

La biodiversité et son évolution

Cours

Sommaire

I Des outils pour estimer la biodiversité

- A L'échantillonnage
- B La méthode de capture-marquage-recapture
- C L'intervalle de confiance

II L'évolution génétique d'une espèce au cours du temps

- A Le modèle de Hardy-Weinberg
- B Les effets de forces évolutives

III Les impacts des activités humaines sur la biodiversité

- A La réduction de la biodiversité
- B La fragmentation des populations
- C La préservation de la biodiversité

I Des outils pour estimer la biodiversité

Il est difficile de recenser toutes les espèces d'un milieu de vie. En effet, les animaux se déplacent, certains êtres vivants sont très petits et les surfaces à étudier sont parfois immenses, comme les océans. L'échantillonnage ainsi que la méthode de capture-marquage-recapture permettent d'estimer la richesse spécifique (nombre d'espèces) et l'abondance (nombre d'individus) dans les milieux étudiés. À partir des échantillons, des calculs permettent d'estimer la biodiversité du milieu étudié. Les estimations obtenues sont assorties d'un intervalle de confiance.

A L'échantillonnage

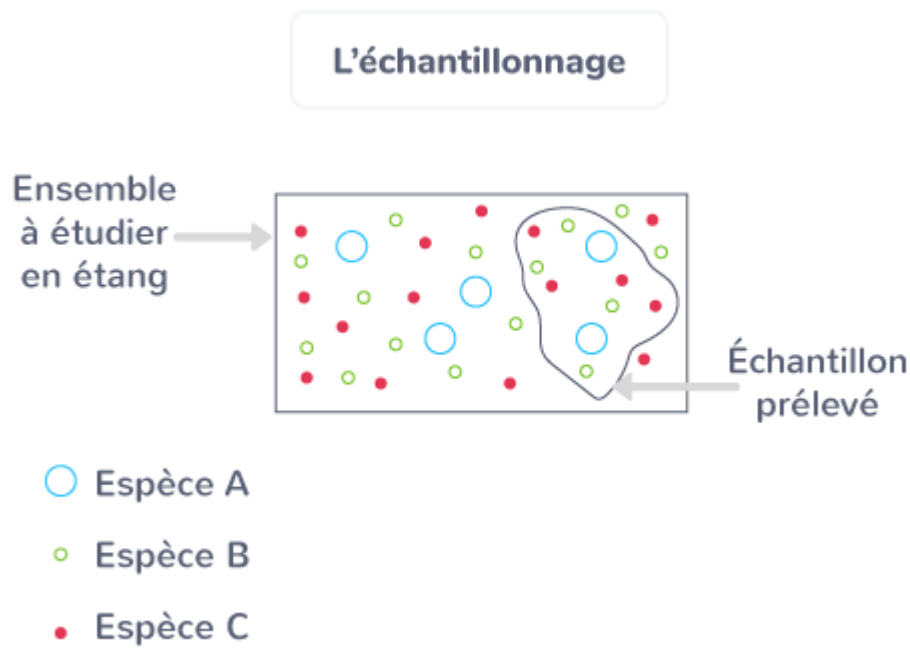
L'échantillonnage étudie une surface aussi restreinte que possible. Le but est d'estimer la richesse spécifique et/ou l'abondance relative de chaque taxon (espèce, groupe, famille) peuplant un milieu étudié.

La biodiversité que l'on observe aujourd'hui n'est pas la même que celle qui existait il y a des millions d'années. Elle évolue au cours du temps. Environ 1,8 million d'espèces ont été identifiées, mais les scientifiques estiment que 8 millions d'espèces peupleraient la Terre.

DÉFINITION

Échantillonnage

L'échantillonnage est une méthode statistique qui consiste à prélever une partie (un échantillon) d'un ensemble.



DÉFINITION

Abondance

L'abondance est le nombre d'individus composant une espèce. L'abondance relative est le pourcentage d'une espèce par rapport à l'ensemble des espèces du milieu étudié.

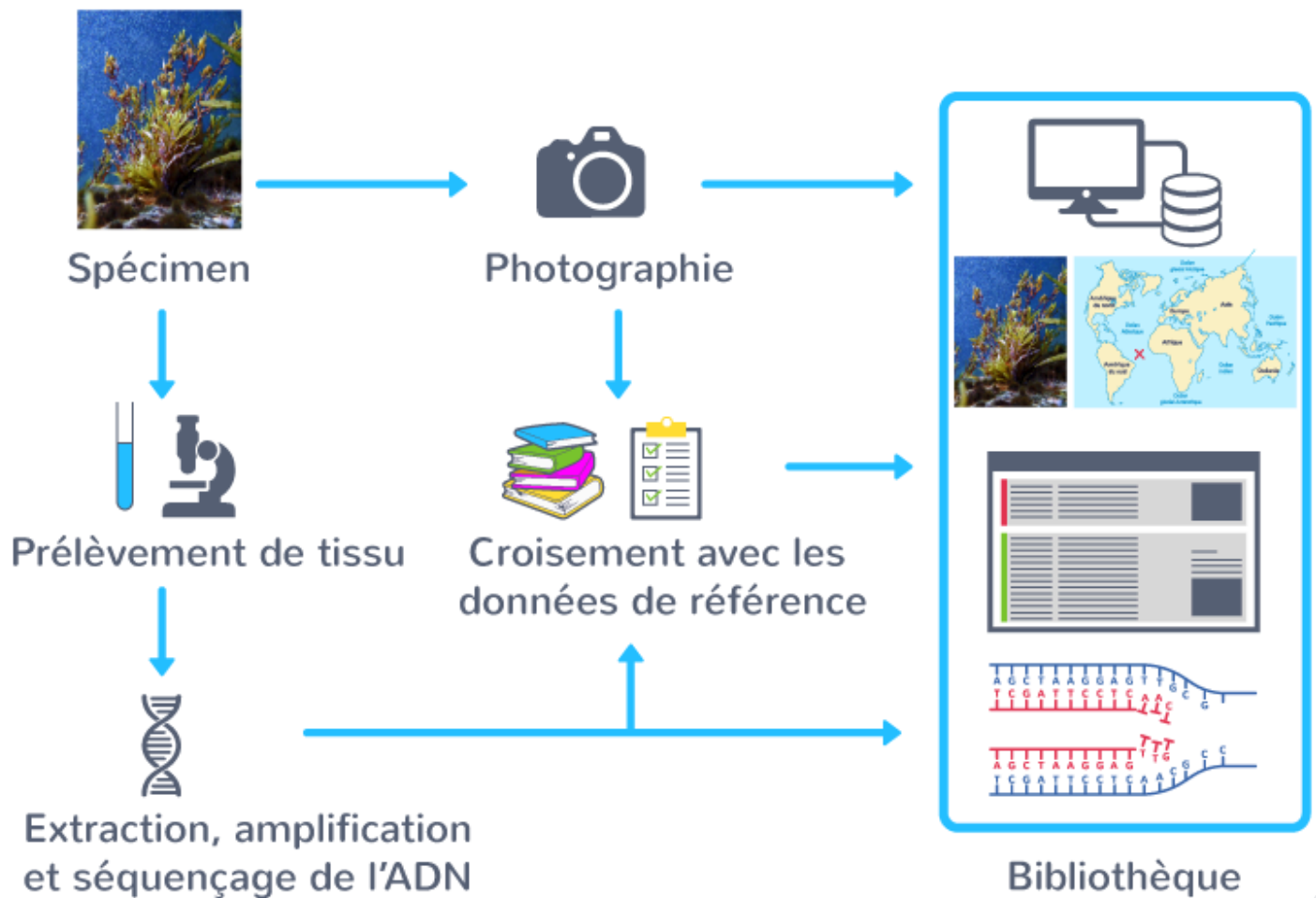


REMARQUE

L'étude peut porter sur un taxon plus grand que l'espèce, tel un groupe ou une famille.

L'identification des espèces d'un échantillon se fait par une étude des caractéristiques morphologiques du spécimen (être vivant étudié) et/ou par une analyse de son ADN. Les scientifiques analysent également les fragments d'ADN trouvés dans l'eau ou encore dans les excréments afin de compléter leurs observations.

Les différentes étapes de l'identification d'un spécimen



© Wikimedia Commons

L'identification des spécimens ou de l'ADN permet d'évaluer la richesse spécifique de la biodiversité.

DÉFINITION

Richesse spécifique

La richesse spécifique est le nombre d'espèces qui peuplent un milieu. Elle est d'autant plus importante que le nombre d'espèces est grand.

B La méthode de capture-marquage-recapture

La méthode de capture-marquage-recapture permet d'estimer l'effectif d'une population, d'une espèce ou d'un taxon plus grand (genre, famille) à partir d'échantillons.

DÉFINITION

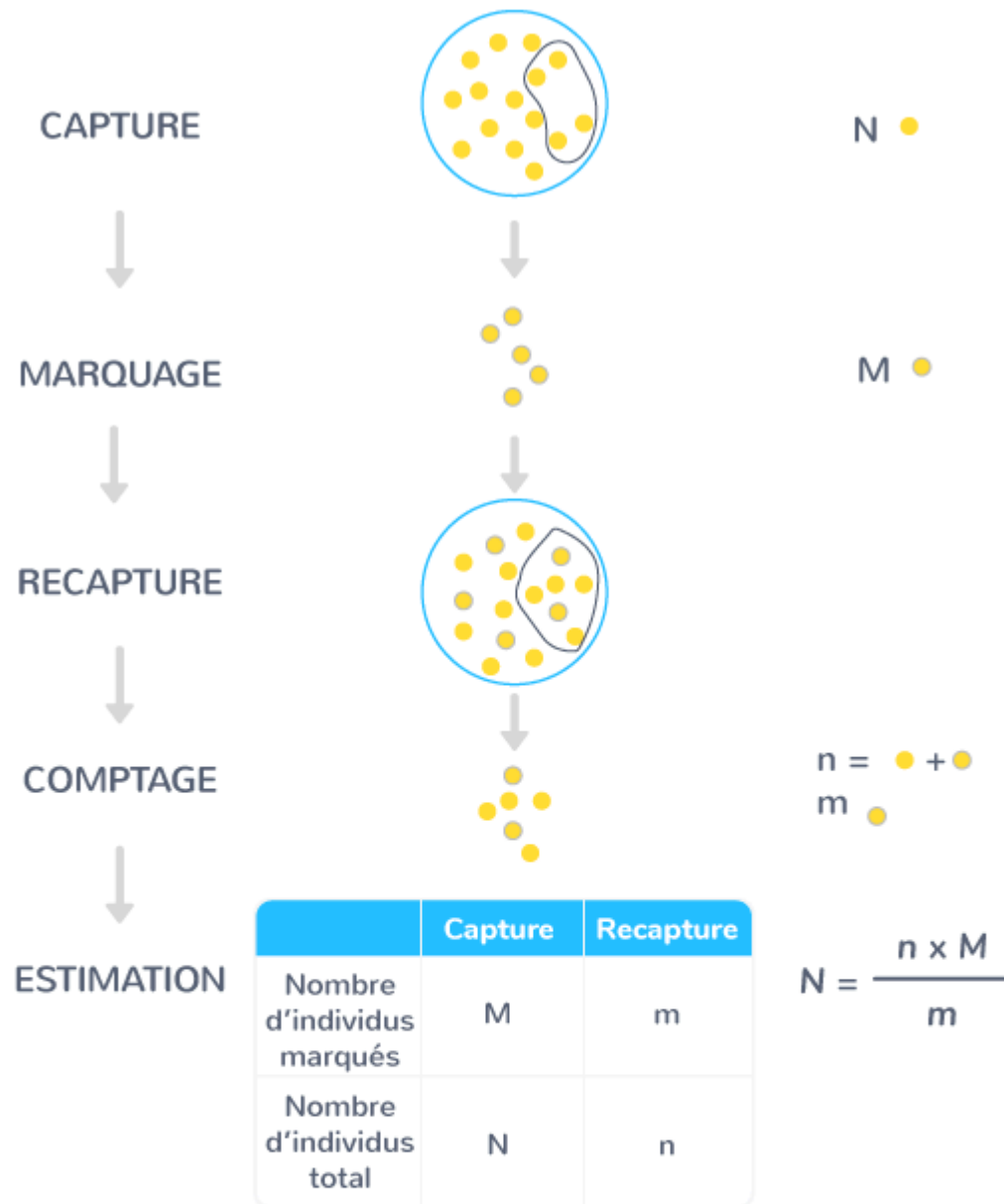
Population

Une population est un groupe d'êtres vivants appartenant à la même espèce, qui vivent dans le même espace, dans un même temps.

EXEMPLE

Une population de campagnols dans une prairie.

La méthode capture-marquage-recapture consiste à prélever un échantillon de la population étudiée, de marquer ses individus, puis de les relâcher dans le milieu étudié afin qu'ils se mélangent aux autres individus. Quelque temps après, on prélève un nouvel échantillon, à partir duquel on compte le nombre d'individus marqués ainsi que le total d'individus prélevés. Ce rapport permet d'estimer l'abondance de la population dans le milieu étudié.



N = nombre total d'individus de l'espèce étudiée dans le milieu étudié = abondance

M = nombre d'individus capturés et marqués

n = nombre d'individus de la recapture

m = nombre d'individus marqués comptés lors de la recapture



EXEMPLE

On souhaite estimer l'abondance de la population de mouettes rieuses en Camargue.

- population étudiée : mouette rieuse ;
- marquage : baguage ;
- milieu étudié : Camargue.

	Capture	Recapture
Nombre de mouettes marquées	1 000	239
Nombre total de mouettes	N	1 200

$$N = \frac{1\,200 \times 1\,000}{239}$$

$$N = 5\,021$$

En Camargue, l'abondance de mouettes rieuses est estimée à environ 5 000 individus.

Afin d'éviter des erreurs, la méthode de capture-marquage-recapture s'applique sous certaines conditions :

- La population étudiée doit être fermée, pour que son nombre n'évolue pas entre les deux captures (marquage et recapture). Ainsi, il ne faut pas que des individus puissent quitter ou entrer dans la population étudiée, par exemple à l'occasion de flux migratoires.
- La durée entre la capture et la recapture doit être suffisamment restreinte pour éviter les naissances et les décès. Mais elle doit être suffisamment importante pour assurer un brassage des individus marqués avec l'ensemble de la population.

C L'intervalle de confiance

L'intervalle de confiance quantifie la précision de l'estimation. Il dépend de la taille de l'échantillon.

DÉFINITION

Intervalle de confiance

L'intervalle de confiance encadre une valeur estimée sur un échantillon en donnant une marge d'erreur.

$$I_c = \left[f - \frac{1}{\sqrt{n}}; f + \frac{1}{\sqrt{n}} \right]$$

I_c = intervalle de confiance

f = fréquence ou proportion d'individus marqués (m) dans l'échantillon (n) de recapture

$f = \frac{m}{n}$ = nombre d'individus de l'échantillon de recapture

La proportion réelle dans la population totale a une probabilité de 95 % de se situer dans l'intervalle de confiance encadrant la proportion estimée à partir de l'échantillon.

EXEMPLE

Calcul de l'intervalle de confiance pour l'estimation de l'abondance de mouettes rieuses en Camargue.

	Capture	Recapture

Nombre de mouettes marquées	1 000	239
Nombre total de mouettes	5 021	1 200

$$f = \frac{m}{n} = \frac{239}{1\,200} \approx 0,2 \text{ soit } 20 \%$$

$$I_c = \left[\frac{239}{1\,200} - \frac{1}{\sqrt{1\,200}}; \frac{239}{1\,200} + \frac{1}{\sqrt{1\,200}} \right]$$

$$I_c = [0,17; 0,23]$$

Estimation inférieure de N : $N - I_c \times N = 5\,021 - 0,17 \times 5\,021 = 5\,021 - 856 = 4\,165$

Estimation supérieure de

$$N = N + I_c \times N = 5\,021 + 0,23 \times 5\,021 = 5\,021 + 1\,155 = 6\,176$$

L'intervalle de confiance pour N est : $4\,165 < N < 6\,176$

Il y a 95 % de chance que si l'on renouvelle l'expérimentation dans les mêmes conditions, l'estimation du nombre de mouettes rieuses en Camargue se trouve entre 4 165 et 6 176 mouettes.



REMARQUE

Lors de la recapture, $f = 20\%$ signifie qu'il y avait 20 % de mouettes marquées dans l'échantillon de recapture.

On considère que cette proportion est la même dans la population totale de mouettes rieuses, c'est pourquoi on fait un calcul de proportionnalité pour trouver

N .

II L'évolution génétique d'une espèce au cours du temps

Au cours de l'évolution biologique, la composition génétique d'une espèce change de génération en génération. Cependant, le modèle de Hardy-Weinberg prévoit que la structure génétique d'une population reste stable d'une génération à une autre dans certaines conditions. Tout écart par rapport aux résultats de l'équilibre de Hardy-Weinberg est dû aux effets de forces évolutives.

A Le modèle de Hardy-Weinberg

Le modèle de Hardy-Weinberg prédit le maintien des fréquences des allèles au cours des générations. Cette stabilité est appelée l'équilibre de Hardy-Weinberg.

La fréquence génotypique donne les proportions des différentes combinaisons alléliques possibles (= génotypes).

La fréquence allélique donne la proportion de chaque allèle.

EXEMPLE

Pour un gène possédant deux allèles A et a . La fréquence allélique est la proportion de l'allèle A et la proportion de l'allèle a dans la population étudiée. La fréquence génotypique donne les proportions de chacun des génotypes possibles $(A//A)$, $(A//a)$ et $(a//a)$.

Considérons la transmission de deux allèles (A et a) dans le cadre du modèle de Hardy-Weinberg.

Génotype du père : $(A//a)$

Génotype de la mère : $(A//a)$

Fréquence de l'allèle : $A = p$

Fréquence de l'allèle : $a = q$

Tableau de croisement des gamètes du père et de la mère		Gamètes du père	
		fréquences	
		$A /$ p	$a /$ q
Gamètes de la mère fréquences	$A /$ p	$(A//A)$ p^2	$(A//a)$ pq
	$a /$ q	$(A//a)$ pq	$(a//a)$ q^2

Fréquences des génotypes attendus en 2^e génération :

$$(A//A) = p^2$$

$$(A//a) = pq + pq = 2pq$$

$$(a//a) = q^2$$

Donc :

$$f(A) = f(A//A) + 1/2f(A//a)$$

$$f(a) = f(a//a) + 1/2f(A//a)$$

La fréquence des allèles est la même dans les deux générations.

La fréquence correspond à la probabilité d'obtenir ces génotypes à la génération suivante.

Tableau théorique des fréquences génotypiques attendues à chaque génération selon le modèle de Hardy-Weinberg

Fréquence de l'allèle A dans la population : p

Fréquence de l'allèle a dans la population : q

Génotype	Fréquence
$(A//A)$	p^2
$(A//a)$	$2pq$
$(a//a)$	q^2

EXEMPLE

Considérons une population de fleurs dont on étudie le gène de la couleur. Ce gène possède 2 allèles : rouge (R) et blanc (r).

Fréquence de l'allèle $R = 60\% = 0,6$

Fréquence de l'allèle $r = 40\% = 0,4$

On réalise un croisement de 2 fleurs.

Génotype de la fleur rose mâle : $(R//r)$

Génotype de la fleur rose femelle : $(R//r)$

Si la population suit le modèle de Hardy-Weinberg, on devrait obtenir les fréquences génotypiques suivantes en 2^e génération :

$$f(R//R) = 0,6^2 = 0,36$$

$$f(R//r) = 2 \times 0,6 \times 0,4 = 0,48$$

$$f(r//r) = 0,4^2 = 0,16$$

Les résultats réels après croisement ont donné : 125 fleurs dont 45 fleurs rouges, 60 fleurs roses et 20 fleurs blanches.

$$f(R//R) = \frac{45}{125} = 0,36$$

$$f(R//r) = \frac{60}{125} = 0,48$$

$$f(r//r) = \frac{20}{125} = 0,16$$

$$f(R) = 0,36 + 0,48 \div 2 = 0,6 \text{ et } f(r) = 0,16 + 0,48 \div 2 = 0,4$$

Les résultats des fréquences des génotypes sont conformes à ceux attendus : les fréquences des allèles sont identiques à celle de la génération précédente. La population suit bien le modèle de Hardy-Weinberg.

PROPRIÉTÉ

L'équilibre de Hardy-Weinberg est applicable dans les conditions suivantes :

- population de taille infinie ;
- reproduction sexuée ;
- panmixie ;
- absence de forces évolutives.

DÉFINITION

Panmixie

La **panmixie** est la reproduction au hasard des individus, sans sélection sexuelle.

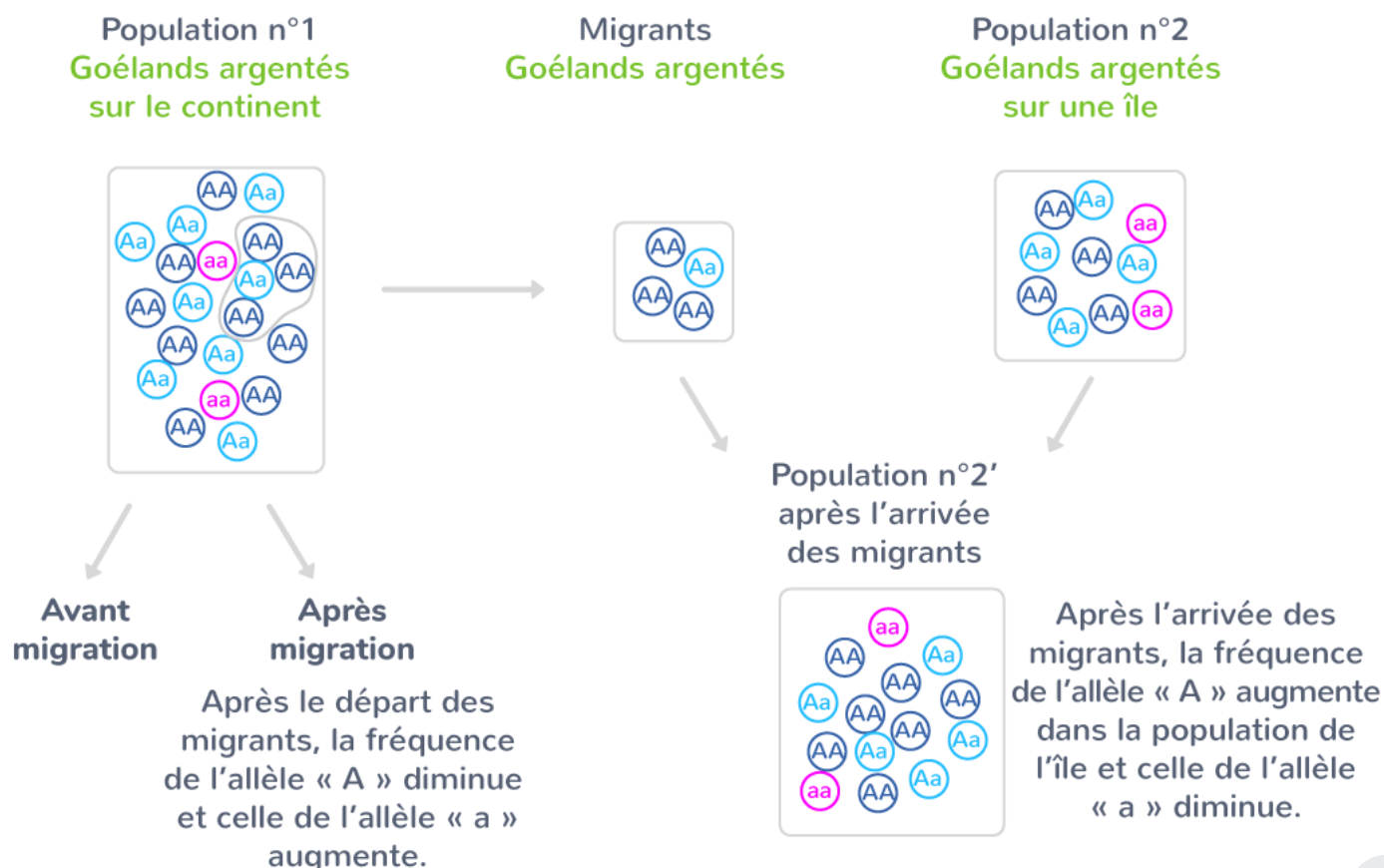
B Les effets de forces évolutives

Dans la réalité, les fréquences des allèles varient au cours des générations. Ces variations sont liées aux effets de forces évolutives telles que migration, mutation, sélection et dérive.

Les migrations correspondent à l'arrivée de nouveaux individus ou au départ d'autres individus, ce qui modifie la fréquence des allèles.

EXEMPLE

Les effets des migrations sur les fréquences alléliques



Les fréquences des allèles A et a sont modifiées dans la population initiale après le départ des migrants et dans la population d'arrivée après l'arrivée des migrants.

On calcule des fréquences pour la population n° 1 avant la migration :

Fréquence de l'allèle A

Fréquence de l'allèle a

$$f(A)_1 = f(AA) + \frac{1}{2}f(Aa)$$

$$f(a)_1 = f(aa) + \frac{1}{2}f(Aa)$$

$$f(A)_1 = \frac{10}{20} + \frac{1}{2} \times \frac{8}{20}$$

$$f(a)_1 = \frac{2}{20} + \frac{1}{2} \times \frac{8}{20}$$

$$f(A)_1 = \frac{7}{10} = 0,7$$

$$f(a)_1 = \frac{3}{10} = 0,3$$

Avec des calculs similaires, il est possible de calculer les fréquences alléliques dans la population 2 avant et après arrivée des migrants :

Population 2 avant arrivée des migrants : A 55 % et a 45 %

Population 2', après arrivée des migrants : A 62 % et a 38 %.

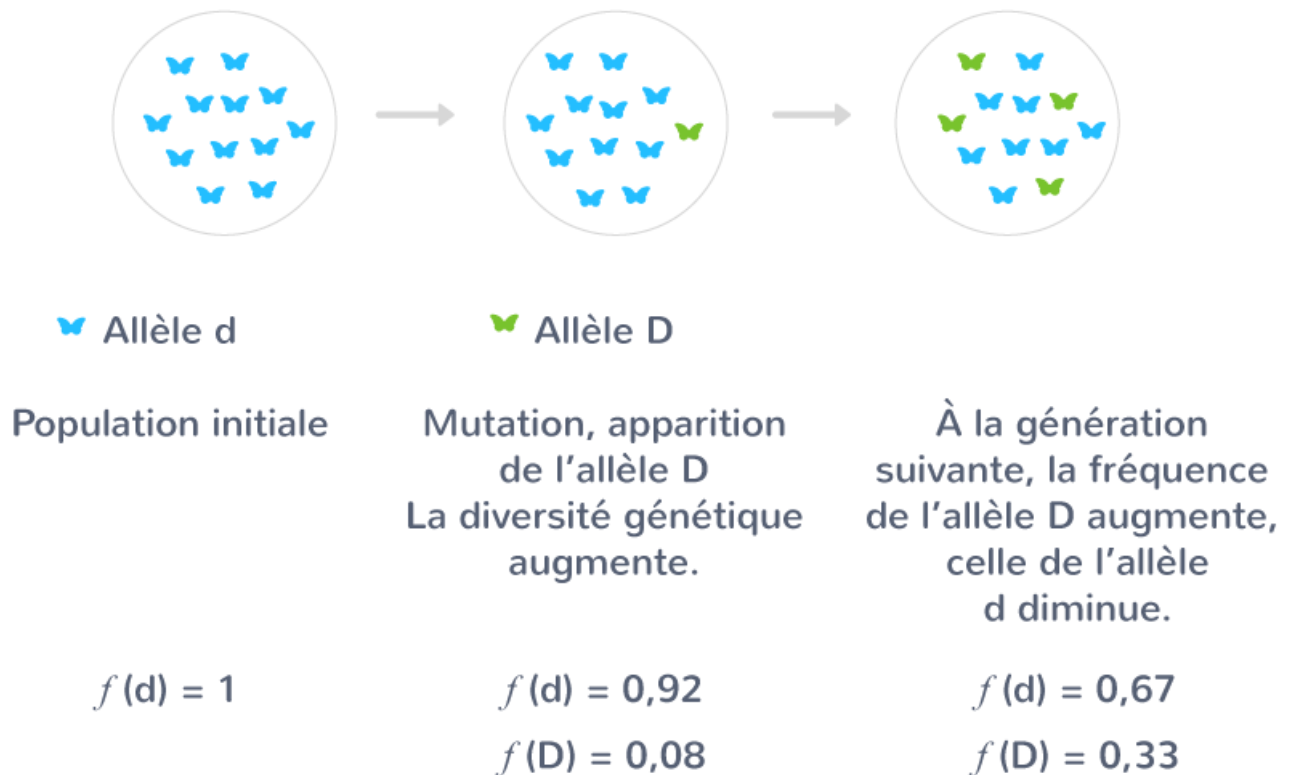
La migration a bien provoqué un changement dans la fréquence des allèles A et a.

Les mutations génétiques font apparaître de nouveaux allèles. Cela contribue à augmenter la diversité génétique.

EXEMPLE

Chez les Phalènes du bouleau, la couleur noire est apparue suite à une mutation chez les papillons blancs. Cela a augmenté la diversité de cette espèce de papillon, lui donnant ainsi plus de chances de survie dans son environnement.

Les effets des mutations génétiques sur les fréquences alléliques



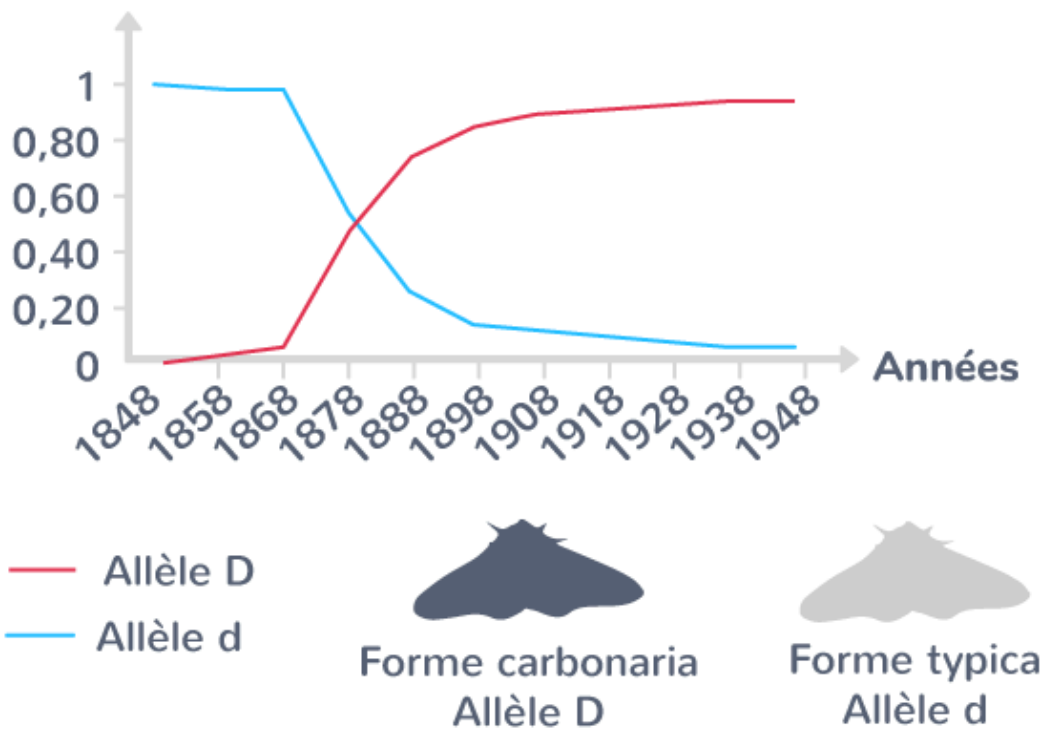
La sélection naturelle favorise les individus possédant les allèles les mieux adaptés aux conditions de vie du milieu, ou ceux qui ont un plus grand succès reproducteur. Les allèles de ces individus sont donc plus fréquemment transmis. La fréquence de l'allèle favorisé augmente et celle de l'allèle défavorisé diminue.

EXEMPLE

Durant la révolution industrielle, la pollution a noirci les troncs des bouleaux. L'allèle D a été favorisé car les papillons noirs étaient moins visibles par les prédateurs. Ils ont donc pu se reproduire davantage que les blancs.

Les effets de la sélection naturelle sur les fréquences alléliques : exemple des phalènes du bouleau dans la région de Manchester

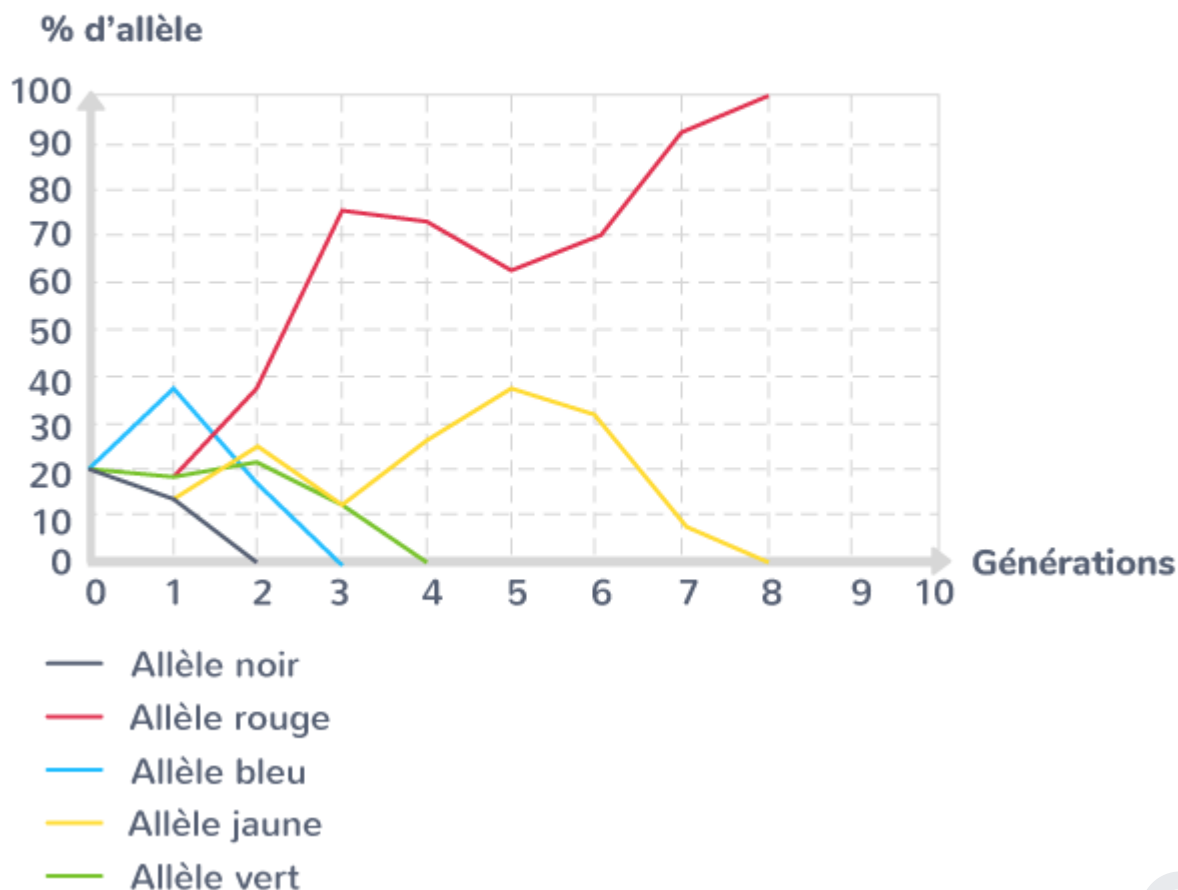
Fréquence des allèles



La dérive génétique sélectionne au hasard les allèles dans les populations isolées de faible effectif. À terme, cela conduit à la disparition de certains allèles, donc à un appauvrissement de la diversité génétique. Plus l'effectif est petit, plus la dérive génétique est rapide.

EXEMPLE

Évolution de 5 allèles dans une population de faible effectif



© DG simulateur

Au départ, dans la population étudiée, 5 allèles sont présents en proportion égale. La fréquence de chaque allèle est égale à 20 %.

Les allèles noir, orange et vert disparaissent rapidement, avant la 5^e génération.

À la 8^e génération, l'allèle rouge a été sélectionné. Sa fréquence atteint 100 %.

C'est le hasard qui sélectionne les allèles transmis d'une génération à l'autre.

III Les impacts des activités humaines sur la biodiversité

L'homme fait partie des écosystèmes. Il est en interaction permanente avec les êtres vivants et le biotope. Ses activités peuvent être néfastes et entraîner une réduction de la biodiversité. C'est le cas de la fragmentation des populations. Les activités humaines peuvent aussi être bénéfiques aux écosystèmes par préservation de la biodiversité.

A La réduction de la biodiversité

Certaines activités humaines réduisent la biodiversité. Leurs conséquences néfastes sont directes (pollution, déforestation, surexploitation d'espèces) et indirectes par accélération du réchauffement climatique.

Les experts considèrent qu'environ 1 million d'espèces seraient menacées d'extinction à cause des activités humaines. Cinq causes majeures d'atteinte à la biodiversité sont aujourd'hui clairement identifiées au

Les cinq causes majeures d'atteinte à la biodiversité



B La fragmentation des populations

Les constructions humaines, telles que les routes, entraînent la fragmentation des milieux de vie et donc des populations. Les effectifs des populations ainsi formées sont plus faibles. Ils sont soumis à la dérive génétique qui appauvrit la diversité génétique de ces populations.

La fragmentation de l'habitat entraîne la formation de populations constituées de plus petits effectifs.

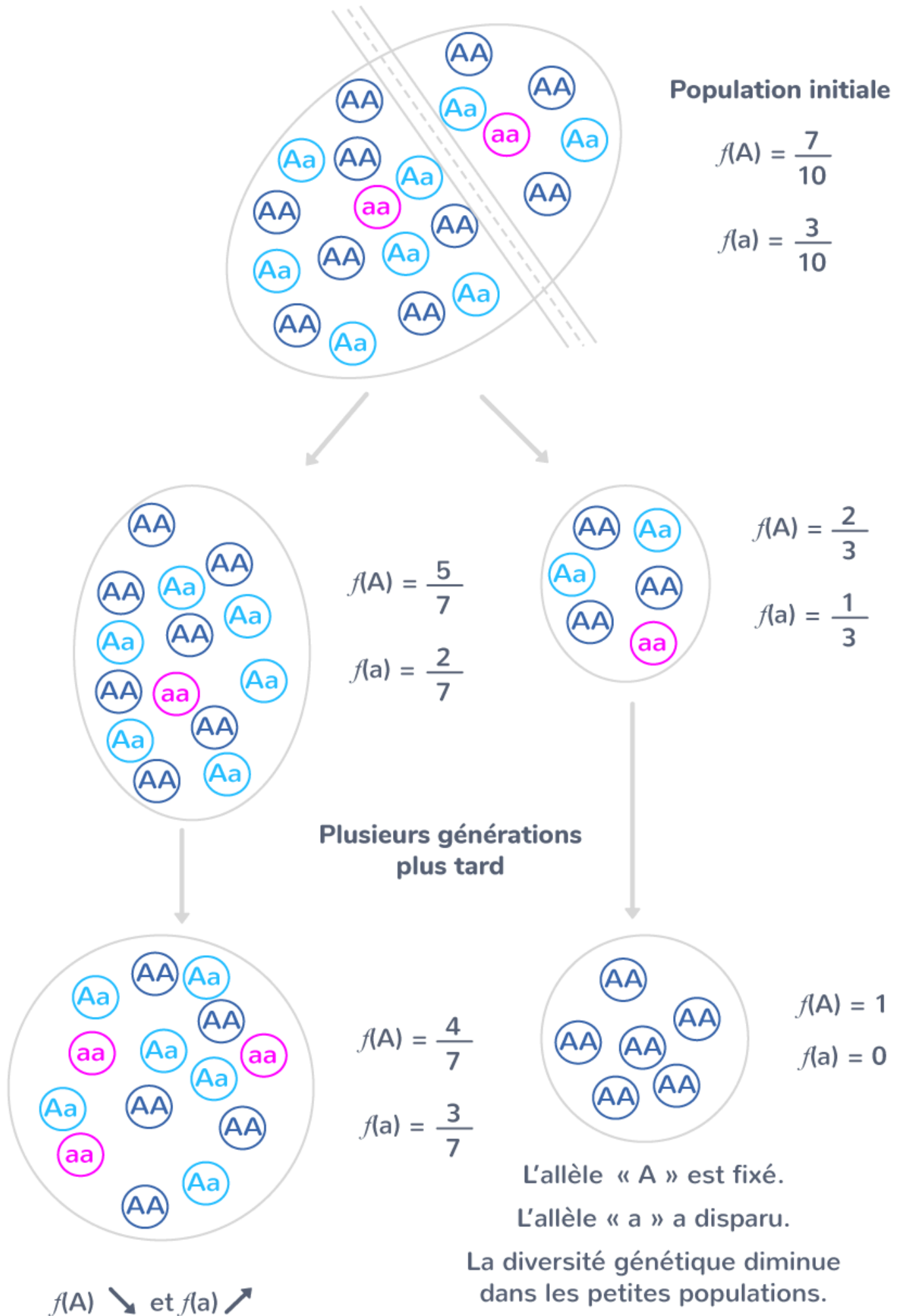
Ces populations sont alors soumises aux forces évolutives :

- À court terme, la dérive génétique provoque une diminution de la diversité génétique.
- À très long terme, les mutations peuvent faire apparaître de nouveaux caractères.

EXEMPLE

La construction d'une route conduit à la fragmentation de la population initiale et à la dérive génétique à court terme.

La dérive génétique due à la fragmentation des populations





La préservation de la biodiversité

Une meilleure connaissance des écosystèmes et de leur fonctionnement permet de mettre en place des actions de préservation de la biodiversité. La gestion durable des écosystèmes, ou encore la protection des populations à faibles effectifs sont des solutions en faveur de la biodiversité.

Les mesures prises pour préserver la biodiversité sont indispensables pour espérer sauver les espèces menacées d'extinction.

EXEMPLE

En France, une espèce sur cinq d'amphibiens est susceptible de disparaître : grenouille des champs, sonneur à ventre jaune (crapaud).

À grande échelle, l'homme crée des parcs naturels nationaux, régionaux, des zones préservées.

EXEMPLE

Les zones Natura 2000 sont des sites désignés pour protéger des espèces et des habitats représentatifs de la biodiversité européenne.

À l'échelle d'un écosystème, une gestion durable est mise en place. L'objectif est de préserver le milieu, les espèces mais aussi les ressources exploitées nécessaires aux activités humaines.

EXEMPLE

En Europe, la gestion durable des forêts doit respecter six critères définis lors de la conférence d'Helsinki (1993) en surveillant :

- les ressources de bois et de carbone (quantité de bois, surface de la forêt exploitée) ;
- la santé et la vitalité des forêts ;
- les fonctions de production (quantité de bois produite) ;
- la diversité biologique (recensement des espèces, identification des espèces menacées) ;
- la protection du sol et des eaux pour prévenir les risques naturels ;
- les fonctions économiques et sociales (nombre d'emplois générés, fréquentation par le public).

À l'échelle locale, des solutions sont également trouvées.

EXEMPLE

La mise en place d'un corridor biologique (une route réservée aux animaux) permet aux animaux de traverser les routes sans risque.