

# Thème A : Terre, vie et organisation du vivant

## Chapitre A4 : Les mécanismes de l'évolution

**Problématique** : Quels mécanismes sont à l'origine de l'apparition de nouvelles espèces ?

# **I. L'origine de la diversité des individus d'une même espèce**

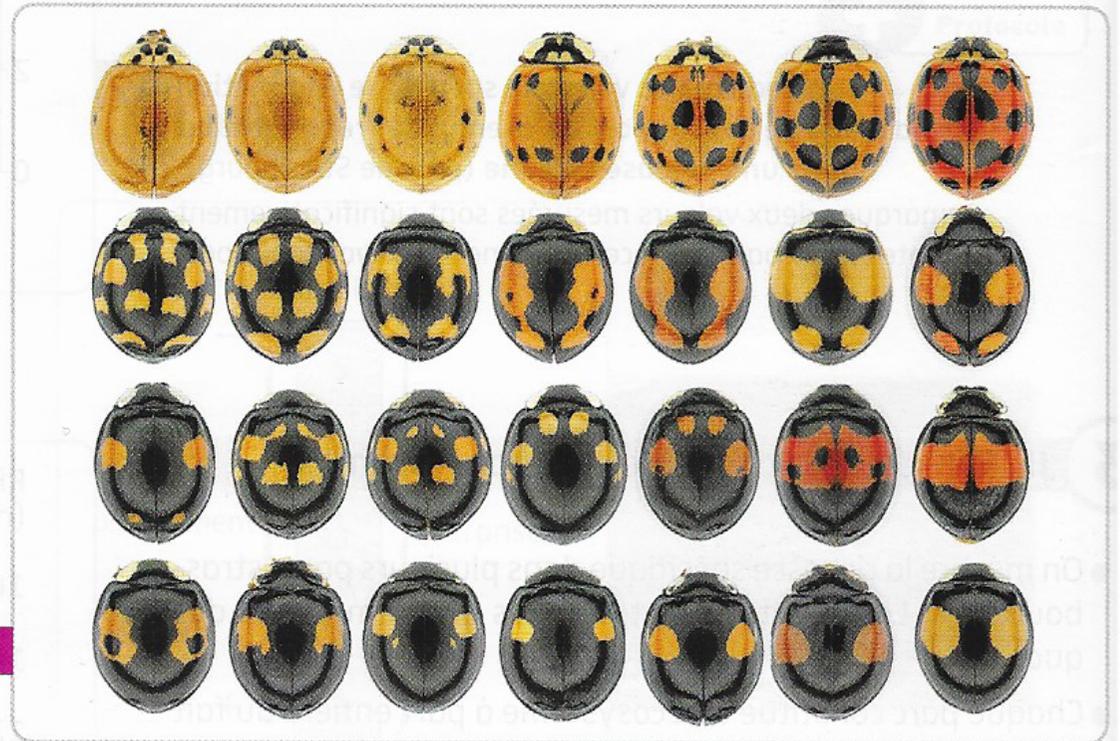
## Ornementation des élytres de la coccinelle arlequin

Dans une même espèce, les individus se ressemblent, mais peuvent présenter des variations individuelles. La coccinelle arlequin *Harmonia axyridis* présente une grande diversité de phénotypes au niveau de l'ornementation de ses élytres.

- Les élytres des coccinelles arlequin correspondent à des ailes durcies et peuvent être ornées de points noirs sur fond jaune ou rouge ou de points rouges sur fond noir : jusqu'à 200 formes différentes ont été décrites dans le monde (nombre de points, position, taille, couleur...).
- L'ensemble de ces formes appartient à la même espèce. En effet, ces individus ont la capacité de se reproduire entre-eux et d'avoir une descendance fertile.

Exemples de la diversité des phénotypes  
chez la coccinelle arlequin.

a



Les combinaisons  
d'allèles du gène  
*pannier*

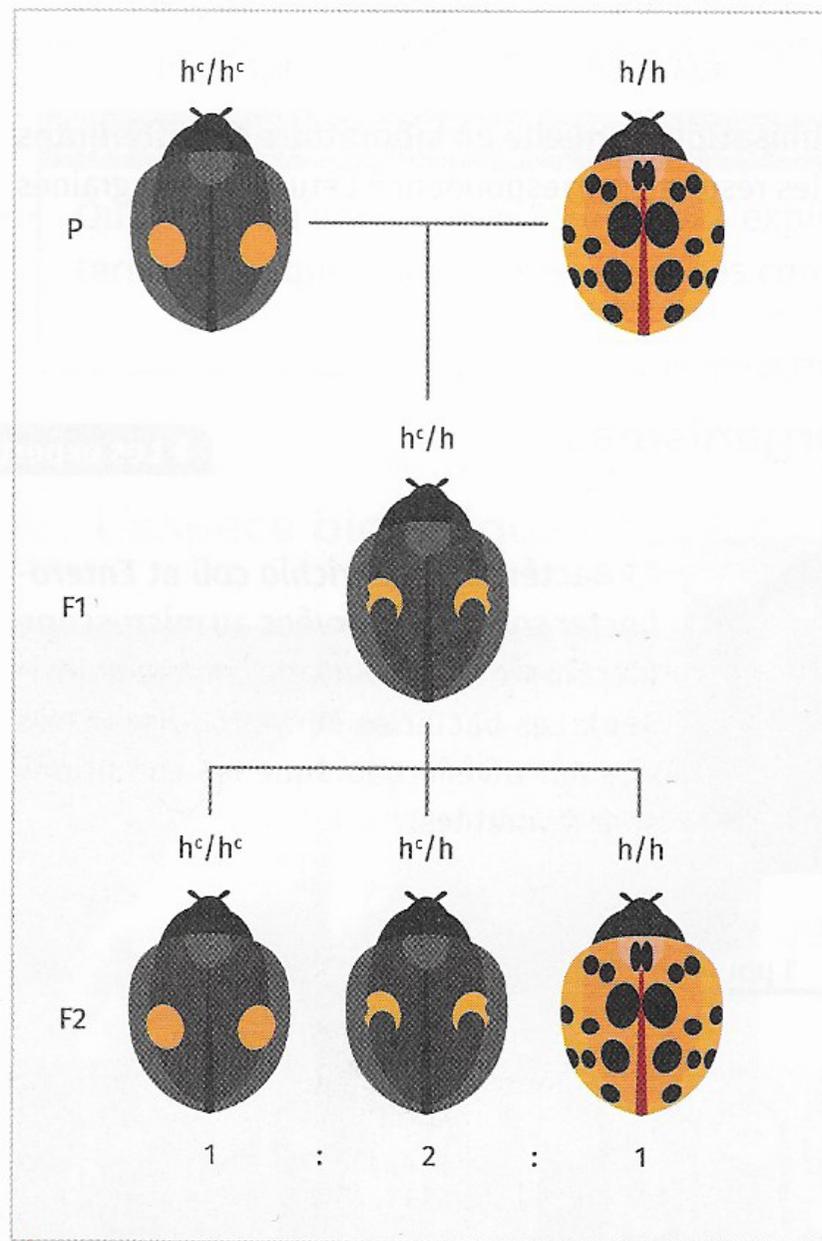
Chez la coccinelle  
harlequin, le gène  
*pannier* présente  
plusieurs allèles :

$h^C$

$h$

$h^{Sp}$

$h^A$



**2** Résultat de croisements entre coccinelles arlequins. Les allèles portés par chaque individu sont indiqués par la lettre h.

$h^c/h$  signifie que les individus en F1 (première génération) portent deux allèles différents.

## Comparaison des allèles du gène *pannier*.

### PRINCIPE

Deux séquences nucléotidiques du gène *pannier* appartenant à deux phénotypes différents (Red-n-spots et Black-4-spots) ont été comparées avec le logiciel Genigen. Les résultats d'une partie de la comparaison sont affichés.

Alignement de Séquences

Base sous le curseur : 2005

Identification

Comparaison

Rednspots

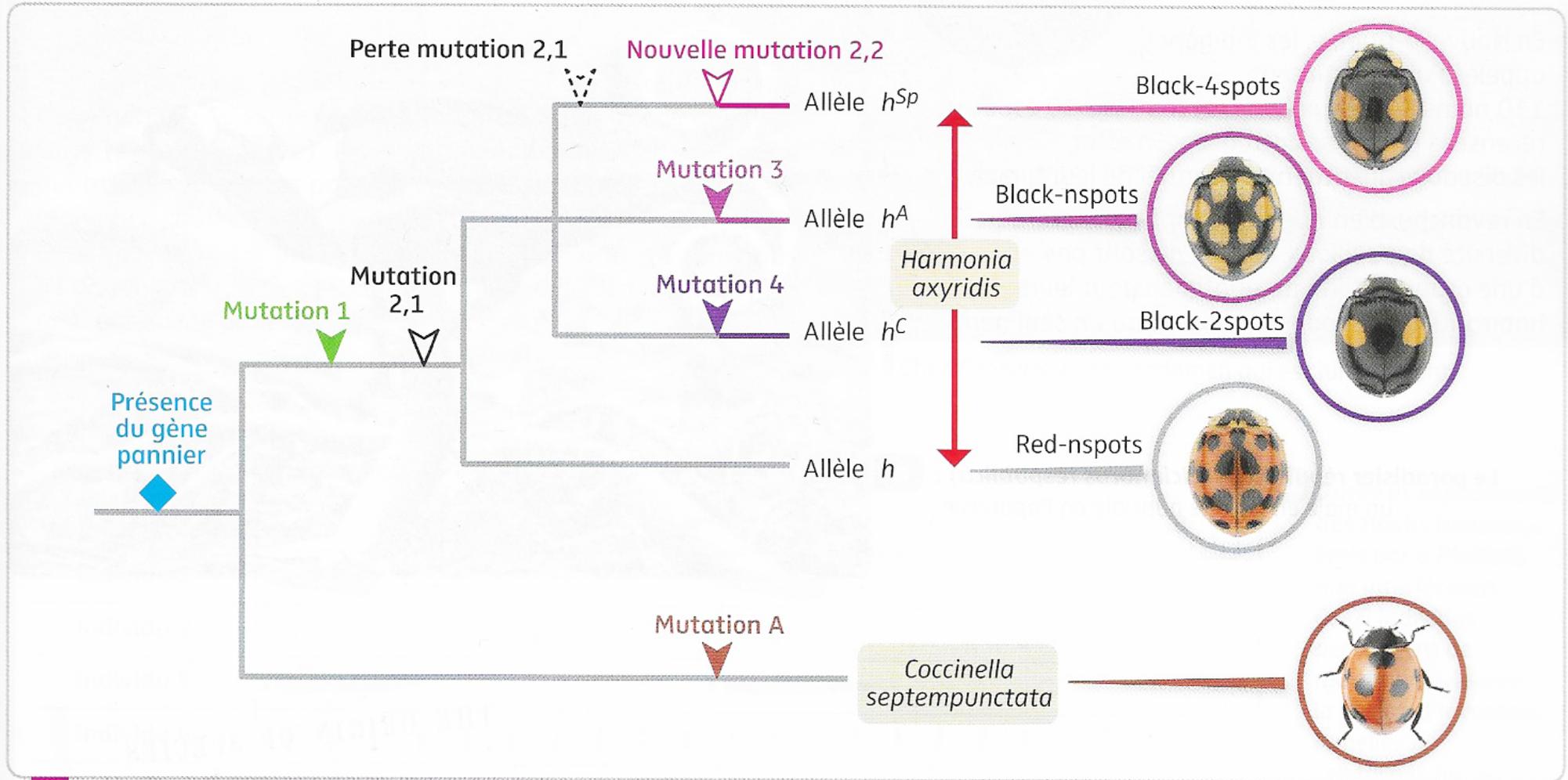
Black4spots

TTAAAAATAGTGAAAAAACTTCCTGAATTCCGAAAAACAAAATCACCATCTGCAAATCACGTATCTTCTTCAAACACCTAGT\_GAATGTAATTATCAGTTTCCGATAGGTGGC.

C AT

**c** Comparaison des séquences nucléotidiques du gène *pannier* chez deux coccinelles différentes.

## Evolution au cours du temps du gène *pannier*



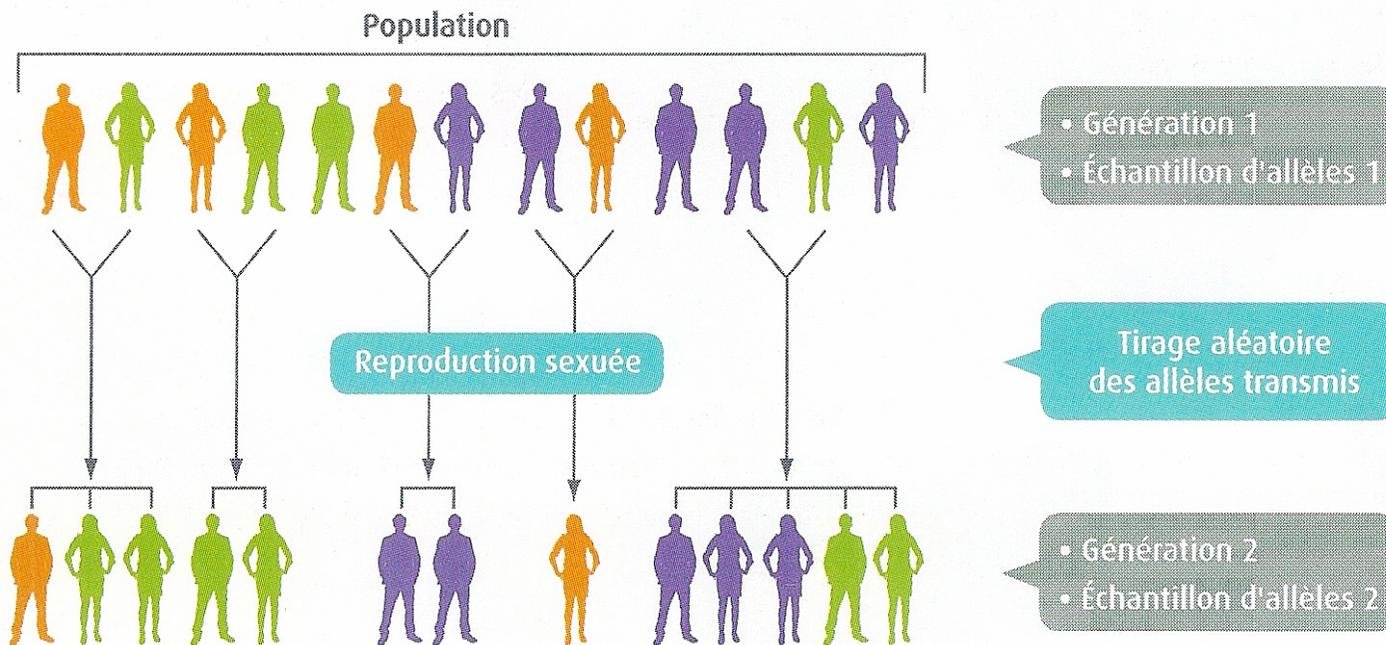
**d** Arbre de parenté obtenu à partir de la comparaison des allèles du gène *pannier* entre plusieurs phénotypes. Les mutations qui sont intervenues au cours de l'évolution sont indiquées par une flèche colorée.

## II. La dérive génétique

## La fréquence des allèles varie au cours des générations par dérive génétique

La fréquence des allèles varie sous l'effet du hasard (de façon aléatoire) au cours des générations car les parents transmettent au hasard un échantillon d'allèles lors de la reproduction.

On dit que les allèles subissent une **dérive génétique**.

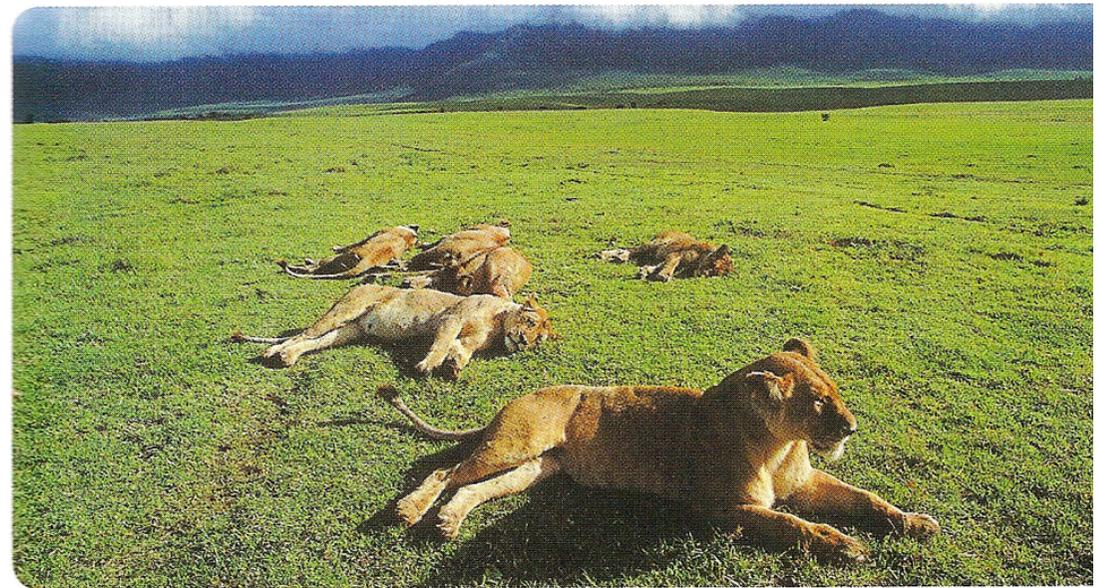


### 3 Le brassage génétique lors de la reproduction sexuée.

L'échantillon des allèles transmis d'une génération à la suivante est le résultat d'un tirage aléatoire parmi tous les allèles présents dans la population. La couleur ici associée à chaque individu correspond à la présence, chez lui, d'un allèle d'un gène donné pris pour exemple.

## Evolution de la population de lions du Serengeti : effet de la dérive génétique dans une petite population

Dans le parc naturel du Serengeti, une population d'une centaine de lions s'est isolée dans le cratère Ngorongoro (Afrique de l'Est). Ils proviennent donc de la même population que celle du parc naturel mais vivent isolés dans leur écosystème. En 1962, une grave infection fit chuter brutalement l'effectif de la population vivant dans le cratère : seule une dizaine d'individus survécurent. En 1975, la population retrouva sa taille initiale d'environ 100 individus. Les scientifiques constatèrent alors que la diversité génétique avait fortement baissée parmi les lions isolés. En 1990, ils mesurèrent les fréquences des allèles de 4 gènes chez les lions du parc du Serengeti et chez les lions isolés dans le cratère Ngorongoro.



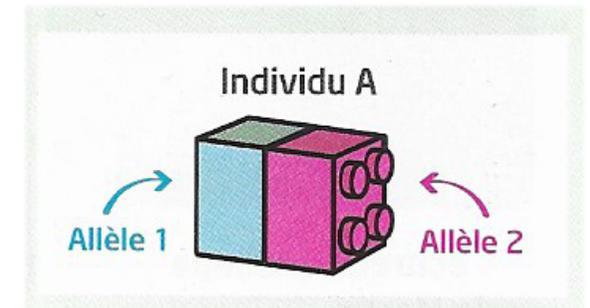
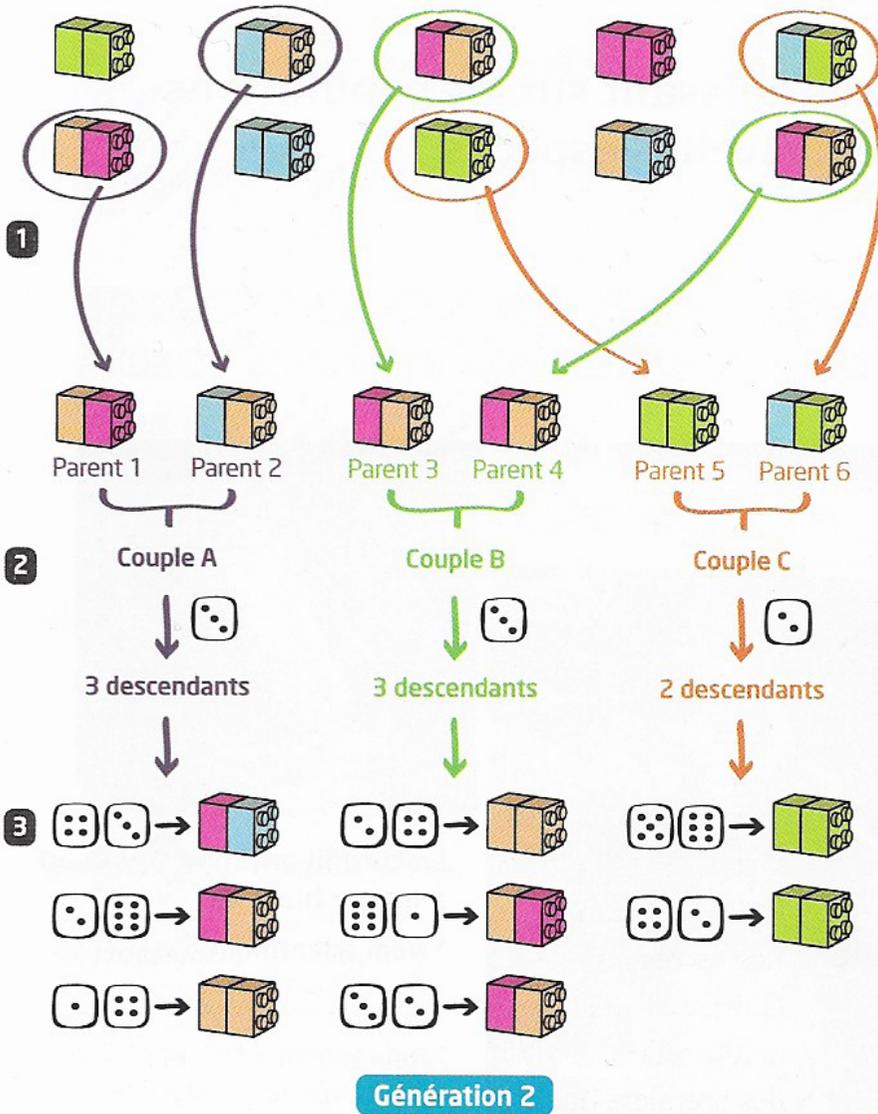
**B2i**

	Effectifs	Gène 1	Gène 2	Gène 3	Gène 4
<b>Lions du Serengeti</b>	> 2 000	a = 79 % b = 19 % c = 2 %	m = 74 % n = 26 %	r = 99 % s = 1 %	y = 99 % z = 1 %
<b>Lions du cratère Ngorongoro</b>	Env. 100	a = 85 % b = 15 %	m = 94 % n = 6 %	r = 100 %	y = 100 %

Les lettres représentent les différents allèles d'un gène.

# Modélisation de l'évolution de la fréquence des allèles par dérive génétique

Génération 1: population de départ 10 individus - 4 allèles



3

**Principe de la modélisation de la dérive génétique.** Cette modélisation peut être menée sur plusieurs générations, en appliquant toujours le principe suivant : dans une génération, seuls trois couples au maximum se reproduisent.

## Résultats sur la génération 2 après trois simulations

	Fréquence allèle vert	Fréquence allèle rose	Fréquence allèle orange	Fréquence allèle bleu
Simulation 1	0,46	0,36	0,09	0,09
Simulation 2	0,16	0,19	0,19	0,46
Simulation 3	0,12	0,56	0,20	0,12

4

### Résultats de trois simulations sur la génération trois.

Au départ, la fréquence de chaque allèle était 0,25 dans la population.

### **III. La sélection naturelle**

## Exemple des souris à abajoues



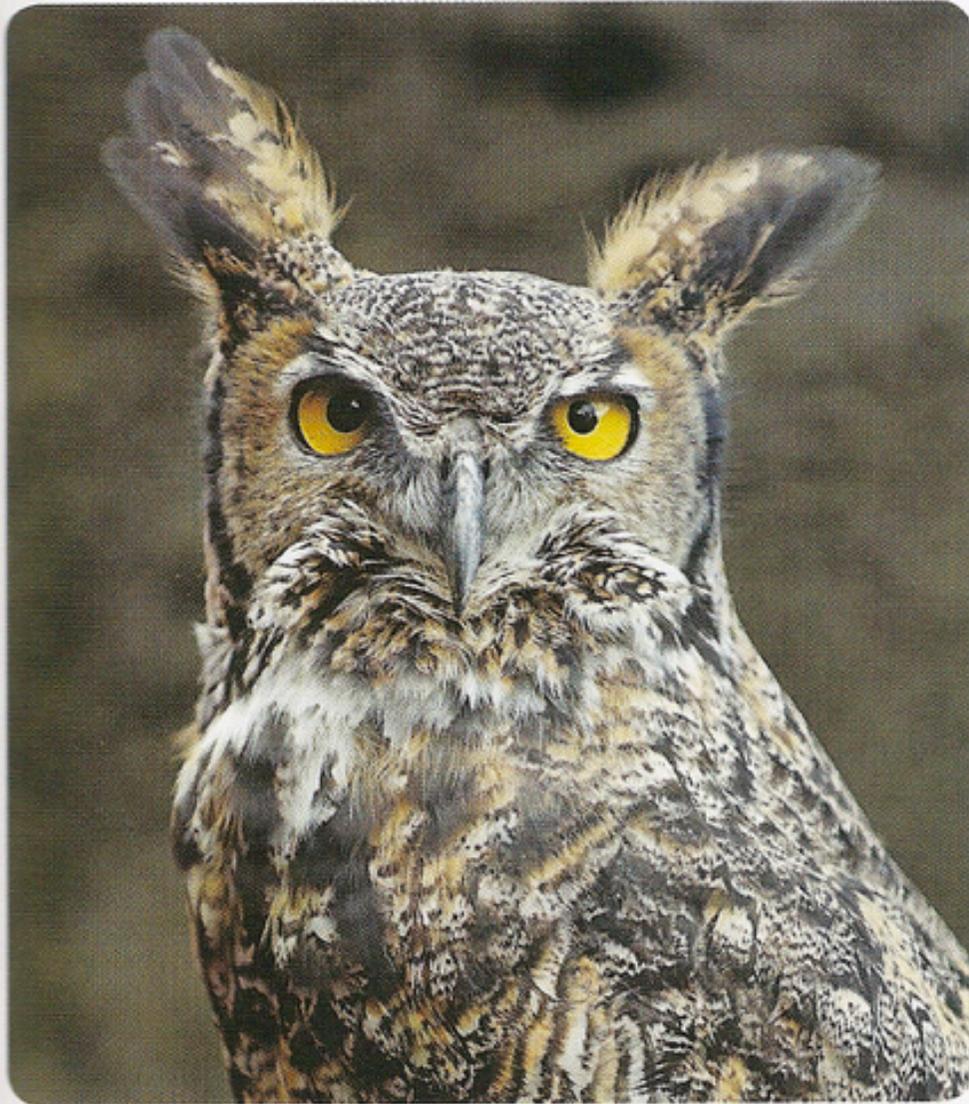
### **4** Des souris à abajoues.

Ces deux souris appartiennent à la même espèce et vivent notamment au sud de l'Arizona (États-Unis). La couleur de leur pelage leur procure une certaine protection contre leurs prédateurs (voir p. 93).



### **4** Les souris à abajoues et leur milieu de vie.

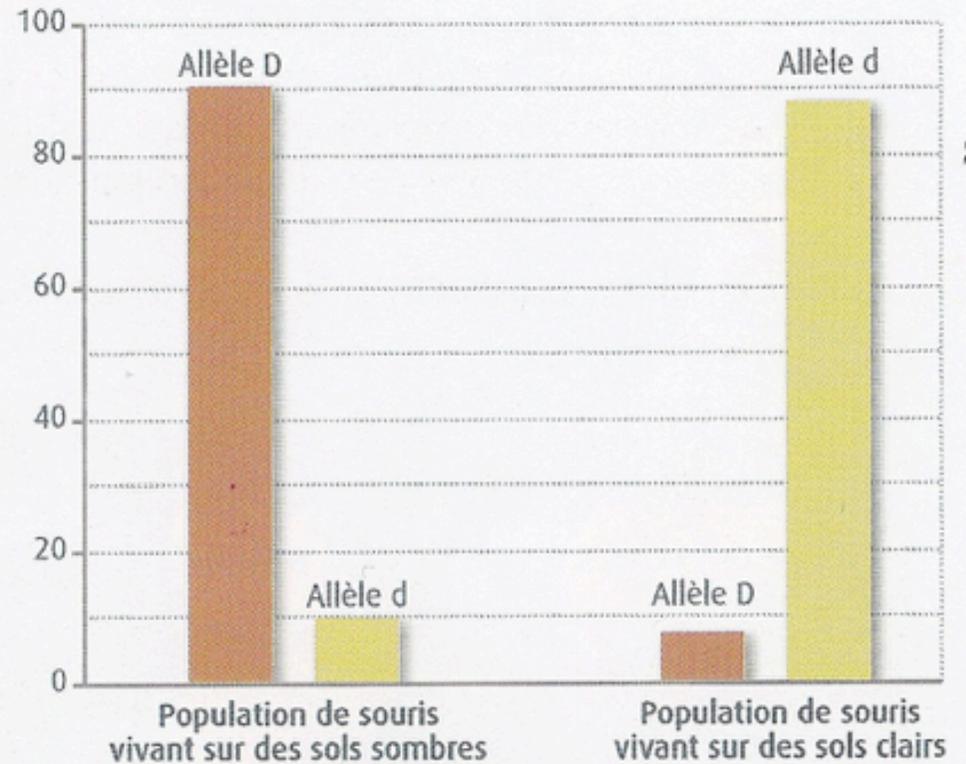
Dans le sud de l'Arizona (sud-ouest des États-Unis), vivent plusieurs populations d'une même espèce de souris: la souris à abajoues. Ces populations se distinguent par la couleur de leur pelage et leur milieu de vie: certaines peuplent de vastes zones formées de roches claires et de sables blancs, tandis que d'autres habitent des zones plus petites, recouvertes d'anciennes coulées de lave très sombres (voir p. 57).



**5 Un grand hibou à cornes.**

Il est le principal prédateur des souris à abajoues. Bien qu'il chasse de nuit, il est capable de distinguer la couleur du pelage de ces animaux.

Fréquence de l'allèle (en %)

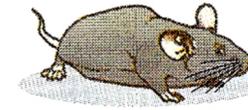


**6 La fréquence de deux allèles gouvernant la couleur du pelage dans deux populations de souris à abajoues de l'Arizona.**

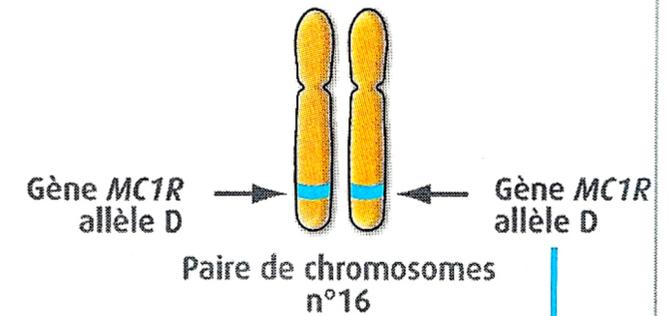
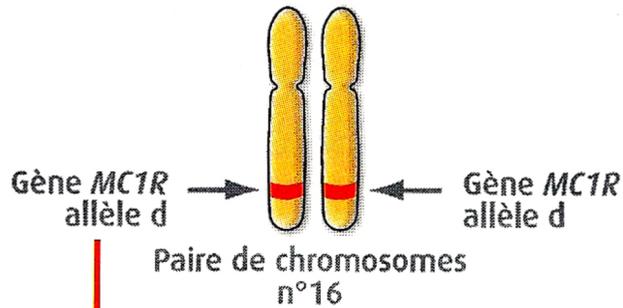
La coloration du pelage des souris est contrôlée par différents gènes, mais l'un d'entre eux est particulièrement important. On connaît deux allèles de ce gène : D et d. L'allèle D conduit à la formation d'un pelage foncé, l'allèle d conduit à la formation d'un pelage clair. On sait que l'allèle D est issu de l'allèle d par mutation (voir leur séquence doc. 5, p. 57).



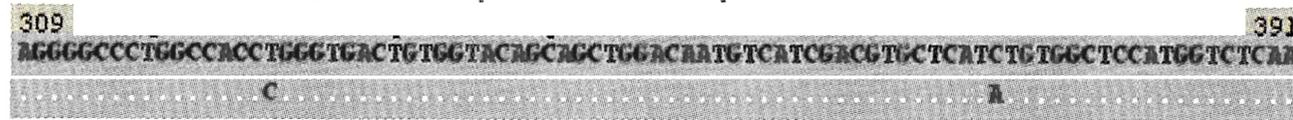
Souris avec pelage clair



Souris avec pelage foncé



### Comparaison de séquences



Seuls les nucléotides différents de ceux de la première séquence apparaissent, les nucléotides identiques étant représentés par un point.

## 5 Les allèles du gène *MC1R* chez deux souris à abajoues au pelage de couleur différente.

Le gène *MC1R* est impliqué dans la production d'un pigment brun responsable de la couleur du pelage.

## L'exemple des pinsons des Galápagos

- L'archipel des Galapagos est un ensemble d'îles volcaniques situées au large de l'Amérique du Sud. Elles abritent une biodiversité exceptionnelle déjà remarquée par Charles Darwin, en 1835. Les observations qu'il y fit ont permis par la suite de conforter sa théorie de la sélection naturelle.

- Depuis une quarantaine d'années, Peter et Rosemary Grant suivent l'évolution des pinsons sur l'île de Daphne Major. Ils se sont notamment intéressés à l'espèce *Geospiza fortis*. Ils ont remarqué, chez cette espèce, une variabilité de la dimension du bec et en 2002, ils ont identifié un gène (*Bmp4*) dont il existe différents **allèles** et qui détermine la forme et les dimensions du bec.

- P. et R. Grant ont mesuré annuellement la fréquence de ces deux types de pinsons et ont tenté de corréliser leurs mesures à des variations de conditions environnementales.

*Geospiza fortis* à petit bec ►



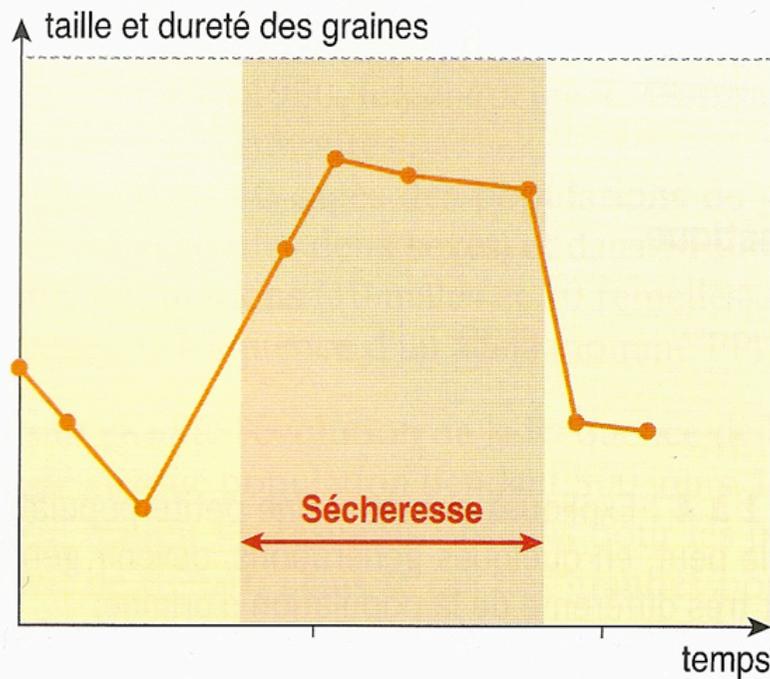
▲ *Geospiza fortis* à gros bec



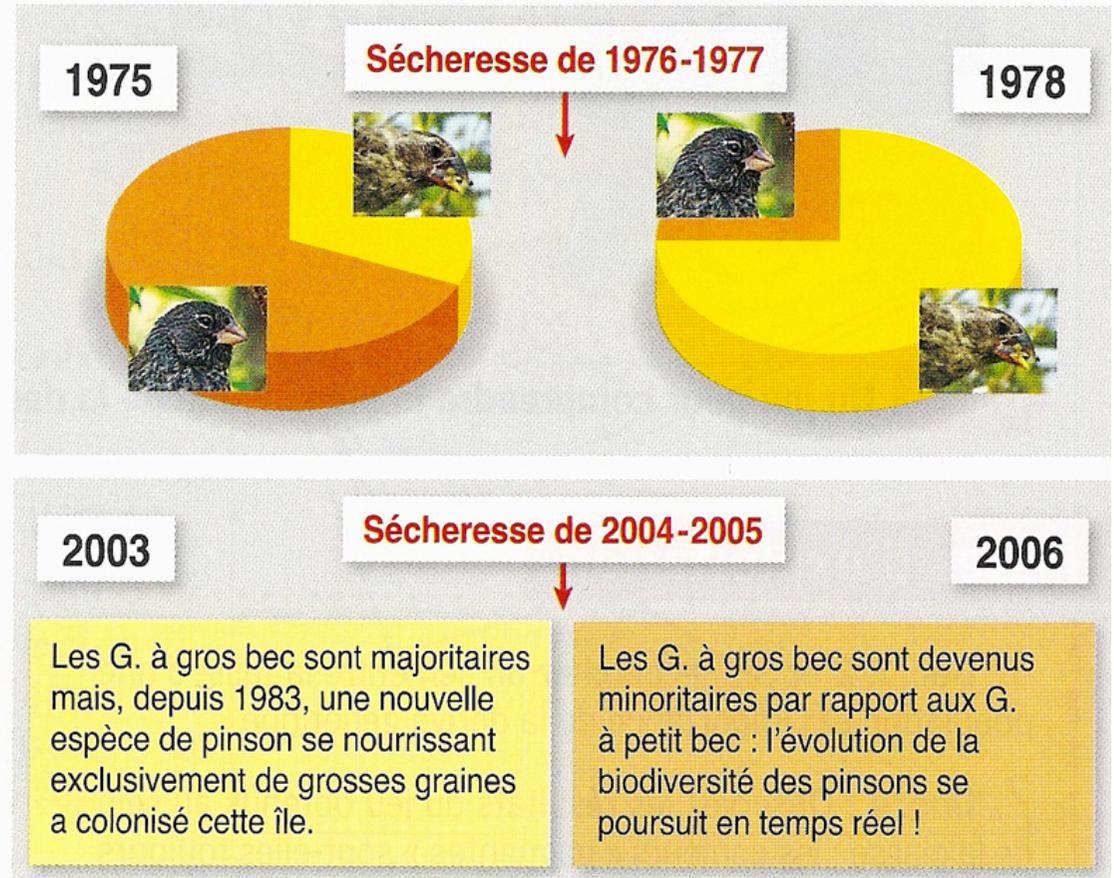
Les individus à petit bec se nourrissent exclusivement de petites graines, alors que les individus à gros bec se nourrissent principalement de grosses graines.

### Variations de la disponibilité en graines durant les années de sécheresse

À une diminution globale de la quantité de graines disponibles s'ajoute une variation de taille et de dureté des graines :

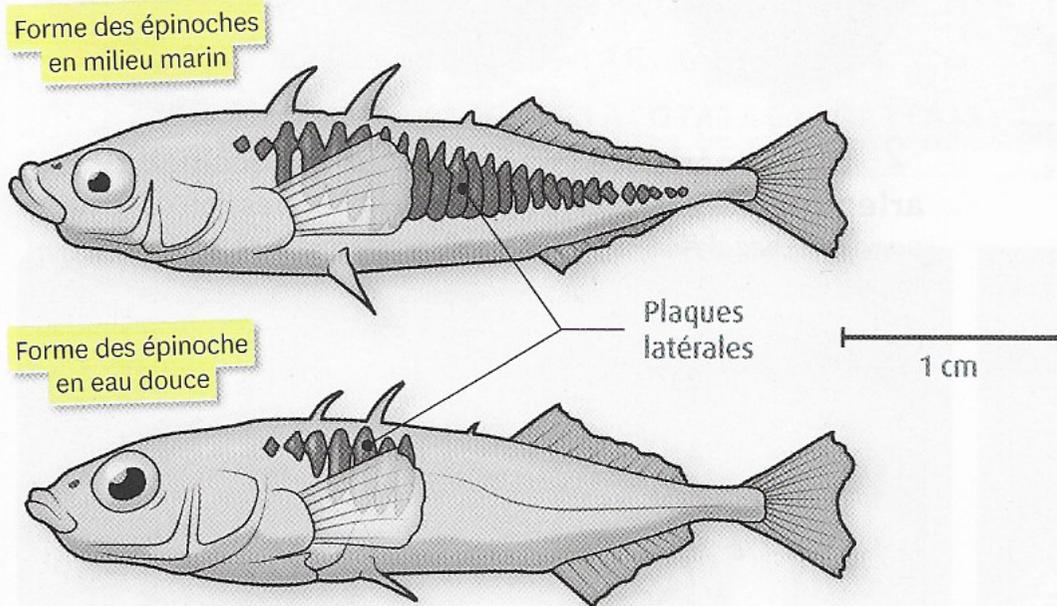


### Variations de la biodiversité des pinsons

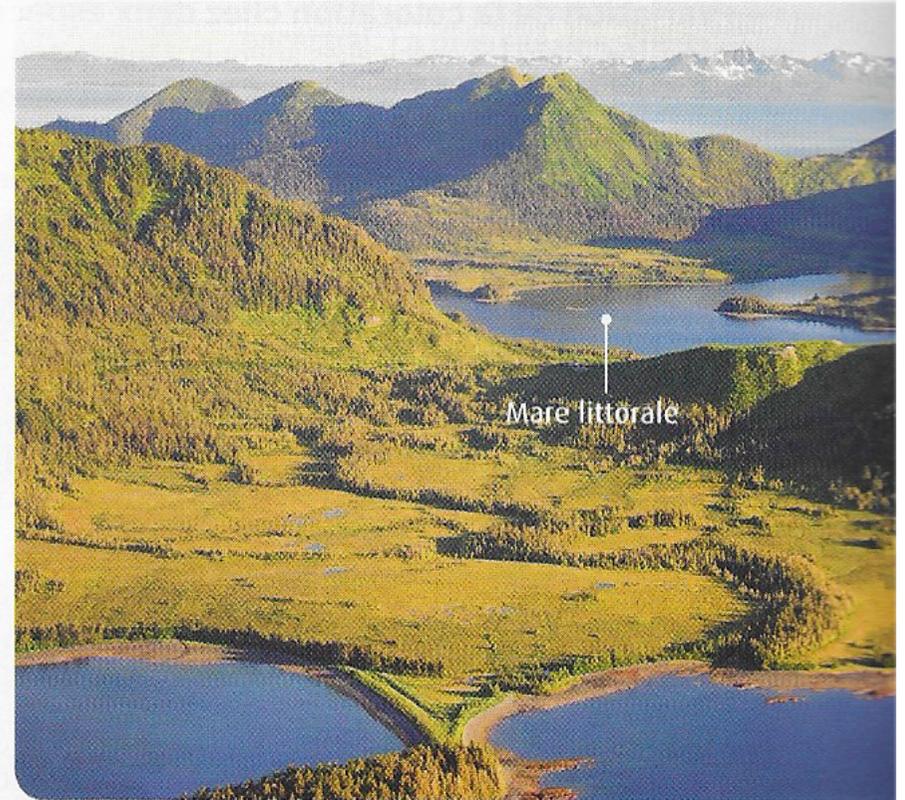


## **IV. La formation de nouvelles espèces : la spéciation**

## Isolement géographique : Les différentes formes d'épinoches

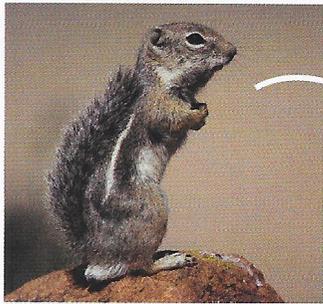


**5** **Les différentes formes d'épinoches selon les milieux de vie.** Les épinoches sont de petits poissons dont on trouve des espèces d'eau de mer et d'autres d'eau douce. En 1964, la baie du Prince William a subi un important séisme et des individus marins ont été isolés de la mer, dans des mares dont l'eau s'est progressivement dessalée, à cause de la pluie. Les chercheurs ont constaté qu'en 50 ans, ces épinoches ont survécu, mais ont perdu leur plaques latérales et ne se reproduisent plus avec les formes d'eau de mer.



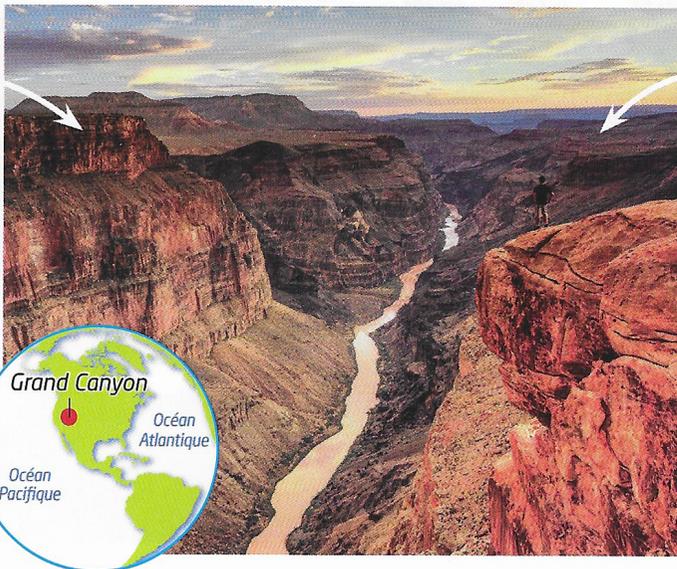
**6** **Vue aérienne de la baie de Prince William (en Alaska).** Les mares littorales ont été formées lors du séisme.

# Isolement géographique : Les différentes espèces d'écureuil-antilope



**L'écureuil-antilope de Harris**

- > **Nom scientifique :** *Ammospermophilus harrisi*
- > **Reproduction :** décembre à mars, portée de 5 à 9 petits

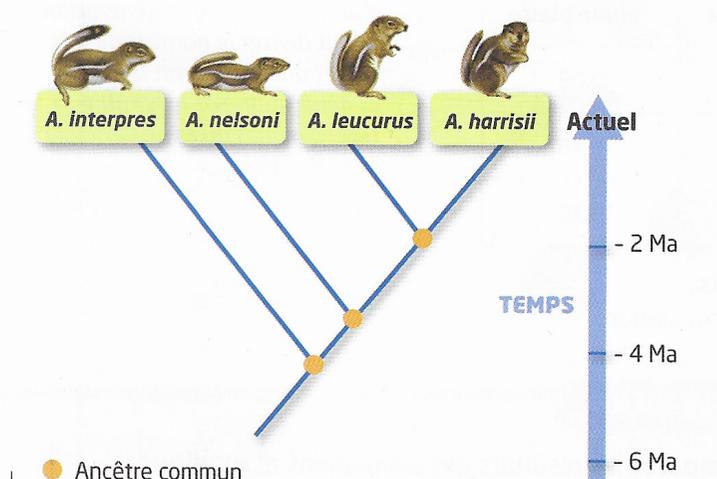


**L'écureuil-antilope à queue blanche**

- > **Nom scientifique :** *Ammospermophilus leucurus*
- > **Reproduction :** février à juin, portée de 5 à 14 petits

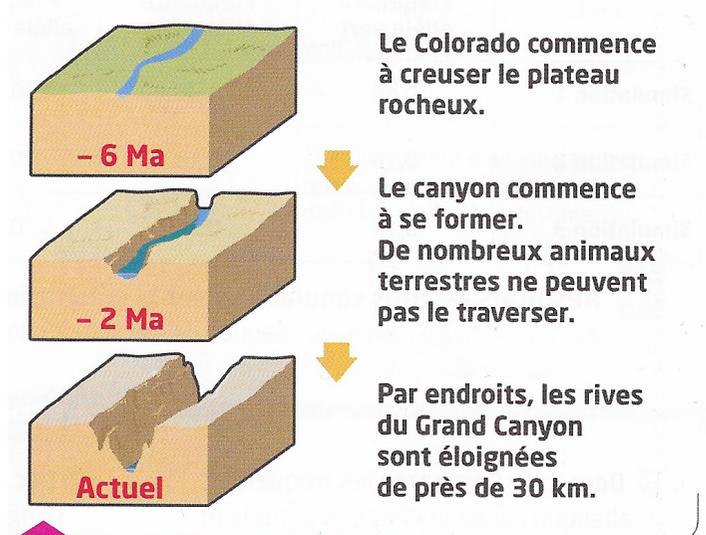
## 1 Répartition de deux espèces d'écureuil-antilope en Amérique du Nord au niveau du Grand Canyon.

Le Grand Canyon sépare deux espèces d'écureuil-antilope qui vivent chacune de part et d'autre du canyon. Celui-ci représente une véritable barrière que les écureuils-antilopes ne peuvent pas franchir.



## 2 Arbre phylogénétique de quelques espèces d'écureuil-antilope.

Cet arbre illustre la spéciation, c'est-à-dire la formation de nouvelles espèces.



## 3 La formation du Grand Canyon. Long de 450 km, le Grand Canyon est le résultat de l'érosion d'un plateau rocheux par le fleuve Colorado.

## Isolement reproducteur : La processionnaire du pin

La processionnaire du pin est un insecte qui vit en colonie et passe une grande partie de l'année sous la forme larvaire (chenilles).

Durant tout l'hiver, les chenilles s'abritent dans un cocon accroché aux arbres (A)

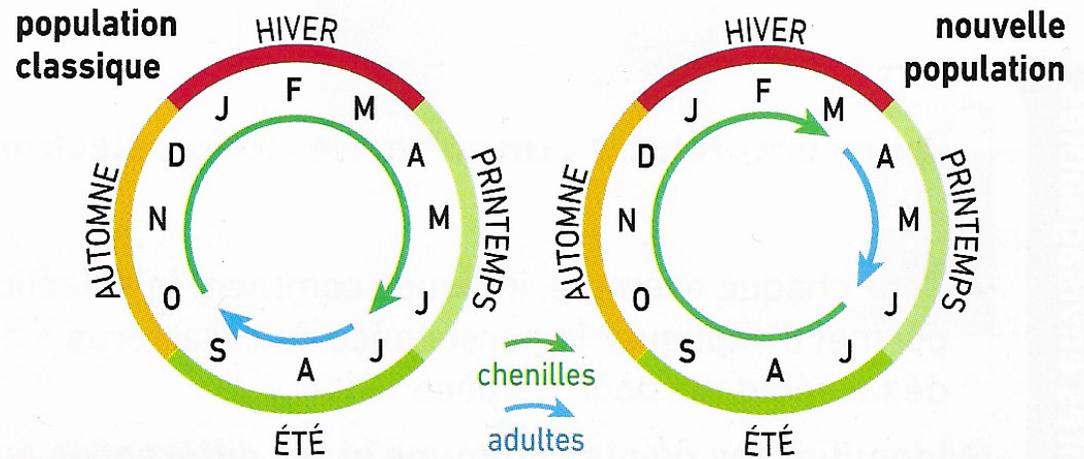
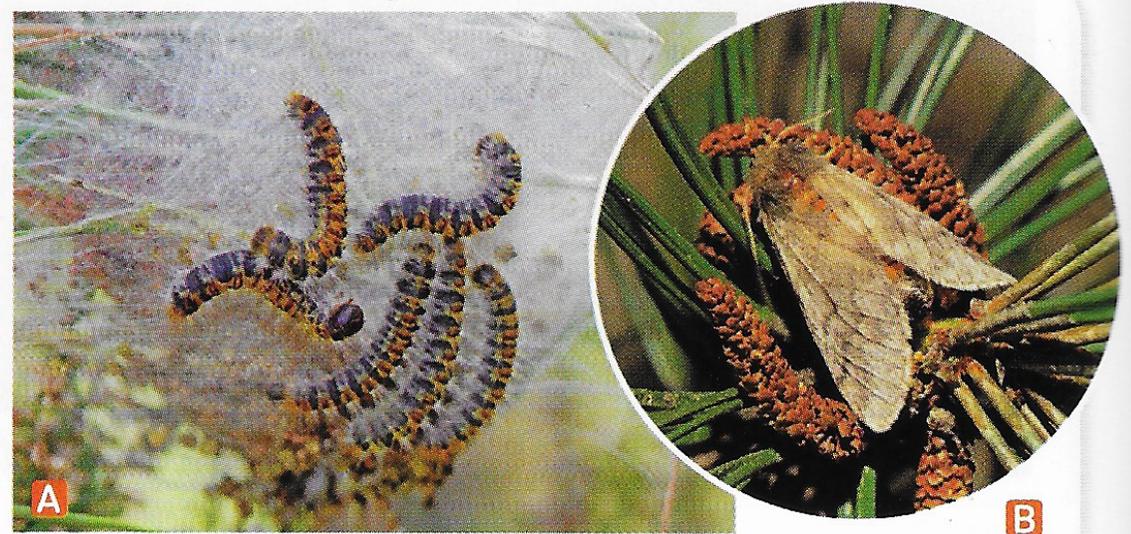
A la fin de l'hiver, les chenilles quittent en procession les cocons pour s'enterrer dans un nid et s'y métamorphoser.

Les papillons adultes (B) émergent du nid au début de l'été, se reproduisent et pondent leurs œufs à la fin de l'été avant de mourir.

Dans une pinède du Portugal, des scientifiques ont découvert une population particulière de processionnaires du pin : leur cycle de reproduction est modifié (C).

Des études génétiques ont montré une forte divergence génétique entre les deux populations. Si ce phénomène s'avère durable, il est probable qu'on assiste à la formation d'une nouvelle espèce.

Montrez que cette différence de cycle entre les deux populations induit un isolement reproducteur.



**C** Cycles de développement de deux populations de processionnaire du pin.

Observations concernant les processionnaires de la pinède au Portugal :

leur cycle est totalement décalé, de telle sorte que les adultes sortent et se reproduisent au printemps. Ainsi, les adultes de cette population au cycle modifié ne rencontrent plus les adultes de la population classique (C).

## Isolement reproducteur : Le pouillot verdâtre

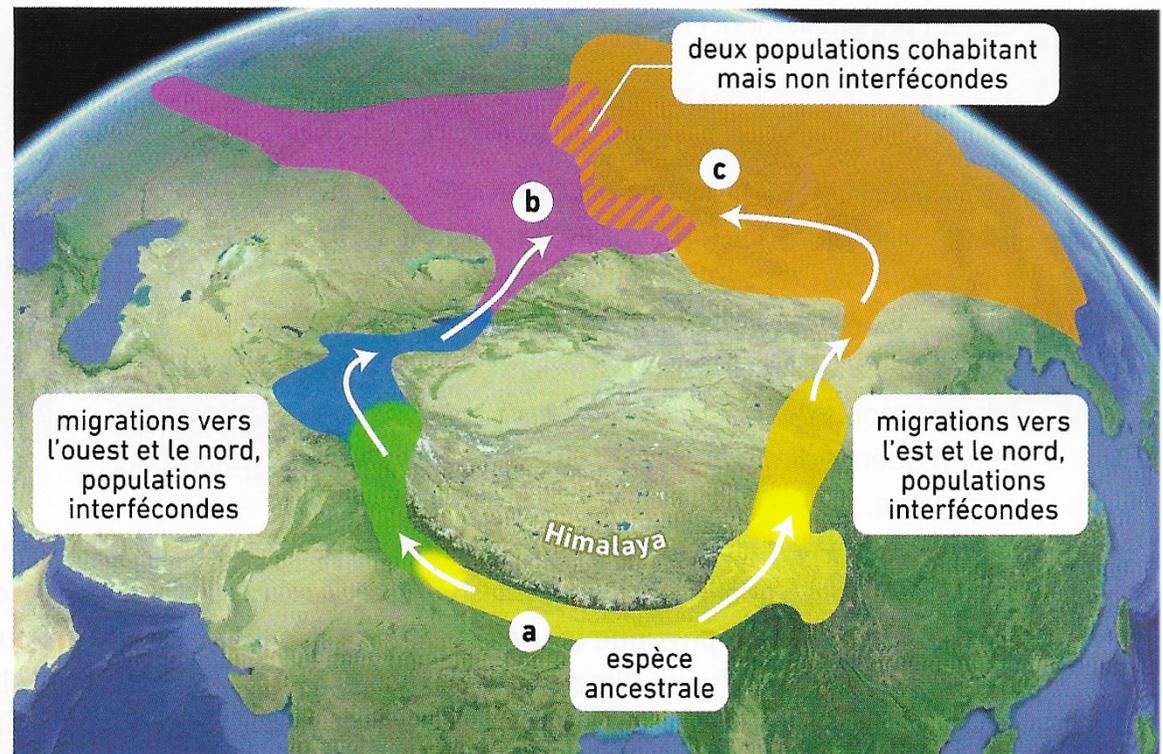
Dans une espèce, la communication entre les mâles et les femelles est déterminante pour la reproduction. Ainsi, des modifications de cette communication peut être à l'origine d'une spéciation : modification du message ou difficulté à recevoir le message ...

**Il y a 10 000 ans, une population de pouillot verdâtre peuplait les contreforts sud de l'Himalaya.**

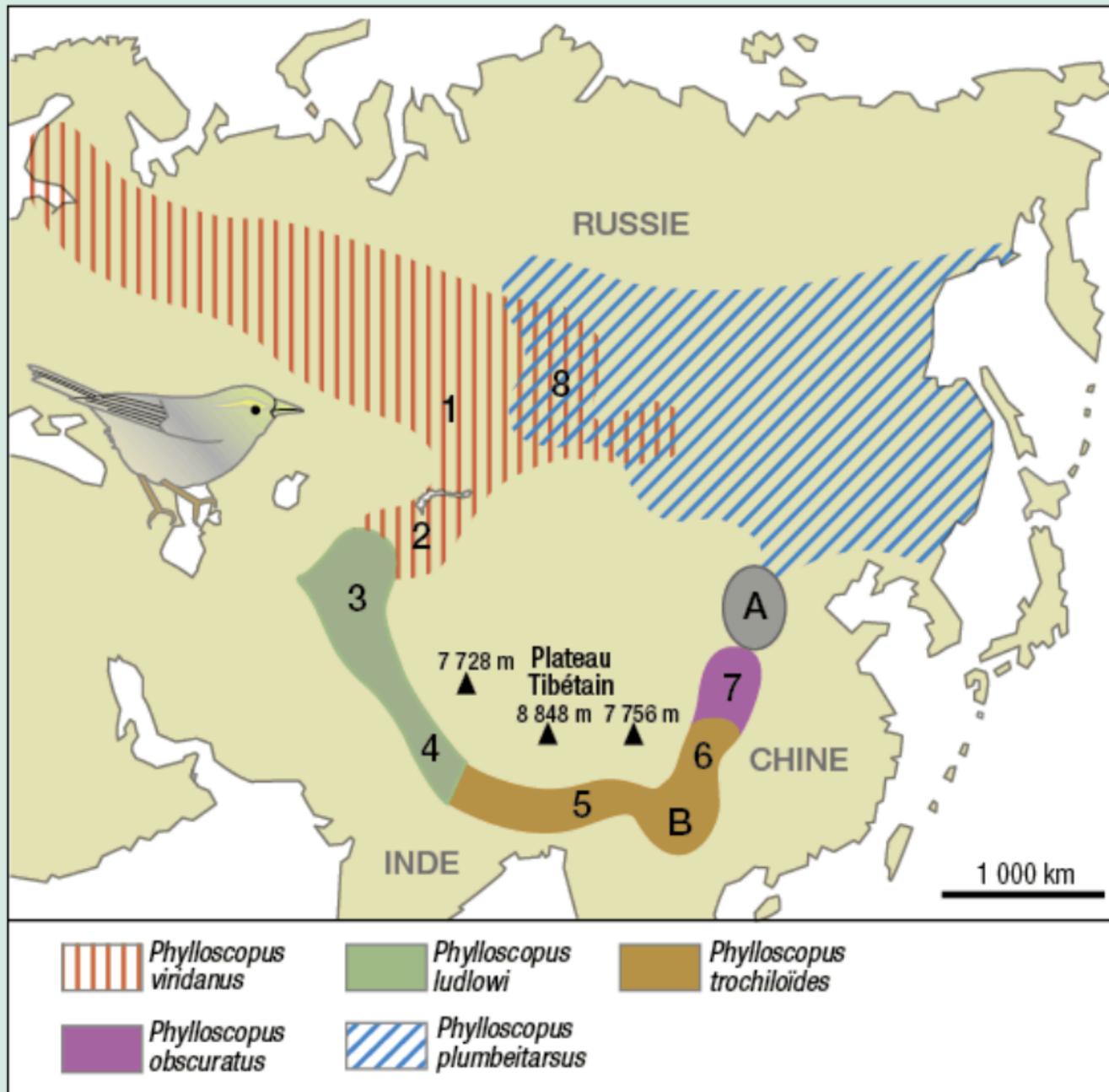
La migration vers le nord de cet oiseau fut bloquée par une barrière naturelle : la chaîne de montagne. Au fil des générations, deux flux migratoires se sont étendus vers l'est et vers l'ouest.

Les populations à chaque extrémité se rencontraient et se reproduisaient de plus en plus rarement. Elles se sont progressivement différenciées génétiquement et sont devenues des formes différentes de pouillot verdâtre.

Aujourd'hui les deux populations cohabitent au nord de l'Himalaya sans pouvoir se reproduire.



a. Répartition des populations appartenant aux 5 espèces actuelles



## Etude des sonogrammes des pouillots mâles

La biodiversité des pouillots verdâtres est caractérisée par de faibles variations morphologiques, mais aussi par des variations du chant. On appelle «sonogrammes» les enregistrements du chant des oiseaux.

Les chants des mâles sont constitués de séquences sonores qui se répètent. Afin de rendre l'exploitation de ces enregistrements plus pratique, les séquences sonores identiques ont été remplacées par des lettres de l'alphabet. Plus les lettres sont proches alphabétiquement, plus les échantillons sonores sont proches. Les oiseaux peuvent communiquer entre eux si les sonogrammes sont proches.

### **Conversion d'un sonogramme en lettres alphabétiques**

<b>Séquence sonore</b>	<b>Lettre correspondant</b>
	L
	M
<b>Exemple de sonogramme et sa conversion</b>	
L   L   L   M   M   M	

On a enregistré les chants de pouillots verdâtres mâles de 8 populations localisées dans différents lieux autour du plateau tibétain (voir la carte du document **1a**). Chaque population a un chant caractéristique formé par l'association d'une à trois séquences sonores différentes. Le pouillot verdâtre mâle utilise son chant pour défendre son territoire et attirer la femelle. L'étude du comportement sexuel montre que, pour s'accoupler, les oiseaux se reconnaissent par leur chant.

Espèces	Localisation des enregistrements	Représentations simplifiées desonogrammes
<i>Phylloscopus viridanus</i>	1 Violet	—A—   B   —C—
	2 Bleu nord	D   D   D   E   E
<i>Phylloscopus ludlowi</i>	3 Bleu sud	F   F   F   G   G
	4 vert	H   H   H   H   H
<i>Phylloscopus trochiloïdes</i>	5 Jaune ouest	I   I   I   I
	6 Jaune est	J   J   J   J   K   K
<i>Phylloscopus obscuratus</i>	7 Orange	L   L   L   M   M   M
<i>Phylloscopus plumbeitarsus</i>	8 Marron	N   N   O   P   P   P   P

## Deux kiwis de Nouvelle-Zélande

Kiwi de Mantell



Kiwi austral



**1 Deux kiwis de Nouvelle-Zélande.** Jusqu'en 2016, on avait identifié 5 espèces de kiwi, un oiseau endémique de Nouvelle-Zélande. Grâce à l'étude du génome de ces oiseaux, les chercheurs ont constaté qu'il existe en réalité 11 groupes de kiwis sur l'île. Les différences entre les génomes de ces groupes laissent supposer que les individus d'un groupe ne se reproduisent plus avec ceux d'un autre groupe : il y a isolement reproducteur. À l'œil nu, il est impossible de différencier les individus des différents groupes.

## Une nouvelle espèce de géospize sur l'archipel des Galápagos

*Geospiza fortis*



*Geospiza conirostris*



Hybride



Sur chaque île de l'archipel, on trouve une ou plusieurs espèces de géospizes qui se différencient notamment par la taille de leur bec, adapté aux graines dont ils se nourrissent. Grâce à des analyses génétiques, les chercheurs ont découvert un individu hybride entre l'espèce *G. fortis*, et l'espèce *G. conirostris*. Les descendants des hybrides se reproduisent uniquement entre eux et ont un bec plus gros que les espèces parentes. Il semble que cet isolement reproducteur soit récent (30 ans environ).

## **IV. La communication intraspécifique et la sélection sexuelle**

