



CHAPITRE 59

Biologie de la conservation

Aperçu du chapitre

- 59.1 Généralités sur la crise de la biodiversité
- 59.2 Valeur de la biodiversité
- 59.3 Facteurs responsables des extinctions
- 59.4 Comment préserver les espèces et les écosystèmes menacés

Introduction

Un des plus grands défis auxquels doit faire face la biosphère est l'extinction de plus en plus rapide des espèces. Jamais, depuis le Crétacé (- 65 millions d'années), un aussi grand nombre d'espèces n'ont disparu en si peu de temps. Ce défi a conduit à l'émergence d'une discipline nouvelle, la biologie de la conservation. C'est une science appliquée qui cherche à savoir comment préserver les espèces, les communautés et les écosystèmes. Elle étudie les causes du déclin de la richesse spécifique et tente de mettre au point des méthodes pour empêcher ce déclin. Dans ce chapitre, nous allons d'abord examiner la crise de la biodiversité et son importance. Ensuite, en nous basant sur des cas historiques, nous identifierons et nous étudierons les facteurs qui ont joué un rôle clé lors de nombreuses extinctions. Nous terminerons par une revue des efforts de restauration au niveau des espèces et des communautés.

59.1 Généralités sur la crise de la biodiversité

Objectifs

1. *Faire l'histoire des extinctions au cours du temps.*
2. *Expliquer l'importance des points chauds pour la conservation de la biodiversité.*

L'extinction est inhérente à la vie. La plupart des espèces – probablement toutes – finiront pas s'éteindre. Plus de 99 % des espèces connues

de la science (la plupart par des restes fossiles) sont aujourd'hui éteintes. La vitesse est cependant alarmante actuellement. En tenant compte de la perte rapide et accélérée actuelle des habitats, spécialement dans les régions tropicales, on a calculé que 20 % de la biodiversité du globe peut être perdue pour le milieu de ce siècle. En outre, beaucoup de ces espèces risquent d'être perdues avant même que nous ayons pu nous rendre compte de leur existence. Les scientifiques estiment que l'on n'a découvert et donné un nom scientifique qu'à 15 % des organismes eucaryotes du monde et cette proportion est probablement bien plus faible pour les espèces tropicales.

Ces pertes n'affecteront pas seulement des groupes peu connus. Jusqu'à 50 000 des 250 000 espèces végétales du monde, 4000 des 20 000 espèces de papillons et près de 2000 des 9000 espèces d'oiseaux pourraient disparaître pendant cette période. Si l'on considère que l'espèce



Figure 59.1 L'Amérique du Nord avant l'arrivée des premiers humains. Parmi les animaux existant en Amérique du Nord avant l'arrivée des humains, on trouve des oiseaux et de grands mammifères, comme le chameau nord-américain, le félin à dents de sabre, le grand paresseux terrestre et le vautour tératornis. Ce tableau de Charles R. Knight est intitulé Rancho La Brea Tar Pit. Il est exposé au Musée George C. Page de Los Angeles.

humaine existe depuis moins de 200 000 ans sur les 4,5 milliards d'années de l'histoire de la Terre, et que nos ancêtres ont développé l'agriculture il y a environ 10 000 ans seulement, c'est un résultat étonnant – et équivoque.

Les hommes préhistoriques ont été responsables d'extinctions locales

On connaît bien les taux actuels d'extinction par l'étude du passé. Aux époques préhistoriques, des membres de l'espèce *Homo sapiens* ont fait des ravages chaque fois qu'ils sont arrivés dans une nouvelle région. Par exemple, à la fin de la dernière période glaciaire, il y a environ 12 000 ans, la faune d'Amérique du Nord se composait de grands mammifères très divers, semblables à ceux qui vivent aujourd'hui en Afrique : mammouths et mastodontes, chevaux, chameaux, paresseux terrestres géants, tigres à dents de sabre et lions entre autres (figure 59.1).

Peu après l'arrivée de l'homme, de 74 à 86 % de la mégafaune (les animaux pesant plus de 50 kg) avaient disparu. On pense que ces extinctions ont été provoquées par la chasse et, indirectement, par l'incendie et l'abattage des forêts (certains scientifiques attribuent ces extinctions aux changements climatiques, mais cette hypothèse n'explique pas pourquoi la fin des périodes glaciaires précédentes n'a pas été accompagnée d'extinctions de masse ni pourquoi les extinctions concernent principalement les grands animaux, les petits étant relativement peu affectés.)

Sur l'ensemble du globe, l'arrivée de l'homme a eu les mêmes conséquences. Il y a 40 000 ans, l'Australie abritait de grands animaux très divers, comme des marsupiaux de la taille et de l'écologie des hippopotames et des léopards, un kangourou haut de près de trois mètres et un lézard monitor long de 6 mètres. Tous ont disparu à peu près au moment où l'homme est arrivé.

Des îles plus petites ont aussi été dévastées. Madagascar a vu l'extinction d'au moins 15 espèces de lémuriniens, dont un de la taille d'un gorille, un hippopotame pygmée et un oiseau-éléphant terrestre aptère, *Aepyornis*, le plus grand oiseau qui ait jamais existé (plus de 3 mètres de haut et d'un poids de 450 kg). En Nouvelle-Zélande, 30 espèces d'oiseaux ont disparu, y compris les 13 espèces de moas, autre groupe de

grands oiseaux incapables de voler. Il est intéressant de constater que la mégafaune d'un continent a été épargnée, celle de l'Afrique. Les scientifiques supposent que c'est peut-être parce que l'évolution de l'homme s'est en grande partie déroulée en Afrique. Par conséquent, les autres espèces africaines ont coévolué avec les humains pendant des millions d'années et ont donc acquis des adaptations permettant de résister à la prédation par l'homme.

Les extinctions se sont poursuivies pendant la période historique

Les taux d'extinction au cours de l'histoire sont surtout connus pour les oiseaux et les mammifères parce que ces espèces sont très visibles – c'est-à-dire relativement grandes et bien étudiées. Les estimations des taux d'extinction sont beaucoup plus approximatives pour les autres espèces. Les données présentées au tableau 59.1, basées sur les meilleurs arguments disponibles, font état des extinctions signalées de 1600 à nos jours. Ces estimations montrent que quelque 85 espèces de mammifères et 113 espèces d'oiseaux ont disparu depuis 1600. Cela représente environ 1,7 % des espèces connues de mammifères et 1,1 % des oiseaux.

La plupart des extinctions se sont produites depuis 1900 : cinq espèces de plantes et d'animaux par an durant le vingtième siècle. Cette augmentation du taux d'extinction est au cœur de la crise de la biodiversité.

Cette crise semble malheureusement empirer. Par exemple, le nombre d'espèces d'oiseaux considérées comme « menacées » a augmenté de 13 % de 1999 à 2009, et un rapport récent suggère que la moitié des espèces végétales du globe pourraient être menacées d'extinction. Certains chercheurs prédisent la disparition des deux tiers de toutes les espèces de vertébrés avant la fin de ce siècle.

La majorité des extinctions historiques – mais c'est loin d'être général – se sont produites sur des îles. Par exemple, sur les 90 espèces de mammifères disparues au cours des 400 dernières années, 60 % vivaient sur des îles. La vulnérabilité particulière des espèces insulaires provient probablement de plusieurs facteurs. Ces espèces ont souvent évolué à l'abri des prédateurs et elles ont ainsi perdu la faculté d'échapper aux

TABLEAU 59.1 Extinctions signalées depuis 1600

Taxon	EXTINCTIONS SIGNALÉES				Nombre approximatif d'espèces	Pourcentage de taxons disparus
	Continent	Îles	Océan	Total		
Mammifères	30	51	4	85	5,000	1.7
Oiseaux	21	92	0	113	10,000	1.1
Reptiles	1	20	0	21	10,000	0.2
Poissons	22	1	0	23	31,000	0.1
Invertébrés*	49	48	1	98	1,000,000+	0.01
Angiospermes	245	139	0	384	250,000	0.2

*Le nombre d'invertébrés disparus est probablement très sous-estimé parce que beaucoup d'espèces ne sont pas connues (d'autres groupes sont probablement sous-estimés à un moindre degré pour la même raison).

prédateurs humains et introduits, comme les rats et les chats. En outre, l'homme a introduit des compétiteurs et des maladies ; la malaria aviaire, par exemple, a dévasté la faune aviaire des Îles Hawaï. Enfin, les populations insulaires sont souvent relativement restreintes et donc particulièrement vulnérables face à l'extinction, comme nous le verrons plus loin.

Au cours des dernières années, la crise est passée des îles aux continents. La plupart des espèces actuellement menacées se trouvent sur les continents et ces régions subiront les effets de la crise au cours de ce siècle.

Certains ont prétendu que nous ne devrions pas nous faire de souci, parce que les extinctions sont un phénomène naturel et qu'il y a eu des disparitions massives dans le passé. Effectivement, il y a eu des extinctions massives plusieurs fois au cours des derniers 500 millions d'années (voir section 22.7). Cependant, l'actuelle extinction massive est spéciale pour plusieurs raisons. D'abord, c'est le seul événement de ce genre déclenché par une seule espèce (nous !). En outre, bien que la diversité spécifique se rétablisse généralement après quelques millions d'années, il s'agit d'un long délai pour dénier à nos descendants les avantages et le plaisir de la biodiversité.

De plus, il n'est pas évident que la biodiversité se rétablisse cette fois-ci. Après les précédentes extinctions de masse, de nouvelles espèces ont évolué pour utiliser les ressources devenues disponibles après la disparition des espèces qui les exploitaient auparavant. Aujourd'hui, cependant, ces ressources ont peu de chance d'être disponibles parce que l'homme détruit les habitats et utilise lui-même les ressources.

Les points chauds d'espèces endémiques sont particulièrement menacés

Une espèce que l'on ne trouve en nature que dans une seule aire géographique et nulle part ailleurs est endémique pour cette région. L'aire occupée par une espèce endémique peut être très vaste. Par exemple, le cerisier *Prunus serotina* est endémique pour toute l'Amérique du Nord tempérée. Plus typiques sont cependant les espèces endémiques occupant des aires limitées. Le dragon de Komodo (*Varanus komodoensis*) vit seulement dans quelques petites îles de l'archipel indonésien, et les sabres d'argent de Mauna Kea et Haleakala (*Argyroxiphium sandwicense* et *A. macrocephalum*) vivent chacun dans un cratère volcanique de l'île de

Hawaï (figure 59.2). Les aires géographiques isolées, comme les îles océaniques, les lacs et les sommets de montagnes, ont souvent des pourcentages élevés d'espèces endémiques dont beaucoup sont gravement menacées d'extinction.

Le nombre d'espèces végétales endémiques peut être très différent d'un endroit à un autre. Aux États-Unis, par exemple, on trouve au Texas 379 plantes qui n'existent nulle part ailleurs, alors que l'état de New York n'a qu'une espèce végétale endémique. La Californie, avec ses habitats très divers, déserts, montagnes, côtes marines, forêts anciennes et prairies, abrite plus de plantes endémiques que tout autre état.

Les points chauds de biodiversité

Au niveau du globe, il existe des concentrations remarquables d'endémiques dans des régions particulières. Les écologues de la conservation ont récemment identifié des zones, ou points chauds, à fort endémisme et qui disparaissent rapidement. Parmi ces points chauds, on trouve



Figure 59.2 L'astérocée *Argyroxiphium sandwicense* du Mauna Kea. Beaucoup d'espèces de ce type sont endémiques sur des aires très réduites. Cette photo représente deux stades du développement de cette plante.

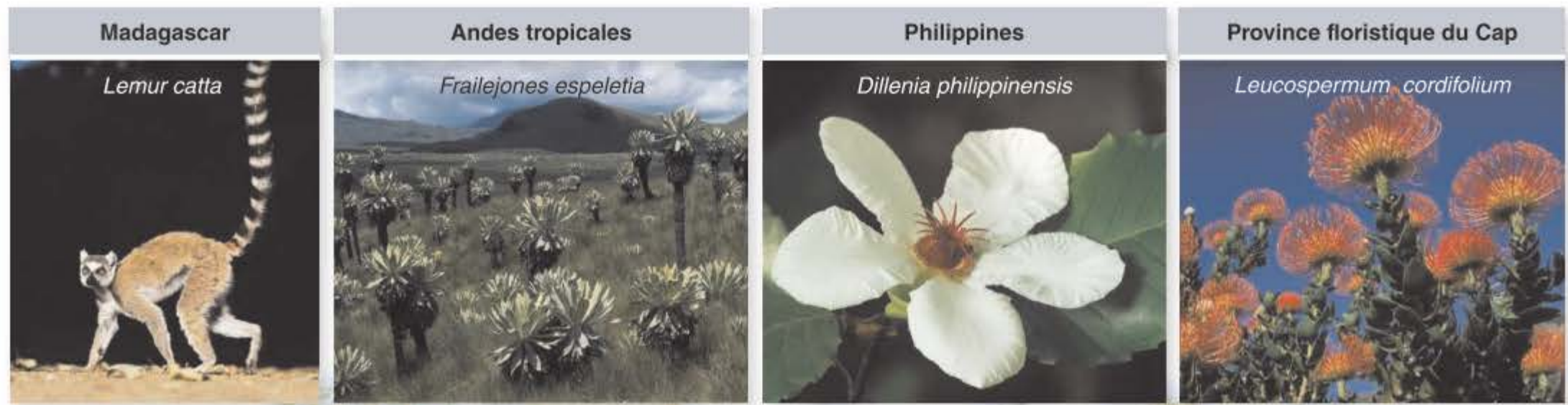


Figure 59.3 Points chauds avec un endémisme important. Ces régions sont riches en espèces endémiques menacées d'extinction imminente.

Madagascar, diverses forêts pluviales tropicales, l'est de l'Himalaya, les régions à climat méditerranéen, comme la Californie, l'Afrique du Sud et l'Australie, et plusieurs autres (figure 59.3 et tableau 59.2). Au total, on a identifié environ 25 de ces points chauds ; ensemble, ils hébergent près de la moitié des espèces terrestres.

La raison pour laquelle ces régions renferment autant d'espèces endémiques est un objet de recherche scientifique active. Certains de ces points chauds se situent dans des zones de grande diversité spécifique ; les explications proposées pour la grande diversité spécifique en général, comme la forte productivité, s'appliquent probablement à ces points chauds (voir chapitre 57). En outre, certains d'entre eux se trouvent dans des îles isolées, comme la Nouvelle-Zélande, la Nouvelle-Calédonie et les Îles Hawaii, où la diversification évolutive pendant de longues périodes de temps a produit de riches communautés biologiques composées d'espèces végétales et animales que l'on ne trouve nulle part ailleurs dans le monde.

Croissance de la population humaine dans les points chauds de biodiversité

En raison du grand nombre d'espèces endémiques dans les points chauds, la conservation de leur diversité biologique doit être un élément important des efforts faits pour sauvegarder l'héritage biologique du globe. Ou, pour le considérer d'une autre façon, en

protégeant seulement 1,4 % de la surface terrestre du globe, on peut préserver 44 % des plantes vasculaires du monde et 35 % de ses vertébrés terrestres.

Malheureusement, les points chauds ne renferment pas seulement beaucoup d'espèces endémiques, mais aussi des populations humaines en croissance. En 1995, ces régions abritaient 1,1 milliard d'individus – 20 % de la population mondiale – parfois à forte densité (figure 59.4a). Plus important encore, les populations humaines augmentent dans tous ces points chauds, à une exception près, en raison d'une natalité et d'une immigration importantes ; globalement, le taux de croissance dépasse la moyenne générale dans 23 points chauds (figure 59.4b). Dans certains de ces derniers, le taux de croissance est près du double de celui du reste du monde.

Il n'est pas étonnant que beaucoup de ces régions subissent des destructions massives des habitats par déboisement pour l'agriculture, l'urbanisation et le développement économique. Plus de 70 % de la surface originelle des points chauds a déjà disparu et, dans 14 d'entre eux, il ne reste au maximum que 15 % de l'habitat originel. À Madagascar, on estime que 90 % de la forêt d'origine ont déjà été perdus – et ceci dans une île où 85 % des espèces n'existent nulle part ailleurs dans le monde. Dans les forêts de la côte atlantique du Brésil, l'étendue du déboisement est encore plus grande : 95 % de la forêt originelle ont disparu.

TABLEAU 59.2
Nombre d'espèces endémiques dans certains points chauds

Région	Mammifères	Reptiles	Amphibiens	Plantes
Forêt de la côte atlantique (Brésil)	160	60	253	6,000
Chocó d'Amérique du Sud	60	63	210	2,250
Philippines	115	159	65	5,832
Andes tropicales	68	218	604	20,000
Australie du sud-ouest	7	50	24	4,331
Madagascar	84	301	187	9,704
Région du Cap (Afrique du Sud)	9	19	19	5,682
Province floristique de Californie	30	16	17	2,125
Nouvelle-Calédonie	6	56	0	2,551
Chine du centre-sud	75	16	51	3,500

La pression des populations n'est pas la seule cause de la destruction des habitats dans les points chauds. Pour répondre à la demande des habitants plus riches du monde développé, l'exploitation commerciale joue aussi un rôle important. Par exemple, l'exploitation forestière à grande échelle des forêts pluviales tropicales à travers le monde est destinée à fournir du bois

d'œuvre qui arrive finalement surtout aux États-Unis, en Europe et au Japon. De même, beaucoup de forêts d'Amérique Centrale et du Sud sont déboisées pour faire place aux élevages qui produisent de la viande bon marché pour la restauration rapide. Dans les pays plus riches, les points chauds sont souvent menacés parce qu'ils se situent dans des régions où les

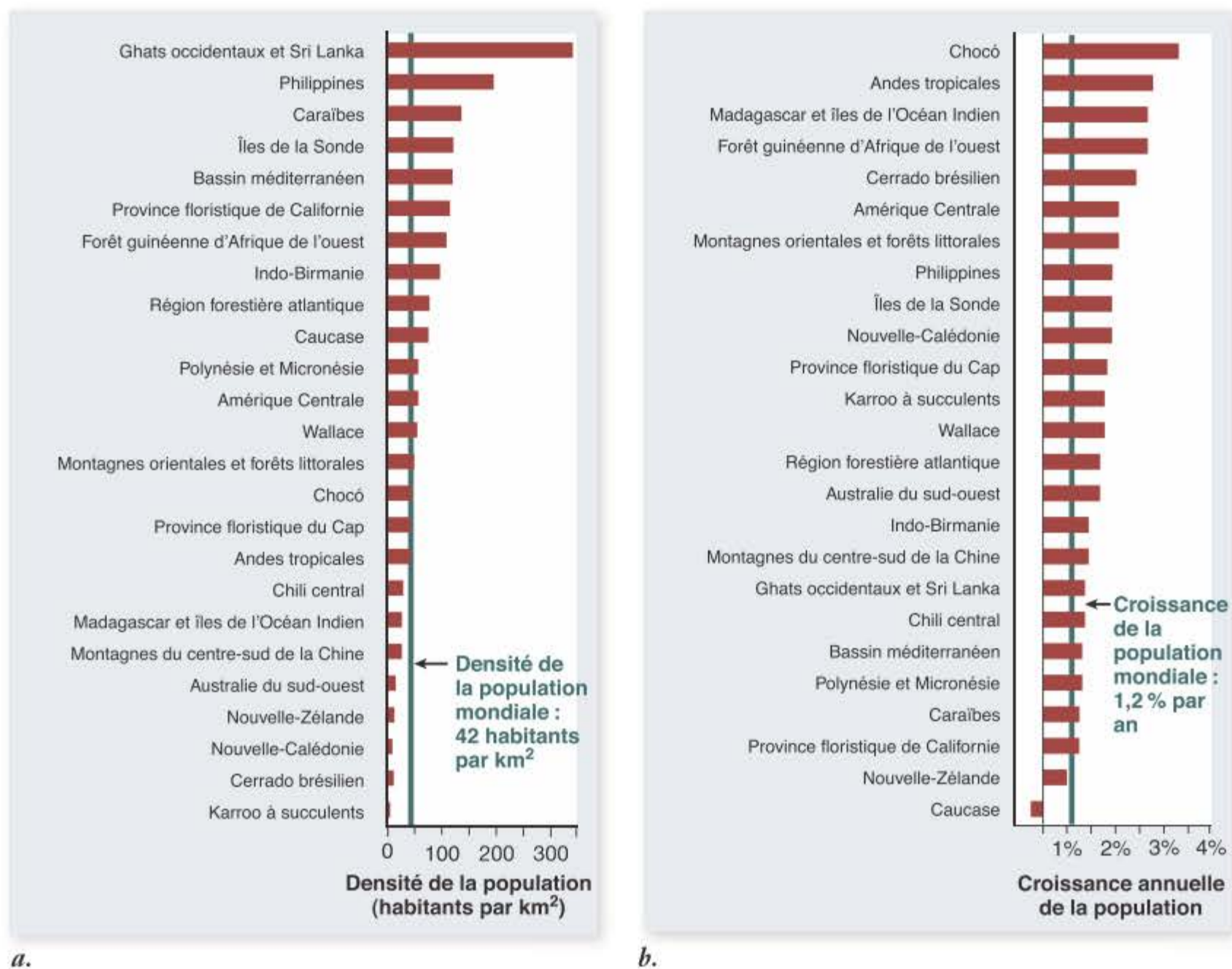


Figure 59.4 Populations humaines dans les points chauds. *a.* Densité de la population humaine et *(b)* taux de croissance des populations dans les points chauds.

Question Pourquoi la densité de la population et les taux de croissance sont-ils différents dans les divers points chauds ?

Analyse de données Si nous supposons que la densité des populations est un bon indicateur d'un risque pour l'environnement, quels sont les points chauds qui ne sont pas particulièrement en mauvaise position, mais pourraient poser problème dans l'avenir en raison de l'augmentation rapide actuelle de leur population ?

terrains ont une grande valeur pour le lotissement et les besoins commerciaux, comme la Floride et la Californie aux États-Unis.

Synthèse 59.1

Les pertes les plus récentes de la biodiversité sont dues aux activités humaines, aux époques préhistorique et historique. Les espèces endémiques n'existent que dans une seule région du globe ; les points chauds sont des régions abritant de nombreuses espèces endémiques ; ils sont particulièrement menacés par l'occupation humaine et leur préservation est critique.

- Pourquoi exploite-t-on autant les ressources dans les régions qui sont des points chauds de biodiversité ?



a.

b.

Figure 59.5 Plantes importantes en pharmacie.

a. Deux médicaments extraits de la pervenche de Madagascar (*Catharanthus roseus*), la vinblastine et la vincristine, sont efficaces pour le traitement de formes communes de leucémie infantile, faisant passer les chances de survie de 20 % à plus de 95 %. b. Des médicaments anticancéreux, comme le taxol, ont été mis au point à partir de l'écorce de l'if du Pacifique (*Taxus brevifolia*).

Environ 70 % de la population du globe dépend directement de l'utilisation de plantes sauvages comme source de médicaments. En outre, environ 40 % des médicaments, prescrits ou non, utilisés actuellement, contiennent des ingrédients extraits de plantes ou d'animaux. L'aspirine, le médicament le plus utilisé au monde, a d'abord été extraite des feuilles du saule blanc, *Salix alba*. La pervenche rose de Madagascar, *Catharanthus roseus*, est à l'origine de médicaments puissants contre la leucémie infantile (figure 59.5) et des médicaments efficaces dans le traitement de plusieurs formes de cancer et d'autres maladies ont été produits à partir de l'if du Pacifique. Au total, 62 % des médicaments anticancéreux ont été développés à partir de produits dérivés de plantes et d'animaux.

Ce n'est que récemment que les biologistes ont perfectionné les techniques permettant le transfert de gènes entre les espèces. Nous commençons seulement à utiliser à notre profit des gènes provenant d'autres espèces (voir chapitre 17). La « prospection génétique » des génomes des plantes et des animaux pour la recherche de gènes utiles ne fait que débiter. Nous n'avons pu analyser qu'une minuscule proportion des organismes du globe pour voir si certains de leurs gènes ont des propriétés utiles pour l'humanité.

En conservant la biodiversité, nous prenons une option sur la découverte de bénéfices utiles dans l'avenir. Malheureusement, parmi les espèces les plus prometteuses, beaucoup se trouvent dans des habitats qui disparaissent à une vitesse alarmante, comme les forêts pluviales tropicales.

La valeur économique indirecte repose sur les services écosystémiques

Des communautés biologiques diversifiées ont une importance vitale pour la santé des écosystèmes. Elles participent au maintien de la qualité chimique de l'eau naturelle, tamponnent les écosystèmes contre les

59.2 Valeur de la biodiversité

Objectifs

1. Montrer la différence entre valeur économique directe et indirecte de la biodiversité.
2. Expliquer ce que signifie la valeur esthétique de la biodiversité.

Qu'y a-t-il de mal à perdre la biodiversité ? C'est que la biodiversité a de la valeur pour nous à plusieurs points de vue :

- la valeur économique directe des produits que nous obtenons des espèces de plantes, d'animaux et d'autres groupes,
- la valeur économique indirecte des avantages obtenus de ces espèces sans que nous les consommions,
- leur valeur éthique et esthétique.

La valeur économique directe de la biodiversité comprend des ressources pour notre survie

Beaucoup d'espèces ont une valeur directe comme sources de nourriture, de médicaments, de vêtements, de biomasse (pour l'énergie et d'autres objectifs) et d'abris. La plupart des plantes alimentaires cultivées dans le monde, par exemple, dérivent d'un petit nombre d'espèces sauvages domestiquées à l'origine dans des régions tropicales et semi-arides. La diversité génétique de beaucoup de nos plantes cultivées importantes est donc relativement limitée (correspondant à l'effet fondateur développé au chapitre 20), alors que leurs parents sauvages sont très diversifiés.

Dans l'avenir, la diversité génétique des souches sauvages de ces espèces peut devenir nécessaire si nous devons améliorer la production ou trouver un moyen de sélectionner la résistance à de nouvelles maladies. De fait, les récentes expériences de sélection agronomique ont illustré l'importance de conserver les parents sauvages des plantes cultivées communes. Par exemple, en croisant les variétés commerciales de tomates avec une espèce de tomate sauvage de petite taille à coloration bizarre provenant des montagnes du Pérou, les scientifiques ont été capables d'augmenter la production de 50 %, tout en améliorant la valeur nutritive et la couleur.

tempêtes et la sécheresse, protègent les sols et empêchent la perte des substances minérales et nutritives, modèrent le climat local et régional, absorbent la pollution et interviennent dans la dégradation des déchets organiques et le recyclage des minéraux.

Au chapitre 57, nous avons montré que la stabilité et la productivité des écosystèmes dépendent de leur richesse spécifique. En détruisant la biodiversité, nous créons des conditions d'instabilité, nous réduisons la productivité et nous favorisons la désertification, les inondations, la minéralisation et bien d'autres conséquences indésirables à travers le monde.

Valeur des habitats intacts

Des économistes ont récemment pu comparer la valeur sociale, en termes monétaires, des habitats intacts à ce que rapporte leur destruction. Beaucoup d'études ont montré que les écosystèmes intacts ont plus de valeur que les produits provenant de leur destruction. Par exemple, en Thaïlande, les mangroves sont fréquemment déboisées pour installer des élevages de crevettes. La valeur des crevettes produites est nettement inférieure à celle du bois de construction, du charbon de bois, de la pêche en mer et de la protection contre les ouragans des mangroves (figure 59.6a).

De même, la forêt pluviale tropicale du Cameroun, en Afrique de l'Ouest, fournit des fruits et d'autres matériaux forestiers. Le déboisement au profit de l'agriculture ou des plantations de palmier à huile entraîne l'érosion par les rivières polluées ainsi qu'une augmentation des inondations. En combinant les coûts et bénéfices des trois options, le maintien des forêts intacts a la valeur économique la plus élevée (figure 59.6b).

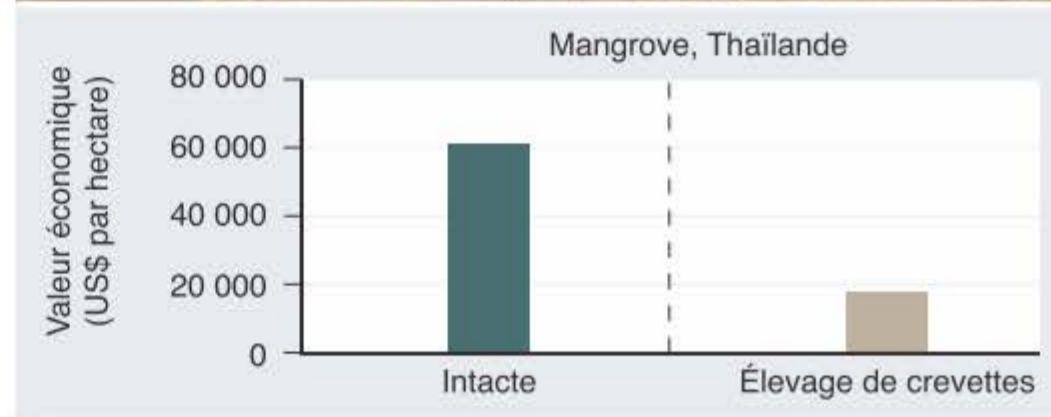
Un cas d'école : les bassins hydrographiques captages d'eau de la ville de New York

Les bassins hydrographiques de la ville de New York représentent l'exemple le plus célèbre de la valeur des écosystèmes intacts. Quarante-vingt dix pour-cent des eaux destinées aux neuf millions d'habitants de la région de New York proviennent des Catskill Mountains et des sources du Delaware voisines (figure 59.7). L'eau qui s'écoule d'une région montagneuse rurale de plus de 4000 km² est collectée dans des réservoirs, puis transportée par aqueduc vers New York, à plus de 130 km à raison de 4,9 milliards de litres par jour.

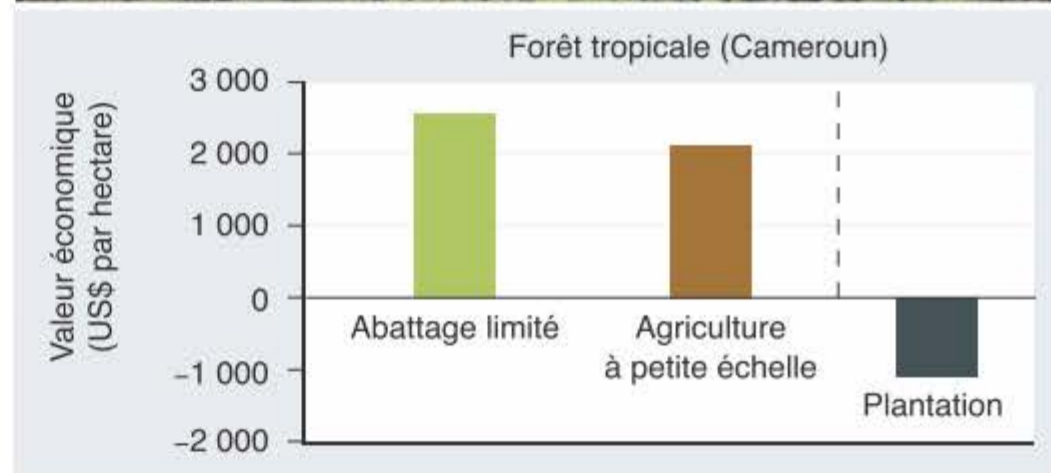
Dans les années 1990, la ville de New York a été confrontée à un dilemme. Les nouvelles réglementations fédérales sur l'eau exigeaient une eau toujours plus pure, alors que le développement et la pollution dans la zone des sources mettaient en danger la qualité de l'eau. La ville avait le choix entre deux possibilités : soit protéger l'écosystème pour produire une eau pure, soit construire des usines de filtration à l'arrivée. Le choix fut évident après une analyse économique : la construction des usines aurait coûté 6 milliards de dollars, avec des frais de fonctionnement annuels de 300 millions de dollars, alors qu'une dépense d'un milliard de dollars pendant dix ans pouvait préserver l'écosystème et conserver la pureté de l'eau. La décision était facile.

Arbitrages économiques

Ces exemples donnent une idée de la valeur des services rendus par les écosystèmes. La conservation des écosystèmes n'a cependant pas toujours plus de valeur que leur transformation au profit d'autres usages. À l'époque de l'établissement des États-Unis, les terres étaient abondantes et la transformation des écosystèmes était certainement bénéficiaire.



a.



b.

Figure 59.6 Valeur économique de la conservation des habitats. *a.* Les mangroves de Thaïlande ont plus de valeur que les élevages de crevettes. *b.* les forêts pluviales camerounaises procurent des revenus supérieurs, si elles sont conservées, que si elles étaient détruites pour utiliser le terrain à d'autres fins.

Analyse de données Si les élevages de crevettes établis sur d'anciennes mangroves sont une source de revenu, comment est-il possible que la destruction des mangroves ne soit pas économiquement avantageuse ?

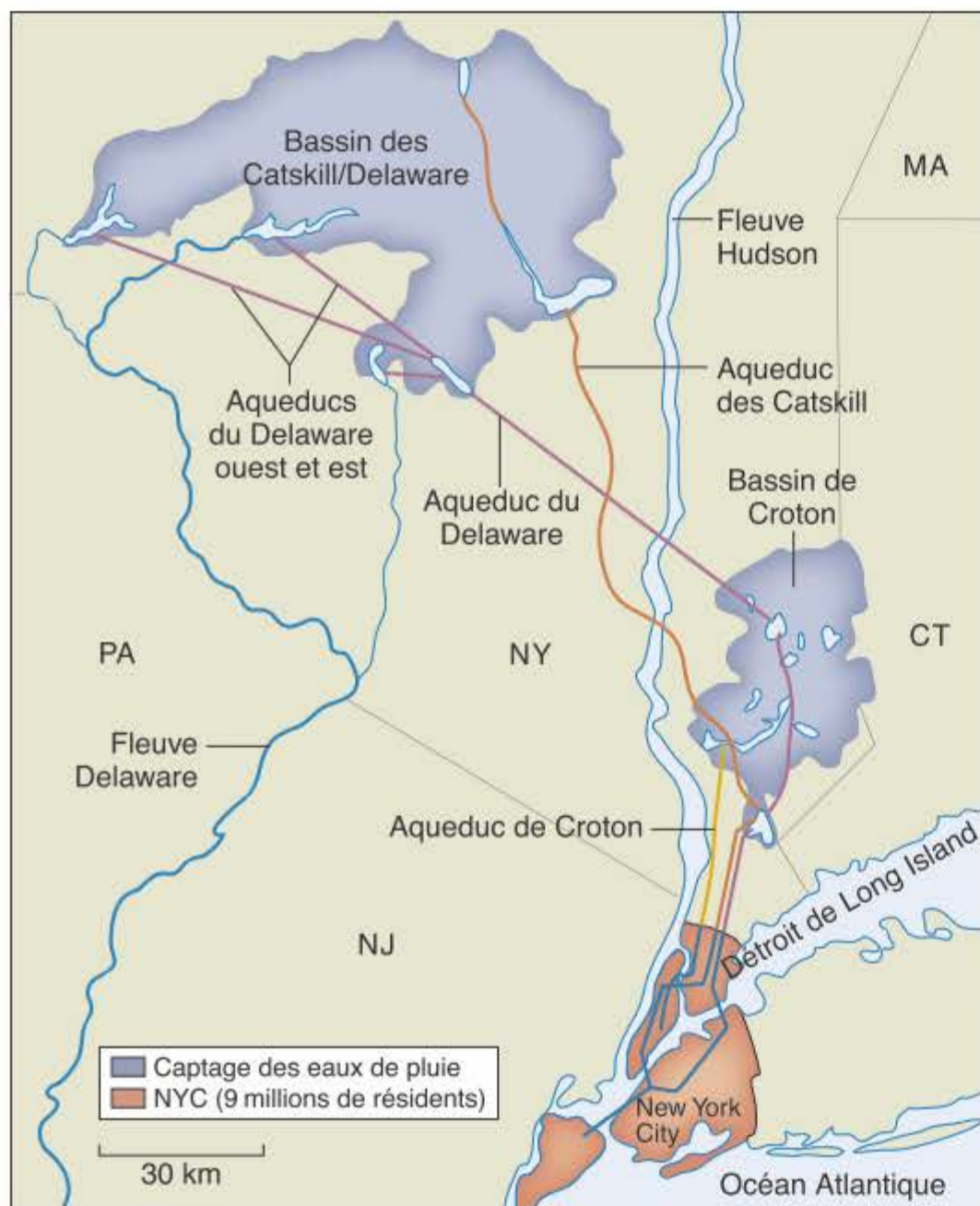


Figure 59.7 Sources de l'eau de New York. New York reçoit son eau de bassins hydrographiques éloignés. La préservation de l'intégrité écologique de ces zones est moins coûteuse que la construction de nouvelles usines de traitement de l'eau.

Même aujourd'hui, la destruction des habitats peut parfois être économiquement souhaitable. Néanmoins, nous ne connaissons encore que de façon très partielle tous les services que peuvent rendre les écosystèmes intacts. Souvent, ce n'est qu'après leur disparition que leur valeur apparaît, quand deviennent visibles des conséquences négatives inattendues, comme une augmentation des inondations et de la pollution, une diminution de la pluviosité ou la vulnérabilité aux ouragans.

On peut utiliser le même argument pour préserver des espèces particulières dans les écosystèmes. Étant donné le peu que nous connaissons de la biologie de la plupart des espèces, particulièrement dans les régions tropicales, il est impossible de prévoir toutes les conséquences de la perte d'une espèce.

Imaginez prendre une liste des pièces d'un avion et modifier un chiffre dans le numéro d'une des pièces : vous pourriez remplacer un coussin de siège par un rouleau de papier de toilette – mais vous pourriez tout aussi bien remplacer un écrou essentiel dans une aile par un crayon. En réduisant la biodiversité, nous jouons avec l'avenir des écosystèmes dont nous avons besoin et dont nous comprenons très mal le fonctionnement.

Ces dernières années, le domaine de l'économie écologique s'est étendu à la manière d'évaluer plus adéquatement les bénéfices procurés à la société par les espèces et les écosystèmes. Il y a deux problèmes. Jusqu'il y a peu, nous ne disposions pas d'une bonne estimation de la valeur pécuniaire des services assurés par les écosystèmes et, comme nous venons de le voir, la situation est en train de changer.

Le second problème cependant, est que, bien souvent, ceux qui profitent de la dégradation de l'environnement ne sont pas ceux qui en

payent le prix. Par exemple, dans les mangroves de Thaïlande, les éleveurs de crevettes recueillent les profits, mais les habitants de la région en supportent les coûts. C'est aussi le cas des usines qui polluent l'air ou l'eau. Les économistes de l'environnement cherchent comment évaluer et réguler correctement l'utilisation de l'environnement de manière à maximiser les bénéfices par rapport aux coûts pour l'ensemble de la société.

La valeur éthique et esthétique se base sur notre conscience et notre jugement

Beaucoup pensent que la conservation de la biodiversité est une question éthique parce que toutes les espèces ont une valeur de plein droit, même si l'homme n'est pas capable de les exploiter et d'en tirer profit. Ils se rendent compte que le pouvoir d'exploiter et de détruire d'autres espèces entraîne une responsabilité : étant les seuls organismes capables d'éliminer un grand nombre d'espèces et des écosystèmes entiers, étant aussi les seuls capables de se rendre compte de ce qu'ils font, les hommes devraient être les gardiens de la diversité de la vie qui nous entoure.

Presque personne ne peut nier la valeur esthétique de la biodiversité – une belle fleur ou un noble éléphant – mais comment estimer la valeur de la beauté ou du sentiment que beaucoup d'entre nous éprouvent dans un environnement naturel ? Le mieux que nous puissions faire est peut-être d'apprécier le sens profond de la perte que nous éprouverions s'il n'existait plus.

Synthèse 59.2

Les ressources pour notre survie, comme les produits et les médicaments naturels qui améliorent notre vie et peuvent servir durablement, font partie de la valeur directe de la biodiversité. Dans sa valeur indirecte, on peut classer les avantages économiques liés aux écosystèmes en bon état, comme la disponibilité d'eau pure et de lieux de loisirs. La valeur esthétique de la biodiversité se réfère à notre sens de la beauté et de la paix devant un environnement naturel.

- *Quels arguments pourraient convaincre les éleveurs de crevettes de cesser leurs activités et de restaurer les surfaces qu'ils ont exploitées ?*

59.3 Facteurs responsables des extinctions

Objectifs

1. *Citer les principales causes de la destruction des habitats.*
2. *Expliquer comment les interactions entre ces causes peuvent entraîner des extinctions.*

Diverses causes, indépendamment ou conjointement, sont responsables des extinctions (tableau 59.3). Au cours de l'histoire, la surexploitation a été la cause principale d'extinction ; bien qu'elle intervienne encore, c'est aujourd'hui la disparition des habitats qui est le principal problème

TABLEAU 59.3 Causes d'extinction					
POURCENTAGE D'ESPÈCES INFLUENCÉES PAR UN FACTEUR DONNÉ*					
Groupe	Disparition d'habitat	Surexploitation	Introduction d'espèces	Autre	Inconnu
EXTINCTIONS					
Mammifères	19	23	20	2	36
Oiseaux	20	11	22	2	45
Reptiles	5	32	42	0	21
Poissons	35	4	30	4	48
MENACÉS D'EXTINCTION					
Mammifères	68	54	6	20	—
Oiseaux	58	30	28	2	—
Reptiles	53	63	17	9	—
Poissons	78	12	28	2	—

*Certaines espèces peuvent être influencées par plusieurs facteurs ; certaines lignes peuvent ainsi excéder 100 %.

pour la plupart des groupes, et les espèces introduites viennent en second lieu. Beaucoup d'autres facteurs peuvent aussi contribuer à l'extinction des espèces, comme des perturbations dans les interactions des écosystèmes, la pollution, la réduction de la diversité génétique et des perturbations catastrophiques naturelles ou dues à l'homme.

Plusieurs de ces facteurs peuvent affecter une espèce. En fait, une réaction en chaîne est possible, un facteur pouvant agir sur une espèce et la rendre plus sensible à un autre facteur. Par exemple, la destruction d'un habitat peut entraîner une réduction de la natalité et une augmentation de la mortalité. De ce fait, les populations se réduisent, se morcellent et deviennent ainsi plus vulnérables à des accidents comme les inondations ou les feux de forêts, susceptibles d'éliminer les populations. Quand l'habitat se morcele, les populations sont isolées, les échanges génétiques sont impossibles et les zones dévastées par un accident ne sont pas recolonisées. Avec la réduction des populations, la consanguinité augmente, la diversité génétique se perd par dérive génétique, diminuant encore l'adaptabilité des populations. Le facteur responsable du coup de grâce final peut être sans importance ; de nombreux facteurs, et leurs interactions, ont pu contribuer à l'extinction finale d'une espèce.

Le déclin des amphibiens : un cas d'école

En 1963, l'herpétologue Jay Savage traversait la forêt primaire des nuages du Costa Rica. Arrivant à une crête fouettée par le vent, il ne pouvait croire ses yeux. Devant lui se trouvait une masse de crapauds en cours de reproduction. Le plus étonnant était leur coloration : d'un orange vif aveuglant ne ressemblant à rien de ce qu'il avait vu auparavant (figure 59.8).

La couleur des crapauds était si étonnante et inattendue que Savage pensa d'abord qu'un collègue lui avait joué un tour, était arrivé avant lui à la clairière et avait colorié en orange des crapauds normaux. Constatant que ce n'était pas le cas, il se mit à étudier ces crapauds et décrivit finalement une espèce nouvelle pour la science, le crapaud doré, *Bufo periglenes*.

Pendant les 24 années suivantes, on a observé un grand nombre de crapauds au cours de la saison de reproduction, chaque printemps. Leur habitat a été reconnu par la loi comme la réserve de la forêt des

nuages de Monteverde, un écosystème bien protégé, intact et fonctionnel, en apparence un modèle réussi de conservation. Puis, en 1988, on n'a plus vu que quelques crapauds et, en 1989, on n'a observé qu'un seul mâle. Depuis lors, en dépit de gros efforts, on n'a plus trouvé de crapauds dorés.

Bien que vivant dans un écosystème bien protégé, sans risque apparent de pollution, d'introduction d'espèces, de surexploitation ou de tout autre facteur, l'espèce paraît éteinte, sous les yeux de scientifiques et d'écologistes attentifs. Comment cela s'est-il passé ?

Les grenouilles ont des problèmes

Au premier congrès international d'herpétologie à Canterbury, en 1989, les spécialistes des grenouilles venant du monde entier se sont réunis pour discuter des problèmes de conservation concernant les grenouilles et les crapauds. À cette réunion, il apparut clairement que l'histoire du crapaud doré n'était pas unique. Les spécialistes firent état d'autres cas semblables : des populations de grenouilles autrefois abondantes étaient en diminution ou avaient totalement disparu.



Figure 59.8 Une espèce disparue. Un crapaud doré, *Bufo periglenes*, observé pour la dernière fois en nature, en 1989.

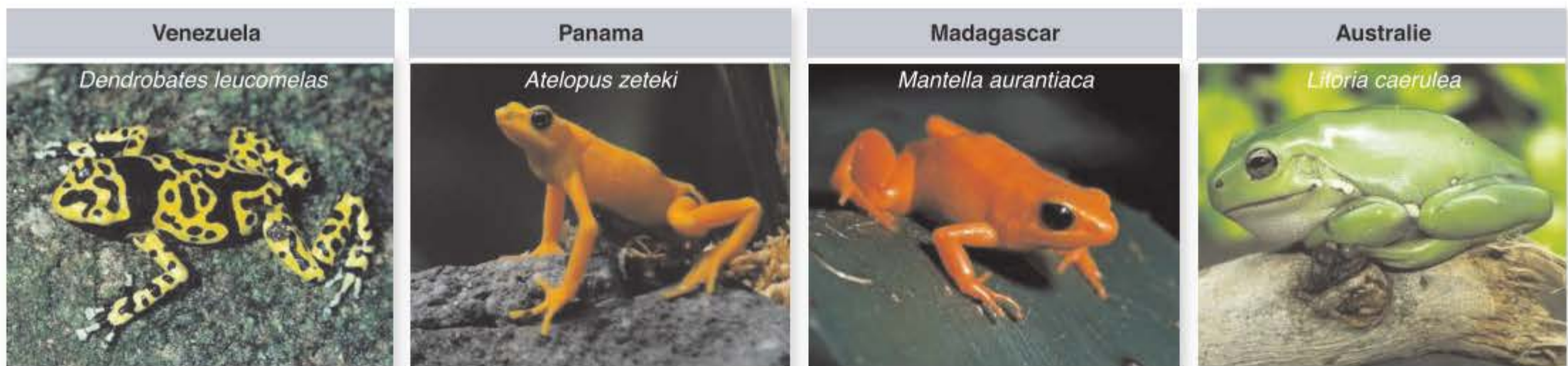
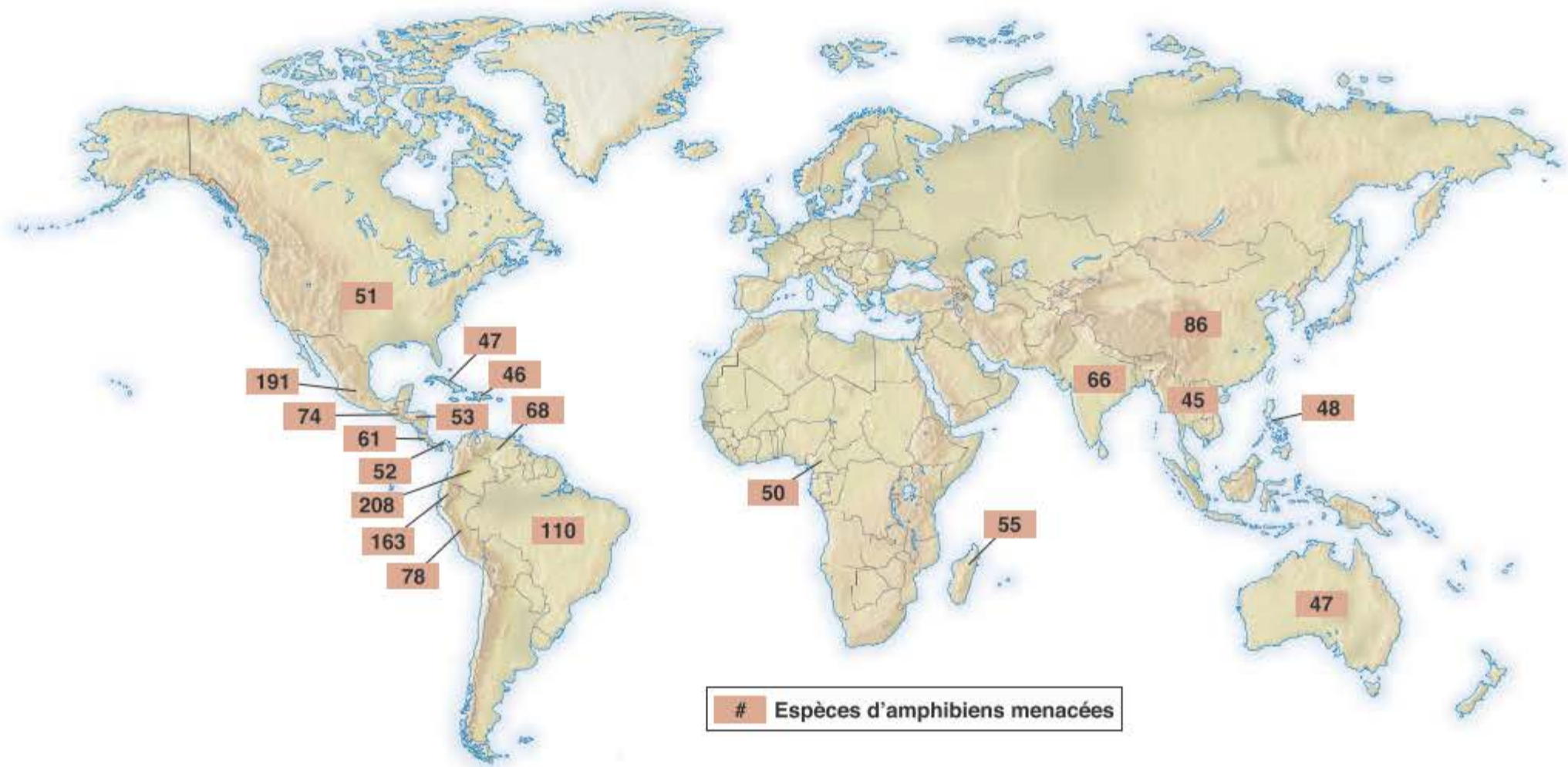


Figure 59.9 La crise d'extinction des amphibiens. Les rectangles indiquent le nombre d'espèces menacées dans le monde. Ces nombres sont rapidement revus à la hausse à mesure que les scientifiques s'intéressent à des espèces peu connues, dont beaucoup sont gravement menacées.

Depuis lors, les scientifiques ont passé beaucoup de temps pour savoir si les grenouilles et les autres espèces d'amphibiens avaient vraiment des problèmes et pourquoi. Malheureusement, la situation semble encore pire qu'on ne l'avait pensé à l'origine. Des spécialistes ont récemment signalé que la taille des populations de 43 % de toutes les espèces d'amphibiens avait décliné et qu'un tiers de toutes les espèces étaient menacées d'extinction dans des pays aussi différents que l'Équateur, le Venezuela, l'Australie et les États-Unis (figure 59.9).

En outre, ces nombres sont probablement sous-estimés ; on a peu d'informations sur de nombreuses régions du monde, comme l'Asie du Sud-Est et l'Afrique Centrale. En fait, les chercheurs pensent qu'une centaine d'espèces d'une nation insulaire, le Sri Lanka, avaient récemment disparu, ce qui n'est peut-être pas étonnant étant donné que 95 % des forêts pluviales de ce pays ont aussi disparu récemment.

Origine du problème

Le déclin des amphibiens est inquiétant pour plusieurs raisons. La première, c'est que beaucoup d'espèces, comme le crapaud doré, ont décliné dans des habitats primaires bien protégés. Si les espèces disparaissent dans ces régions, c'est de mauvais augure pour notre capacité à préserver la diversité biologique globale.

En second lieu, beaucoup d'espèces d'amphibiens sont particulièrement sensibles à l'état de l'environnement parce que leur peau humide laisse facilement pénétrer dans l'organisme les substances chimiques du milieu, et parce que les stades larvaires sont aquatiques et exigent de l'eau non polluée (voir section 35.6). En d'autres termes, on peut comparer les amphibiens aux canaris, autrefois utilisés dans les mines de charbon pour détecter des problèmes de qualité de l'air : si les canaris mouraient, les mineurs savaient qu'il fallait s'en aller.

En troisième lieu, on ne voit pas une raison unique au déclin des amphibiens. Si une seule cause était en jeu, on pourrait penser qu'un effort coordonné global pourrait inverser la tendance, comme ce fut le cas avec les chlorofluorocarbures et la diminution du taux d'ozone (voir chapitre 58). Mais les différentes espèces souffrent de problèmes différents, comme la destruction des habitats, les modifications du milieu dues au réchauffement global, la pollution, la diminution de l'ozone stratosphérique, les épidémies de parasites et les espèces introduites.

On peut en déduire que le milieu global se détériore de différentes façons. Les amphibiens pourraient-ils servir de « canaris » au niveau du globe, indiquant que l'environnement mondial rencontre de sérieux problèmes ?

La perte des habitats anéantit la richesse spécifique

Comme le montre le tableau 59.3, la perte des habitats est la cause la plus importante des extinctions actuelles. En raison des terribles destructions qui sévissent sur tous les types d'habitats, depuis la forêt pluviale jusqu'au fond de l'océan, ce n'est pas une surprise. Les habitats naturels peuvent être affectés négativement par l'homme de quatre façons différentes :

1. destruction,
2. pollution,
3. perturbation et
4. morcellement.

En plus de ces causes, le changement climatique global dont il a été question au chapitre 58 est une menace insidieuse qui combine beaucoup de ces facteurs. Quand le climat change, les habitats se modifient – ou disparaissent totalement, comme c'est le cas pour l'ours polaire (*Ursus maritimus*), qui a besoin de la banquise sur laquelle il chasse les phoques. Certains travaux estiment que 30 % de toutes les espèces peuvent être mises en péril par le réchauffement global.

Destruction des habitats

Une partie de l'habitat dont dispose une espèce particulière peut simplement être détruite. Cela arrive souvent lors des coupes à blanc pour le bois de construction, des incendies de forêt pour l'installation de pâturages et du développement urbain et industriel. La déforestation a été et reste encore de loin la principale forme de dégradation de l'habitat (figure 59.10). Beaucoup de forêts tropicales sont abattues ou brûlées à raison d'au moins 1 % par an.

Pour estimer les conséquences de la réduction de l'habitat dont dispose une espèce, les biologistes se basent sur une constatation bien établie : plus les surfaces sont importantes, plus elles nourrissent d'espèces (figure 57.22). Bien que cette relation varie selon les aires géographiques, le type d'organisme et la région, une multiplication par dix de la surface entraîne en général deux fois plus d'espèces. Cette relation suggère qu'à l'inverse, si la surface d'un habitat est réduite de 90 %, et qu'il n'en reste que 10 %, la moitié de toutes les espèces sera perdue. Les arguments en faveur de cette théorie découlent d'une étude des taux d'extinction des oiseaux dans des habitats insulaires (c'est-à-dire des îles d'un habitat particulier entourés d'un habitat qui ne convient pas) en Finlande, où l'on a constaté que le taux d'extinction était inversement proportionnel à la surface de l'île (figure 59.11).

Pollution

L'habitat peut être dégradé par la pollution au point que la survie de certaines espèces n'est plus possible. La dégradation peut provenir de nombreuses formes de pollution, des pluies acides aux pesticides. Les milieux aquatiques sont particulièrement vulnérables ; par exemple, beaucoup de lacs du nord de l'Europe et de l'Amérique ont été pratiquement stérilisés par les pluies acides (voir chapitre 58).

Perturbation

Les activités humaines peuvent perturber suffisamment un habitat et le rendre intenable pour certaines espèces. Par exemple, les visiteurs des grottes d'Alabama et du Tennessee ont provoqué une diminution significative des populations de chauves-souris sur une période de huit ans, allant parfois jusqu'à 100 %. Quand le nombre de visites a été inférieur

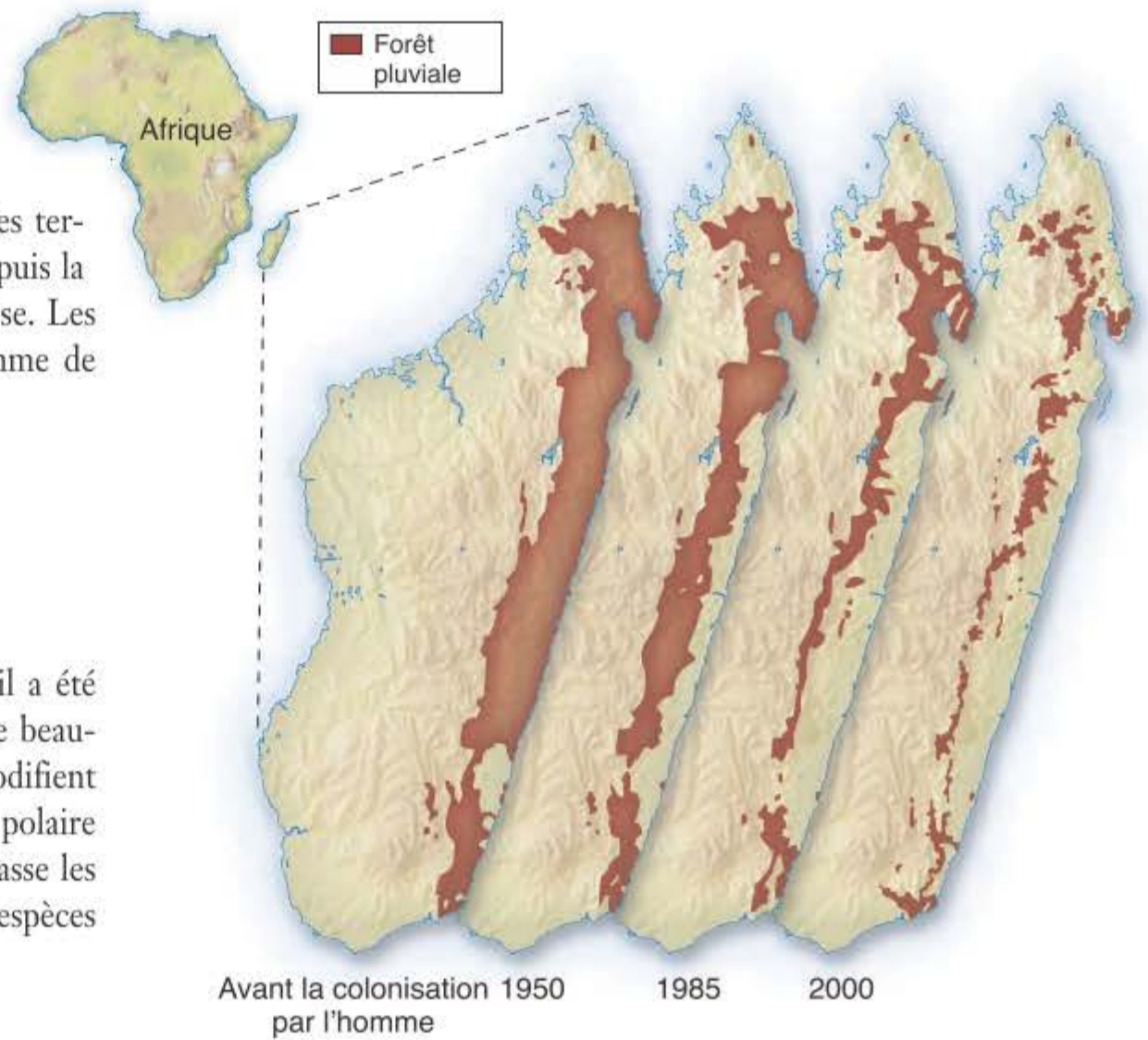


Figure 59.10 Extinction et destruction des habitats.

La forêt pluviale, recouvrant la côte orientale de Madagascar – une île au large de la côte orientale de l'Afrique –, a été progressivement détruite à la suite de la croissance de la population humaine dans l'île. Quarante-vingt dix pour cent de la couverture forestière originelle ont disparu. De nombreuses espèces se sont éteintes et beaucoup d'autres sont menacées, y compris 16 des 31 espèces de primates de Madagascar.

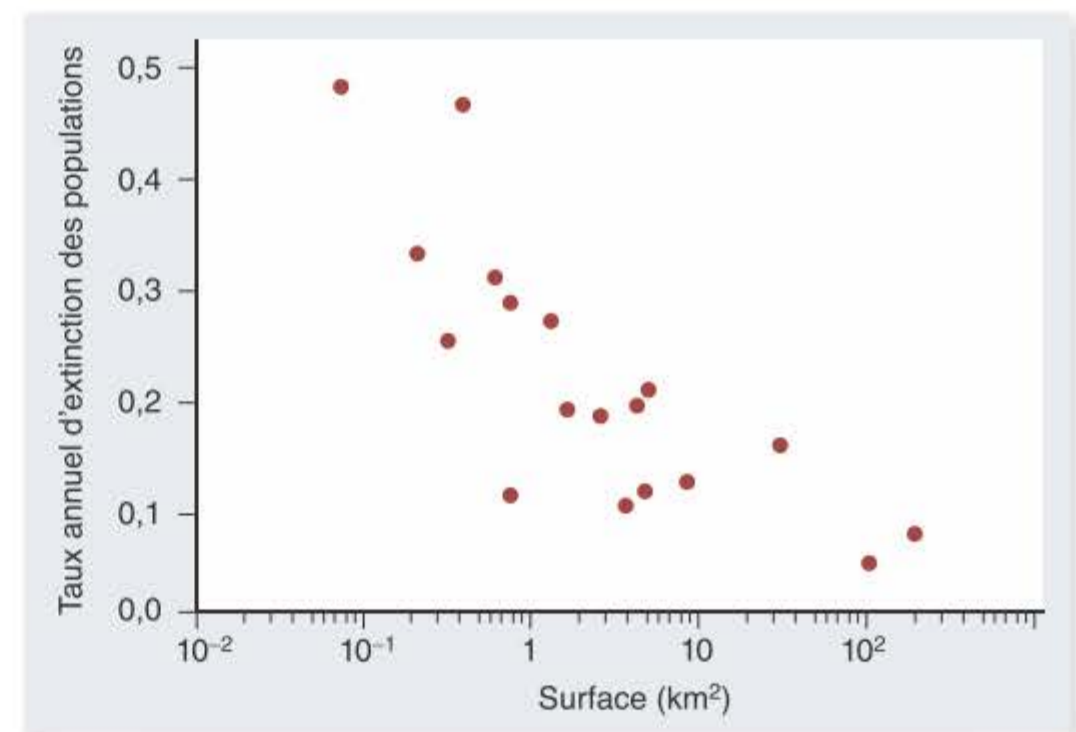
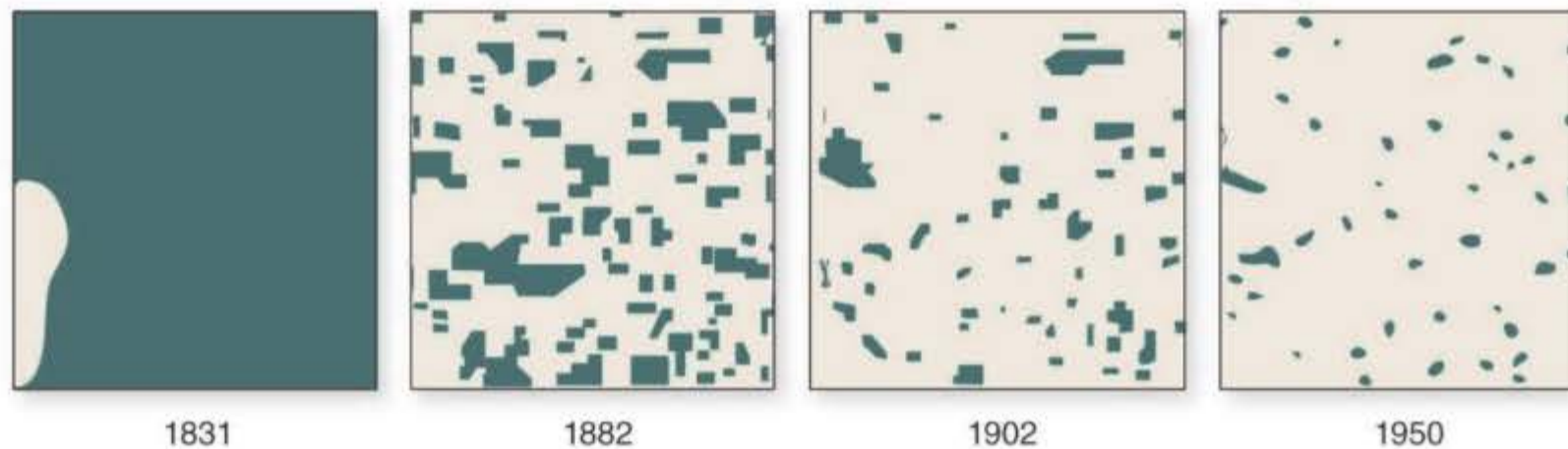


Figure 59.11 Extinction et surface des îles. Les valeurs représentent les taux d'extinction des oiseaux en fonction de la surface de l'habitat, sur une série d'îles finlandaises. Les taux d'extinction sont beaucoup plus élevés pour les petites îles.

Analyse de données Le taux d'extinction augmenterait-il si la surface diminuait de 90 %. Si c'est le cas, dans quelle mesure ?

Figure 59.12 Morcellement

d'un habitat boisé. À partir de la fondation de la ville de Cadix, dans le Wisconsin, la forêt, d'abord presque continue, s'est progressivement réduite à des parcelles boisées isolées couvrant moins de 1 % de la surface d'origine.



à une par mois, on a perdu moins de 20 % des chauves-souris, mais quand ce nombre a dépassé quatre visites par mois, les diminutions de la population allaient de 86 à 95 %.

Plus généralement, les humains modifient souvent les interactions entre les espèces, par exemple entre les prédateurs et les proies ou les symbioses, comme on l'a vu au chapitre 56. Ces perturbations peuvent avoir des conséquences lointaines dans un écosystème. Par exemple, quand les insectes pollinisateurs sont tués par les insecticides, beaucoup de plantes ne se reproduisent pas, ce qui affecte les animaux dont l'alimentation repose sur ces plantes et leurs graines.

Morcellement des habitats

La perte d'un habitat signifie souvent, pour une espèce, non seulement une réduction du nombre de populations, mais aussi un morcellement de la population en parcelles séparées (figure 59.12). L'habitat peut être morcelé de façon peu apparente, par exemple par l'intrusion de routes ou d'une habitation dans une forêt. La conséquence est un découpage de la population de l'habitat en une série de populations plus petites, avec souvent des conséquences désastreuses à cause de la relation existant entre la taille de l'aire et le taux d'extinction. Nous ne disposons pas de données précises, mais le morcellement de l'habitat de la faune sauvage dans les régions tempérées développées est probablement très important.

Quand les habitats sont morcelés et quand leur taille se réduit, la proportion relative de l'habitat occupant ses bords, sa lisière, augmente. Les **effets de lisière** peuvent réduire notablement les chances de survie d'une population. Les modifications du microclimat (température, vent, humidité) près de la lisière peuvent affecter l'habitat pour beaucoup d'espèces plus que ne le suggère son morcellement physique. Dans des fragments isolés de forêt pluviale, par exemple, les arbres de la

lisière sont exposés à la lumière solaire directe et, par conséquent, à des conditions plus chaudes et plus sèches que celles auxquelles ils sont habitués à l'intérieur de la forêt, plus frais et plus humide, avec des conséquences négatives pour leur survie et leur croissance. Dans une étude, la biomasse des arbres situés dans les 100 mètres de la lisière a diminué de 36 % pendant les 17 années qui ont suivi l'isolement des parcelles.

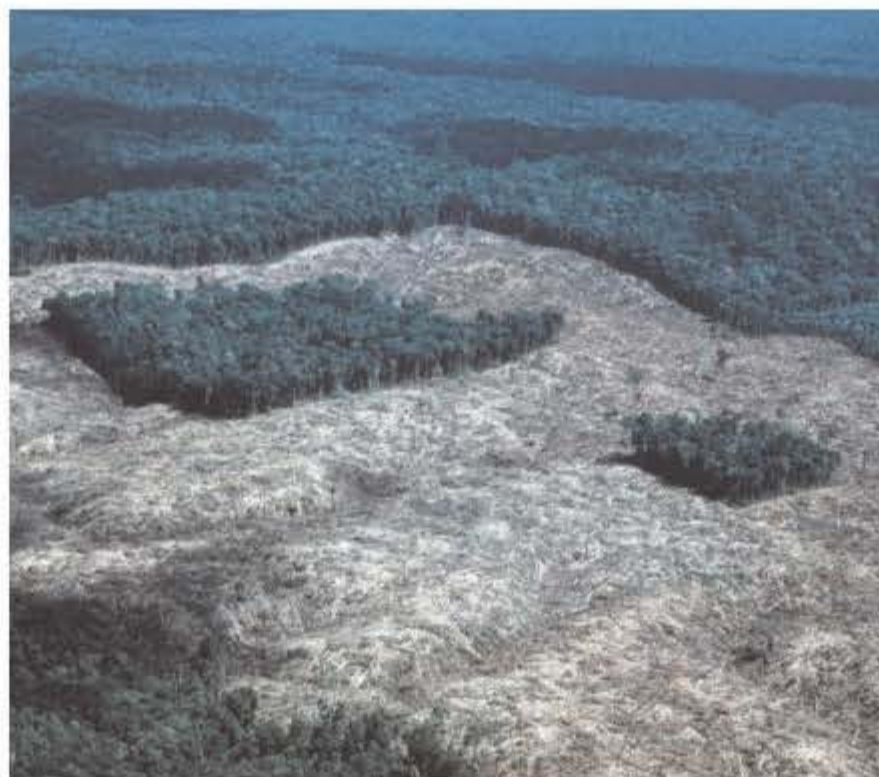
L'importance accrue des lisières facilite aussi l'accès à certaines espèces de parasites et de prédateurs, plus efficaces sur ces lisières. Quand la taille des parcelles diminue, la proportion de l'habitat éloignée des lisières est réduite et, par conséquent, une partie de plus en plus grande se trouve dans l'aire de ces espèces. On impute au morcellement de l'habitat l'extinction locale de beaucoup d'espèces.

L'impact du morcellement des habitats s'observe clairement dans un travail important réalisé à Manaus, au Brésil, où la forêt pluviale a été abattue à des fins commerciales. Les propriétaires terriens ont accepté de conserver des parcelles de forêt de tailles diverses et des recensements ont été réalisés sur ces parcelles au début de l'abattage, quand elles faisaient encore partie d'une forêt continue. Après l'abattage, des espèces ont commencé à disparaître des parcelles désormais isolées (figure 59.13). Les premiers à disparaître furent les singes, qui ont besoin de grands espaces. Les oiseaux se nourrissant d'insectes ont suivi et ont disparu des parcelles trop petites pour contenir un nombre de colonies de fourmis suffisant pour leur maintien. Comme on s'y attendait, on a trouvé une corrélation négative entre l'extinction et la taille des parcelles, mais même les plus grandes parcelles (100 hectares) ont perdu la moitié de leurs espèces d'oiseaux en moins de 15 ans.

Certaines espèces, comme les singes, ayant besoin de grandes parcelles, de vastes surfaces sont indispensables si nous voulons conserver une grande biodiversité. La leçon à retenir est que les programmes de

Figure 59.13 Étude du morcellement de l'habitat.

Les propriétaires terriens de Manaus, au Brésil, ont accepté de préserver des parcelles de forêt pluviale de différentes tailles pour étudier les conséquences de leurs étendues sur l'extinction des espèces. On a estimé la biodiversité de ces parcelles isolées avant et après l'abattage. Le morcellement a entraîné une perte significative d'espèces dans les parcelles. Les fourmis légionnaires ont été parmi les premières à disparaître des petites parcelles.



conservation doivent laisser des zones d'habitat suffisamment vastes pour éviter cet effet.

Étude de cas : le déclin des passereaux

Chaque année depuis 1966, l'U.S. Fish and Wildlife Service a organisé, avec des milliers d'ornithologues amateurs, un dénombrement annuel des oiseaux, le Breeding Bird Survey. Ces dernières années, une tendance frappante est apparue. Alors que le nombre et la distribution des oiseaux qui résident toute l'année et prospèrent à proximité des humains, comme les rouges-gorges, les étourneaux et les merles, avaient augmenté au cours des 50 dernières années, les passereaux des bois avaient gravement décliné. Ce déclin était surtout important pour les oiseaux migrateurs couvrant de grandes distances, comme les grives, les loriots, les cardinaux, les moqueurs, les viréos, les bruants et les fauvettes. Ces oiseaux nichent dans les forêts septentrionales en été, mais passent l'hiver en Amérique du Sud ou Centrale ou dans les Caraïbes.

Dans beaucoup de régions de l'est des États-Unis, plus des trois quarts des espèces d'oiseaux qui migrent en région tropicale ont significativement décliné. Le Rock Creek Park, à Washington, a par exemple perdu 90 % de ses migrateurs à longue distance au cours des 20 dernières années. Au niveau du pays, les parulines flamboyantes ont décliné d'environ 50 % en dix ans depuis les années 1970. L'étude des images radars des stations du service météorologique national du Texas et de la Louisiane montre qu'environ deux fois moins d'oiseaux traversent le Golfe du Mexique au printemps qu'en 1960. Cela suppose une perte totale de quelque cinq cents millions d'oiseaux.

Le responsable de ce déclin de grande ampleur paraît être le morcellement et la disparition des habitats. Le morcellement des lieux de reproduction et les difficultés de nidification dans les zones de reproduction des États-Unis et du Canada ont eu un impact négatif majeur sur la reproduction des passereaux forestiers. Parmi les espèces les plus menacées, beaucoup sont adaptées aux bois profonds et ont besoin de 10 hectares au moins par couple pour se reproduire et élever leurs jeunes. Avec le morcellement des surfaces boisées par les routes et le développement, il est devenu de plus en plus difficile pour eux de trouver une forêt continue suffisante pour nicher avec succès.

Un deuxième facteur, peut-être plus important, est la disponibilité d'un habitat hivernal essentiel en Amérique Centrale et du Sud. Les recherches sur la paruline flamboyante montrent clairement que les oiseaux qui disposent d'un meilleur habitat en hiver ont plus de chance de revenir à leur site de reproduction au printemps. Dans un travail récent, les scientifiques ont pu déterminer la qualité de l'habitat occupé par les oiseaux en examinant le taux de l'isotope stable du carbone, ^{13}C , dans leur sang. Les plantes poussant dans les meilleurs habitats d'hivernage de la Jamaïque et du Honduras (mangroves et forêts de zones humides) ont de faibles teneurs en ^{13}C , de même que les parulines flamboyantes se nourrissant des insectes qui y vivent. De ces oiseaux de forêts humides, 65 % ont au moins conservé leur poids pendant l'hiver.

Par contre, les plantes poussant dans les broussailles sèches de mauvaise qualité ont un taux élevé de ^{13}C , de même que les parulines flamboyantes qui y vivent. Les oiseaux vivant dans les broussailles ont perdu jusqu'à 11 % de leur masse corporelle pendant l'hiver. Voici maintenant la clé : les oiseaux hivernant dans les broussailles de mauvaise qualité entament plus tard au printemps leur voyage au long cours vers les sites de reproduction septentrionaux, ils arrivent plus tard à leurs nids d'été et ils ont moins de jeunes (figure 59.14).

Le taux de ^{13}C des oiseaux arrivant dans les sites de reproduction du New Hampshire augmente au cours du printemps à mesure

qu'arrivent les retardataires. La disparition des mangroves dans les régions néotropicales a donc un impact très négatif. Avec la disparition du meilleur habitat, les oiseaux hivernants se portent mal, ce qui entraîne le déclin des populations.

Malheureusement, les Caraïbes ont perdu environ 10 % de leurs mangroves dans les années 1980 et continuent à en perdre environ 1 % par an. Cette disparition d'un habitat essentiel paraît être la cause principale de l'extinction des passereaux.

La surexploitation anéantit rapidement les espèces

Au cours de l'histoire, les espèces qui ont été chassées ou récoltées par l'homme ont été soumises à des risques graves d'extinction, même si elles étaient très abondantes à l'origine. Il y a un siècle, le ciel de l'Amérique du Nord était obscurci par d'énormes bandes de tourtes voyageuses mais, après avoir été chassés comme source gratuite et appréciée de nourriture, ils ont été poussés à l'extinction. Les bisons, qui avaient coutume de migrer par troupeaux énormes à travers les plaines d'Amérique du Nord, n'ont échappé que de justesse au même sort.



Figure 59.14 Un passereau migrateur, la paruline flamboyante. Le nombre d'individus de cette espèce diminue fortement. Le graphique donne les valeurs du taux de ^{13}C dans les oiseaux arrivant sur les territoires de reproduction estivale. Les premiers arrivants, qui ont les meilleurs scores de reproduction, ont des taux de ^{13}C inférieurs, indiquant qu'ils ont hiverné dans des forêts de mangrove plus favorables.



Analyse de données En se basant sur le texte, quelle pourrait être la relation entre la date d'arrivée et le succès reproducteur ?

Motivation commerciale de l'exploitation

L'existence d'un marché conduit souvent à la surexploitation d'une espèce. Le commerce international des fourrures, par exemple, a gravement réduit le nombre de chinchillas, de vigognes, de loutres et de nombreuses espèces de félins. Le commerce des bois précieux est un autre exemple ; presque tous les acajous (*Swietenia mahagoni*) des Indes Occidentales ont été abattus et des grandes forêts de cèdres du Liban, jadis très étendues à haute altitude, il ne reste plus que quelques massifs isolés.

Un exemple particulièrement frappant de surexploitation est la pêche industrielle dans l'Atlantique Nord. Au cours des années 1980, les flottes de pêche ont poursuivi la collecte de grandes quantités de morues au large de Terre-Neuve, en dépit d'une diminution brutale des populations. En 1992, la population de morues était tombée à moins de 1 % de son niveau d'origine. Les gouvernements américain et canadien ont fermé la pêche mais, jusqu'à présent, les populations ne se sont pas rétablies. La population de thon rouge de l'Atlantique a subi 90 % de pertes au cours des dernières années. Le déclin de l'espadon a même été encore plus grave. Dans ces deux cas, la chute a entraîné une pêche encore plus intense des dernières populations.

Étude de cas : les baleines

Les , les plus grands animaux qui aient jamais existé, se sont aujourd'hui raréfiées dans les océans, leur nombre diminuant à cause de la chasse. Avant l'arrivée d'huiles bon marché de grande qualité dérivées du pétrole au début du vingtième siècle, l'huile provenant de la graisse de baleine était un produit commercial important sur les marchés mondiaux. En outre, la délicate structure (« baleine ») servant à la filtration du plancton de l'eau de mer était utilisée comme armature pour les sous-vêtements féminins. En raison de la grande taille de la baleine, un seul individu capturé avait une valeur commerciale notable.

Les baleines franches furent les premières à subir l'impact de la chasse. On les appelait les baleines « franches » parce qu'elles étaient lentes et faciles à capturer et qu'elles procuraient jusqu'à 25 000 litres d'huile et beaucoup de baleines de corset, ce qui en faisait une bonne baleine pour la chasse industrielle.

Après le déclin de la baleine franche au dix-huitième siècle, les chasseurs se sont tournés vers la baleine grise, la baleine boréale et la baleine à bosse. Quand leur nombre a diminué, ils sont passés à la plus grande de toutes, la baleine bleue et, quand celle-ci a été décimée, vers les rorquals et enfin les cachalots. Les nombres ont diminué brutalement chaque fois qu'une espèce de baleine faisait l'objet d'une chasse industrielle (figure 59.15).

La chasse aux baleines franches a été interdite en 1935. Elles étaient alors au bord de l'extinction et leur nombre représentait moins de 5 % de ce qu'il avait été. En dépit de cette protection, leur nombre ne s'est pas rétabli, ni dans l'Atlantique Nord, ni dans le Pacifique Nord. En 1946, plusieurs autres espèces de baleines étaient menacées d'une extinction imminente, et les pays participant à la chasse ont constitué la Commission Internationale pour les Baleines (International Whaling Commission, IWC) afin de réguler la chasse industrielle à la baleine. Comme un renard gardant un poulailler, l'IWC n'a pas fait grand-chose pour limiter la chasse pendant des décennies et le nombre de baleines a continué à décliner rapidement.

Finalement, en 1974, quand le nombre de toutes les baleines sauf celui de la petite baleine de Minke ont été très bas, la commission a interdit la chasse des baleines bleue, grise et à bosse et réduit celle des autres espèces. Cette règle a été si souvent violée qu'en 1986, la commission a instauré un moratoire mondial sur toute chasse industrielle des

baleines. Bien qu'une certaine chasse industrielle se poursuive, souvent sous le prétexte d'études scientifiques, la chasse aux baleines a fortement diminué au cours des 30 dernières années.

Certaines espèces paraissent se rétablir, d'autres pas. Le nombre de baleines à bosse a plus que doublé depuis le début des années 1960 et les baleines grises du Pacifique ont totalement recouvert leur nombre antérieur d'environ 20 000 individus après avoir été réduites à moins de 1000. La baleine franche, le cachalot, le rorqual et la baleine bleue ne se sont pas rétablis et nul ne sait s'ils le feront.

Les espèces introduites sont une menace pour les espèces et les habitats autochtones

La colonisation, processus naturel impliquant l'extension de l'aire géographique d'une espèce, se réalise de différentes manières : un vol d'oiseaux s'écarte de son chemin, un oiseau mange un fruit et rejette ses graines à plusieurs kilomètres de distance, ou l'abaissement du niveau de la mer réunit deux masses terrestres initialement séparées et permet le libre passage des espèces dans les deux sens. Ces événements – particulièrement quand ils permettent l'installation effective d'une nouvelle population – sont probablement rares et, quand ils se produisent, les communautés peuvent en être fortement modifiées. C'est que la colonisation réunit des espèces qui n'avaient pas connu d'interactions. Par conséquent, les inter-

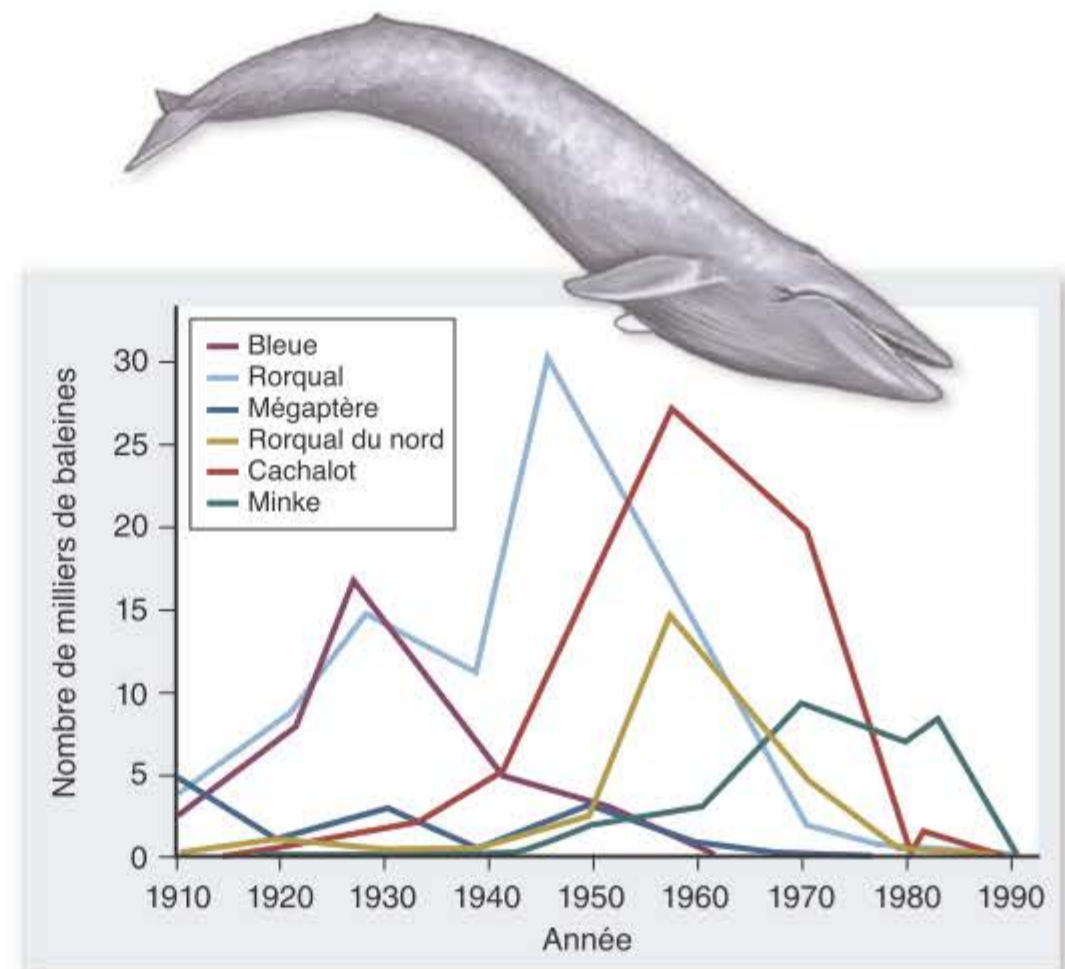


Figure 59.15 Les captures de baleines au vingtième siècle. Les espèces ont été chassées l'une après l'autre jusqu'à ce que leur nombre tombe tellement bas que leur chasse n'était plus rentable.

Question Pourquoi les populations de baleines ne remontent-elles pas quand leur chasse est interrompue ?

Analyse de données Deux espèces de baleines seulement ont été soumises à une chasse intensive au début de vingtième siècle. Ce graphique permet-il d'expliquer comment s'est déroulée l'augmentation de la chasse des autres espèces ?

actions écologiques peuvent être particulièrement rudes parce que l'évolution n'a pas donné à toutes ces espèces les moyens de s'adapter à la présence de l'autre, comme les adaptations permettant d'échapper à la prédation ou de réduire les conséquences de la compétition.

Les données paléontologiques documentent de nombreux exemples de changements géologiques qui ont mis en présence des espèces précédemment isolées, par exemple lors de l'émergence de l'isthme de Panama, il y a environ trois millions d'années, qui a réuni les faunes d'abord isolées d'Amérique du Nord et du Sud. Dans certains cas, le résultat a été une augmentation de la diversité spécifique mais, dans d'autres cas, les espèces envahissantes ont éliminé les indigènes.

Influence de l'homme sur la colonisation

Malheureusement, ce qui était un processus rare dans la nature est devenu beaucoup trop fréquent au cours de ces dernières années, en raison de l'action de l'homme. Les introductions d'espèces liées aux activités humaines sont dues à de nombreuses causes, parfois volontaires, mais le plus souvent pas. Des plantes et des animaux peuvent être transportés dans les ballasts des grands bateaux, avec les plantes de pépinière, comme passagers clandestins dans les bateaux, les voitures et les avions, comme larves dans des produits ligneux – et même comme graines dans la boue d'une chaussure. Au total, des chercheurs estiment que plus de 50 000 espèces ont été introduites aux États-Unis.

Les introductions ont des conséquences importantes pour l'homme. Rien que pour les États-Unis, on estime le coût annuel des espèces étrangères pour l'économie à 140 milliards de dollars. Par exemple, des douzaines de mauvaises herbes ont recouvert plus de 500 000 hectares dans le Colorado. Trois de ces espèces coûtent des millions de dollars aux cultivateurs de blé. Dans le même temps, une plante européenne, l'euphorbe érule, se répand aux dépens des graminées indigènes et fait perdre aux pâturages des bovins une valeur de 144 millions de dollars par an.

La moule zébrée, un mollusque originaire de régions de la Mer Noire, pose beaucoup de problèmes dans l'est et le centre des États-Unis, où sa densité peut atteindre 700 000/m², bouchant les canalisations, y compris celles des centrales, et entraînant des dommages estimés à 3-5 milliards de dollars par an (figure 59.16).

Les espèces introduites peuvent également avoir un impact sur la santé humaine. Par exemple, la fièvre du Nil occidental, dont la mortalité a brusquement augmenté, a probablement été introduite aux États-Unis, à partir de l'Afrique ou du Moyen-Orient à la fin des années 1990. Au milieu des années 2010, des milliers de personnes ont été infectées



Figure 59.16 Moules zébrées (*Dreissena polymorpha*) bouchant un tuyau. Ces moules ont été introduites d'Europe et posent actuellement un problème grave dans les cours d'eau d'Amérique du Nord.

chaque année ; en 2014, on a signalé des infections dans 47 états et dans le district de Columbia.

Les conséquences des introductions d'espèces sur les écosystèmes indigènes sont également graves. Les îles ont été particulièrement affectées. Par exemple, le chat d'un gardien de phare, à lui seul, a éliminé toute une espèce, le roitelet de l'île Stephens. Les rats ont eu un effet dévastateur dans tout le Pacifique Sud où les espèces d'oiseaux nichent au sol et n'ont aucun moyen de défense contre ces prédateurs voraces auxquels l'évolution ne les avait pas préparés. Plus récemment, le serpent arboricole brun, introduit dans l'île de Guam, a pratiquement éliminé toutes les espèces d'oiseaux forestiers.

À Hawaii, le problème a été un peu différent : les moustiques introduits ont apporté avec eux la malaria aviaire, à laquelle les oiseaux indigènes n'étaient pas résistants. Plus de 100 espèces (plus de 70 % de la faune indigène) ont ainsi disparu, ou sont maintenant limitées aux altitudes plus élevées et plus fraîches où il n'y a pas de moustiques (figure 59.17).

Les effets des espèces introduites peuvent se répercuter dans un écosystème. Par exemple, la fourmi d'Argentine s'est répandue dans une grande partie du sud des États-Unis, éliminant la plupart des espèces indigènes de fourmis avec lesquelles elles sont entrées en contact. L'extinction de ces espèces de fourmis a eu des conséquences négatives graves pour le



Figure 59.17 L'akiapolaau, *Hemignathus munroi*, et le palila, *Loxioides bailleui*, oiseaux menacés de Hawaii. Plus des deux tiers des espèces d'oiseaux indigènes des Hawaii sont aujourd'hui éteintes ou leurs populations sont fortement réduites. Dans le monde entier, la faune avicole des îles a subi un déclin semblable après l'arrivée de l'homme.

lézard littoral à cornes (*Ptychocheilichthys coronatum*), qui se nourrit des espèces indigènes de plus grande taille. En leur absence, les lézards sont passés à une proie moins appréciée. En outre, les fourmis indigènes consomment des graines et jouent ainsi un rôle important dans la dissémination des semences. Par contre, les fourmis d'Argentine ne mangent pas de graines. En Afrique du Sud, où la fourmi d'Argentine est aussi apparue, une espèce de plante au moins a vu l'efficacité de sa reproduction diminuer à cause de la disparition de l'agent de dissémination.

Les conséquences les plus graves des espèces introduites apparaissent cependant quand les écosystèmes sont globalement transformés. Certaines espèces végétales peuvent complètement modifier un habitat, déplacer toutes les espèces indigènes et transformer une région en une monoculture (une zone occupée par une seule espèce). En Californie, le chardon à épines jaunes (*Centaurea solstitialis*) couvre maintenant 4 millions d'hectares de ce qui fut un pâturage très productif. Aux Îles Hawaïi, un petit arbre originaire des Canaries, *Myrica faya*, s'est largement répandu. Capable de fixer l'azote à haut taux, il a entraîné une multiplication par 90 de la teneur du sol en azote, permettant ainsi l'invasion d'autres espèces nitrophiles.

Efforts de lutte contre les espèces introduites

Quand une espèce introduite s'est installée, son éradication est souvent extrêmement difficile, coûteuse et longue. Certains travaux – comme l'élimination des chèvres et des lapins de certaines petites îles – ont été un succès, mais beaucoup d'autres tentatives ont échoué. Le meilleur moyen d'arrêter les ravages provoqués par les espèces introduites est d'empêcher leur introduction. Bien que ce soit plus facile à dire qu'à faire, les organismes gouvernementaux travaillent actuellement activement à la mise en place de techniques capables d'intercepter les espèces en transit, avant de leur laisser l'occasion de s'installer.

Etude de cas : les cichlidés du Lac Victoria

Le Lac Victoria, immense mer d'eau douce peu profonde de la superficie de la Suisse, au cœur de l'Afrique orientale équatoriale, a, jusqu'en 1954, abrité une collection incroyablement diverse de plus de 450 espèces de poissons cichlidés (voir figure 22.17). Ces petits poissons, qui ressemblent à des perches, mesurent de 5 à 13 centimètres de long, les mâles ayant des couleurs extrêmement diverses. Aujourd'hui, la plupart de ces espèces sont menacées ou éteintes.

Que s'est-il passé pour entraîner la perte brutale de tant d'espèces endémiques de cichlidés ? En 1954, on a introduit, sur la rive ougandaise du lac Victoria, la perche du Nil, *Lates niloticus*, poisson commercial très vorace. La perche du Nil, qui dépasse 1,2 mètre de long, devait être à la base d'une nouvelle industrie de la pêche (figure 59.18). Pendant des dizaines d'années, cette perche ne parut pas avoir d'impact important ; 30 ans plus tard, en 1978, elle ne représentait encore que 2 % du poisson pêché dans le lac.

Un événement est alors survenu, entraînant l'explosion de la population de la perche du Nil qui s'est répandue rapidement dans tout le lac, mangeant les cichlidés sur son chemin. En 1986, la perche du Nil représentait près de 80 % de tout le poisson capturé dans le lac et les espèces endémiques de cichlidés avaient pratiquement disparu. Plus de 70 % de ces espèces étaient éteintes, y compris toutes les espèces de pleine eau.

Que s'est-il passé pour déclencher l'extinction massive des cichlidés ? Le déclencheur semble avoir été l'eutrophisation. Avant 1978, les teneurs en oxygène étaient élevées dans le lac Victoria à toutes les profondeurs, jusqu'aux couches inférieures, à plus de 60 mètres. Cependant,



Figure 59.18 La perche du Nil (*Lates niloticus*) Ce poisson prédateur, qui peut atteindre une longueur de 2 m et une masse de 200 kg, a été introduit dans le lac Victoria comme source potentielle de nourriture. Il est responsable de l'extinction virtuelle de centaines d'espèces de cichlidés.

vers 1989, des apports importants de nutriments provenant de l'agriculture et des eaux usées des villes et villages ont provoqué l'apparition d'efflorescences d'algues qui ont fortement réduit les taux d'oxygène dans les parties profondes du lac. Les cichlidés se nourrissent d'algues et l'on a pensé au début que leurs populations avaient augmenté en réponse à cette augmentation de la nourriture mais, contrairement à ce qui s'était produit dans le passé en présence des mêmes efflorescences d'algues, la perche du Nil était là pour tirer profit de la situation. Avec la brusque augmentation de leur approvisionnement (les cichlidés), le nombre de perches du Nil a explosé et elles ont tout simplement mangé tous les cichlidés qu'elles ont trouvés.

Depuis 1990, la situation s'est compliquée par l'introduction, dans le Lac Victoria, d'une herbe aquatique flottante d'Amérique du Sud, la jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes*. Extrêmement prolifiques dans les eaux eutrophes, les épais tapis de jacinthe d'eau ont bientôt recouvert toutes les baies et les estuaires, étouffant les habitats littoraux des cichlidés des eaux fermées.

La perturbation des écosystèmes peut entraîner une cascade d'extinctions

Les espèces risquent souvent l'extinction quand leur réseau d'interactions écologiques est gravement perturbé. En raison des nombreuses interactions réunissant les espèces dans un écosystème (voir chapitre 57), les activités humaines qui affectent une espèce peuvent entraîner des répercussions dans tout l'écosystème et affecter finalement beaucoup d'autres espèces.

Un cas récent à cet égard est celui des loutres de mer vivant dans les eaux froides au large de l'Alaska et des Îles Aléoutiennes. Leurs populations ont décliné fortement au cours des dernières années. Sur une bande côtière de 800 kilomètres, le nombre de loutres est tombé de 53 000 dans les années 1970 à environ 6000, soit une chute de près de 90 %. Analysant ce déclin catastrophique, les écologues des milieux marins ont découvert une chaîne d'interactions entre les espèces de l'océan et les écosystèmes des forêts de kelp (macroalgues brunes), une série de conséquences létales à effet domino qui illustre les concepts des cascades trophiques descendantes et ascendantes décrites au chapitre 57.

Étude de cas : l'habitat littoral des côtes de l'Alaska

Le premier d'une série d'événements aboutissant au déclin de la loutre de mer semble avoir été la chasse intense aux baleines déjà décrite dans ce chapitre. Les baleines n'étant plus là pour contrôler son abondance, le zooplancton océanique a prospéré et a permis la prolifération d'une espèce de poisson, le lieu jaune, qui se nourrit de ce zooplancton abondant. En raison de l'abondance de nourriture, le lieu est devenu un compétiteur très efficace pour d'autres poissons du Pacifique septentrional, comme le hareng et le sébaste, de sorte que ces derniers ont décliné rapidement depuis les années 1970.

La chute des dominos s'est ensuite accélérée. La réduction des poissons dont ils se nourrissent a entraîné la chute des lions de mer et des phoques, pour lesquels le lieu ne représente pas une alimentation suffisante. Ce déclin a encore été accéléré par les orques (aussi appelées baleines tueuses ou épaulards) qui se sont tournées vers les phoques et les lions de mer à cause de la raréfaction des baleines ; le nombre de pinnipèdes a brutalement chuté depuis les années 1970.

Avec la chute du nombre de pinnipèdes, certains orques se sont tournés vers le deuxième meilleur choix, les loutres de mer. Dans une baie dont l'accès à la mer était trop étroit et trop peu profond pour permettre l'entrée des orques, 12 % seulement des loutres de mer ont disparu, tandis que, dans une baie semblable d'accès facile pour les orques, les deux tiers des loutres ont disparu en un an.

Sans loutres pour les manger, les populations d'oursins ont explosé, broutant les algues et déforestant ainsi les forêts de kelp et dénudant l'écosystème (figure 59.19). Le résultat, c'est que les poissons vivant dans la forêt de kelp, comme les chabots et les lingues, ont décliné.

Disparition des espèces clés de voûte

On a vu, au chapitre 56, qu'une espèce clé de voûte est une espèce exerçant une influence particulière sur la structure et le fonctionnement d'un écosystème, influence qui repose uniquement sur son abondance. Les loutres de mer de la figure 59.19 sont une espèce clé de voûte de l'écosystème des forêts d'algues brunes et leur disparition peut avoir des conséquences désastreuses.

Il n'existe pas de limite stricte permettant d'identifier clairement les espèces clés de voûte. Il s'agit plutôt d'un concept qualitatif permettant de décider qu'une espèce joue un rôle particulièrement important dans sa communauté. Les espèces clés de voûte se caractérisent généralement par l'importance de leur impact sur leur communauté.

Étude de cas : les renards volants

Le déclin important de nombreuses espèces de « renards volants », sortes de chauves-souris (figure 59.20) dans les régions tropicales de l'Ancien Monde est un exemple de la façon dont les espèces clés de voûte

Figure 59.19 Perturbation de l'écosystème des forêts de kelp. La chasse abusive des baleines a modifié l'équilibre piscicole de l'écosystème océanique, forçant les baleines tueuses à se nourrir des loutres de mer, espèce clé de voûte pour l'écosystème des forêts de kelp.

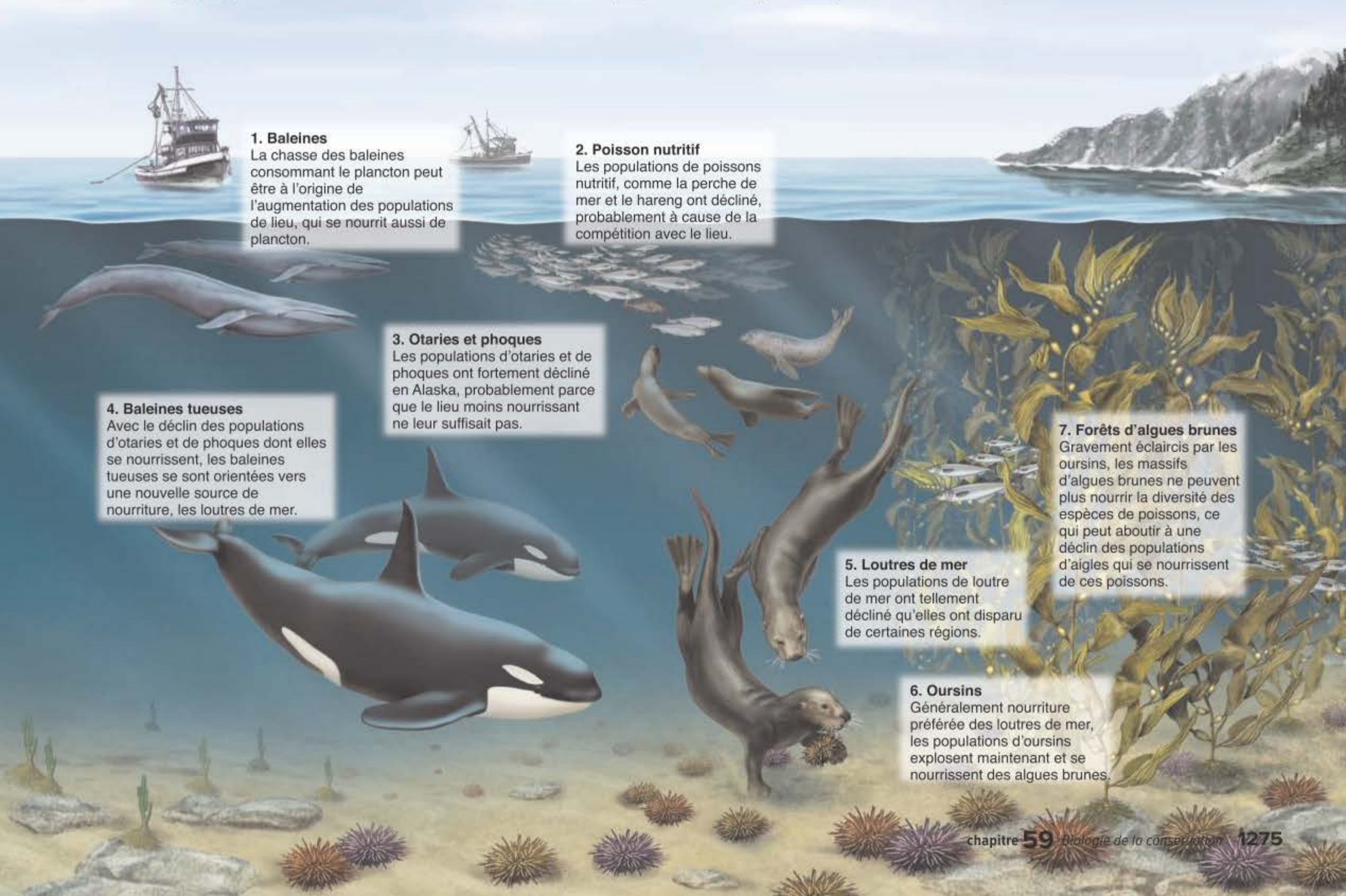




Figure 59.20 Importance des espèces clés de voûte.

Le renard volant, sorte de chauve-souris frugivore, est une espèce clé de voûte dans de nombreuses îles tropicales de l'Ancien Monde. Il pollinise beaucoup de plantes et il est le principal agent de dissémination des graines. Son élimination à la suite de la chasse et de la disparition des habitats a un effet dévastateur sur les écosystèmes de beaucoup d'îles du Pacifique sud.

peuvent gravement affecter les autres espèces d'un écosystème, aboutissant même parfois à une cascade d'extinctions ultérieures.

Ces chauves-souris sont très étroitement liées à des espèces végétales importantes sur les îles des océans Pacifique et Indien. La famille des ptéropodidés comprend près de 200 espèces, dont à peu près un quart dans le genre *Pteropus* ; elle est répandue dans les îles du Pacifique sud et ces animaux sont les pollinisateurs les plus importants – et souvent uniques – et ils interviennent dans la dissémination des graines.

Une étude réalisée aux Samoa a montré que 80 à 100 % des semences tombant au sol pendant la saison sèche sont déposées par les renards volants qui mangent les fruits et rejettent les graines dans leurs déjections, souvent à grande distance. Beaucoup d'espèces dépendent entièrement de ces chauves-souris pour leur pollinisation. Certaines ont acquis des traits, comme une floraison nocturne, empêchant tout autre pollinisateur potentiel de reprendre le rôle des chauves-souris frugivores.

À Guam, où deux espèces locales de renard volant ont pratiquement disparu récemment, l'impact sur l'écosystème paraît substantiel. Les botanistes ont constaté que certaines espèces végétales ne fructifient pas ou ne le font que de façon marginale et produisent une quantité anormalement faible de fruits. Les fruits ne sont pas disséminés loin des plantes parentales, de sorte que les jeunes pousses sont étouffées par les adultes.

Les renards volants ont été acculés à l'extinction par les chasseurs qui les tuent pour la nourriture et pour le sport, et par les propriétaires de vergers qui les considèrent comme nuisibles. Ils sont particulièrement vulnérables parce qu'ils vivent en grands groupes très visibles, atteignant un million d'individus. Ils se déplacent de façon régulière et prévisible et il est facile de les suivre jusqu'à leur dortoir ; les chasseurs peuvent donc sans peine en abattre des milliers à la fois. **a.**

Les programmes destinés à préserver des espèces particulières de renards volants n'en sont qu'à leur début. Un exemple particulièrement réussi est le programme destiné à la sauvegarde de la chauve-souris frugivore de Rodrigues, *Pteropus rodricensis*, qui n'existe que sur Rodrigues, une île de l'Océan indien près de Madagascar. La population est tombée d'environ 1000 individus en 1955 à moins de 100 vers 1974,

surtout en raison de la transformation, en terrains cultivés, de la forêt habitée par la chauve-souris. Depuis 1974, l'espèce est protégée par la loi et la surface de la forêt de l'île a été agrandie grâce à un programme de plantation. Onze colonies élevées en captivité ont été installées et la population s'est accrue dans la nature pour atteindre 4000 individus. La combinaison de la protection légale, de la restauration de l'habitat et de l'élevage en captivité a, dans cet exemple, abouti à un programme de conservation très efficace.

Les petites populations sont particulièrement vulnérables

En raison des facteurs dont il vient d'être question, les populations de nombreuses espèces sont morcelées et leur taille est réduite. Le risque d'extinction de ces populations est particulièrement grand.

Facteurs démographiques

Les petites populations sont vulnérables à tout ce qui peut réduire la survie ou la reproduction. Par exemple, en raison de leur taille, les petites populations sont mal équipées pour résister à des catastrophes, comme une inondation, un feu de forêt ou une épidémie. La sous-espèce *Tympanuchus cupido cupido*, ou cupidon des bruyères, était autrefois commune dans tout l'est des États-Unis, mais la pression de la chasse aux 18^e et 19^e siècles a finalement éliminé toutes les populations sauf une, sur l'île de Martha's Vineyard, près du Cap Cod dans le Massachusetts. Protégée dans une réserve, cette population s'est accrue jusqu'à la destruction presque complète de son habitat par un incendie. La petite population survivante a ensuite été ravagée l'année suivante par un rassemblement inhabituel d'oiseaux de proie, puis, peu après, par une épidémie. Le dernier coq des bruyères, un mâle, a été vu en 1932 (figure 59.21a).

Quand les populations se sont fortement réduites, un accident peut les achever. Par exemple, le bruant maritime de Merritt (figure 59.21b), une sous-espèce, aujourd'hui disparue et qui vivait sur la côte orientale de la Floride, n'était plus représenté que par une popula-



Figure 59.21 Disparu. **a.** spécimen de musée du cupidon des bruyères (*Tympanuchus cupido cupido*) qui s'est éteint en 1932. **b.** Ce mâle était l'un des derniers bruants maritimes de Merritt (*Ammodramus maritimus nigrescens*).

tion de cinq individus, tous mâles. Dans une grande population, la probabilité que tous les individus soient du même sexe est infinitésimale. Mais, dans les petites populations, tout à fait par hasard, il est possible que cinq, dix ou même vingt naissances successives ne donnent que des individus du même sexe, et cela peut suffire pour mener une espèce à sa disparition. De plus, dans les populations de petite taille, les individus peuvent avoir des difficultés à se rencontrer (l'effet Allee dont il a été question au chapitre 55), ce qui conduit la population dans une spirale allant à l'extinction.

Manque de diversité génétique

Les petites populations sont confrontées à un second problème. En raison du faible nombre d'individus, elles ont tendance à perdre leur diversité génétique par dérive génétique (figure 59.22). Beaucoup de petites populations ne disposent effectivement que d'une diversité génétique faible ou nulle. Le résultat de cette homogénéité génétique peut être catastrophique. La diversité génétique est utile aux populations en raison des avantages de l'hétérozygotie (voir chapitre 20) et parce que des individus génétiquement variables possèdent rarement deux exemplaires des gènes récessifs nuisibles. Sans cette diversité, les populations sont souvent composées d'individus chétifs, mal adaptés ou stériles. De fait, en laboratoire, des groupes de rongeurs et de drosophiles formés constamment de petites populations périssent souvent après quelques générations, chaque génération devenant moins robuste et moins fertile que la précédente.

Il est difficile de prouver qu'une espèce a disparu faute de diversité génétique, mais les recherches effectuées dans des populations de jardins zoologiques comme dans la nature montrent clairement une meilleure adaptation des individus génétiquement plus variables. En outre, à long terme, les populations génétiquement peu variables ont peu de chance de s'adapter à des modifications du milieu, facteur particulièrement important en raison des modifications tellement diverses que les humains imposent à l'environnement (voir chapitre 58).

Interaction entre facteurs démographiques et génétiques

Lorsque diminuent les tailles des populations, les facteurs démographiques et génétiques se combinent et aboutissent à ce que l'on a appelé

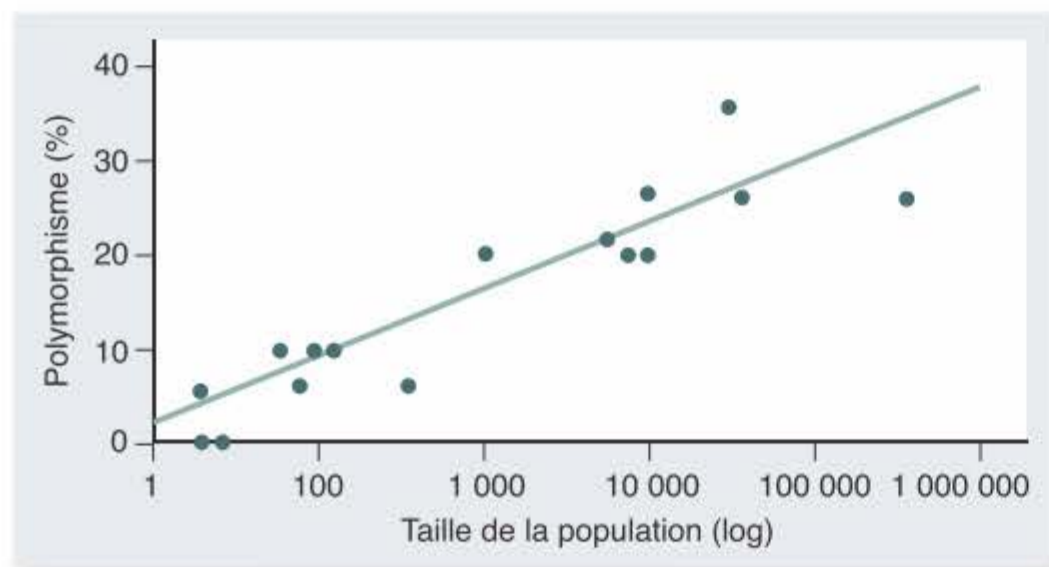


Figure 59.22 Réduction de la diversité génétique dans les petites populations. Dans les populations isolées de l'arbre *Halocarpus bidwillii* des montagnes de Nouvelle-Zélande, le pourcentage de gènes polymorphes est fonction de la taille de la population.

? **Question** Pourquoi les populations de petite taille perdent-elles leur diversité génétique ?



Figure 59.23 Parade sexuelle. Le mâle du cupidon des prairies (*Tympanuchus cupido pinnatus*) enflé des poches aérides orange vif, qui font partie de son œsophage, en forme de ballons des deux côtés de sa tête. En pénétrant dans ces poches, l'air produit trois syllabes « boum-boum-boum » qui peuvent s'entendre à des kilomètres.

un « vortex d'extinction ». Quand une population se réduit, elle devient plus vulnérable aux catastrophes démographiques. Ensuite, la diversité génétique commence à se perdre, entraînant une réduction du taux de reproduction et une diminution supplémentaire de la taille de la population, et ainsi de suite. Finalement, la population disparaît totalement, mais ce serait une erreur d'attribuer sa mort à un facteur particulier.

Étude de cas : le cupidon des prairies

Le cupidon des prairies est un oiseau remarquable proche du cupidon des bruyères aujourd'hui disparu, il pèse environ un kilo et il est bien connu pour son rituel nuptial flamboyant (figure 59.23). Abondant dans de nombreux états du Midwest américain, il a vu s'effondrer ses populations en Illinois au cours des soixante dernières années.

Jadis, ces oiseaux étaient très nombreux dans tout l'état mais, avec l'introduction, en 1837, de la charrue en acier, la première à pouvoir passer au travers du système racinaire dense et profond des grandes herbes, la prairie de l'Illinois a fait progressivement place à des cultures. Au tournant du 20^e siècle, la prairie avait disparu et, vers 1931, le cupidon des bruyères disparut de l'Illinois. Le cupidon des prairies s'était un peu mieux comporté, son nombre tombant à 25 000 pour l'état en 1933, puis à 2000 en 1962. Dans les états voisins, où l'agriculture est moins intensive, il a continué à prospérer.

En 1962 et 1967, on a installé des sanctuaires en Illinois pour tenter de préserver le cupidon des prairies. Mais les prairies privées ont continué à disparaître, et avec elles, le cupidon ; dans les années 1980, il avait disparu de l'Illinois à l'exception des deux réserves et, même là, leur nombre a poursuivi sa chute. Vers 1990, le taux d'éclosion, qui avait atteint à un certain moment de 91 à 100 %, a chuté jusqu'à 38 % seulement. Au milieu des années 1990, le nombre de mâles était tombé à six dans chacun des sanctuaires.

Quel était le problème pour les populations des sanctuaires ? On a pensé que c'était parce que, à cause de la très petite taille des populations et d'une parade sexuelle au cours de laquelle un mâle domine un groupe, le potentiel génétique du cupidon des prairies de l'Illinois s'était réduit suffisamment pour entraîner de graves problèmes de consanguinité. Pour tester cette possibilité, des biologistes de l'Université de l'Illinois ont comparé l'ADN d'échantillons de tissus congelés d'oiseaux

morts en Illinois entre 1974 et 1993 et ils ont constaté qu'au cours des dernières années, les oiseaux de l'Illinois étaient effectivement devenus génétiquement moins diversifiés.

Les chercheurs ont ensuite extrait l'ADN des tissus des racines de plumes d'oiseaux empaillés de la même population morts dans les années 1930. Ils ont constaté que les oiseaux de l'Illinois avaient perdu un tiers de la diversité génétique au même endroit avant l'effondrement des populations des années 1970. Au contraire, les populations de cupidon des autres états avaient conservé une grande partie de la diversité génétique perdue par les populations de l'Illinois.

Tout était prêt maintenant pour arrêter la course à l'extinction du cupidon des prairies de l'Illinois. Les responsables de la conservation de la nature ont commencé à importer en Illinois des oiseaux provenant de populations génétiquement diversifiées du Minnesota, du Kansas et du Nebraska. De 1992 à 1996, 518 oiseaux au total ont été introduits de l'extérieur pour se croiser avec ceux de l'Illinois, et les taux d'éclosions sont revenus à 94 % en 1998. La population ayant augmenté, on crut sauvé le cupidon des prairies en Illinois. Cependant, une grêle en 2011 et une sécheresse en 2013 ont causé des revers graves et il reste à voir si la population peut encore rebondir.

La leçon essentielle à retenir est l'importance de ne pas laisser aller les choses trop loin – de ne pas tomber à une seule population isolée. En l'absence de populations extérieures génétiquement différentes, le cupidon des prairies de l'Illinois n'aurait pu être sauvé. Quand la dernière population du bruant maritime a perdu sa dernière femelle, il n'y avait pas d'autre source de femelles et la sous-espèce a disparu.

Synthèse 59.3

Parmi les facteurs liés à l'habitat, on trouve la destruction des habitats, leur pollution, leur perturbation, et leur morcellement. La surexploitation peut réduire les populations à des niveaux très bas ou les éliminer totalement. Les espèces introduites peuvent entraîner des dégâts dans les communautés indigènes. Enfin, les petites populations sont moins à même de rebondir après les catastrophes et sont vulnérables à la perte de diversité génétique et à tout ce qui peut hâter l'extinction d'une espèce.

- *Est-il opportun de sortir des espèces menacées de la nature pour les conserver si leur habitat est susceptible de disparaître ? Expliquez.*

59.4 Comment protéger les espèces et les écosystèmes menacés

Objectifs

1. *Distinguer la restauration d'une espèce et la restauration du fonctionnement d'un écosystème.*
2. *Citer les stratégies de restauration des habitats.*
3. *Expliquer les programmes d'élevage en captivité.*

Quand on connaît la nature du danger encouru par une espèce, il devient possible de dresser un plan de restauration. S'il s'agit d'une surexploitation commerciale, on peut édicter des règlements destinés à réduire l'impact et protéger l'espèce menacée. Si la disparition de l'habitat est en cause, il est possible d'envisager sa restauration. On peut compenser la perte de diversité génétique d'une sous-population isolée en y introduisant des individus provenant de populations génétiquement différentes. Quand des populations risquent une extinction immédiate, on peut les capturer, prévoir un programme d'élevage en captivité et les réintroduire ensuite dans un autre habitat qui leur convient.

Toutes ces solutions sont extrêmement coûteuses. Il est cependant beaucoup plus économique d'éviter les « déraillements environnementaux » que de réparer les dégâts. La conservation des écosystèmes et des espèces indicatrices avant qu'ils ne soient en danger est le moyen le plus efficace de protéger l'environnement et d'éviter les extinctions.

On peut parfois restaurer des habitats détruits

La biologie de la conservation s'intéresse en principe à la conservation des populations et des espèces en danger de déclin ou d'extinction. Pour que la conservation soit possible, il faut cependant qu'il reste quelque chose à conserver ; dans beaucoup de cas, c'est devenu impossible. Les



a.



b.

Figure 59.24 Restauration de l'habitat. L'arboretum de l'Université du Wisconsin, à Madison, a été un pionnier de l'écologie de la restauration. *a.* La restauration de la prairie en était à ses débuts en novembre 1935. *b.* La prairie telle qu'elle apparaît aujourd'hui. Cette photo a été prise à peu près au même endroit que celle de 1935.

espèces, et parfois des communautés entières, ont disparu ou ont été modifiées de façon irréversible. La coupe à blanc des forêts tempérées de l'état de Washington laisse peu de chose à conserver, comme la transformation d'un terrain en champ de blé ou en parking asphalté. La réhabilitation demande une restauration plutôt qu'une conservation.

Selon le facteur responsable de la disparition de l'habitat, on peut envisager trois types différents de programmes de restauration.

Retour à l'état primitif

Quand toutes les espèces de l'écosystème ont été effectivement éliminées, les responsables de la conservation doivent essayer de réintroduire les plantes et les animaux habitant naturellement cette région, pour autant que ces espèces puissent être identifiées. Quand une prairie doit être restaurée à partir d'une ferme abandonnée, comme à la figure 29.24, comment savoir ce qu'il faut planter ?

Bien qu'il soit en principe possible de réinstaller toutes les espèces originelles avec leurs proportions d'origine, il faut, pour reconstruire une communauté, connaître l'identité de tous les habitants originels et l'écologie de chaque espèce. Nous disposons rarement de toutes ces informations, et la restauration ne revient jamais totalement à l'état primitif.

De plus en plus, les biologistes de la restauration travaillent au rétablissement du fonctionnement des écosystèmes, plutôt que d'essayer de recréer la même composition de la communauté. Cette approche met l'accent sur la reconstruction de processus qui opéraient dans l'habitat naturel plutôt que sur la restauration des espèces.

Élimination des espèces introduites

L'habitat d'une espèce a parfois été détruit par une seule espèce introduite. Dans ce cas, la restauration de l'habitat implique l'élimination de l'espèce introduite. Pour le rétablissement des poissons cichlidés autrefois diversifiés du lac Victoria, l'élevage et le déversement des espèces menacées ne suffisent pas. Il faudra contrôler ou éliminer la jacinthe d'eau introduite et les populations de perches du Nil et inverser l'eutrophisation.

Il est important d'agir rapidement s'il faut éliminer une espèce introduite. Quand les abeilles africaines agressives (les « abeilles tueuses ») ont été accidentellement libérées au Brésil, elles ne sont restées confinées dans une région localisée que pendant une saison. Elles occupent maintenant la plus grande partie de l'hémisphère occidental.

Nettoyage et réhabilitation

On ne peut restaurer les habitats gravement dégradés par une pollution chimique tant que la pollution n'est pas éliminée. La restauration efficace de la rivière Nashua, en Nouvelle-Angleterre, est un exemple de la manière dont un programme concerté peut réussir à restaurer un habitat fortement pollué et à lui rendre un aspect relativement primitif.

D'abord fortement polluée par les produits chimiques d'usines de fabrication de colorants de couleurs différentes en divers endroits, la rivière est maintenant propre et utilisée pour de nombreuses activités récréatives.

Des programmes d'élevage en captivité ont sauvé des espèces

Les programmes de restauration, en particulier s'ils se concentrent sur une ou quelques espèces, impliquent parfois une intervention directe sur les populations naturelles pour éviter un risque immédiat d'extinction.

Étude de cas : le faucon pèlerin

Les populations américaines d'oiseaux de proie, comme le faucon pèlerin, ont commencé à décliner rapidement après la seconde guerre mondiale. Partant de quelque 350 couples à l'est du Mississippi en 1942, tous avaient disparu en 1960. On a prouvé que le coupable était le pesticide chimique DDT (chapitre 58).

L'utilisation du DDT a été interdite par une loi fédérale en 1972, et les concentrations ont rapidement baissé dans l'est des États-Unis. Cependant, il ne restait plus de faucons pélerins dans la région pour rétablir une population naturelle. On s'est servi de faucons venant d'autres parties du pays pour un programme d'élevage en captivité à l'Université Cornell en 1970, afin de réintroduire le faucon pèlerin dans l'est des États-Unis en libérant les descendants de ces oiseaux. Depuis 1974, plus de 4000 oiseaux avaient été relâchés en Amérique du nord, aboutissant à une restauration étonnamment efficace de l'espèce dans toute son aire historique (figure 59.25).

Étude de cas : le condor de Californie

Le nombre de condors de Californie (*Gymnogyps californianus*), grand oiseau de type vautour, avec une envergure de près de 3 m, avait décliné progressivement au cours des 200 dernières années. En 1985, le nombre de condors était devenu tellement faible que l'oiseau était sur le point de s'éteindre. Rien que cette année, 6 des 15 derniers oiseaux étaient morts. Toute la population de cette espèce était représentée par les oiseaux restant dans la nature et 21 autres en captivité.

Dans une tentative de dernière heure destinée à éviter la disparition du condor, on a capturé les derniers oiseaux et on les a placés en élevage. Le programme d'élevage a été réalisé dans des zoos, dans le but de relâcher les descendants dans un vaste ranch de 5300 ha, dans l'habitat premier du condor. On a limité le plus possible les contacts entre oiseaux et humains et évité la reproduction entre individus étroitement apparentés.

Début 2009, la population du condor de Californie en captivité dépassait 160 individus. Après un entraînement préalable pour éviter les poteaux électriques et le public, les condors élevés en captivité

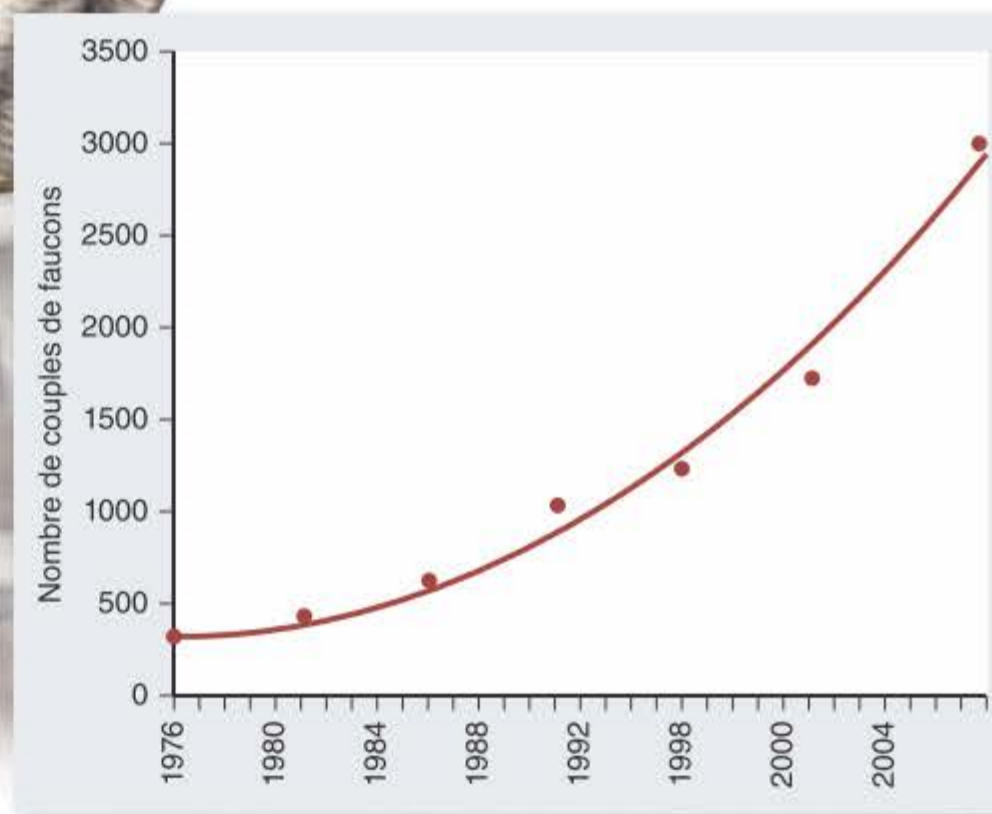
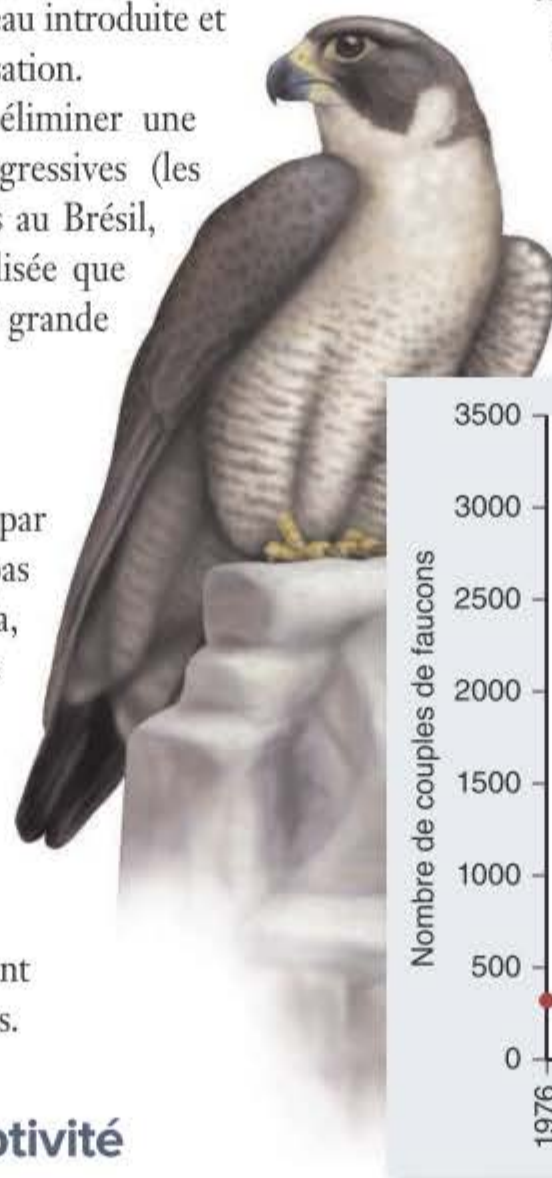


Figure 59.25 Réussite d'un élevage en captivité. Le faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) a été réintroduit dans l'est des États-Unis grâce à la libération d'oiseaux élevés en captivité pendant une période de 25 ans.

ont été relâchés avec succès dans deux sites de Californie, dans les montagnes au nord de Los Angeles et dans le Grand Canyon. Tous les oiseaux relâchés se portent bien et la population sauvage compte maintenant près de 200 oiseaux. Les biologistes sont particulièrement intéressés par ces initiatives d'élevage qui ont abouti à la toute première descendance dans la nature, de parents élevés en captivité en Californie comme en Arizona.

Étude de cas : les loups de Yellowstone

Le but ultime des programmes d'élevage en captivité n'est pas simplement la conservation d'espèces intéressantes, mais aussi la restauration d'écosystèmes équilibrés. Le parc de Yellowstone est devenu un écosystème déséquilibré, en grande partie à cause de l'extermination systématique du loup gris (*Canis lupus*) dans le parc au début du 20^e siècle. En l'absence de ce prédateur qui contrôlait leurs effectifs, les cerfs et autres cervidés se sont multipliés rapidement, endommageant la végétation de façon telle que les cerfs eux-mêmes souffrent de la faim en cas de pénurie.

Pour essayer de rétablir l'équilibre naturel du parc, on y a relâché deux meutes complètes de loups du Canada en 1995 et 1996. Les loups se sont bien adaptés et se sont reproduits avec un tel succès qu'en 2002, le parc comptait 16 meutes indépendantes et, en 2013, la région du Yellowstone abritait plus de 400 loups.

Bien que les éleveurs proches du parc n'aient pas été heureux du retour des loups, on n'a guère remarqué de dommages aux élevages, et l'équilibre écologique du parc de Yellowstone semble en voie de rétablissement. Les cerfs se regroupent en troupeaux plus grands et ils évitent les zones proches des cours d'eau où ils sont vulnérables. En conséquence, le nombre d'arbres des rives, comme les saules, augmente et ils nourrissent à leur tour les castors, dont les digues participent à la création d'étangs, habitat devenu rare dans le Yellowstone. Cet habitat restauré a enfin permis une augmentation de certaines espèces d'oiseaux, comme la paruline flamboyante, qui avait décliné pendant des dizaines d'années ou avait totalement disparu. On se demande aujourd'hui pourquoi cette restauration a réussi dans certaines parties de Yellowstone et pas dans d'autres.

Les méthodes actuelles de conservation sont multidimensionnelles

Dans le passé, on a tenté de résoudre les problèmes de morcellement des habitats en mettant l'accent seulement sur la conservation d'une surface aussi grande que possible de terrain à l'état primaire dans des parcs nationaux et des réserves. Il est cependant devenu de plus en plus évident que les surfaces pouvant être conservées dans cet état sont limitées ; en outre, beaucoup de zones qui ne sont pas totalement protégées procurent malgré tout un habitat convenant à beaucoup d'espèces.

En conséquence, les programmes de conservation ont pris des dimensions multiples, avec non seulement des zones primitives, mais aussi des régions avoisinantes où certaines perturbations humaines sont permises. Comme on l'a vu à la section 59.3, les espèces disparaissent plus rapidement dans des plages d'habitat isolées que dans de grandes réserves. En incluant des zones moins primaires, on augmente la surface disponible pour beaucoup d'espèces.

Pour gérer efficacement ces vastes territoires sur le long terme, la clé consiste à choisir une voie compatible avec l'utilisation locale du terrain. Par exemple, aucune activité économique n'est autorisée dans la zone primaire centrale, mais le reste du territoire peut être utilisé pour une collecte non destructrice des ressources. Même les zones où la chasse de certaines espèces est permise offrent une protection pour beaucoup d'autres espèces.

Des corridors de dispersion sont aussi prévus pour relier les zones primaires, augmenter ainsi efficacement la taille des populations et permettre une recolonisation en cas de disparition d'une population dans une zone en cas de catastrophe. Les corridors sont aussi une protection pour les espèces qui migrent sur de grandes distances au cours de l'année. En Afrique de l'Est, les corridors ont protégé les routes de migration des ongulés. Au Costa Rica, un corridor reliant la forêt pluviale de basse altitude de la station biologique de La Selva à la forêt pluviale de montagne du parc national Braulio Carrillo permet la migration en altitude de nombreuses espèces d'oiseaux, mammifères et papillons (figure 59.26).



Figure 59.26 Corridor reliant deux réserves. *a.* La station biologique La Selva, au Costa Rica, est reliée au parc national Braulio Carrillo. *b.* Le corridor permet la migration des oiseaux, mammifères, papillons et autres animaux de La Selva, 35 m d'altitude, vers les habitats des montagnes jusqu'à 2900 m d'altitude.

En plus de ce point précis sur la conservation de réserves suffisamment vastes, les biologistes ont aussi admis que la meilleure façon de conserver la biodiversité consiste à se concentrer sur la conservation d'écosystèmes intacts, plutôt que sur des espèces particulières. Pour cette raison, on cherche souvent à identifier les écosystèmes qui ont le plus besoin d'être préservés et à choisir les moyens permettant de protéger non seulement les espèces au sein de l'écosystème, mais le fonctionnement de l'écosystème lui-même. Cela implique la garantie que les réserves sont non seulement suffisamment vastes, mais aussi qu'elles protègent des éléments tels que les bassins versants, de telle sorte que les activités extérieures à la réserve ne mettent pas en danger l'écosystème qui s'y trouve.

Synthèse 59.4

La restauration des espèces peut empêcher leur extinction, mais seulement si l'habitat ou l'ensemble d'un écosystème est restauré. L'élimination des espèces introduites et des polluants est une étape essentielle de la restauration des habitats. Le prélèvement d'individus dans la nature et les programmes d'élevage en captivité sont parfois nécessaires pendant la restauration des habitats.

- *La restauration d'un habitat peut-il jamais s'approcher d'un état primitif ? Pourquoi ?*



Résumé

59.1 Généralités sur la crise de la biodiversité

Les hommes préhistoriques ont été responsables d'extinctions locales.

Peu après l'arrivée des humains en Amérique du Nord, après la dernière période glaciaire, au moins 75 % des grands mammifères ont disparu. On a observé le même schéma ailleurs dans le monde.

Les extinctions se sont poursuivies pendant la période historique.

La plupart des extinctions historiques sont survenues au cours des 150 dernières années et sur des îles. Les extinctions massives actuelles sont le premier événement de ce type déclenché par une seule espèce, *Homo sapiens*, la seule qui ne laisse pas de ressources suffisantes pour un rétablissement évolutif ultérieur.

Les points chauds d'espèces endémiques sont particulièrement menacés.

Les espèces endémiques occupent des aires limitées et courent donc des risques d'extinction. Les points chauds sont des zones réunissant de nombreux endémiques ; beaucoup de ces points sont le site d'une forte croissance des populations humaines et de taux d'extinction élevés.

59.2 Valeur de la biodiversité

La valeur économique directe de la biodiversité comprend des ressources pour notre survie.

Beaucoup de produits proviennent d'espèces et d'écosystèmes différents : nourriture, matériaux pour les vêtements et l'abri, et médicaments.

La valeur économique indirecte repose sur les services écosystémiques.

Des écosystèmes intacts offrent des services, comme la qualité de l'eau, la préservation des sols et des nutriments, la modération des climats locaux et le recyclage des nutriments. La valeur des écosystèmes intacts n'apparaît souvent qu'après leur disparition.

La valeur éthique et esthétique se base sur notre conscience et notre sensibilisation.

Les humains peuvent et devraient prendre des décisions éthiques pour protéger la valeur esthétique, écologique et économique des écosystèmes.

59.3 Facteurs responsables des extinctions

Le déclin des amphibiens : un cas d'école.

La taille des populations de près de la moitié de toutes les espèces d'amphibiens diminue. On n'a pas trouvé une cause unique, ce qui implique la responsabilité possible des changements de l'environnement global.

La perte des habitats anéantit la richesse spécifique.

L'habitat peut être détruit, pollué, perturbé ou morcelé. Quand les habitats sont trop fragmentés, les bordures et lisières deviennent rapidement plus

importantes que le reste de l'habitat, ce qui expose les espèces aux parasites, à l'invasion d'espèces étrangères et aux prédateurs (figure 59.12).

La surexploitation anéantit rapidement les espèces

La chasse et la collecte des espèces sauvages entraînent un risque d'extinction. La chute des pêches à la morue dans l'Atlantique Nord et le déclin des baleines n'en sont que deux exemples.

Les espèces introduites sont une menace pour les espèces et les habitats autochtones.

Les introductions naturelles ou accidentelles de nouvelles espèces entraînent des modifications importantes et souvent négatives des communautés, à cause de l'absence de contrôles et d'équilibres par interactions spécifiques agissant sur la croissance des espèces introduites.

La perturbation des écosystèmes peut entraîner une cascade d'extinctions.

Des cascades d'extinctions ascendantes ou descendantes peuvent survenir dans les niveaux trophiques. La disparition d'une espèce clé de voûte peut accroître la compétition et modifier gravement la structure et le fonctionnement des écosystèmes.

Les petites populations sont particulièrement vulnérables.

Les catastrophes, l'absence de partenaires et l'érosion de la diversité génétique augmentent la probabilité d'extinction des populations de taille réduite.

59.4 Comment protéger les espèces et les écosystèmes menacés

On peut parfois restaurer des habitats détruits.

La restauration par élimination des espèces introduites est très difficile, et elle a plus de chance de succès si elle est entreprise très vite après l'introduction d'une nouvelle espèce. Il n'est pas toujours possible de rétablir les habitats gravement pollués ou détériorés dans leur état d'origine, mais on peut les restaurer de manière à procurer différents services environnementaux.

Des programmes d'élevage en captivité ont sauvé des espèces.

On peut élever des espèces en captivité et les ramener dans la nature après la disparition des facteurs qui les ont menacés. La préservation de l'habitat peut être la clé du succès d'une réintroduction.

Les méthodes actuelles de conservation sont multidimensionnelles.

Le meilleur moyen de conserver la biodiversité est la conservation d'écosystèmes intacts plutôt que d'espèces individuelles. La clé de la gestion de vastes territoires consiste à les gérer d'une manière compatible avec les besoins des populations locales.

Des corridors de dispersion peuvent relier des fragments d'habitat, entre eux et avec des habitats plus vastes, et permettre d'augmenter la taille des populations, les échanges génétiques et la recolonisation.



COMPRÉHENSION

- Les points chauds de conservation sont
 - des zones avec beaucoup d'espèces endémiques, dont beaucoup disparaissent rapidement.
 - des régions où les gens sont des partisans particulièrement actifs de la diversité biologique.
 - des îles qui ont subi des taux d'extinction élevés.
 - des régions où les espèces indigènes ont été remplacées par des espèces introduites.
- La valeur économique des services indirects des écosystèmes
 - a peu de chance de dépasser la valeur économique provenant de leur exploitation après transformation de l'écosystème.
 - n'a jamais été bien déterminée.
 - peut dépasser notablement la valeur provenant de la transformation de l'écosystème.
 - est totalement esthétique.
- Le déclin des amphibiens est
 - une disparition due à une destruction continue des habitats locaux.
 - une contraction généralisée de leurs populations due au changement climatique global.
 - la disparition inexplicable des crapauds dorés du Costa Rica.
 - Aucun de ces choix n'est correct.
- Le morcellement des habitats a des conséquences négatives pour les populations par
 - la limitation des flux de gènes dans des régions initialement continues.
 - l'augmentation relative des lisières dans les plages d'habitat.
 - la création de plages trop petites pour la reproduction d'une population.
 - Tous ces choix sont corrects.
- Quand la taille des populations est fortement réduite, la diversité génétique et l'hétérozygotie
 - risquent d'augmenter et d'accroître la probabilité d'extinction.
 - risquent de diminuer et d'augmenter la probabilité d'extinction.
 - ne sont généralement pas des facteurs influençant la probabilité d'extinction.
 - répondent automatiquement de manière à protéger les populations de nouveaux changements.
- Un programme d'élevage en captivité suivi d'une libération en nature
 - a beaucoup de chance, par lui-même, de sauver une espèce menacée d'extinction.
 - n'a de chance de succès que si la diversité génétique des populations sauvages est très faible.
 - peut réussir s'il est combiné à un contrôle adapté et à la restauration de l'habitat.
 - Aucun de ces choix n'est correct.

APPLICATION

- Historiquement, les espèces insulaires ont eu tendance à disparaître plus rapidement que les espèces continentales. Laquelle des raisons suivantes, peut expliquer ce phénomène ?
 - Les espèces insulaires ont souvent évolué en l'absence de prédateurs et ne disposent pas de stratégies naturelles pour les éviter.
 - Les humains ont introduit des maladies et des compétiteurs dans les îles, qui affectent négativement les populations insulaires.

- Les populations insulaires sont généralement plus réduites que celles du continent.
 - Tous ces choix sont corrects.
- De toutes les espèces qui ont jamais existé, 99 % ont disparu,
 - prouvant que les taux d'extinction actuels ne dépassent pas les normes.
 - mais la majorité de ces pertes sont survenues au cours des 400 dernières années.
 - montrant qu'il y a trop d'espèces dans le monde.
 - Aucun de ces choix n'est correct.
 - Pour s'attaquer efficacement à la crise de la biodiversité, la protection des espèces individuelles
 - doit être entreprise de concert avec la gestion et la restauration des écosystèmes.
 - est un mode de gestion suffisant qui demande surtout à être élargi à un plus grand nombre d'espèces.
 - n'a aucun rôle à jouer dans le règlement de la crise de la biodiversité.
 - est généralement en conflit avec le principe de la gestion des écosystèmes.
 - L'introduction d'un prédateur étranger dans un écosystème peut être une cause d'extinction
 - en provoquant une cascade trophique descendante (voir chapitre 57).
 - par compétition avec un carnivore indigène (voir chapitre 56).
 - en transmettant des parasites auxquels les espèces indigènes ne sont pas adaptées.
 - Tous ces choix sont corrects.

RÉVISION

- Si 99 % de toutes les espèces qui ont jamais existé ont aujourd'hui disparu, pourquoi s'intéresser autant aux taux d'extinction des quelques derniers siècles ?
- La conversion des écosystèmes a toujours un coût et un bénéfice. En général, les bénéfices profitent à une fraction de la société (par exemple une affaire ou un groupe de personnes), mais le coût est supporté par toute la société. C'est là que réside la difficulté de décider comment et où transformer les écosystèmes. Cependant, s'agit-il d'un problème propre à la conversion des écosystèmes dans le sens où nous l'entendons aujourd'hui (par exemple, la transformation de la mangrove en élevage de crevettes) ? D'autres exemples peuvent-ils nous montrer comment prendre ces décisions ?
- On sait que les populations d'amphibiens déclinent dans le monde entier à cause de facteurs agissant globalement. Sachant que la disparition des espèces est un processus naturel, comment savoir s'il s'agit d'un déclin global différent de l'extinction normale des espèces ?
- D'après ce que nous avons vu au chapitre 56 sur les interactions entre les espèces et au chapitre 57 à propos des interactions dans les niveaux trophiques, comment l'extinction d'une espèce peut-elle affecter un écosystème ? Est-il possible de prévoir quelle espèce aurait plus de chance d'affecter beaucoup d'autres espèces si elle disparaissait ?
- Toutes les populations se réduisent avant de disparaître. La faible taille des populations est-elle vraiment une cause d'extinction, ou simplement une conséquence d'autres facteurs entraînant l'extinction ?