b) Une cellule de cristallin utilise l'information contenue dans l'ADN pour fabriquer des protéines appelées cristallines.



La génomique: l'analyse à grande échelle de séquences d'ADN

L'ensemble des directives génétiques dont un organisme hérite est appelé **génome**. Chaque cellule humaine comporte deux jeux de chromosomes semblables, et l'ADN de chaque jeu totalise environ trois milliards de paires de nucléotides. Si la taille des « lettres » chimiques des nucléotides d'un seul brin était identique à celle des lettres que vous lisez actuellement, il faudrait environ 700 manuels du même format que celui-ci pour les écrire toutes.

Depuis le début des années 1990, grâce à la révolution technologique, la cadence de séquençage des génomes s'est accélérée pour atteindre un rythme incroyable. Nous connaissons maintenant le génome (la séquence complète de nucléotides composant un organisme) de l'humain et de nombreux autres animaux, de même que le génome d'une foule de bactéries, d'archées, d'eumycètes et de plantes.

Pour comprendre l'avalanche de données émanant des projets de séquençage génomique et organiser le répertoire grandissant de fonctions géniques connues, les scientifiques utilisent une approche systémique aux niveaux moléculaire et cellulaire. Plutôt que d'enquêter sur un gène à la fois, les chercheurs étudient plutôt des ensembles complets de gènes (ou d'autres séquences d'ADN) propres à une ou plusieurs espèces. Cette approche s'appelle la **génomique**. La **protéomique**, quant à elle, est l'étude des différents groupes de protéines et de leurs propriétés. (L'ensemble complet des protéines exprimées par une cellule, un tissu ou un organisme est un **protéome**.)

Les approches génomique et protéomique ont vu le jour grâce à trois grandes percées. La première est la technologie de haut débit, qui fait appel à divers appareils permettant d'analyser très rapidement du matériel biologique. La deuxième grande percée est celle de la **bio-informatique**, un domaine qui réunit l'ensemble des concepts et des techniques de l'informatique pour stocker, organiser et analyser la masse de données produites par la technologie à haut débit. Enfin, la troisième innovation est la création d'équipes de recherche interdisciplinaires réunissant divers spécialistes issus de différents champs d'activité: informaticiens, mathématiciens, ingénieurs, chimistes, physiciens et, bien sûr, biologistes. Les chercheurs rassemblés dans de telles équipes tentent d'apprendre comment les activités de toutes les protéines et de toutes les molécules d'ARN codées par l'ADN se coordonnent dans les cellules et dans l'ensemble d'un organisme.

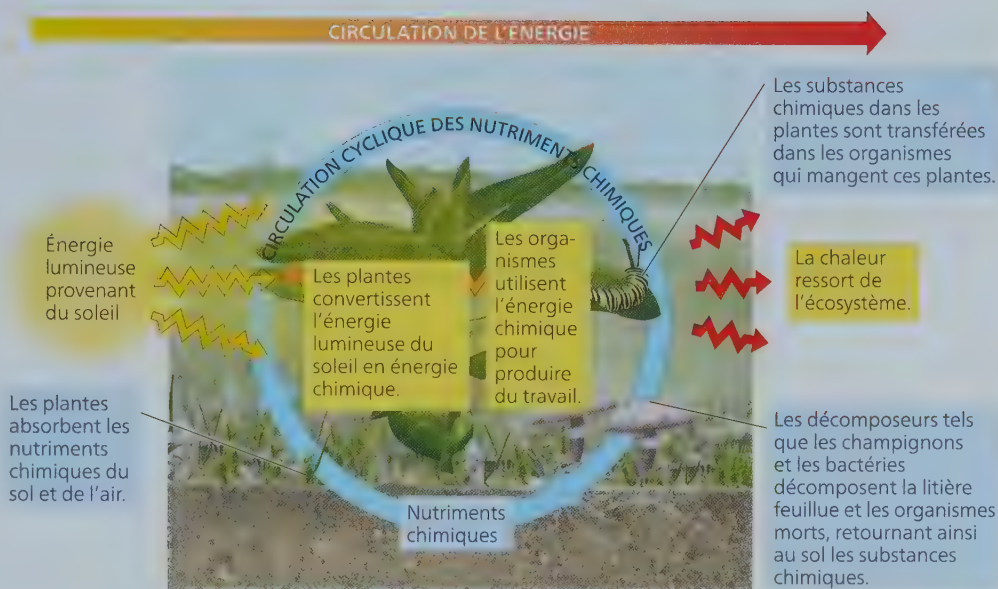
Thème: Le transfert et la transformation d'énergie et de matière sont essentiels à la vie

ÉNERGIE ET MATIÈRE L'utilisation de l'énergie pour mener à bien les activités de la vie est une des caractéristiques fondamentales des êtres vivants. Pour se déplacer, croître, se reproduire et accomplir ses autres fonctions, un être vivant a besoin d'énergie. La vie est possible grâce à l'absorption d'énergie, qui vient principalement du soleil, et à la transformation de l'énergie d'une forme à une autre (figure 1.9). Lorsque les feuilles d'une plante absorbent la lumière du soleil, les molécules de chlorophylle qu'elles contiennent convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique, tels des glucides, par le processus de la photosynthèse. L'énergie chimique des molécules de glucides est alors relayée par les plantes et d'autres organismes photosynthétiques

► Figure 1.9

La circulation de l'énergie et le recyclage des nutriments.

Dans un écosystème, l'énergie circule dans une seule direction : durant la photosynthèse, les plantes convertissent l'énergie lumineuse du soleil en énergie chimique (emmagasinée dans des molécules comme les glucides). Cette énergie chimique est utilisée par les plantes et d'autres organismes pour effectuer du travail et finit par ressortir de l'écosystème sous forme de chaleur. Contrairement à l'énergie, les nutriments chimiques se recyclent entre les organismes et leur environnement.



(des **producteurs**) jusqu'aux consommateurs. Les **consommateurs** sont les organismes, comme les animaux, qui se nourrissent d'autres organismes ou de leurs cadavres.

Lorsqu'un organisme utilise de l'énergie pour effectuer un travail, comme une contraction musculaire ou une division cellulaire, une partie de l'énergie se dissipe dans l'environnement sous forme de chaleur. Par conséquent, l'énergie *traverse* l'écosystème dans une seule direction, c'est-à-dire qu'elle y pénètre sous forme de lumière et en ressort sous forme de chaleur. Contrairement à l'énergie, les nutriments chimiques *suivent un cycle* à l'intérieur de l'écosystème, où ils sont utilisés et recyclés (voir la figure 1.9). Les substances chimiques qu'une plante absorbe de l'air ou du sol peuvent s'incorporer aux tissus de la plante et être transférées à un animal qui mangera la plante. Et plus tard, ces mêmes substances chimiques retourneront à l'environnement sous l'action des décomposeurs, comme les bactéries et les champignons, qui dégradent les déchets, la litière végétale et les cadavres d'animaux. Ces substances chimiques redeviennent alors disponibles aux plantes, et le cycle peut recommencer.

Thème: Les interactions jouent un rôle important dans les systèmes biologiques, de la simple molécule à l'écosystème

INTERACTIONS À tous les niveaux de la hiérarchie biologique, les interactions entre les composants du système assurent la bonne intégration qui permet à ce système de fonctionner dans son ensemble. Il en est ainsi aussi bien pour les molécules d'une cellule que pour les composants d'un écosystème. Nous allons expliquer les deux en guise d'exemples.

Les molécules et leurs interactions dans les organismes

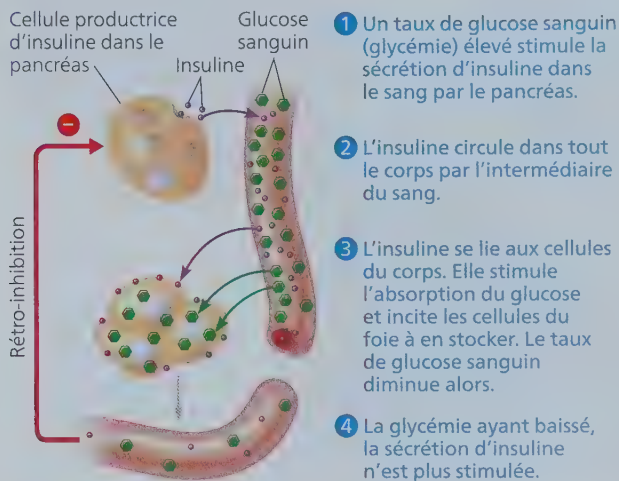
À la base de l'organisation biologique, les interactions entre les composants d'un organisme vivant (organes, tissus, cellules et

molécules) sont indispensables à leur bon fonctionnement. Prenons l'exemple de la régulation de la glycémie (taux de glucose sanguin). Les cellules de l'organisme doivent faire en sorte que l'apport d'énergie (de glucides) correspond à la dépense d'énergie et, pour y arriver, il est nécessaire de réguler deux processus opposés : la dégradation du glucose et sa mise en réserve. La clé réside dans la capacité de nombreux processus biologiques de s'autoréguler par un mécanisme appelé *rétroaction*.

Dans la **régulation par rétroaction**, le produit d'un processus est le régulateur de ce même processus. Chez les êtres vivants, la forme de régulation la plus répandue est la *rétro-inhibition*, qui fait que l'accumulation du produit final d'un processus ralentit ce même processus. Comme on le voit dans l'exemple de la signalisation de l'insuline (**figure 1.10**), votre taux de glucose sanguin (votre glycémie) augmente après un repas, ce qui stimule la sécrétion d'insuline par les cellules de votre pancréas. L'insuline stimule l'absorption du glucose par votre corps et incite les cellules de votre foie à en emmagasiner, si bien que votre glycémie diminue. Cette baisse de la glycémie inhibe le stimulus menant à la sécrétion de l'insuline et ferme ainsi la voie. Le processus est donc régulé négativement par son propre produit : c'est de la rétro-inhibition.

Il existe également des processus biologiques dont la régulation se fait par *rétroactivation*; ce type de régulation est cependant moins courant que la rétro-inhibition. Dans la rétroactivation, le produit final d'un processus biologique *accélère* sa propre production. La coagulation de votre sang en réaction à une blessure illustre bien ce mécanisme. Quand un vaisseau sanguin est endommagé, les éléments sanguins appelés thrombocytes (plaquettes) commencent à s'agréger dans la zone de la lésion. La rétroactivation se produit quand les substances chimiques libérées par les thrombocytes attirent encore *plus* de thrombocytes. Ceux-ci s'accumulent, puis amorcent un processus complexe qui scelle la lésion avec un caillot.

▼ **Figure 1.10** La régulation par rétroaction. Le corps humain régule l'utilisation et le stockage du glucose, une source d'énergie importante pour les cellules. Ce schéma illustre la rétro-inhibition: la réponse à l'insuline réduit le stimulus initial.



HABILITÉS VISUELLES ► Dans cet exemple, quelle est la réponse de l'organisme à l'insuline? Quel stimulus initial est diminué lors de cette réponse?

Les écosystèmes: les interactions d'un organisme avec d'autres organismes et avec l'environnement physique

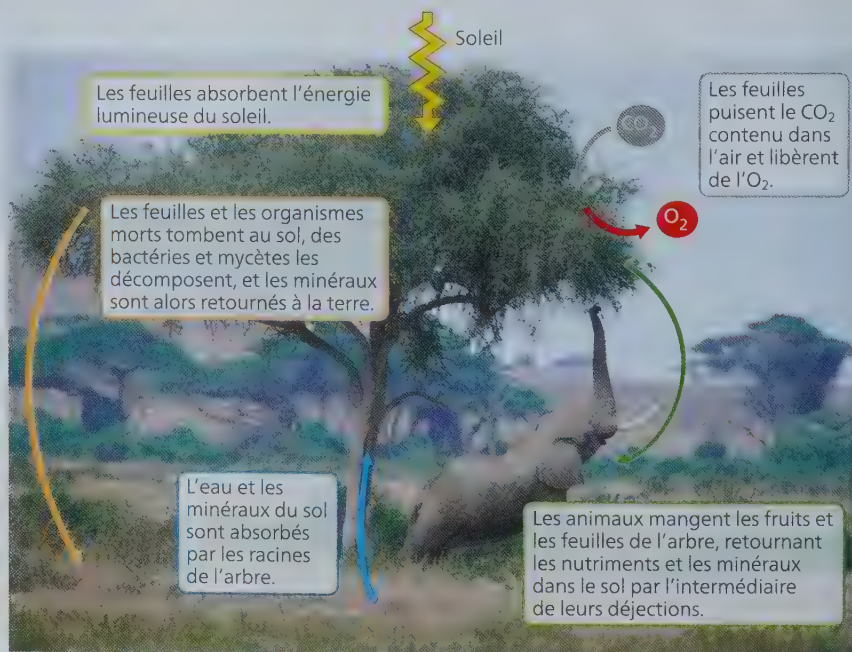
À l'échelle d'un écosystème, chaque organisme interagit avec d'autres organismes. Par exemple, un acacia interagit avec les microorganismes du sol qui sont associés à ses racines, avec les insectes qui vivent sur lui et avec les animaux qui se nourrissent de ses feuilles et de ses fruits (figure 1.11). Les interactions entre les organismes comprennent les interactions mutuellement bénéfiques (comme lorsqu'un « poisson nettoyeur » mange les petits parasites sur une tortue) et les interactions nuisibles (comme lorsqu'un lion tue un zèbre et le dévore). Dans certaines interactions entre les espèces, les deux subissent des dommages, par exemple lorsque deux plantes se font concurrence pour une ressource peu abondante dans le sol. Les interactions entre les organismes contribuent à réguler le fonctionnement de l'écosystème dans son ensemble.

Chaque organisme est en relation permanente avec son environnement. Les feuilles d'un arbre, par exemple, absorbent la lumière du soleil et des molécules de dioxyde de carbone (CO_2) contenues dans l'air et libèrent des molécules d'oxygène (O_2) dans l'air (voir la figure 1.11). L'environnement subit également les effets de ces interactions avec les organismes. Par exemple, en plus d'absorber l'eau et les minéraux contenus dans le sol, les racines d'une plante désagrègent la roche à mesure

qu'elle croît, ce qui contribue à la formation du sol. À l'échelle planétaire, les plantes et autres organismes photosynthétiques produisent l' O_2 contenu dans l'air.

Comme tous les organismes, les êtres humains que nous sommes interagissent avec l'environnement. Malheureusement, les conséquences de certaines de nos interactions sont parfois dramatiques. Ainsi, au cours des 150 dernières années, les humains ont accru la combustion de carburants fossiles (charbon, pétrole et gaz) à un rythme effréné. Les quantités faramineuses de CO_2 et d'autres gaz libérés dans l'atmosphère contribuent à emprisonner près de la surface de la Terre la chaleur produite par les différentes activités humaines (voir la figure 56.29). Les scientifiques estiment que le CO_2 ajouté à l'atmosphère par l'activité humaine a haussé d'environ 1°C la température moyenne de la planète depuis 1900. Si le CO_2 et les autres gaz continuent d'être rejetés dans l'atmosphère au même rythme, les modèles planétaires prédisent une hausse additionnelle de la température moyenne d'au moins 3°C avant la fin du présent siècle.

Ce réchauffement planétaire continu est un aspect important du **changement climatique mondial**. Un changement climatique mondial est un changement directionnel du climat planétaire qui dure depuis au moins trois décennies (contrairement aux changements climatiques de courte durée). Mais le réchauffement planétaire s'accompagne d'autres changements climatiques: on observe aussi des changements dans les régimes des vents et des précipitations, ainsi qu'un plus grand nombre d'événements climatiques extrêmes comme les sécheresses et les ouragans. Le changement climatique mondial entraîne déjà des effets nuisibles sur les formes de vie et leurs habitats partout sur la Terre. Par exemple, les ours polaires ont perdu une portion importante de la couverture de glace qui leur tient lieu de territoire de chasse, ce qui provoque un manque de nourriture et une



▲ **Figure 1.11** Les interactions d'un acacia avec d'autres êtres vivants et leur environnement physique en Afrique.

augmentation du taux de mortalité. À mesure que les habitats se dégradent, l'aire de répartition de certaines espèces d'animaux et de plantes s'est étendue vers des régions mieux appropriées, mais certaines espèces font face à un manque d'habitats adéquats et d'autres sont tout simplement incapables de migrer assez rapidement. On assiste donc à la diminution de la taille des populations ou, carrément, à la disparition de certaines espèces (figure 1.12). Cette tendance peut effectivement entraîner l'extinction d'espèces, c'est-à-dire leur disparition définitive. Comme nous le verrons au concept 56.4, les humains et les autres organismes pourraient subir des changements profonds.

Nous avons survolé quatre des cinq thèmes unificateurs (organisation ; information ; énergie et matière ; et interactions). Tournons-nous maintenant vers l'évolution, que la très grande majorité des biologistes reconnaissent comme le thème central de la biologie. Nous y consacrons la prochaine section.



◀ **Figure 1.12 Menacés par le réchauffement de la planète.**

Lorsque leur environnement est plus chaud, les lézards du genre *Sceloporus* doivent rester plus longtemps à l'abri de la chaleur. Ce faisant, ils disposent de moins de temps pour chercher de la nourriture. Leur apport alimentaire décline alors, de même que leur taux de reproduction. Des études montrent que 12 % des 200 populations du Mexique ont disparu depuis 1975. La figure 56.30 présente d'autres exemples d'organismes qui se ressentent du réchauffement de la planète.

RETOUR SUR LE CONCEPT

1.1

1. En commençant par le niveau moléculaire illustré à la figure 1.3, rédigez une phrase qui comporte des éléments du niveau « inférieur » immédiat de l'organisation biologique. Exemple : « Une molécule se compose d'atomes liés entre eux. » Poursuivez avec les organites, en remontant la hiérarchie biologique.
2. Nommez le thème ou les thèmes illustrés par les exemples suivants : (a) les piquants acérés du porc-épic, (b) le développement d'un organisme multicellulaire à partir d'un œuf fécondé et (c) un colibri qui « carbure » au glucose pour voler.
3. Pour chacun des thèmes présentés dans cette section, trouvez un exemple qui n'a pas été mentionné dans ces pages.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

CONCEPT

1.2

Le thème central, l'évolution, donne un sens à l'unité et à la diversité de la vie

ÉVOLUTION L'évolution est la notion qui donne un sens à tout ce que nous savons sur les organismes. Les registres fossiles le

montrent clairement : la vie sur Terre évolue depuis des milliards d'années et elle a donné lieu à une vaste diversité d'organismes disparus ou encore vivants. Or, cette diversité présente quand même de nombreuses caractéristiques communes. Par exemple, malgré leurs différences visibles, l'hippocampe, le lièvre, le colibri, le crocodile et les girafes présentent tous un squelette fondamentalement semblable.

L'explication scientifique de cette unité et de cette diversité – et de l'adaptation de chaque organisme à son environnement – est l'**évolution**, selon laquelle tous les organismes vivant sur la Terre aujourd'hui sont les descendants modifiés d'ancêtres communs. Autrement dit, nous pouvons expliquer que deux organismes partagent certains caractères (unité) par le fait qu'ils descendent d'un ancêtre commun, et nous pouvons aussi expliquer ce qui les distingue (diversité) par le fait que des transformations héréditaires se sont produites en cours de route. De très nombreuses et très diverses données permettent de documenter le principe de l'évolution et la théorie qui décrit comment elle s'est déroulée. C'est ce que nous verrons en détail aux chapitres 22 à 25. Comme le dit l'un des fondateurs de la théorie moderne de l'évolution, Theodosius Dobzhansky : « Rien en biologie n'a de sens, si ce n'est à la lumière de l'évolution. » Nous devons, pour comprendre l'énoncé de Dobzhansky, examiner la façon dont les biologistes conçoivent cette fabuleuse diversité.

Classifier la diversité de la vie

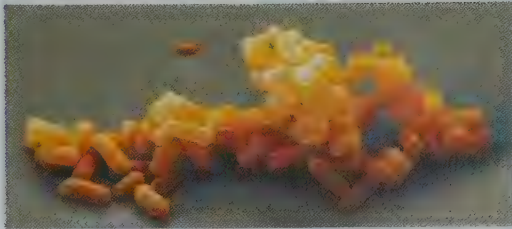
La diversité est la caractéristique essentielle du vivant. Jusqu'à présent, les biologistes ont répertorié environ 1 800 000 espèces d'organismes. Chaque espèce porte un nom en deux parties : la première partie est le nom du genre auquel l'espèce appartient, et la seconde partie est unique à l'espèce de ce genre. (Par exemple, *Homo sapiens* est le nom de notre espèce.)

À ce jour, cette diversité se manifeste par la présence d'au moins 100 000 eumycètes, 290 000 végétaux, 57 000 vertébrés (les animaux possédant une colonne vertébrale) et plus de 1 000 000 d'insectes (plus de la moitié de toutes les formes de vie connues), sans compter la myriade de types d'organismes unicellulaires. Les espèces recensées ne constituent qu'une partie de la grande diversité existante : chaque année, la liste s'enrichit de milliers d'espèces nouvellement découvertes. On estime que le nombre total d'espèces vivant actuellement sur la planète se situerait quelque part entre 10 millions et plus de 100 millions. Quel que soit ce nombre, toutefois, la fabuleuse diversité du monde vivant fait de la biologie une discipline très vaste. Les biologistes qui tentent de comprendre cette variété ont tout un défi à relever.

Les trois domaines du vivant

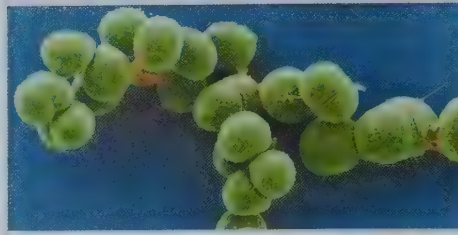
Dans le passé, les scientifiques ont classifié la diversité des formes de vie par espèces et par regroupements plus larges en comparant la structure, la fonction et d'autres caractéristiques observables. Au cours des dernières décennies, cependant, de nouvelles méthodes d'évaluation des liens entre les espèces, notamment la comparaison de séquences d'ADN, ont entraîné une réévaluation incessante de la classification du vivant. Bien que cette réévaluation soit loin d'être terminée, les biologistes divisent actuellement tous les organismes en trois groupes appelés domaines : les bactéries, les archées et les eucaryotes (figure 1.13).

(a) Domaine des bactéries



Les membres du domaine des **bactéries** sont les organismes procaryotes les plus diversifiés et les plus répandus. Chacune des structures en bâtonnet de cette micrographie est une cellule bactérienne.

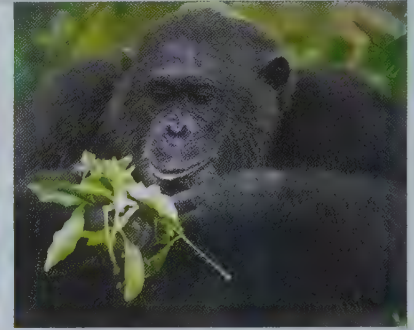
(b) Domaine des archées



Le domaine des **archées** comprend des organismes procaryotes vivant dans des milieux extrêmes, comme les lacs salés et les sources hydrothermales. Chacune des structures rondes de cette micrographie est une archée.

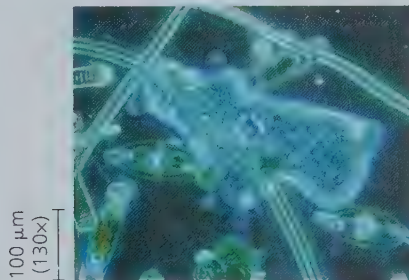
(c) Domaine des eucaryotes

► Le règne des **végétaux** (les plantes terrestres) comprend les eucaryotes multicellulaires terrestres capables de photosynthèse, laquelle convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique.



▲ Le règne des **eumycètes** regroupe des organismes qui, comme ce champignon, absorbent les nutriments par la paroi extérieure de leur corps.

▲ Le règne des **animaux** est composé d'organismes eucaryotes multicellulaires qui ingèrent d'autres organismes.



◀ Les **protistes** comprennent principalement les organismes eucaryotes unicellulaires et quelques organismes eucaryotes multicellulaires relativement simples qui leur sont apparentés. On voit ici divers protistes en suspension dans l'eau d'un étang. Actuellement, des scientifiques travaillent sur la classification des protistes de manière à bien rendre compte de leur évolution et de leur diversité.

▲ **Figure 1.13** Les trois domaines du vivant.

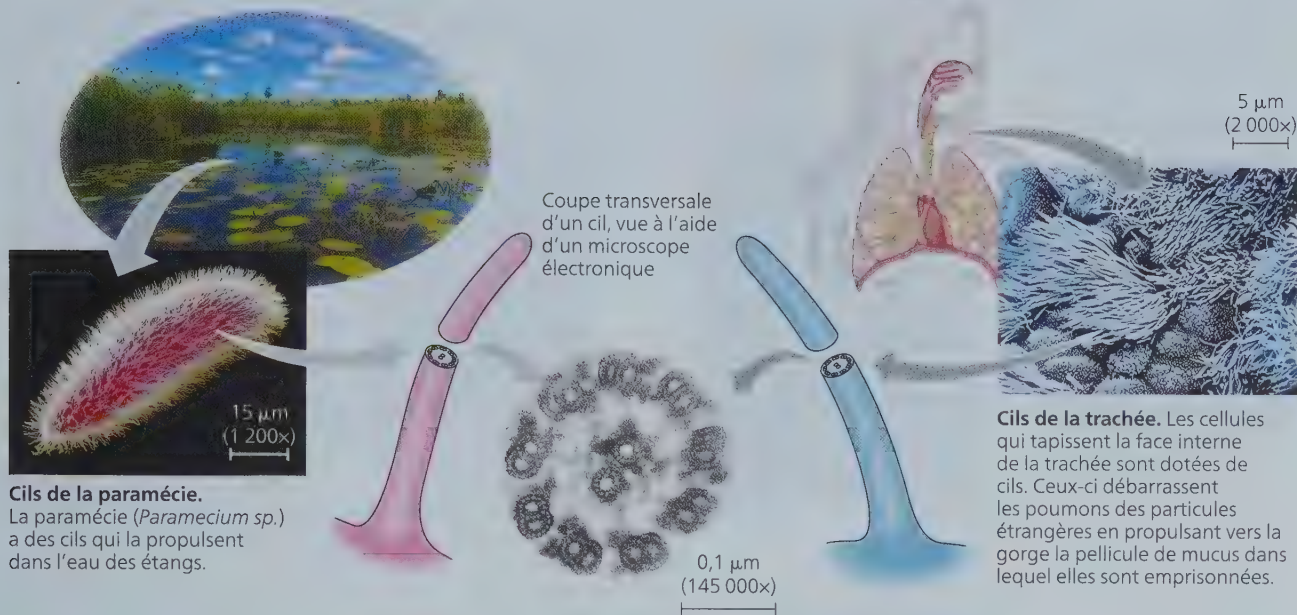
Les organismes formant deux des trois domaines, celui des **bactéries** et celui des **archées**, sont des procaryotes (donc unicellulaires). Quant au domaine des **eucaryotes**, il comprend bien évidemment tous les organismes constitués de cellules eucaryotes, qu'ils soient unicellulaires ou pluricellulaires. Ce domaine comprend quatre sous-groupes : les protistes, le règne des végétaux, le règne des eumycètes, et le règne des animaux. Les trois règnes se distinguent en partie par leur mode de nutrition. Les végétaux produisent eux-mêmes leur matière organique au moyen de la photosynthèse ; les eumycètes absorbent des nutriments qu'ils trouvent dissous dans leur environnement ; et les animaux se nourrissent en ingérant et en digérant des proies de toute provenance. L'humain, bien entendu, appartient au règne des animaux.

Les protistes, dont la plupart sont des organismes unicellulaires, forment le groupe d'eucaryotes le plus vaste et le plus diversifié. Auparavant, les protistes avaient droit à leur propre

règne, mais ils sont aujourd'hui classés en plusieurs sous-groupes, notamment parce que les récentes recherches sur l'ADN ont montré que certains protistes sont moins étroitement apparentés à d'autres protistes qu'à des végétaux, à des animaux ou à des eumycètes.

L'unité et la diversité

La diversité de la vie cache une unité étonnante, surtout aux niveaux moléculaire et cellulaire de l'organisation biologique. Pensons, par exemple, à la ressemblance entre différents animaux sur le plan du squelette de même qu'au langage génétique universel que constitue l'ADN (le code génétique), comme nous l'avons mentionné plus haut. En fait, on observe des ressemblances entre les organismes à tous les niveaux de l'organisation biologique. Par exemple, l'unité s'exprime dans de nombreuses caractéristiques de la structure cellulaire, même entre organismes peu apparentés (**figure 1.14**).



▲ **Figure 1.14** Un exemple de l'unité au sein de la diversité des êtres vivants: l'architecture des cils chez les eucaryotes. Les cils sont des appendices locomoteurs émergeant de cellules. Des organismes eucaryotes aussi différents qu'une paramécie (qui vit dans les étangs) et un humain possèdent des cils sur certaines de ces cellules. Même si ces deux organismes sont très différents, les cils de leurs cellules possèdent une organisation structurale commune, soit un système complexe de tubules que l'on voit ici dans les coupes transversales.

Comment expliquer la coexistence de l'unité et de la diversité chez les organismes? Le processus de l'évolution, que nous expliquons plus loin, permet de dégager les ressemblances et les différences entre les organismes. Il introduit également une autre dimension de la biologie: le passage du temps. L'histoire de la vie, telle qu'elle est révélée par les fossiles et d'autres données, s'étend sur des milliards d'années. Elle a pour toile de fond une planète en constant bouleversement, peuplée par une succession d'êtres vivants (**figure 1.15**).

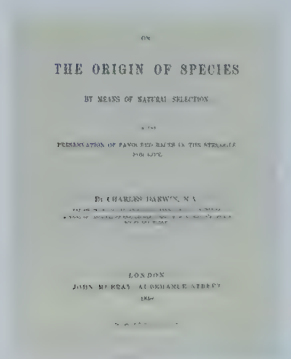
Charles Darwin et la théorie de la sélection naturelle

Une vision évolutive de la vie a attiré l'attention en novembre 1859, quand Charles Robert Darwin a publié un des ouvrages les plus importants et les plus controversés jamais écrits jusqu'alors: *De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la conservation des espèces dans la lutte pour la survie* (**figure 1.16**). Le propos de Charles Darwin dans *De l'origine des espèces* était double. En premier lieu, Darwin montrait de façon convaincante que les espèces contemporaines étaient l'aboutissement d'une succession d'ancêtres différents d'elles. Darwin disait de l'évolution des espèces qu'elle correspondait à une « descendance avec modification », c'est-à-dire à une succession d'ancêtres ayant subi des transformations progressives au fil des générations. Cette explication rendait compte à la fois de l'unité et de la diversité de la vie: d'une part, on comprend que les espèces ont des caractères communs qui proviennent de leurs ancêtres communs; d'autre part, on comprend que leurs différences résultent de modifications apparues au fur et à mesure que ces espèces se sont séparées de leurs ancêtres communs (**figure 1.17**). En second lieu, Darwin proposait la « sélection naturelle » comme principale explication de cette descendance avec modification.



▲ **Figure 1.15** À la recherche du passé. Des paléontologues exhument délicatement la patte arrière d'un dinosaure à long cou (*Rapetosaurus krausei*) emprisonné dans la roche à Madagascar.

► **Figure 1.16** Le jeune Charles Darwin. Son livre, *De l'origine des espèces*, publié pour la première fois en 1859, a révolutionné le monde.



▼ **Figure 1.17** L'unité et la diversité chez les oiseaux. Ces quatre oiseaux sont des variantes sur un même plan corporel. Par exemple, chacun de ces oiseaux a des plumes, un bec et des ailes, mais ces caractéristiques communes sont hautement spécialisées selon le mode de vie de chacun.



▲ Buse à épaulettes.



▲ Flamant des Caraïbes.



▲ Manchot papou.



▲ Rouge-gorge familier.

Darwin a formulé le concept de sélection naturelle à partir d'observations qui n'étaient ni nouvelles ni très poussées. En fait, les pièces du casse-tête étaient déjà connues, mais il a su comment les agencer. Il a entrepris sa réflexion à partir de trois observations sur la nature. La première veut que, dans une

population donnée, de nombreux caractères héréditaires (c'est-à-dire transmis par les parents) varient d'un individu à l'autre. Deuxièmement, une population a la capacité de produire un nombre de descendants supérieur au nombre pouvant survivre et se reproduire, compte tenu des ressources limitées du milieu. Cette surnatalité entraîne inévitablement une lutte pour la survie. Troisièmement, les espèces sont généralement faites pour vivre dans leur environnement; autrement dit, elles sont adaptées à leur mode de vie. Par exemple, les oiseaux qui se nourrissent principalement de graines à enveloppe dure ont un bec particulièrement robuste.

Les conclusions que Darwin a tirées de ces observations lui ont permis de formuler sa théorie de l'évolution. Il a déduit que les individus possédant les caractères les mieux adaptés à leur milieu de vie engendrent généralement beaucoup plus de descendants féconds que les autres. Au fil des générations, une proportion grandissante d'individus d'une population présenteront les caractères héréditaires les mieux adaptés à l'environnement. L'évolution survient lorsque le succès reproducteur inégal des individus finit par rendre la population adaptée à son environnement, tant et aussi longtemps que l'environnement reste inchangé.

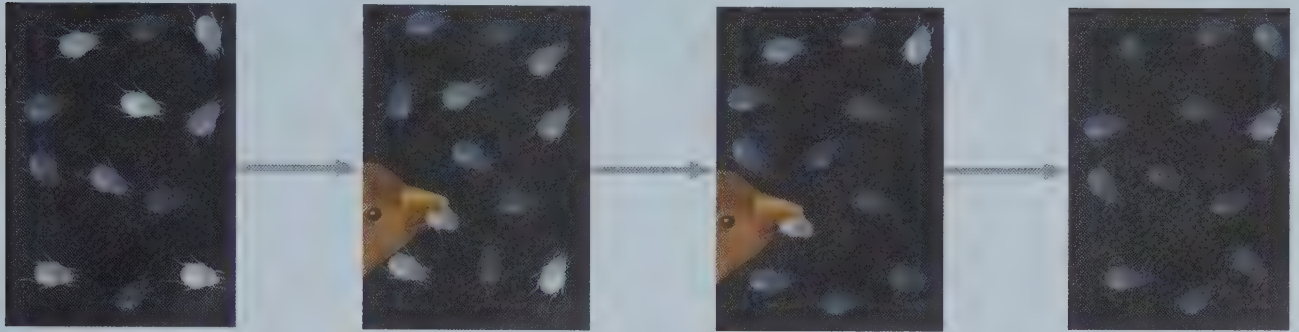
Darwin a appelé ce mécanisme d'adaptation évolutive la **sélection naturelle**, parce que l'environnement naturel fait continuellement une « sélection » des caractères les mieux adaptés parmi une variété de caractères que présentent naturellement les individus. L'exemple de la **figure 1.18** illustre le mécanisme par lequel la sélection naturelle peut faire le « tri » dans les variations héréditaires d'une population. Les effets de la sélection naturelle sont révélés par l'adaptation parfois raffinée des organismes aux contraintes de leur environnement. Les ailes de la chauve-souris, présentées à la **figure 1.19**, constituent un excellent exemple d'adaptation.

L'arbre de la vie

Examinez de nouveau l'architecture squelettique des ailes de la chauve-souris à la figure 1.19. Ces ailes sont différentes de celles des oiseaux à plumes, car la chauve-souris est un mammifère. Ses membres antérieurs sont adaptés au vol, mais ils possèdent les mêmes os, les mêmes articulations, les mêmes nerfs et les mêmes vaisseaux sanguins que ceux des membres d'autres espèces, comme le bras humain, la patte antérieure du cheval ou la nageoire de la baleine. En fait, les membres antérieurs des mammifères sont des variations anatomiques d'une architecture commune. Selon le principe de la « descendance avec modification » de Darwin, l'unité qui se dégage de l'anatomie des membres des mammifères montre que cette structure provient d'un ancêtre commun, sorte de « prototype » de mammifère dont descendent tous les autres. La diversité de leurs membres antérieurs témoigne des modifications produites par sélection naturelle sur des millions d'années dans différents contextes environnementaux. Les fossiles et d'autres preuves corroborent l'unité anatomique et appuient la théorie voulant que les mammifères descendent tous d'un ancêtre commun.

Darwin expliquait qu'en raison de ses effets cumulatifs au fil de nombreuses générations, la sélection naturelle permettait d'envisager qu'une espèce ancestrale se « scinde » en de nouvelles espèces. Un tel phénomène peut se produire, par exemple, lorsqu'une même population se fragmente en plusieurs

▼ **Figure 1.18 La sélection naturelle.** Cette population imaginaire de coléoptères a colonisé un lieu dont le sol a été noirci par un feu de brousse. Au départ, la coloration des individus varie considérablement dans la population : elle va d'un gris très pâle à un gris très sombre. Les individus pâles sont repérés plus facilement par les oiseaux affamés qui se nourrissent de coléoptères.



1 Variation des caractères héréditaires dans une population

2 Élimination des individus possédant certains caractères

3 Reproduction des survivants

4 Augmentation de la fréquence des caractères favorisant la survie et la reproduction

FAITES UN DESSIN ► Peu à peu, le sol prendra une couleur plus claire. Dessinez une autre étape qui montre comment un pâlisement de la couleur du sol influera sur la sélection naturelle. Ensuite, expliquez comment la population changera au fil du temps, à mesure que le sol pâlera.



▲ **Figure 1.19 L'adaptation évolutive.** Les chauves-souris sont les seuls mammifères capables de voler. Leurs ailes sont constituées d'une mince couche de peau tendue comme une toile entre leurs longs doigts, formant ainsi une sorte de cape. Selon la théorie de Darwin, ce genre d'adaptation est dû à la sélection naturelle.

populations géographiquement isolées et vivant dans des environnements différents. À mesure qu'elles s'adaptent chacune de leur côté à un environnement particulier, celles-ci peuvent former des espèces distinctes.

Les géospizes des îles Galápagos sont un exemple notoire du processus de radiation d'une espèce ancestrale en nouvelles espèces. Darwin a recueilli des spécimens de ces oiseaux lorsqu'il a visité les îles Galápagos en 1835. Cet archipel volcanique relativement jeune est situé dans l'océan Pacifique à environ 900 km des côtes de l'Amérique du Sud. Il abrite de nombreuses espèces végétales et animales qui n'existent nulle part ailleurs dans le monde, encore qu'elles soient manifestement apparentées aux espèces du continent sud-américain. Les géospizes descendent vraisemblablement d'une espèce ancestrale provenant

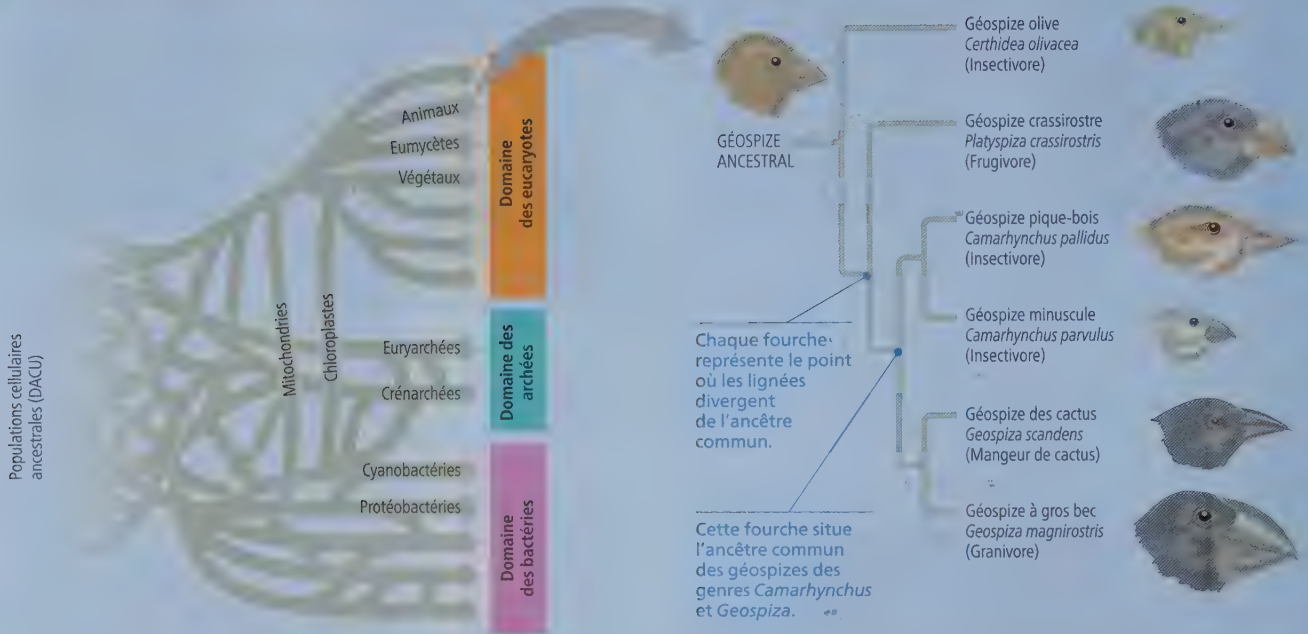
du continent sud-américain ou des Caraïbes et qui s'est arrêtée là. Au fil du temps, à partir de leur ancêtre, les géospizes se sont diversifiés à mesure que leurs populations s'adaptaient à leurs sources de nourriture, qui diffèrent d'une île à l'autre. Des années après la visite de Darwin aux îles Galápagos, des chercheurs ont commencé à étudier l'apparemment évolutif entre les différentes espèces de géospizes, d'abord à partir de données anatomiques et géographiques puis, plus récemment, à partir de la comparaison des séquences d'ADN.

Les schémas que les biologistes créent pour représenter l'évolution ont souvent la forme simplifiée d'un arbre, mais le portrait global est plus complexe, comme l'illustre la **figure 1.20a**. Les trois grands domaines du vivant (eucaryotes, archées et bactéries) regroupent de nombreuses lignées qui se sont métissées à plusieurs reprises, comme si le tronc était en fait composé d'un entrelacs de branchages qui ont fusionné par endroits. Les origines les plus anciennes de ces lignées sont encore nébuleuses, mais, en raison des grandes similitudes génétiques et structurales entre toutes les formes de vie connues, on soupçonne qu'elles ont une origine unique et commune à toutes : une forme de vie unicellulaire nommée DACU, acronyme pour « Dernier ancêtre commun universel » (LUCA ou « Last Unknown Common Ancestor » en anglais). D'autres formes de vie auraient pu exister avant, en même temps ou même après ce DACU, mais aucune de ces autres formes des temps anciens n'aurait donné de descendants vivants actuellement.

Lorsqu'on s'intéresse plus particulièrement à une ou plusieurs lignées spécifiques dans l'un ou l'autre des trois domaines, on simplifie la représentation de ce « buisson évolutif » en ne gardant que les branchages les plus élevés, l'extrémité des branches et leurs plus petits rameaux. Le plus souvent, cette partie de l'arbre évolutif est représenté horizontalement (couché sur le côté), comme dans la **figure 1.20b**. Ce schéma arborescent convient

▼ Figure 1.20

Des schémas créés par les biologistes pour représenter l'évolution



particulièrement à la représentation des liens évolutifs: tout comme une personne possède une histoire familiale qu'on peut représenter par un arbre généalogique, chaque espèce occupe l'extrémité d'une branche de l'arborescence. En parcourant les ramifications à rebours, on remonte jusqu'aux espèces ancestrales. Les espèces très semblables, comme les géospizes des îles Galápagos, descendent d'un ancêtre commun. En remontant plus loin dans le temps, toutefois, on s'aperçoit que les géospizes sont apparentés aux pinsons, aux faucons, aux pingouins et à tous les autres oiseaux. Par ailleurs, les géospizes et d'autres oiseaux ont un ancêtre commun encore plus ancien. Si nous remontions extrêmement loin dans le temps, nous arriverions aux tout premiers procaryotes qui habitaient la Terre il y a plus de 3,5 milliards d'années. Nous en retrouvons d'ailleurs des vestiges dans nos propres cellules, en l'occurrence dans le code génétique universel. En somme, tous les êtres vivants sont apparentés, et l'essence de ce lien réside dans l'évolution.

RETOUR SUR LE CONCEPT

1.2

1. Expliquez pourquoi l'expression *faire le tri* illustre bien le mécanisme de la sélection naturelle sur la variation héréditaire d'une population.
2. Examinez la figure 1.20b et tentez d'expliquer comment, sur une très longue période de temps, le géospize olive a acquis son long bec effilé.
3. **FAITES UN DESSIN** ► Les trois domaines décrits dans le concept 1.2 peuvent représenter les trois principales branches de l'arbre de l'évolution, celle des Eucaryotes comportant trois ramifications, soit le règne des végétaux, celui des eumycètes et celui des animaux. Mais supposons un instant que les eumycètes et les animaux soient plus étroitement apparentés entre eux qu'ils ne le sont aux végétaux, comme le suggèrent fortement les données les plus récentes. Dessinez un diagramme arborescent simple qui illustre la relation proposée ici entre ces trois règnes eucaryotes.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

Les scientifiques étudient la nature en faisant des observations, à partir desquelles ils formulent et testent des hypothèses

La **science** est une façon de connaître le monde naturel et une méthode pour le comprendre. Elle naît de notre curiosité à l'égard de nous-mêmes, de la vie qui nous entoure, de notre planète et de tous les phénomènes de l'univers. Le mot *science* vient du verbe latin *scire*, qui signifie « savoir ». Il semble que le besoin de comprendre soit inhérent à l'humain.

Au cœur de la science se trouve la **recherche**. La recherche vise l'acquisition de nouvelles connaissances sur des phénomènes naturels. Il n'existe aucune recette pour faire de la recherche scientifique et aucune méthode unique que les chercheurs suivent à la lettre. Comme dans toute quête, la science est un mélange de défi, d'aventure et de chance, enrichi de divers ingrédients : planification soignée, raisonnement, créativité, patience et persévérance malgré les insuccès. Ce mélange plutôt hétérogène fait que la science est beaucoup moins structurée qu'on ne le croit généralement et que certaines découvertes sont le fruit d'heureux concours de circonstances. Cela dit, certains éléments permettent de distinguer la science des autres disciplines qui s'attachent elles aussi à décrire la nature.

Les scientifiques ont recours à une méthode de recherche qui consiste notamment à faire des observations, à formuler des hypothèses (explications) logiques et vérifiables, et à les mettre à l'épreuve. La démarche est forcément répétitive : la vérification d'une hypothèse peut nécessiter une reformulation ou exiger une nouvelle formulation, qu'on devra vérifier elle aussi. De cette façon, les scientifiques cernent de plus en plus étroitement les lois de la nature.

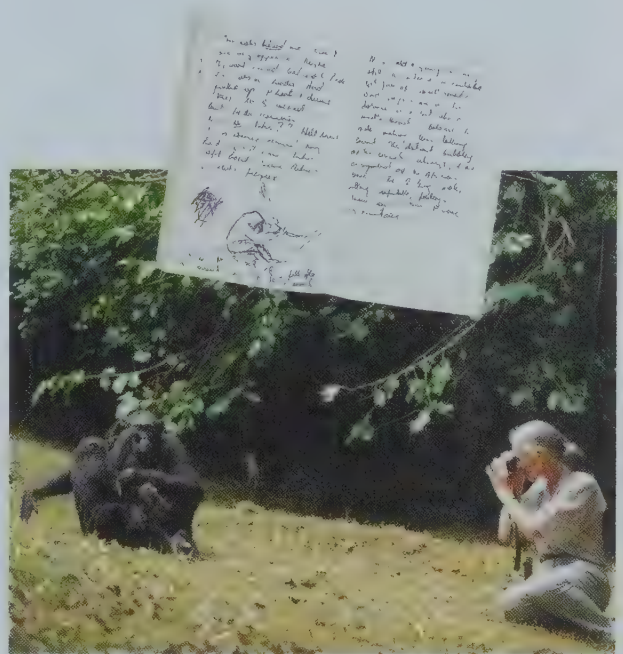
L'exploration et l'observation

La curiosité nous incite souvent à nous interroger sur la cause naturelle des phénomènes que nous observons partout dans le monde. Par exemple, pourquoi les racines d'une semence poussent-elles vers le bas plutôt que vers le haut ? Lorsque les biologistes veulent préciser davantage leurs questions, ils s'en remettent essentiellement à la littérature scientifique, c'est-à-dire aux travaux publiés par leurs consœurs et confrères. En lisant ces travaux et en approfondissant sans cesse leur compréhension, les scientifiques peuvent non seulement bonifier le savoir existant, mais également articuler leurs propres recherches autour d'observations originales et d'hypothèses compatibles avec les résultats de recherche existants. Il est plus facile que jamais aujourd'hui de repérer des publications en lien avec une nouvelle piste de recherche grâce aux bases de données électroniques qui sont indexées et dotées de moteurs de recherche.

Au cours de leur travail, les scientifiques consignent minutieusement leurs observations. Lorsqu'ils recueillent des données, ils ont souvent recours à des outils tels que microscopes, thermomètres de précision ou caméras à haute vitesse afin d'obtenir des mesures rigoureuses ou d'élargir la portée de leurs perceptions. Les observations peuvent fournir des détails précieux

sur le monde naturel. Par exemple, c'est une série d'observations détaillées qui a façonné notre compréhension de la structure de la cellule. C'est également un ensemble d'observations qui nous permet d'enrichir les bases de données sur le génome de diverses espèces de même que les bases de données sur les gènes dont l'expression erronée cause des maladies.

Les observations consignées sont appelées **données**. Autrement dit, les données sont les éléments d'information sur lesquels s'appuie la recherche scientifique. Beaucoup de gens s'imaginent que les *données* se présentent sous forme de nombres. Pourtant, les données ne sont pas nécessairement *quantitatives* ; elles peuvent aussi être *qualitatives*, c'est-à-dire consister en une description plutôt qu'en une mesure chiffrée. Par exemple, Jane Goodall a passé des décennies à noter ses observations sur le comportement des chimpanzés lors de ses recherches sur le terrain dans la jungle tanzanienne (**figure 1.21**). Ses recherches ont enrichi le domaine du comportement animal d'innombrables données *qualitatives* (descriptions, dessins, photos, films) et *quantitatives*, comme la fréquence ou la durée de certains comportements chez divers individus d'un groupe de chimpanzés dans toutes sortes de situations. Les données quantitatives sont généralement exprimées en mesures chiffrées et souvent présentées dans des tableaux ou des graphiques. Lorsqu'ils analysent leurs données, les scientifiques ont recours à la *statistique*, une branche des mathématiques qui leur permet de vérifier si leurs résultats sont significatifs ou simplement attribuables à des variations aléatoires. Tous les résultats de recherche présentés dans ce manuel sont réputés significatifs sur le plan statistique.



▲ **Figure 1.21** Jane Goodall recueillant des données sur le comportement des chimpanzés (*Pan troglodytes*). Goodall consignait ses observations dans des cahiers réservés à son travail sur le terrain. Elle y esquissait également des dessins représentant le comportement de ces animaux.

La collecte et l'analyse de données peuvent déboucher sur des conclusions importantes fondées sur une forme de logique appelée induction, ou **raisonnement inductif**. Par induction, on peut faire des généralisations basées sur un grand nombre d'observations spécifiques. C'est ainsi qu'on peut dire, par exemple, « Le soleil se lève toujours à l'est » et « Tous les organismes sont formés de cellules ». Pour formuler cette dernière généralisation qui fait aujourd'hui partie de la théorie cellulaire, il a fallu deux siècles pendant lesquels des biologistes ont observé au microscope des cellules de divers spécimens d'organismes. Les observations minutieuses, l'analyse rigoureuse des données et les généralisations inductives auxquelles cette analyse mène parfois sont essentielles à notre compréhension de la nature.

La formulation et la vérification d'hypothèses

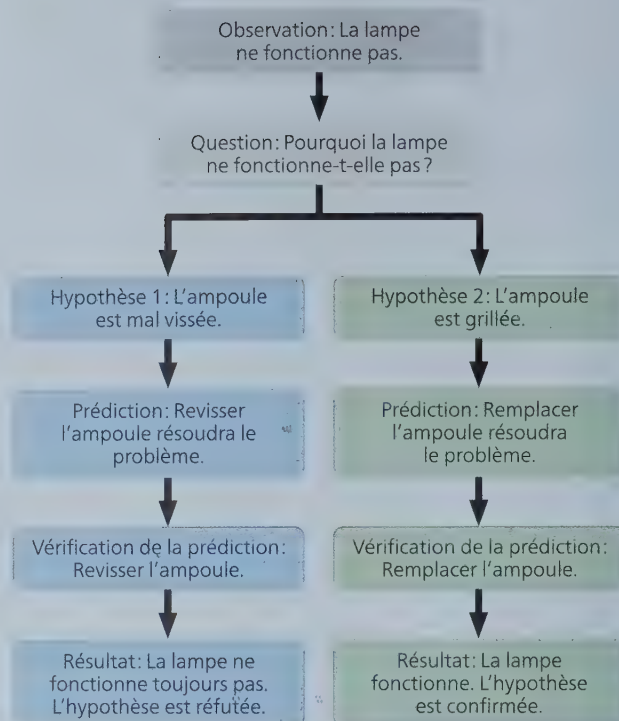
Après les observations préliminaires, la collecte des données et leur analyse, les scientifiques peuvent tenter de répondre à leurs questions initiales et vérifier leurs hypothèses. En science, une **hypothèse** scientifique est une explication, formulée à partir d'observations et de suppositions, qui débouche sur une prédiction vérifiable. Autrement dit, une hypothèse est une explication qu'on doit vérifier. Elle consiste habituellement en un énoncé rationnel d'un ensemble d'observations reposant sur les données disponibles et guidé par un raisonnement inductif. Une hypothèse scientifique doit conduire à des prédictions qu'on peut vérifier en consignait d'autres observations ou en réalisant des expériences. Une **expérience** est un test scientifique qu'on effectue dans des conditions contrôlées.

Il nous arrive tous de faire des observations et de formuler des questions et des hypothèses pour résoudre les problèmes que nous éprouvons dans la vie de tous les jours. Supposez, par exemple, que votre lampe de bureau est bien branchée, mais que l'ampoule ne s'allume pas. Voilà pour l'observation. La question qui se pose, évidemment, est la suivante : Pourquoi la lampe ne fonctionne-t-elle plus ? En vous fondant sur votre expérience, vous émettez deux hypothèses plausibles : (1) l'ampoule n'est pas bien vissée ; (2) l'ampoule est grillée. Chacune de ces hypothèses entraîne une prédiction que vous pouvez vérifier au moyen d'une expérience. Par exemple, l'hypothèse de l'ampoule mal vissée prédit que vous corrigerez le problème en revissant correctement l'ampoule. La **figure 1.22** illustre le problème de la lampe. Cette façon de résoudre un problème par tâtonnements (par essais et erreurs) est une approche par hypothèses.

Le raisonnement déductif

L'approche par hypothèses comporte un type de raisonnement qu'on qualifie de **déductif**. La déduction s'oppose à l'induction. Tandis que l'induction consiste à formuler une conclusion générale à partir d'une série d'observations particulières, le **raisonnement déductif** fait appel à un raisonnement inverse, qui va du général au particulier. On pose des prémisses générales, puis on extrapole les résultats particuliers qui devraient se produire si elles sont vraies.

Dans la démarche scientifique, la déduction consiste habituellement à prévoir les résultats que l'on obtiendrait si l'hypothèse émise (soit la prémisse) est vraie. On vérifie ensuite celle-ci en menant une expérience pour voir si oui ou non on obtient les résultats attendus. Cette vérification déductive fait appel à la formulation logique « Si..., alors... ». Dans le cas de l'exemple



▲ **Figure 1.22** Un schéma de la démarche scientifique.

L'organigramme ci-dessous montre les étapes qu'on devrait idéalement suivre dans le cadre d'une « démarche scientifique », aussi appelée méthode scientifique. La démarche est ici appliquée pour illustrer la vérification d'hypothèses au sujet d'une lampe qui ne fonctionne pas.

de la lampe, la formulation serait la suivante : si l'hypothèse de l'ampoule grillée est correcte, alors la lampe de votre bureau fonctionnera lorsque vous remplacerez l'ampoule.

On peut se servir de l'exemple de la lampe pour illustrer deux autres éléments clés au sujet du rôle des hypothèses en science. Premièrement, on peut toujours formuler des hypothèses supplémentaires pour expliquer une série d'observations. Par exemple, dans le problème de la lampe, une autre hypothèse pourrait être que la douille est cassée. Vous pourriez concevoir une expérience pour vérifier cette hypothèse, mais jamais vous ne pourrez vérifier toutes les hypothèses possibles. Deuxièmement, on ne peut jamais *prouver* qu'une hypothèse est vraie. Selon les expériences de la figure 1.22, l'hypothèse de l'ampoule grillée est l'explication la plus plausible, mais l'étape de la vérification appuie l'hypothèse *non pas* en prouvant qu'elle est correcte, mais en ne pouvant pas prouver qu'elle est incorrecte. Par exemple, même si le remplacement de l'ampoule a résolu le problème, il demeure possible qu'il y ait eu une panne électrique momentanée qui a pris fin à l'instant où l'on changeait l'ampoule.

Même si on ne peut pas prouver une hypothèse au-delà de tout doute, on peut augmenter considérablement sa validité en vérifiant de diverses façons. C'est souvent en formulant et en vérifiant à plusieurs reprises des hypothèses que les chercheurs arrivent à un consensus scientifique ; ils seront alors nombreux à conclure qu'une hypothèse donnée explique bien un ensemble de données connu et qu'elle reste plausible après maintes vérifications.

Les questions pour lesquelles la science n'offre pas de réponse

La recherche scientifique est un moyen éprouvé de faire des découvertes sur la nature, mais elle ne peut répondre à tous les types de questions. Une hypothèse doit être *vérifiable*, c'est-à-dire qu'il doit exister une observation ou une expérience susceptible de montrer qu'une supposition est vraie ou fausse. Par exemple, l'hypothèse voulant que l'ampoule grillée soit la *seule* cause du non-fonctionnement de la lampe pourrait être réfutée si la lampe ne fonctionne toujours pas après en avoir remplacé l'ampoule.

Par ailleurs, les hypothèses ne répondent pas toutes aux critères qu'impose la science. Aucun test ne vous permettrait de vérifier l'hypothèse voulant que des fantômes aient trafiqué votre lampe. La science ne concerne que les explications naturelles et vérifiables à des phénomènes naturels; elle ne peut donc valider ou réfuter l'hypothèse des fantômes, ni d'autres hypothèses qui voudraient que des esprits ou des elfes puissent causer des tempêtes, des arcs-en-ciel ou des maladies. De telles explications surnaturelles dépassent les limites de la science, tout comme les questions religieuses, qui relèvent de la foi personnelle. La science et la religion ne sont pas mutuellement exclusives ou contradictoires; elles n'ont tout simplement pas la même façon d'appréhender les phénomènes.

La flexibilité de la démarche scientifique

Dans l'exemple de la lampe de la figure 1.22, nous avons décrit les étapes de façon idéalisée, dans l'ordre, en suivant un processus de recherche qu'on appelle *démarche scientifique*. Toutefois, rares sont les situations où les scientifiques suivent exactement ces étapes dans cet ordre. Par exemple, un scientifique peut commencer à concevoir une expérience et ensuite, au milieu de son expérimentation, faire un retour en arrière pour changer son hypothèse ou modifier son expérience parce qu'il se rend compte qu'il a oublié de prendre en compte certaines observations. Dans d'autres cas, les observations demeurent trop obscures pour permettre de formuler des questions bien définies, et on attendra alors qu'un autre projet de recherche apporte un contexte nouveau dans lequel il sera possible d'examiner ces observations ou de formuler une hypothèse. Par exemple, ce n'est qu'*après* la découverte de la structure de l'ADN (en 1953) que les scientifiques ont pu comprendre de façon détaillée comment le code contenu dans les gènes détermine la synthèse des protéines.

La **figure 1.23** montre un modèle de démarche scientifique plus réaliste. Cette démarche s'articule autour d'un ensemble d'activités: la formulation et la vérification d'hypothèses (cercle au centre de la figure). Cet ensemble d'activités est au cœur de la démarche scientifique et permet de comprendre pourquoi la science arrive si bien à expliquer les phénomènes du monde naturel. Toutefois, ces activités sont déterminées par l'exploration et la découverte (cercle dans le haut de la figure), et elles sont également influencées par les interactions avec d'autres chercheurs et, plus généralement, avec la société (cercles du bas). Par exemple, la communauté scientifique détermine en bonne partie quelles hypothèses on vérifiera, comment on interprétera les résultats et quelle valeur on leur accordera. De son côté, la société (plus précisément ses besoins, comme trouver un traitement contre le cancer ou comprendre les changements

climatiques) peut jouer un rôle dans les décisions relatives au financement de certains projets de recherche et à la diffusion de leurs résultats.

Maintenant que nous avons dégagé les principaux éléments de la démarche scientifique (observations, formulation d'hypothèses et vérification d'hypothèses), vous devriez être capable de les reconnaître dans une étude de cas réelle.

Une étude de cas dans la recherche scientifique: les différences de couleur du pelage des populations de *Peromyscus polionotus*

Pour commencer, considérons un ensemble d'observations et de généralisations inductives. La couleur des animaux varie beaucoup dans la nature, et parfois même au sein d'une même espèce. Qu'est-ce qui explique cette variation? Comme vous vous rappelez peut-être, les deux souris décrites au début du chapitre appartiennent à la même espèce (*Peromyscus polionotus*), mais elles ont des robes de couleurs différentes et elles habitent dans des environnements différents. Une population de ces souris vit sur la côte floridienne parmi les touffes de végétation clairsemées qui poussent sur les dunes de sable blanc, tandis qu'une autre population de la même espèce vit à l'intérieur des terres sur un sol plus foncé et plus fertile (**figure 1.24**). Un simple coup d'œil aux photos de la figure 1.24 suffit pour voir à quel point la couleur de chaque population ressemble à celle de son habitat. Les prédateurs naturels de ces souris, dont le faucon, le hibou, le renard et le coyote, sont des chasseurs qui se servent de leurs yeux pour repérer leurs proies. Il était donc logique, pour Francis Bertody Sumner, un naturaliste qui a étudié les souris de ces populations dans les années 1920, de formuler l'hypothèse voulant que les couleurs de ces souris soient des adaptations évolutives parce qu'elles permettaient aux souris de se fondre dans leur environnement respectif, ce qui les protégeait des prédateurs.

Même si l'hypothèse du camouflage semble aller de soi, elle demeurerait à vérifier. En 2010, la biologiste Hopi Hoekstra et un groupe d'étudiants de la Harvard University se sont rendus en Floride pour vérifier la prédiction suivante: les souris dont la couleur ne se fond pas avec l'environnement sont plus souvent attaquées par les prédateurs que les souris dont la couleur favorise le camouflage. La **figure 1.25** résume cette expérience de terrain.

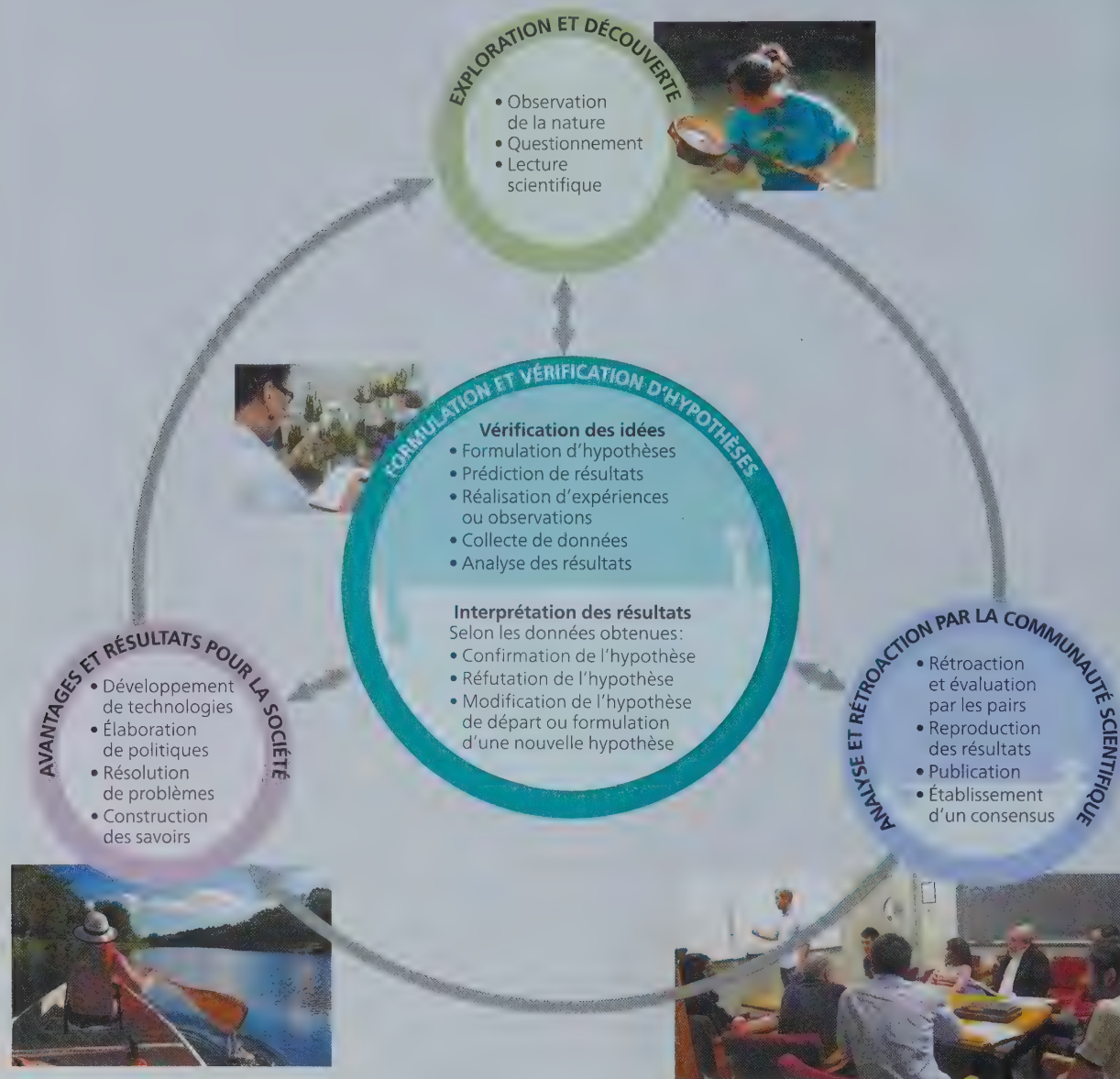
Hopi et ses étudiants ont fabriqué des centaines de fausses souris, puis ils les ont colorées avec de la peinture en aérosol afin d'avoir des fausses souris semblables à celles vivant sur la plage et d'autres semblables à celles vivant à l'intérieur des terres. Les fausses souris ne différaient donc que par leur couleur. L'équipe de chercheurs a ensuite éparpillé les fausses souris en nombres égaux dans les deux habitats et les a laissées là toute une nuit. Dans chaque habitat, les fausses souris de la même couleur que les souris indigènes (que nous appellerons ici « fausses souris indigènes ») formaient le *groupe témoin*, tandis que les fausses souris de l'autre couleur (les « souris non indigènes ») formaient le *groupe expérimental*. Donc, sur la plage, les fausses souris indigènes (de couleur claire) formaient le groupe témoin, tandis que les fausses souris non indigènes (de couleur foncée) formaient le groupe expérimental. Le lendemain matin, l'équipe de chercheurs a compté et noté les signes de prédation, qui pouvaient être aussi bien des marques de dents, de bec ou de griffes que la disparition pure et simple de fausses souris.

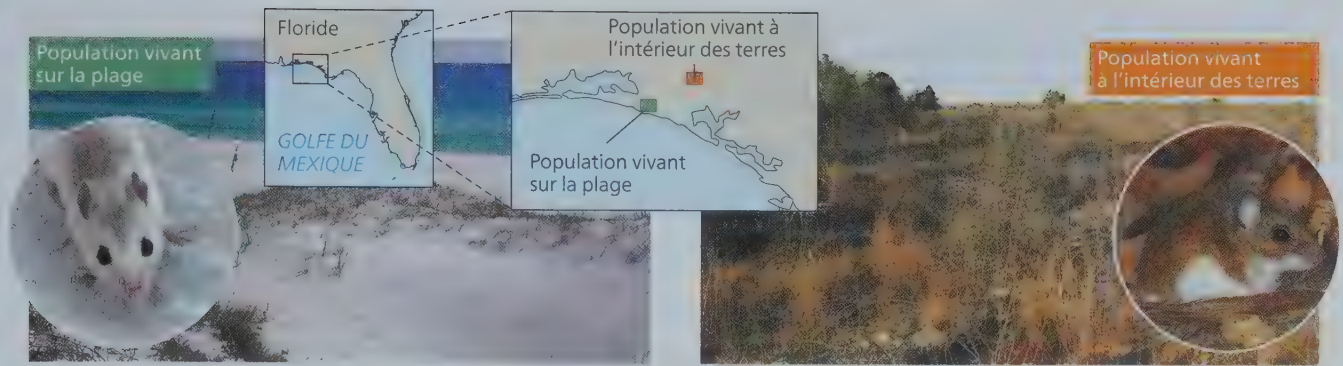
Figure 1.3.1

Un modèle réaliste de démarche scientifique

Dans la réalité, la démarche scientifique n'est pas linéaire, mais plutôt circulaire. Elle suppose des retours en arrière, des répétitions et des interactions entre les différentes parties du processus. Le modèle

montré ici, appelé *How Science Works* (Comment fonctionne la science), est basé sur le modèle proposé par *Understanding Science* (www.understandingscience.org).





Les souris vivant sur les dunes presque dépourvues de végétation de la côte floridienne ont un pelage dorsal de couleur claire, légèrement tacheté, qui leur permet de se fondre dans l'environnement.

Les souris vivant à l'intérieur des terres, à environ 30 km de la côte, ont un pelage dorsal foncé qui leur permet de passer inaperçues sur le sol foncé de leur habitat.

▲ **Figure 1.24** Les pelages de couleurs différentes des populations de *Peromyscus polionotus* vivant sur la plage ou à l'intérieur des terres.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

INVESTIGATION

Le camouflage modifie-t-il le taux de prédation de deux populations de souris ?

■ **HYPOTHÈSE** ■ Hopi Hoekstra et ses collègues ont vérifié l'hypothèse voulant que la couleur du pelage serve de camouflage qui protège de la prédation deux populations de souris (*Peromyscus polionotus*), l'une vivant sur les plages, et l'autre, à l'intérieur des terres.

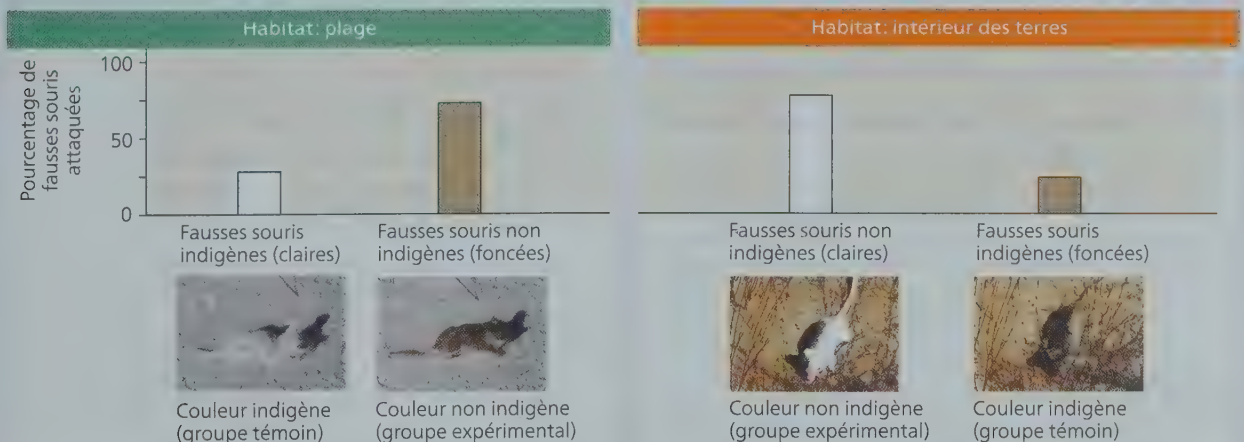
■ **EXPÉRIENCE** ■ Les chercheurs ont fabriqué et peint de fausses souris de façon qu'elles ressemblent à celles vivant sur la plage (couleur claire) ou à celles vivant à l'intérieur des terres (couleur foncée). Ensuite, ils ont éparpillé les deux sortes de fausses souris dans chaque habitat. Le lendemain matin, ils ont compté les fausses souris endommagées ou manquantes.

■ **RÉSULTATS** ■ Pour chaque habitat, les chercheurs ont calculé le pourcentage de fausses souris claires et foncées qui avaient été attaquées durant la nuit. Dans un habitat comme dans l'autre, les fausses souris non indigènes avaient été attaquées beaucoup plus souvent que les fausses souris indigènes.

■ **CONCLUSION** ■ Les résultats corroborent la prédiction des chercheurs, à savoir que les fausses souris indigènes seraient attaquées moins souvent par les prédateurs que les fausses souris non indigènes. L'expérience a donc permis de confirmer l'hypothèse de départ.

Source des données: S. N. Vignieri, J. G. Larson et H. E. Hoekstra, The selective advantage of crypsis in mice, *Evolution* 64: 2153-2158 (2010).

■ **INTERPRÉTEZ LES DONNÉES** ► Les bandes du tableau indiquent le pourcentage de fausses souris claires ou foncées qui ont été attaquées. Supposez que 100 fausses souris ont été attaquées dans chaque habitat. Sur la plage, combien de souris de couleur claire ont été attaquées, et combien de souris foncées ? Répondez à la même question, mais pour l'intérieur des terres.



Selon la forme des morsures et des empreintes laissées par les prédateurs sur les sites de l'expérience, l'équipe a constaté que les prédateurs comptaient autant de mammifères (comme le renard et le coyote) que d'oiseaux (comme le héron, le hibou et le faucon).

Pour chaque habitat, les chercheurs ont ensuite calculé le pourcentage d'événements de prédation qui ciblaient les fausses souris indigènes. Les résultats n'ont laissé aucun doute : les fausses souris indigènes, dont la couleur servait de camouflage, étaient beaucoup moins souvent attaquées par les prédateurs que les fausses souris non indigènes, tant sur la plage (où les souris de couleur claire étaient moins vulnérables) qu'à l'intérieur des terres (où les souris foncées étaient moins vulnérables). Les résultats de l'expérience ont donc appuyé l'hypothèse de départ.

Les variables observables et le contrôle expérimental

Souvent, lorsqu'un chercheur réalise une expérience, il manipule un facteur faisant partie d'un système et observe les effets de cette manipulation. L'expérience sur le camouflage des souris, illustrée dans la figure 1.25, est un exemple d'**expérience contrôlée**, c'est-à-dire une expérience visant à comparer un groupe expérimental (les fausses souris non indigènes) avec un groupe témoin (les fausses souris indigènes). Le facteur manipulé et le facteur subséquemment mesuré sont des **variables** expérimentales de deux types différents. Une variable expérimentale est une caractéristique ou une quantité qui varie au cours de l'expérience. Dans notre exemple, la couleur de la fausse souris est le facteur manipulé, appelé **variable indépendante**. La **variable dépendante**, elle, est le facteur qui sera mesuré et dont on prédit qu'il variera en fonction de la variable indépendante. Dans notre exemple des souris, les chercheurs ont mesuré le taux de prédation en fonction de la différence de couleur des fausses souris. Idéalement, le groupe expérimental et le groupe témoin ne doivent différer que par une seule variable indépendante ; dans le cas qui nous occupe, c'est la couleur.

Sans groupe témoin, les chercheurs n'auraient pu écarter d'autres causes possibles pour expliquer la fréquence accrue des attaques sur les fausses souris non indigènes, par exemple un nombre différent de prédateurs ou des écarts de température dans les diverses régions testées. Grâce à une méthodologie expérimentale ingénieuse, seule la coloration peut expliquer le plus faible taux de prédation envers les fausses souris indigènes.

Contrairement à ce qu'on croit parfois, le terme *expérience contrôlée* ne signifie pas que les scientifiques contrôlent l'environnement expérimental pour maintenir constantes toutes les variables à l'exception de celle qu'ils sont censés mesurer. De toute façon, cela serait impossible dans la recherche sur le terrain et irréaliste même dans l'environnement hautement contrôlé d'un laboratoire. Les chercheurs « contrôlent » les variables non désirées non pas en les *éliminant* par contrôle de l'environnement, mais en *annulant* leurs effets au moyen de groupes témoins.

Les théories scientifiques

« Ce n'est qu'une théorie ! » Dans le langage courant, le mot *théorie* désigne souvent une spéculation ou une hypothèse. Dans le langage scientifique, cependant, le mot *théorie* a une

connotation différente. Qu'est-ce qu'une théorie scientifique ? Quelle est la différence entre une théorie et une hypothèse ?

Premièrement, la portée d'une **théorie** scientifique est beaucoup plus vaste que la portée d'une hypothèse. Voici un exemple d'hypothèse : « Un pelage dont la couleur ressemble à celle de l'habitat est une adaptation qui protège les souris contre les prédateurs. » Et maintenant, voici un exemple de théorie : « Les adaptations évolutives sont favorisées par la sélection naturelle. » Selon cette théorie, la sélection naturelle est un mécanisme évolutif qui explique l'immense diversité des adaptations, dont la couleur du pelage n'est qu'un exemple parmi tant d'autres.

Deuxièmement, une théorie diffère d'une hypothèse en ce qu'elle est suffisamment générale pour couvrir plusieurs hypothèses nouvelles qui peuvent être vérifiées. Par exemple, la théorie de la sélection naturelle a incité Peter et Rosemary Grant, de la Princeton University, à vérifier l'hypothèse spécifique selon laquelle les becs des géospizes des îles Galápagos évoluent en fonction du type de nourriture disponible. (Les résultats qu'ils ont obtenus valident leur hypothèse ; voir l'introduction du chapitre 23.)

Troisièmement, comparativement à une hypothèse, une théorie repose habituellement sur une multitude de données probantes. La théorie de la sélection naturelle s'appuie sur d'abondantes preuves qui, encore aujourd'hui, continuent de s'ajouter, et elle n'a été réfutée par aucune donnée scientifique. Les théories scientifiques qui sont universellement acceptées (comme la théorie de la sélection naturelle et la théorie de la gravité) s'appuient sur une longue série d'observations et sur une accumulation importante de preuves.

Malgré l'ensemble de preuves qui étaye une théorie universellement reconnue, les scientifiques doivent parfois modifier ou même rejeter une théorie lorsque de nouvelles méthodes de recherche produisent des résultats qui ne concordent pas avec cette théorie. Par exemple, les biologistes considéraient que les bactéries et les archées faisaient partie du même règne de procaryotes jusqu'à ce que de nouvelles méthodes pour comparer les cellules et les molécules permettent de vérifier le classement de ces organismes. Ils n'ont pu alors que rejeter la théorie voulant que les bactéries et les archées appartiennent au même règne. S'il existe une vérité en science, elle est, au mieux, conditionnelle et repose sur le poids des preuves.

RETOUR SUR LE CONCEPT

1.3

1. Quelle observation qualitative a inspiré l'étude quantitative de la figure 1.25 ?
2. Comparez le raisonnement inductif et le raisonnement déductif.
3. Pourquoi la sélection naturelle est-elle une théorie ?
4. **ET SI ?** ► Dans les déserts du Nouveau-Mexique, les sols sont essentiellement sablonneux, mais on trouve aussi des sols de roche noire laissée par les coulées de lave qui se sont répandues il y a 1 000 ans environ. Des souris vivent dans les régions sablonneuses et les régions rocheuses, et les hiboux font partie des prédateurs. Selon vous, de quelle couleur est le pelage des souris de chacune de ces populations de souris ? Expliquez votre réponse. Comment utiliseriez-vous cet écosystème pour vérifier l'hypothèse du camouflage ?

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

L'approche multidisciplinaire et la diversité des points de vue contribuent à l'avancement des sciences

Le cinéma, la télévision et la bande dessinée véhiculent parfois l'image du savant asocial qui travaille en blouse blanche dans un laboratoire isolé. En réalité, la science est une pratique éminemment sociale. La plupart des scientifiques travaillent en équipe. Dans les milieux universitaires, les groupes de recherche sont souvent formés d'étudiants de tous les cycles. Et pour réussir en science, il faut être un bon communicateur. Les résultats d'une recherche n'ont aucun impact tant qu'ils ne sont pas diffusés à la communauté scientifique lors d'un colloque, dans une publication ou sur un site web. En fait, les rapports de recherche ne sont publiés qu'après avoir été validés par des confrères et des confrères dans le cadre d'un processus appelé «évaluation par les pairs». Ainsi, les études présentées en guise d'exemples dans le présent manuel ont toutes été publiées dans des revues scientifiques après approbation d'un comité de lecture (le comité de lecture est responsable de l'évaluation par les pairs).

Construire à partir du travail des autres

Sir Isaac Newton, le célèbre scientifique, a déclaré un jour : «Expliquer les secrets de la nature est une tâche trop difficile pour un seul homme, voire pour une seule époque. Il vaut nettement mieux faire peu avec certitude et laisser à ceux qui suivront le soin de trouver le reste...» Ceux qui, poussés par le désir de comprendre le fonctionnement de la nature, choisissent une carrière scientifique ont l'assurance de pouvoir puiser dans le vaste bagage de découvertes que d'autres ont faites avant eux. En fait, l'expérience de la biologiste Hopi Hoekstra repose sur des travaux effectués 40 ans plus tôt par un autre chercheur du nom de D. W. Kaufman. Dans la rubrique **Habilités scientifiques**, à la page suivante, vous aurez l'occasion d'étudier le plan de l'expérience de Kaufman et d'en interpréter les résultats.

Les résultats de travaux de recherche sont scrutés à la loupe chaque fois que des chercheurs refont des séries d'observations et reproduisent des expériences. Les membres de la communauté scientifique examinent les travaux de ceux qui ont choisi le même domaine de recherche qu'eux. Il leur arrive même souvent de vérifier les conclusions des autres en essayant de reproduire leurs expériences. Lorsque des confrères scientifiques n'arrivent pas à reproduire les résultats d'une expérience, ce peut être parce que l'hypothèse de départ comportait une faiblesse sous-jacente (elle devra alors être revue), ou encore que les paramètres de l'expérimentation étaient mal contrôlés. À cet égard, la science s'autoréglemente. L'intégrité et le respect de normes professionnelles élevées dans la diffusion des résultats font partie des règles de l'aventure scientifique puisque la validité des données expérimentales est un élément clé pour tracer de futures pistes de recherche.

Il n'est pas rare que plusieurs scientifiques travaillent sur le même sujet de recherche. Certains membres de la communauté scientifique sont motivés par le désir d'être les premiers à faire une découverte importante ou à procéder à une expérience clé,

alors que d'autres tirent plus de satisfaction à coopérer avec d'autres confrères à la résolution d'un problème.

La coopération est plus facile lorsque les scientifiques travaillent sur le même type d'organisme. Il s'agit souvent d'un **organisme modèle** qu'utilisent de nombreux chercheurs, c'est-à-dire une espèce facile à reproduire en laboratoire et qui se prête particulièrement bien aux projets en cours d'étude. Dans la mesure où les espèces sont génétiquement liées, on peut se servir d'un organisme modèle pour comprendre la biologie des autres espèces et leurs maladies. Par exemple, les études en génétique réalisées sur la mouche drosophile (*Drosophila melanogaster*) nous ont appris beaucoup de choses sur le fonctionnement des gènes chez d'autres espèces, y compris l'espèce humaine. Les organismes modèles populaires comptent aussi *Arabidopsis thaliana* (une plante connue sous le nom d'arabette), *Caenorhabditis elegans* (un nématode), *Danio rerio* (le poisson-zèbre), *Mus musculus* (la souris commune) et *Escherichia coli* (une bactérie). Au fil des chapitres de ce manuel, vous remarquerez combien l'étude du vivant s'est enrichie des nombreuses contributions de ces organismes modèles, et de bien d'autres. Vous pourrez également constater en comparant les descriptions d'expériences que la façon dont on traite les animaux en recherche a beaucoup changé depuis les années 2000. De nos jours, les protocoles de recherche doivent être approuvés par des comités d'éthique qui s'assurent que la souffrance animale est évitée ou alors atténuée le plus possible. Cependant, les données recueillies au cours d'expériences passées menées selon des protocoles qui seraient difficilement approuvés aujourd'hui peuvent encore nous apporter de précieuses informations.

Les biologistes abordent des questions intéressantes selon des angles différents. Les uns se concentrent sur les écosystèmes, alors que d'autres étudient des phénomènes naturels au niveau des organismes et des cellules. Ce manuel est divisé en modules qui considèrent la biologie selon différents niveaux hiérarchiques de l'organisation biologique et qui examinent des problèmes sous différents angles. Il est néanmoins possible d'examiner n'importe quel problème selon diverses perspectives qui se révéleront complémentaires. Par exemple, les travaux de la biologiste Hopi Hoekstra ont permis d'élucider au moins une mutation génétique qui explique les différences de coloration entre les souris des plages et celles vivant à l'intérieur des terres. Dans le laboratoire d'Hoekstra travaillent également des biologistes qui se spécialisent dans différents niveaux de l'organisation biologique, de sorte que l'équipe peut faire des liens entre les adaptations évolutives sur lesquelles Hoekstra travaille et leur fondement moléculaire dans les séquences d'ADN.

Puisque vous faites vos premiers pas dans l'étude de la biologie, vous aurez avantage à établir ce type de liens entre les divers niveaux de cette science. Vous pouvez commencer en remarquant comment certains sujets reviennent sans cesse d'un module à l'autre. C'est le cas, notamment, de l'anémie falciforme (aussi appelée drépanocytose), une maladie génétique qui n'a plus de secret pour les biologistes et dont la prévalence est particulièrement élevée parmi les populations d'Afrique et d'autres régions tropicales, ainsi que chez leurs descendants. L'anémie falciforme est un sujet sur lequel nous reviendrons souvent dans ce manuel, mais chaque fois sous un angle différent. Vous trouverez également un certain nombre de figures qui établissent des liens entre le contenu de différents chapitres,

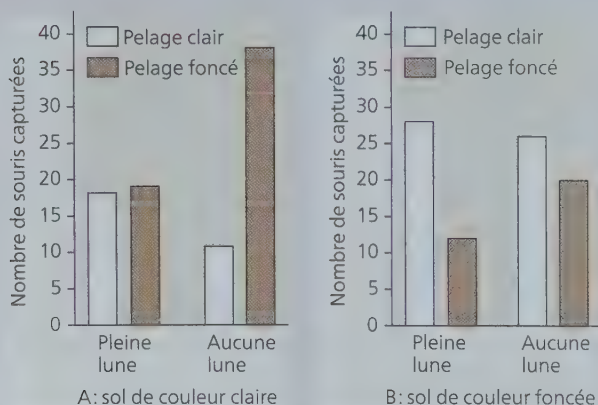
Interpréter une paire de diagrammes à bandes

■ **DANS QUELLE MESURE LE CAMOUFLAGE INFLUE-T-IL SUR LA PRÉDATION DES SOURIS PAR LES HIBOUX EN PRÉSENCE OU EN L'ABSENCE DE LUMIÈRE DE LA LUNE ?** ■

Le chercheur D. W. Kaufman a formulé l'hypothèse suivante: l'importance du contraste entre la couleur du pelage d'une souris et la couleur de son environnement influe sur le taux de prédation nocturne par les hiboux. Il a également émis l'hypothèse que ce contraste dépendait de la luminosité de la lune. Dans cet exercice, vous allez analyser les données des expériences que Kaufman a réalisées sur la prédation des souris par les hiboux pour vérifier ses hypothèses.

■ **MÉTHODE** ■ L'expérience consistait à faire entrer simultanément deux souris (*Peromyscus polionotus*) dont le pelage était de couleur différente, l'un brun clair et l'autre brun foncé, dans un enclos où se trouvait un hibou affamé. Kaufman notait alors la couleur de la première souris attaquée par le hibou. Si le hibou n'avait attaqué aucune des deux souris après 15 minutes, Kaufman notait zéro comme résultat du test. Le test a été répété à plusieurs reprises, et ce, dans un enclos au sol foncé et dans un enclos au sol clair. Kaufman notait également la présence ou l'absence de lumière de la lune.

■ **RÉSULTATS** ■



Source des données: D. W. Kaufman, Adaptive coloration in *Peromyscus polionotus*: Experimental selection by owls, *Journal of Mammalogy* 55: 271-283 (1974).

INTERPRÉTEZ LES DONNÉES ▼



1. Premièrement, assurez-vous que vous comprenez comment les diagrammes sont construits. Le diagramme A montre les données relatives à l'enclos au sol clair, tandis que le diagramme B montre les données relatives à l'enclos au sol foncé. Autrement, les deux diagrammes sont pareils. (a) Il y a plus d'une variable indépendante dans ces diagrammes. Quelles sont les variables indépendantes, c'est-à-dire les variables testées par le chercheur? Quel axe des diagrammes représente ces variables indépendantes? (b) Quelle est la variable dépendante, c'est-à-dire la variable qui varie en réponse aux variables indépendantes?
2. (a) Combien de souris brun foncé ont-elles été capturées dans l'enclos au sol clair un soir de lune? (b) Combien de souris brun foncé ont-elles été capturées dans l'enclos au sol foncé un soir de lune? (c) En présence de la lumière de la lune, une souris brun foncé a-t-elle plus de chances d'échapper au hibou sur un sol foncé ou sur un sol clair? Expliquez votre réponse.
3. (a) Une souris brun foncé sur un sol foncé a-t-elle plus de chances d'échapper à un prédateur un soir de lune ou un soir sans lune? (b) Et qu'en est-il pour une souris brun clair sur un sol clair? Expliquez votre réponse.
4. Dans quelles conditions une souris brun foncé a-t-elle le plus de chances d'échapper à son prédateur durant la nuit? (b) Répondez à la même question, mais pour une souris brun clair.
5. (a) Dans l'enclos au sol clair, quelle combinaison de variables indépendantes a donné lieu au taux de prédation le plus élevé? (b) Dans l'enclos au sol foncé, quelle combinaison de variables indépendantes a donné lieu au taux de prédation le plus élevé?
6. À la lumière de vos réponses à la question 5, formulez un énoncé simple qui décrit les conditions particulièrement mauvaises pour les souris, quelle que soit la couleur de leur pelage.
7. En combinant les données des deux diagrammes, estimez le nombre de souris capturées un soir de lune comparativement à un soir sans lune. Quelle condition est la meilleure pour le hibou? Expliquez votre réponse.

ainsi que des questions qui vous demanderont de faire vous-même ces liens. Nous espérons que ces caractéristiques vous aideront à intégrer la matière et à rendre la biologie encore plus captivante en vous permettant d'en voir les applications.

Science, technologie et société

Les biologistes forment une communauté qui fait partie intégrante de la société dans son ensemble, et le lien entre la science et la société s'est précisé avec l'avènement de la technologie. La science et la technologie recourent parfois à des processus de recherche similaires, mais leurs objectifs fondamentaux

diffèrent. La science a pour but de *comprendre* les phénomènes naturels, tandis que la **technologie applique** le savoir scientifique à quelque objet. Les biologistes et les autres scientifiques parleront de « découvertes », alors que les ingénieurs et autres technologues parleront d'« inventions ». Et parmi ceux qui bénéficient de ces inventions se trouvent les scientifiques, qui utilisent la nouvelle technologie dans leurs recherches. En somme, la science et la technologie sont indissociables.

L'interdépendance de la science et de la technologie peut avoir des répercussions considérables sur la société. Quelquefois, les applications les plus bénéfiques de la recherche fondamentale ont vu le jour de façon inattendue à la suite d'observations

recueillies en cours d'exploration scientifique. Prenons par exemple la découverte par Watson et Crick de la structure de l'ADN il y a plus de 60 ans. Cette percée a suscité une foule d'activités scientifiques qui ont débouché sur l'apparition de nombreuses technologies d'analyse de l'ADN, lesquelles ont à leur tour révolutionné plusieurs domaines, dont la médecine, l'agriculture et la médecine légale (figure 1.26). Watson et Crick ont peut-être pensé que leur découverte trouverait un jour des applications importantes, mais ils ne pouvaient certainement pas en prévoir la nature de façon précise.

L'orientation que prend la technologie dépend moins de la curiosité qui anime la science que des besoins et désirs actuels de la société et de l'environnement du moment. Les débats concernant la technologie portent plus souvent sur la question «*Devrions-nous le faire ?*» que sur la question «*Pouvons-nous le faire ?*». Les progrès technologiques s'accompagnent de choix difficiles. Dans quelles circonstances, par exemple, est-il acceptable de se servir de la technologie de l'ADN pour dépister les maladies héréditaires ? Et ce dépistage devrait-il être volontaire, ou existe-t-il des circonstances où il devrait être obligatoire ? Les compagnies d'assurances et les employeurs devraient-ils avoir accès à cette information comme ils ont accès à plusieurs autres données de nature personnelle ? Ces questions deviennent de plus en plus pressantes à mesure que diminuent le coût et le temps requis pour le séquençage de génomes individuels.

Les enjeux éthiques soulevés par de telles questions relèvent autant de la politique, de l'économie et de la culture que de la science et de la technologie. Il incombe à tous – et non aux seuls scientifiques – de se renseigner sur le fonctionnement de la science et sur les risques et les bienfaits potentiels des technologies. La relation fondamentale entre la science, la technologie et la société donne encore plus d'importance à tout cours de biologie.

Les mérites de la diversité des points de vue en science

Parmi les innovations technologiques les plus marquantes sur la société humaine, plusieurs ont vu le jour dans des établissements situés le long de routes commerciales, où le riche mélange de cultures favorisait l'émergence d'idées nouvelles. Par exemple, la presse à imprimer – qui a permis la diffusion des connaissances auprès de toutes les classes sociales – a été inventée par Johannes Gutenberg, vers 1440. Or cette invention repose sur plusieurs innovations venues de Chine, notamment le papier et l'encre. Le papier s'est rendu jusqu'à nous par les routes commerciales, de la Chine jusqu'à Bagdad, berceau de la technologie qui en a permis la production de masse. Cette technologie a ensuite fait son chemin jusqu'en Europe, tout comme l'encre à base d'eau, venue de Chine, dont s'est inspiré Gutenberg pour inventer l'encre à base d'huile. Comme beaucoup d'autres inventions importantes, la presse à imprimer est le fruit de nombreuses contributions culturelles.

Dans le même ordre d'idées, la science ne peut que profiter d'une diversité d'expertises et de points de vue. Mais jusqu'à quel point la population de scientifiques présente-t-elle cette nécessaire diversité en ce qui a trait au genre, à la culture, à l'origine ethnique ou autre ?

La communauté scientifique reflète les normes culturelles et les comportements de la société. Il n'est donc pas surprenant que, dans de nombreux pays, les femmes et certaines minorités



▲ **Figure 1.26 Technologie de l'ADN et enquête criminelle.** En 2011, l'analyse judiciaire d'échantillons d'ADN prélevés sur les lieux d'un crime a conduit à la libération de Michael Morton, qui a passé près de 25 ans en prison pour un crime qu'il n'avait pas commis, soit le meurtre brutal de son épouse. L'analyse d'ADN a permis d'arrêter un autre homme, déjà accusé d'un autre meurtre. Sur la photo, on voit M. Morton qui serre ses parents dans ses bras après avoir été innocenté. Nous examinons en détail l'analyse judiciaire de l'ADN au chapitre 20.

ethniques aient dû surmonter d'énormes obstacles pour embrasser une carrière scientifique. Au cours des 50 dernières années, le changement de mentalité à l'égard des choix de carrière a cependant accru la présence des femmes en biologie et dans d'autres domaines scientifiques, si bien que celles-ci représentent près de la moitié des effectifs dans les programmes de biologie de premier cycle jusqu'au doctorat.

La progression est cependant plus lente aux échelons supérieurs de la profession, et les femmes de même que les membres de nombreux groupes ethniques et raciaux sont toujours considérablement sous-représentés dans de nombreuses branches scientifiques et technologiques. Ce manque de diversité nuit au progrès scientifique. Plus nombreux seront les participants à la table de discussion, plus solides, plus riches et plus productifs seront les échanges scientifiques. Les auteurs de ce manuel vous souhaitent la bienvenue au sein de la communauté de biologistes et vous invitent à goûter les joies et la satisfaction que procure ce domaine scientifique des plus excitants : la biologie.

RETOUR SUR LE CONCEPT

1.4

1. En quoi la science et la technologie se distinguent-elles ?
2. **FAITES DES LIENS** ► La population de l'Afrique subsaharienne est porteuse du gène responsable de l'anémie falciforme à une fréquence nettement supérieure à celle observée chez les Afro-Américains dont les ancêtres venaient de cette région. Même si la présence de ce gène cause l'anémie falciforme, elle confère une certaine protection contre la malaria, une maladie endémique grave qui sévit également en Afrique subsaharienne, mais pas aux États-Unis. Quel rôle l'évolution pourrait-elle avoir joué dans l'écart de pourcentage du gène de l'anémie falciforme entre les résidents des deux régions ? (Voir le concept 1.2.)

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

RÉVISION DU CHAPITRE 1



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

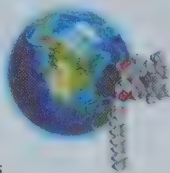
Résumé des concepts clés

CONCEPT 1.1

L'étude du vivant révèle des thèmes unificateurs (p. 3 à 11)

Thème de l'organisation : De nouvelles propriétés émergent à chaque niveau hiérarchique de l'organisation biologique

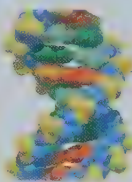
- La hiérarchie de l'organisation biologique se déploie comme suit, du plus grand au plus petit : biosphère > écosystème > communauté biologique > population > organisme > système organique > organe > tissu > cellule > organite > molécule > atome. En partant de l'atome, chaque fois qu'on atteint un niveau supérieur, on observe l'apparition de nouvelles **propriétés émergentes** résultant des interactions entre les composants aux niveaux inférieurs. Le réductionnisme est une démarche visant à décomposer des systèmes complexes en éléments plus simples et plus faciles à étudier. Par la **biologie des systèmes**, les scientifiques tentent de modéliser le comportement dynamique de systèmes biologiques entiers en étudiant les interactions qui s'établissent entre leurs différents composants.



- La structure et la fonction sont corrélées à tous les niveaux de l'organisation biologique. La cellule, unité de base de tout organisme, est le plus bas niveau d'organisation capable d'effectuer toutes les activités caractéristiques des organismes vivants. Les cellules sont de type procaryote ou eucaryote. Les **cellules eucaryotes** renferment des organites membranaires, dont un noyau contenant l'ADN. Les **cellules procaryotes** sont dépourvues d'organites membranaires.

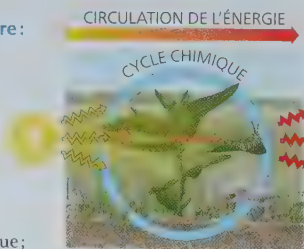
Thème de l'information : Les processus du vivant reposent sur l'expression et la transmission de l'information génétique

- L'information génétique est codée dans les séquences de nucléotides d'**ADN**. L'ADN contient l'information génétique que les parents transmettent à leurs descendants. Les séquences d'ADN (appelées **gènes**) programment la fabrication des protéines d'une cellule par la transcription en ARNm et ensuite par la traduction en une protéine spécifique, dotée d'une forme et d'une fonction qui lui sont propres. L'ensemble de ce processus porte le nom d'**expression génétique**. L'expression des gènes produit aussi des molécules d'ARN qui ne sont pas traduites en protéines, mais qui accomplissent d'autres tâches importantes. La **génomique** étudie et analyse à grande échelle les séquences d'ADN d'une espèce (son génome) et compare des séquences d'ADN d'espèces différentes. La **bio-informatique** utilise des outils informatiques pour organiser d'immenses volumes de données sur les séquences.



Thème de l'énergie et de la matière : Le transfert et la transformation d'énergie et de matière sont essentiels à la vie

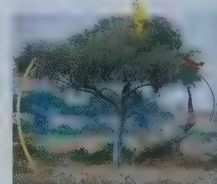
- L'énergie traverse l'écosystème. Tous les organismes accomplissent diverses activités, ce qui requiert de l'énergie. Les **producteurs** convertissent l'énergie solaire en énergie chimique;



une partie de celle-ci est transmise aux **consommateurs** et le reste se perd sous forme de chaleur. Les substances chimiques circulent de manière cyclique entre les organismes et l'environnement.

Thème des interactions : Les interactions jouent un rôle important dans les systèmes biologiques, de la simple molécule à l'écosystème

- La **rétroactivation** est un mécanisme de rétroaction par lequel l'accumulation du produit final accélère le processus. La **rétro-inhibition** est le mécanisme inverse par lequel l'accumulation du produit final d'un processus ralentit ce même processus.
- Les organismes interagissent continuellement avec les facteurs physiques. Les végétaux puisent des nutriments dans le sol et des substances chimiques dans l'air, et utilisent l'énergie du soleil.

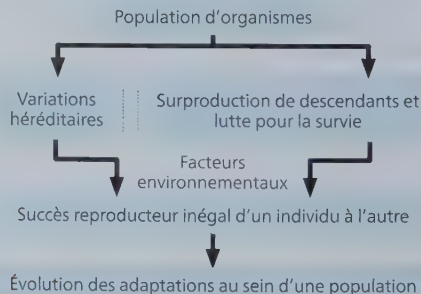
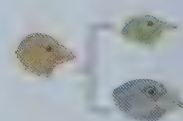


? Pensez aux muscles et aux nerfs de votre main. Comment l'action d'écrire un texte reflète-t-elle les quatre thèmes biologiques décrits dans la présente section ?

CONCEPT 1.2

Le thème central, l'évolution, donne un sens à l'unité et à la diversité de la vie (p. 11 à 16)

- L'**évolution**, ce processus de modification qui a transformé la vie sur la Terre, donne un sens à l'unité et à la diversité du vivant. Elle explique également l'adaptation évolutive, c'est-à-dire l'adéquation entre les organismes et leur environnement.
- Les biologistes classifient les espèces selon un système de catégories de plus en plus larges. Le domaine des **bactéries** et le domaine des **archées** comprennent des **procaryotes**. Le domaine des **eucaryotes** renferme divers groupes de protistes ainsi que les règnes des végétaux, des eumycètes et des animaux. Malgré sa grande diversité, la vie montre les signes d'une remarquable unité, dont témoignent les ressemblances entre diverses espèces.
- Darwin a proposé la théorie de la **sélection naturelle** pour expliquer comment les populations s'adaptent à leur environnement au fil de leur évolution. La sélection naturelle est le processus évolutif par lequel une population est exposée à des facteurs environnementaux qui, au fil du temps, font en sorte que les individus possédant certains caractères héréditaires se reproduisent davantage que les individus possédant d'autres caractères héréditaires.



- Chaque espèce occupe l'extrémité d'une branche d'un arbre généalogique. En parcourant les ramifications, on remonte jusqu'aux espèces ancestrales. Tous les êtres vivants sont donc apparentés, et l'essence de ce lien réside dans l'évolution.

? Comment la sélection naturelle a-t-elle influé sur l'évolution d'adaptations comme la couleur du pelage qui permet aux souris des plages de se fondre dans leur environnement ?

CONCEPT 1.3

Les scientifiques étudient la nature en faisant des observations, à partir desquelles ils formulent et testent des hypothèses (p. 17 à 22)

- Les chercheurs qui font de la **recherche** scientifique procèdent à des observations et les notent (collecte de **données**), puis ils utilisent le **raisonnement inductif** pour tirer des conclusions générales et formuler des **hypothèses** vérifiables. Le **raisonnement déductif** consiste à faire des prédictions dans le but de vérifier des hypothèses. Une hypothèse doit être testable et réfutable; la science ne s'occupe pas de vérifier la possibilité de phénomènes surnaturels ou la validité de croyances religieuses. On peut vérifier des hypothèses par des **expériences** ou, si cela n'est pas possible, par une série d'observations. En science, l'activité centrale consiste à vérifier des idées et se déroule sous l'influence de plusieurs facteurs : l'exploration et la découverte, les analyses et les commentaires de la communauté scientifique ainsi que les besoins de la société.
- Les **expériences contrôlées**, comme l'étude de la couleur du pelage au sein des populations de souris, visent à montrer l'effet d'une **variable** sur un groupe témoin et sur un groupe expérimental qui diffèrent seulement par cette variable.
- Une **théorie** scientifique a une large portée, elle génère de nouvelles hypothèses et repose sur une multitude de données probantes.

? Quels sont les rôles de la collecte et de l'interprétation des données dans la recherche scientifique ?

CONCEPT 1.4

L'approche multidisciplinaire et la diversité des points de vue contribuent à l'avancement des sciences (p. 23 à 25)

- La science est une activité sociale. Les travaux de chaque scientifique reposent sur ceux de ses prédécesseurs. Les scientifiques doivent pouvoir reproduire les résultats qu'ont obtenus leurs confrères, ce qui garantit l'intégrité de la recherche. Les biologistes abordent les sujets de recherche sous différents angles; leurs approches sont complémentaires.
- La **technologie** est un ensemble de savoirs, de méthodes et d'appareils fondés sur des connaissances scientifiques; elle est utilisée à des fins précises qui influent sur la société. La recherche fondamentale entraîne parfois des répercussions inattendues.
- La diversité au sein de la communauté scientifique favorise le progrès scientifique.

? Pourquoi est-il important que les scientifiques disposent d'une variété d'approches et d'expériences ?

Évaluation

NIVEAU 1 : CONNAISSANCES ET COMPRÉHENSION

1. L'ensemble des organismes de votre campus forment :
 - a) un écosystème.
 - b) une communauté.
 - c) une population.
 - d) un domaine taxinomique.
2. La biologie des systèmes s'applique surtout :
 - a) à analyser les génomes de diverses espèces.
 - b) à décomposer un système complexe en le fragmentant en parties plus petites et plus simples.
 - c) à comprendre le comportement de systèmes biologiques entiers.
 - d) à concevoir des technologies de haut débit pour obtenir rapidement des données biologiques.
3. Parmi les propositions suivantes, laquelle illustre le mieux l'unité parmi les organismes ?
 - a) Les propriétés émergentes.
 - b) La « descendance avec modification ».
 - c) La structure et la fonction de l'ADN.
 - d) La sélection naturelle.
4. Une expérience contrôlée est une expérience qui :
 - a) se déroule suffisamment lentement pour que le chercheur puisse consigner les résultats.
 - b) peut inclure des groupes expérimentaux et des groupes témoins sur lesquels on effectue l'expérience en parallèle.
 - c) est reproduite plusieurs fois pour s'assurer que les résultats sont exacts.
 - d) garde constantes toutes les variables.
5. Parmi les énoncés suivants, lequel fait le mieux la distinction entre une hypothèse et une théorie scientifique ?
 - a) Les théories sont des hypothèses qui ont été prouvées.
 - b) Les hypothèses sont des suppositions; les théories sont les bonnes réponses.
 - c) Les hypothèses ont généralement une portée relativement limitée, tandis que les théories ont une portée plus vaste.
 - d) Les théories ont toujours été prouvées; les hypothèses sont souvent réfutées par des expériences.

NIVEAU 2 : APPLICATION ET ANALYSE

6. Parmi les énoncés suivants, lequel est un exemple de données qualitatives ?
 - a) Le poisson nage en zigzag.
 - b) Le contenu de l'estomac est mélangé toutes les 20 secondes.
 - c) La température est passée de 20 °C à 15 °C.
 - d) Les six couples de pinsons ont couvé en moyenne trois oisillons.
7. Parmi les énoncés suivants, lequel décrit le mieux la logique de l'approche par hypothèses ?
 - a) Si je formule une hypothèse vérifiable, des expérimentations et des observations l'appuieront.
 - b) Si ma prédiction est correcte, elle générera une hypothèse vérifiable.
 - c) Si mes observations sont justes, elles appuieront mon hypothèse.
 - d) Si mon hypothèse est correcte, mon expérimentation devrait donner certains résultats.
8. **FAITES UN DESSIN** ► À l'aide de croquis, illustrez une hiérarchie biologique semblable à celle de la figure 1.3, en utilisant le récif de corail comme écosystème, un poisson en guise d'organisme, son estomac en guise d'organe et son ADN en guise de molécule. Votre dessin doit présenter tous les niveaux de la hiérarchie.

Voir les réponses proposées à l'appendice A.

