

Thème 1 : La Terre, la vie et l'organisation du Vivant



Rhinopithecus bieti

Chapitre 4 : L'évolution des populations par la variation des fréquences alléliques

- I. Le modèle d'Hardy-Weinberg : la constance des fréquences alléliques dans les populations au cours du temps
- II. Les écarts au modèle d'HW mettent en évidence les mécanismes de l'évolution contribuant à la différenciation génétique des populations
- III. Un nouveau regard sur la définition d'espèce

Si

- population de grande taille
- absence de mutations
- reproduction aléatoire des individus = PANMIXIE
- pas de migrations
- de sélection naturelle

- > Maintien des **fréquences alléliques**
- > Maintien des **fréquences génotypiques**
de génération en génération

Exemple : les groupes sanguins

Population	Pourcentage des groupes				Fréquence des allèles		
	O	A	B	AB	A	B	O
Amérindiens (Argentine)	98,5	1,5	0	0	0,007	0	0,993
Aborigènes (Australie)	48,1	51,9	0	0	(=> Fréquences constantes		
Population basque	57,2	41,7	1,1	0			
Population française	39,8	42,3	11,8	6,1	0,276	0,088	0,632
Population chinoise	34,2	30,8	27,7	7,3	0,220	0,201	0,580

Formalisation mathématique par Hardy

Modèle :

A connaître !

- On considère 1 gène qui a uniquement deux allèles
 - L'allèle **A**, de fréquence **p**
 - L'allèle **a**, de fréquence **q**



**Fréquences des
génotypes dans la
population**

$$f(\mathbf{AA}) = \mathbf{p}^2$$

$$f(\mathbf{Aa}) = 2\mathbf{pq}$$

$$f(\mathbf{aa}) = \mathbf{q}^2$$

Avec : $\mathbf{p}^2 + 2\mathbf{pq} + \mathbf{q}^2 = 1$

Le modèle d'Hardy-Weinberg – En résumé

L'équilibre théorique de Hardy-Weinberg

Si dans une population, il y a seulement 2 allèles pour un caractère donné, alors :

$$P^2 + 2PQ + Q^2 = 1$$

Fréquence
du génotype
homozygote
dominant



Fréquence
du génotype
hétérozygote



Fréquence
du génotype
homozygote
récessif



Le modèle d'Hardy-Weinberg se vérifie-t-il toujours ?

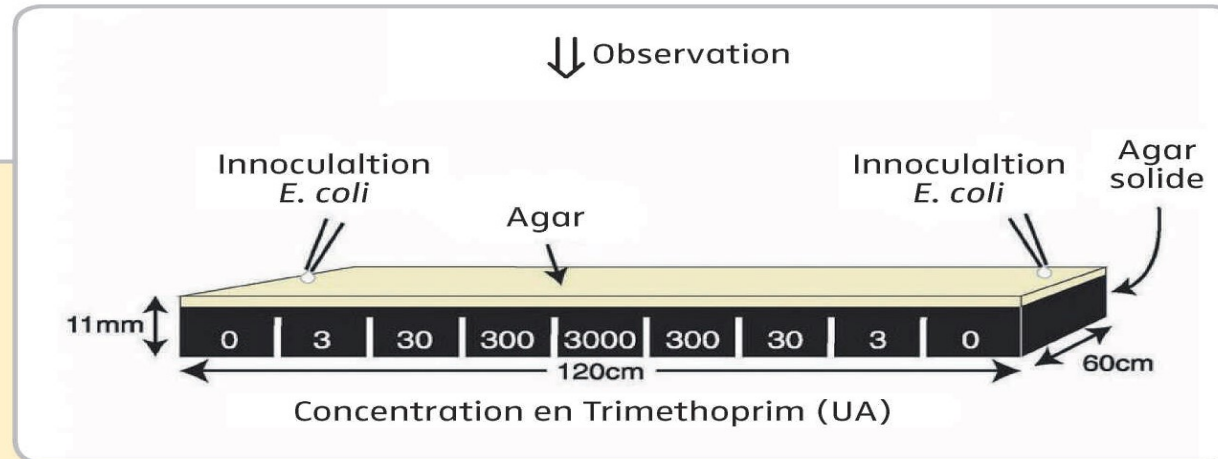
Chapitre 4 : L'évolution des populations par la variation des fréquences alléliques

- I. Le modèle d'Hardy-Weinberg : la constance des fréquences alléliques dans les populations au cours du temps
- II. Les écarts au modèle d'HW mettent en évidence les mécanismes de l'évolution contribuant à la différenciation génétique des populations
- III. Un nouveau regard sur la définition d'espèce

VOIR TP9

[http://www.incertae-sedis.fr/gl/LF 20 term spe HW sommaire.htm](http://www.incertae-sedis.fr/gl/LF_20_term_spe_HW_sommaire.htm)

Mutations

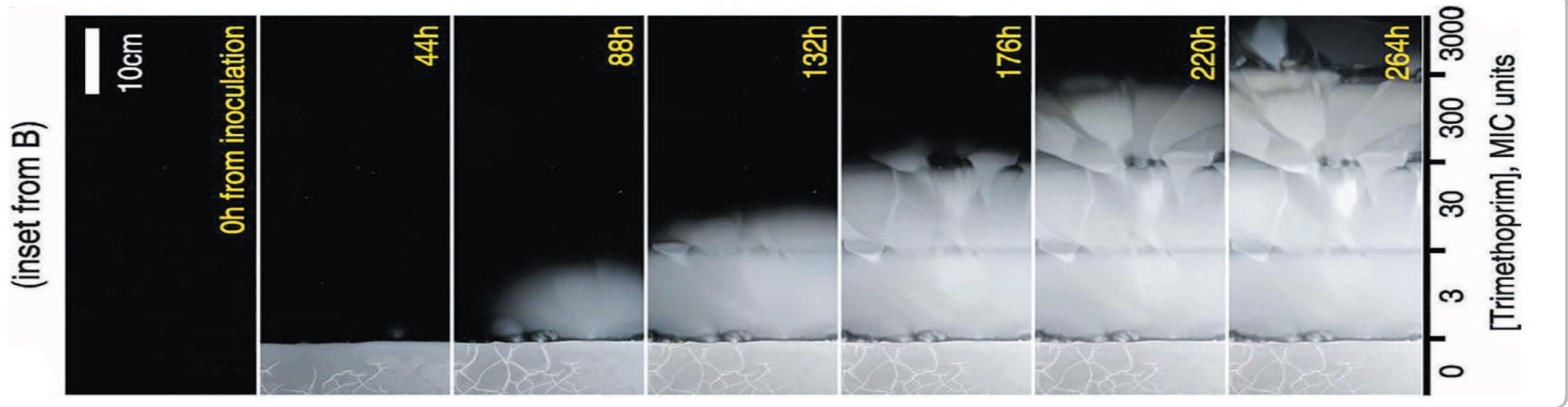


Les scientifiques ont cultivé une souche d'*Escherichia coli* sensible à un antibiotique, le trimethoprim, sur une boîte de Petri géante remplie avec de la gélose noire. Dans ce milieu, on retrouve des éléments nutritifs permettant aux bactéries de se multiplier et de former un tapis blanc en surface. Il contient aussi une concentration croissante de ce même antibiotique.

Au bout de 11 jours, on observe les résultats et on identifie les différentes mutations (présence d'un rond) qui aboutissent à la formation de nouvelles souches de bactéries résistantes.

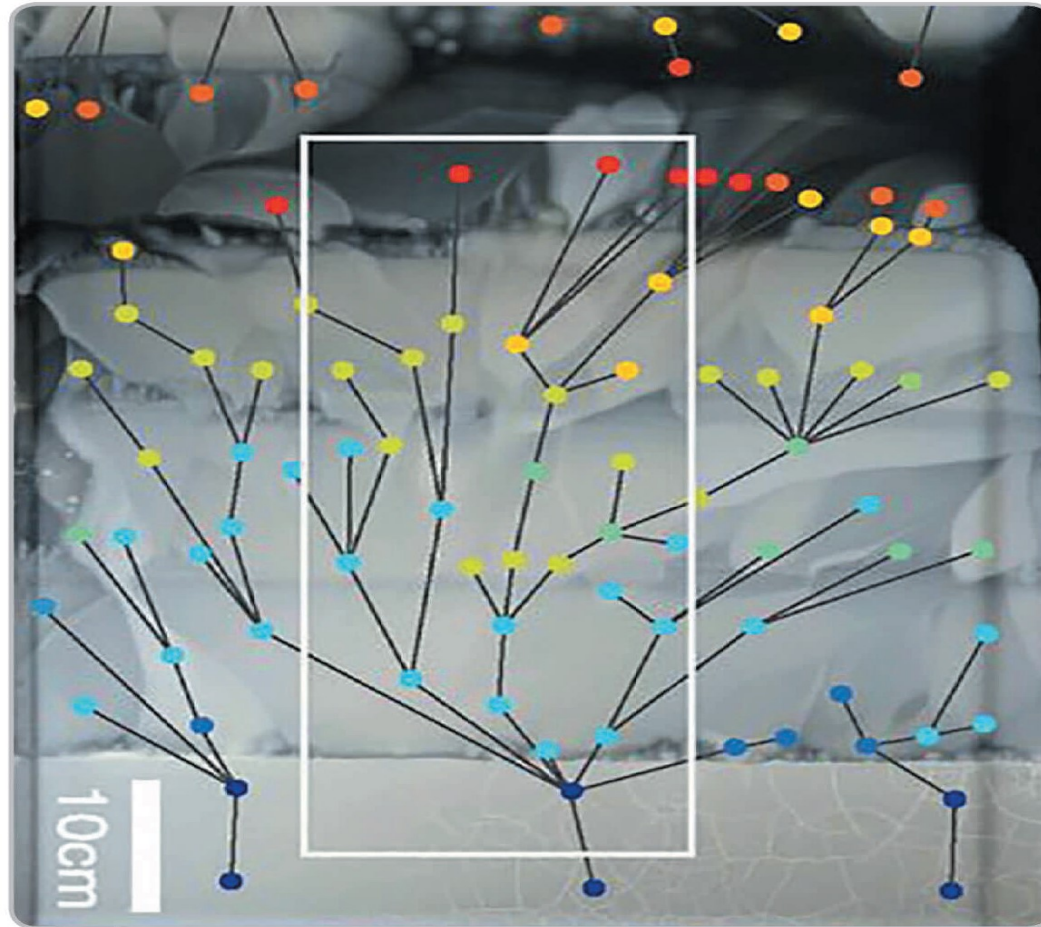
b Principe de l'expérience.

Mutations



a Résultats de l'expérience de croissance d'une souche d'*Escherichia coli* sensible à l'antibiotique triméthoprim.

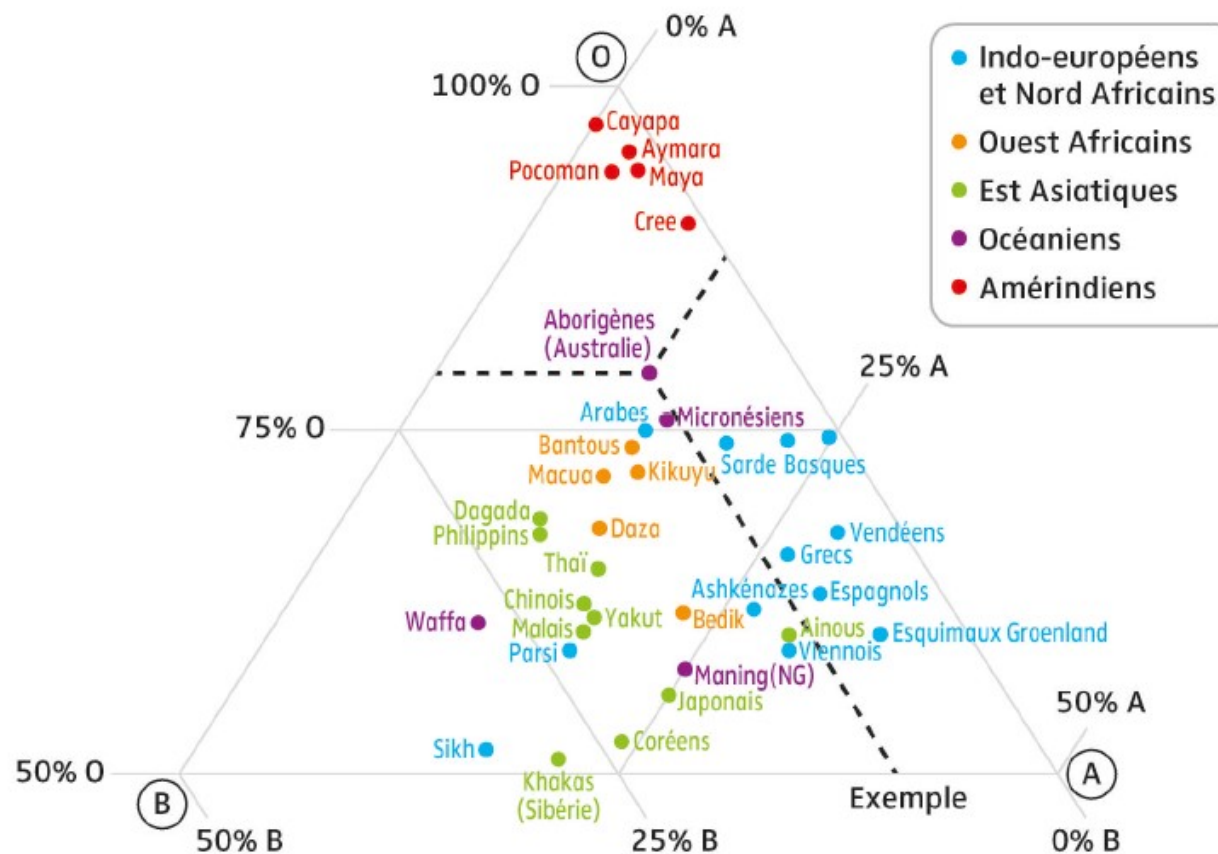
Mutations



c Identification des mutations survenues chez les bactéries au cours des divisions cellulaires à l'origine de l'acquisition de l'antibiorésistance.

Dérive génétique

Décrire les fréquences alléliques des populations pour le gène des groupes sanguins du système ABO



Dans l'espèce humaine, les groupes sanguins du système ABO sont déterminés par trois allèles : A, B et O.

On peut représenter sous la forme d'un diagramme triangulaire l'abondance relative de ces allèles dans les différentes populations humaines.

4 La fréquence des allèles A, B et O dans les différentes populations humaines.

Dans cette représentation, plus une population est proche d'un sommet du triangle équilatéral, plus l'allèle correspondant est fréquent dans cette population.

[Nathan]

Dérive génétique

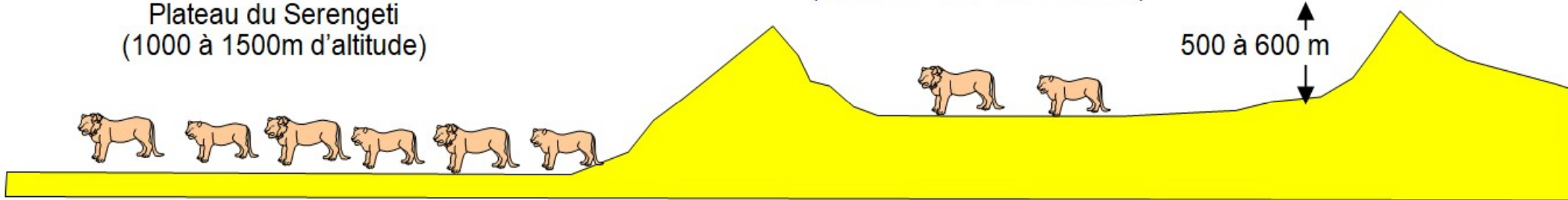
NO

Plateau du Serengeti
(1000 à 1500m d'altitude)

Cratère du Ngorongoro
(20 km de diamètre environ)

SE

500 à 600 m



	Effectifs	Gène 1	Gène 2	Gène 3	Gène 4
Lions du Serengeti	> 2000	A : 79% B : 19% C : 2%	M : 74% N : 26%	R : 99% S : 1%	Y : 99% Z : 1%
Lions du cratère Ngorongoro	Env 100	A : 85% B : 15%	M : 94% N : 6%	R : 100%	Y : 100%
Proportions des allèles de quatre gènes entre les deux populations de lions en 1990 (les lettres représentent les différents allèles du gène). Données du manuel Bordas SVT de seconde					

Sélection naturelle

Individus possédant un **caractère avantageux** dans un environnement donné

Augmentation de la probabilité de survie et de reproduction

Plus de descendants

Propagation du caractère (et éventuellement de l'allèle déterminant ce caractère) dans la population

Caractère sélectionné

Individus possédant un **caractère désavantageux** dans un environnement donné

Diminution de la probabilité de survie et de reproduction

Moins de descendants

Régression (et même disparition) du caractère (et éventuellement de l'allèle déterminant ce caractère) dans la population

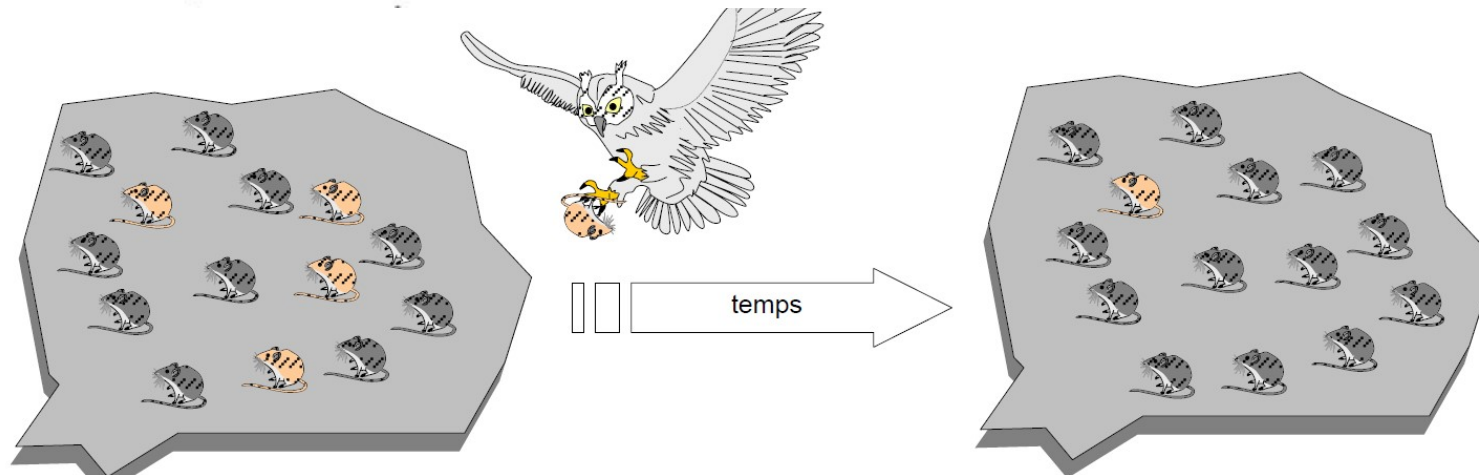
Caractère non sélectionné / éliminé

Sélection naturelle

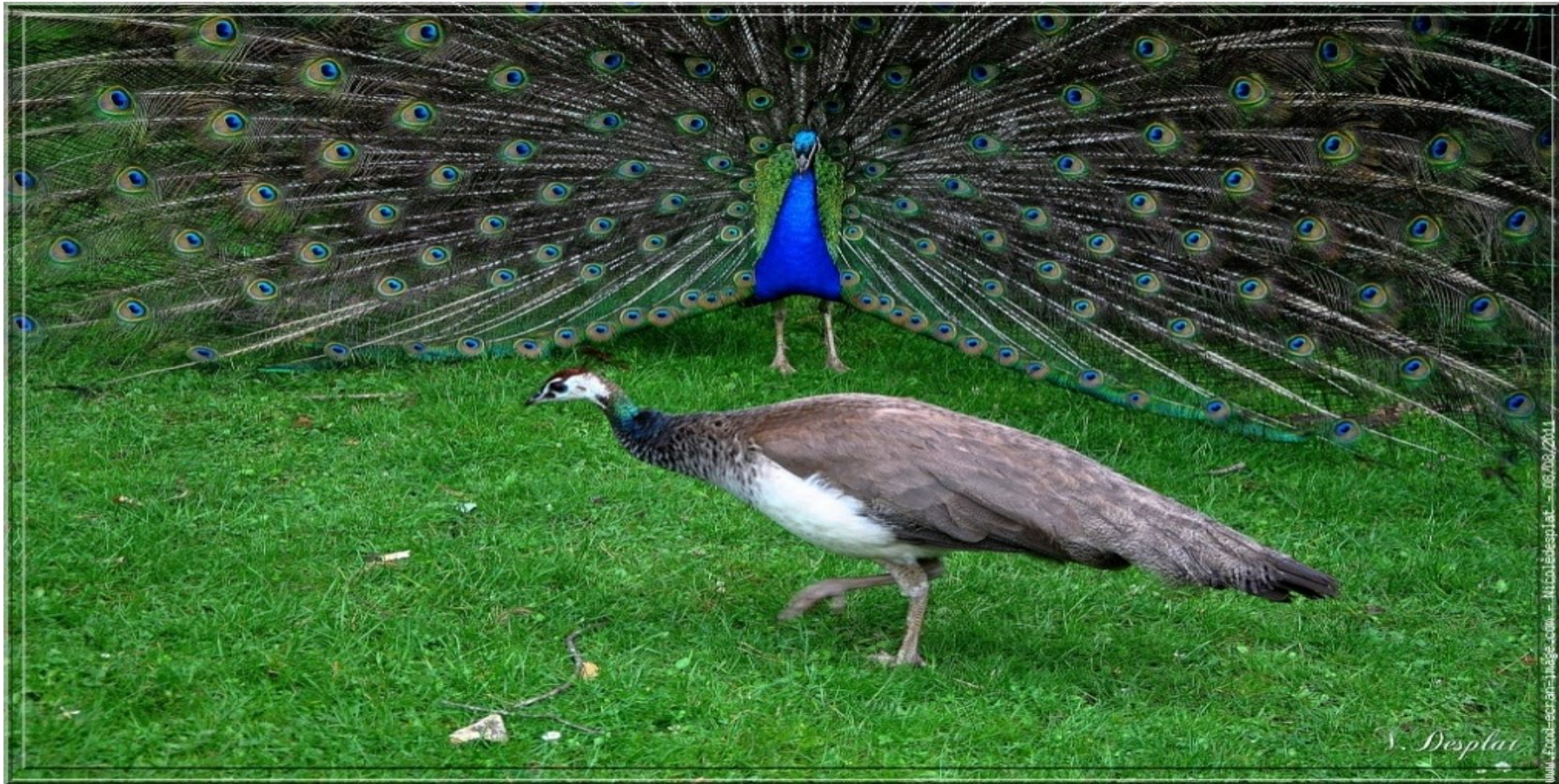
Un exemple : les souris à abajoues



4 Les souris à abajoues et leur milieu de vie.



Sélection sexuelle



Sélection sexuelle

<https://www.youtube.com/watch?v=xEGje03jMhQ>



Sélection sexuelle

Cerf volant



Double sélection et compromis sélectif

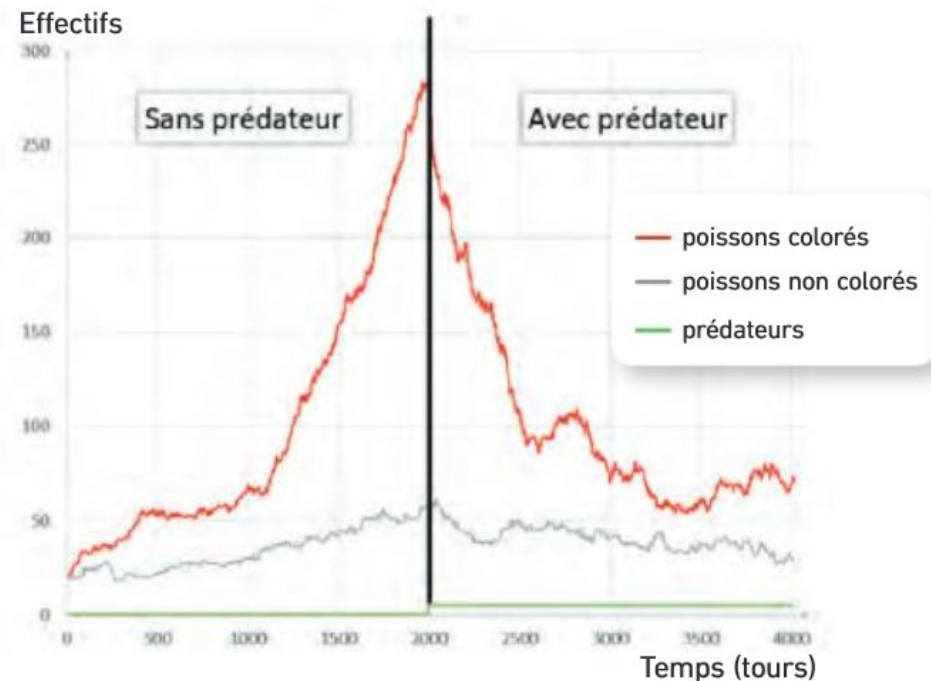


A Guppy mâle (à gauche) et femelle (à droite).

Les guppys sont des petits poissons dont les mâles portent des tâches vivement colorées, de nombre et de forme variables. Ce nombre de taches est déterminé génétiquement.

On constate que les femelles s'accouplent préférentiellement avec les mâles plus colorés. Cependant, ceux-ci sont plus facilement repérés par d'éventuels prédateurs.

L'observation de guppys en milieu naturel montre que l'intensité de la coloration des mâles est plus ou moins intense selon les populations.



B Résultat d'une simulation obtenue avec *Edu'modèles*.

[Bordas]

Sélection artificielle



Sélection artificielle

Téosinte (6 à 8 grains/épi)



Variétés de maïs actuelles (jusqu'à 600 grains/épi)



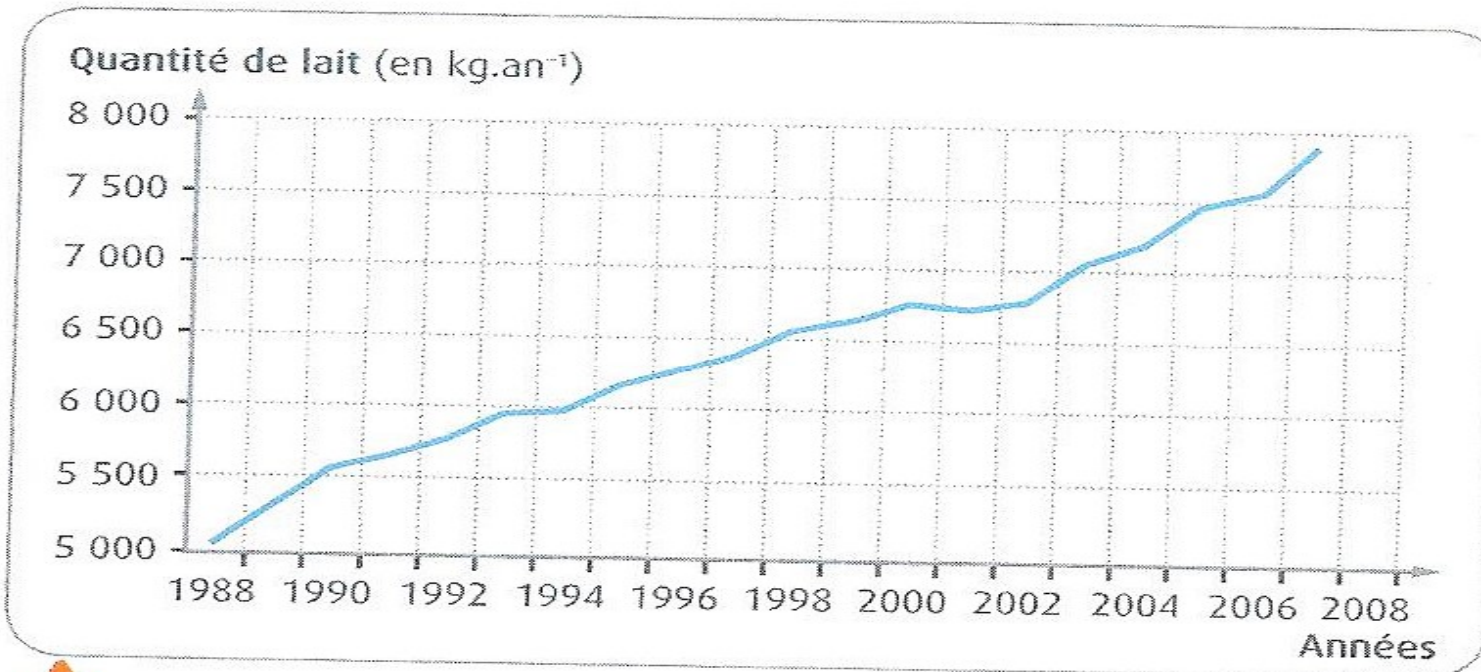
À maturité, les graines de la téosinte tombent de l'épi sur le sol mais demeurent enfermées dans une enveloppe sombre appelée **glume**.



À maturité, les grains du maïs présents sur 20 rangées demeurent fixés sur les épis que porte la plante.

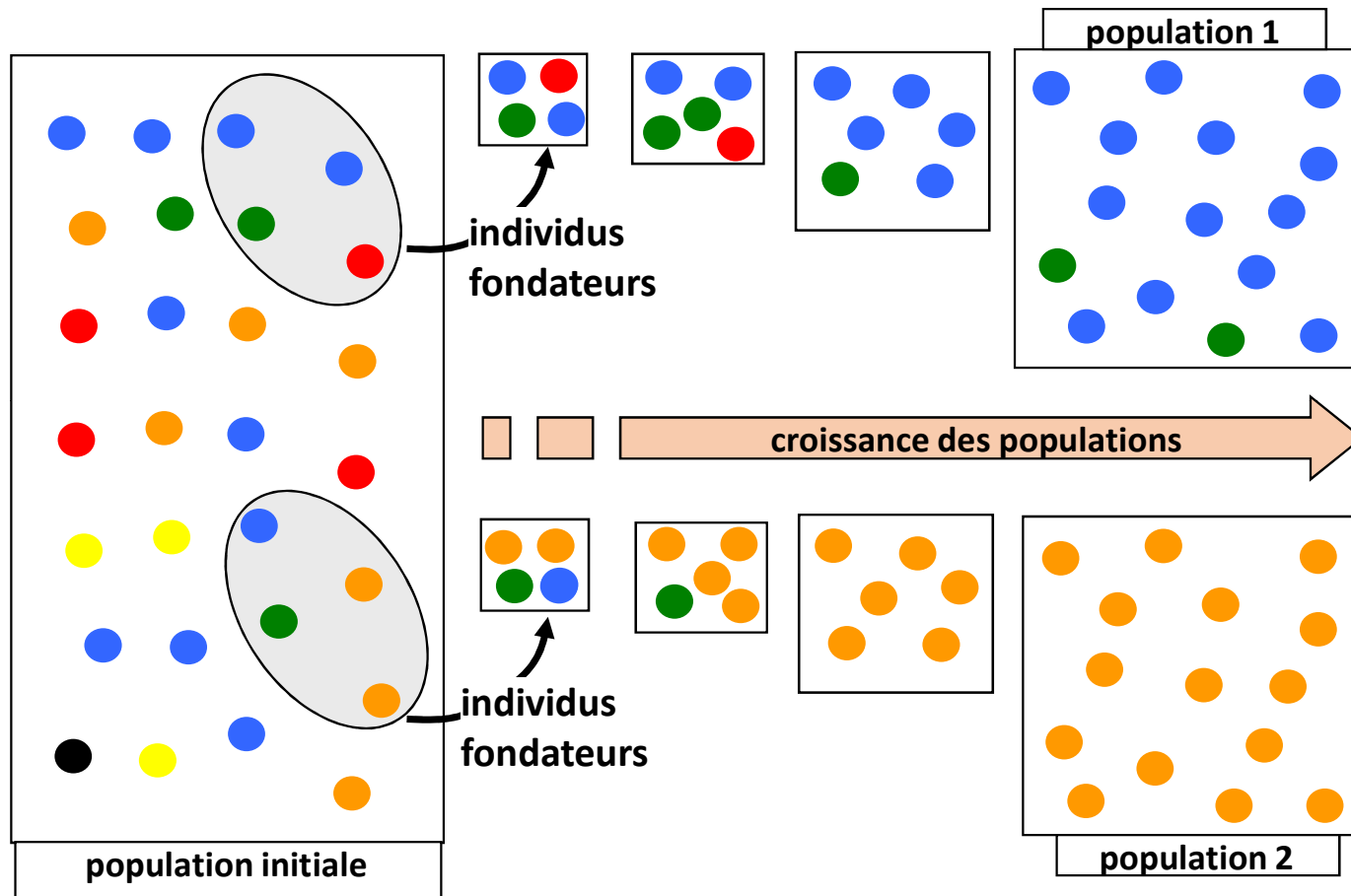
Sélection artificielle

La sélection d'individus productifs



5 Exemple d'amélioration d'une race de vache : évolution de la production laitière chez la race Prim'Holstein. L'essentiel de l'amélioration de la production laitière (quantité de lait produite et richesse en protéines) est liée à la sélection génétique des individus (croisements entre individus performants).

Un cas particulier de dérive génétique : **l'effet fondateur**



Migration et effet fondateur

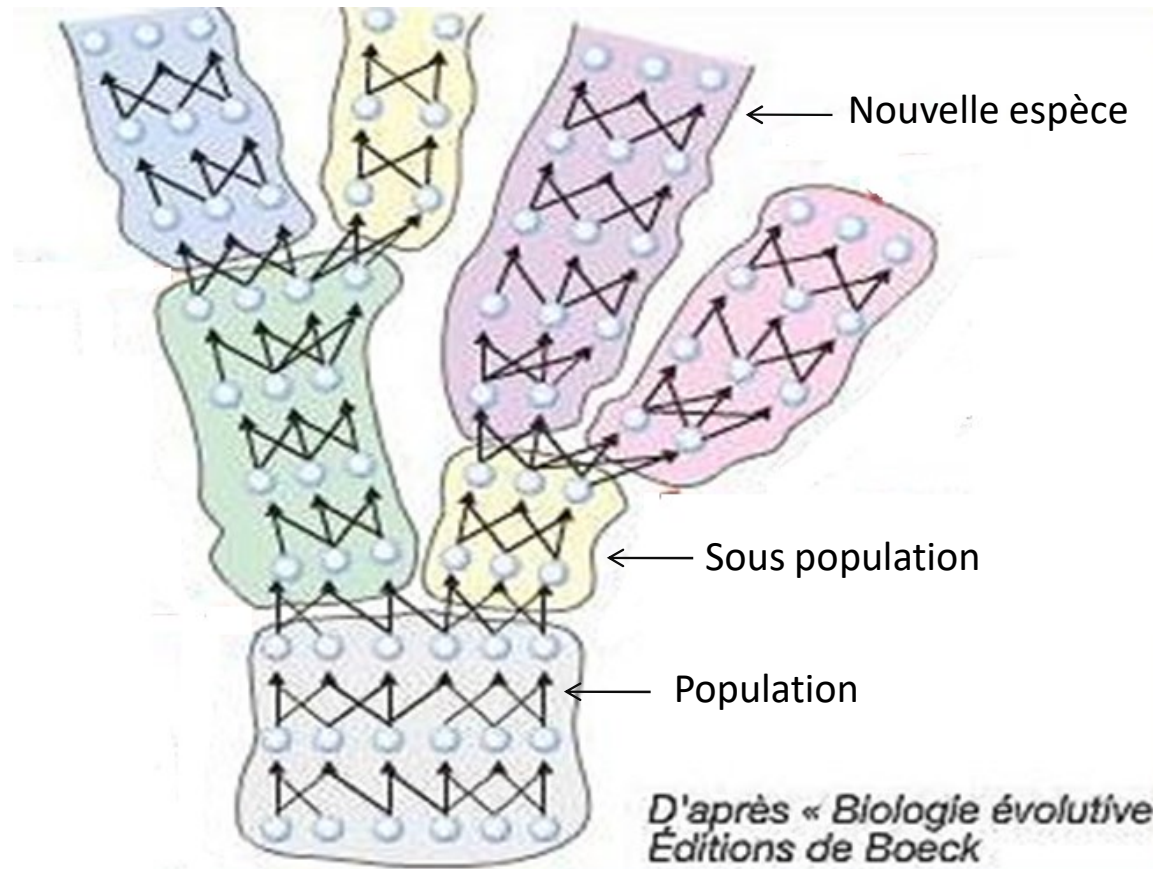


Gène	Gène A			Gène B		Gène du groupe sanguin		
Allèles	A10	A11	A28	B5	B12	A	B	O
Population européenne	3	7,4	4	8	18	27	8	65
Huttérites	14	0	0	14	8	35	2	63
Amish	7	14	0,7	6	19	66	6	28

Chapitre 4 : L'évolution des populations par la variation des fréquences alléliques

- I. Le modèle d'Hardy-Weinberg : la constance des fréquences alléliques dans les populations au cours du temps
- II. Les écarts au modèle d'HW mettent en évidence les mécanismes de l'évolution contribuant à la différenciation génétique des populations
- III. Un nouveau regard sur la définition d'espèce

Différenciation génétique des populations



Les limites du concept d'espèce



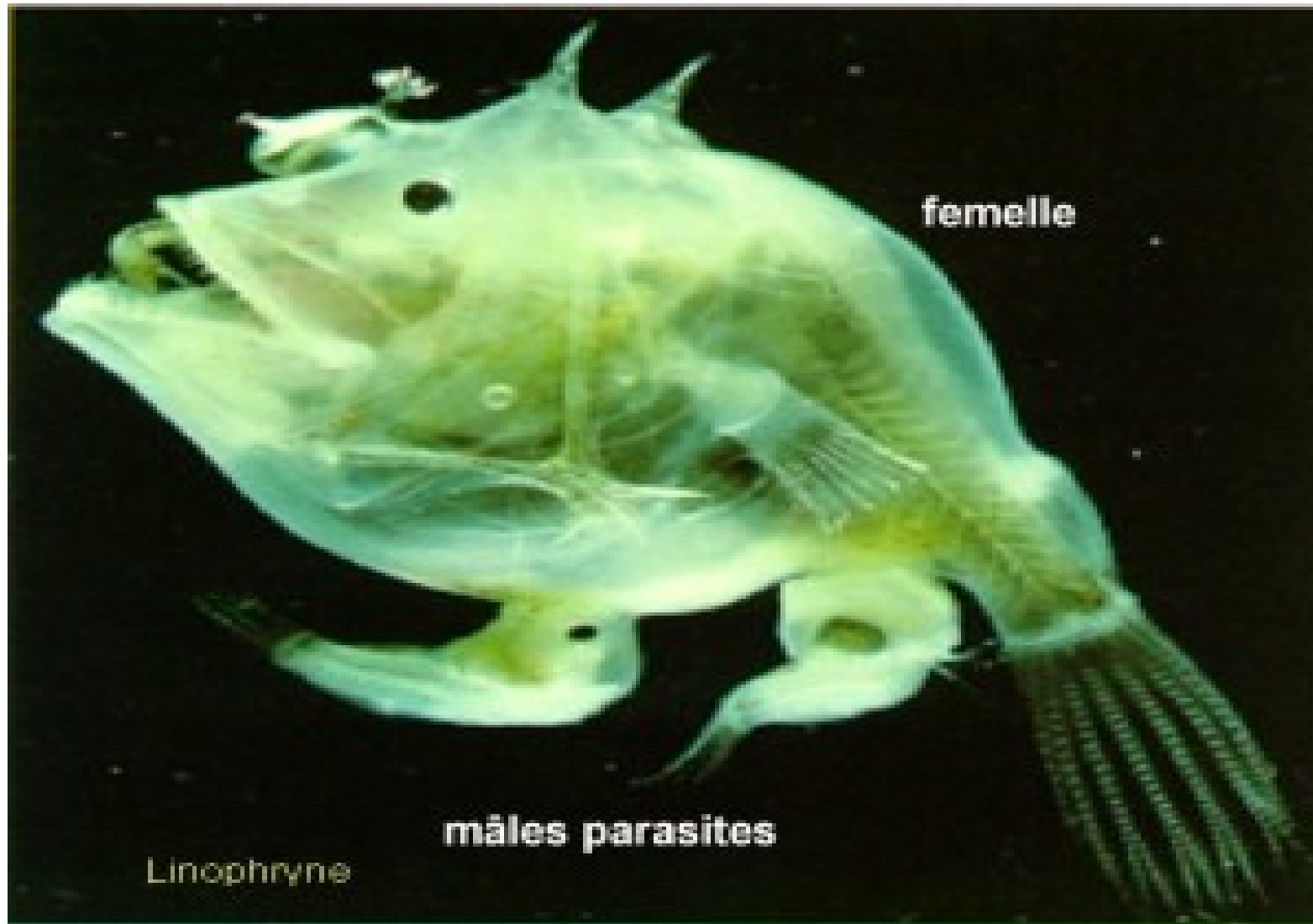
Les limites du concept d'espèce



Deux espèces différentes ? Non, simplement un **dimorphisme sexuel** : à gauche un mâle, à droite une femelle de l'espèce *Orgyia recens*.



Les limites du concept d'espèce



Les limites du concept d'espèce



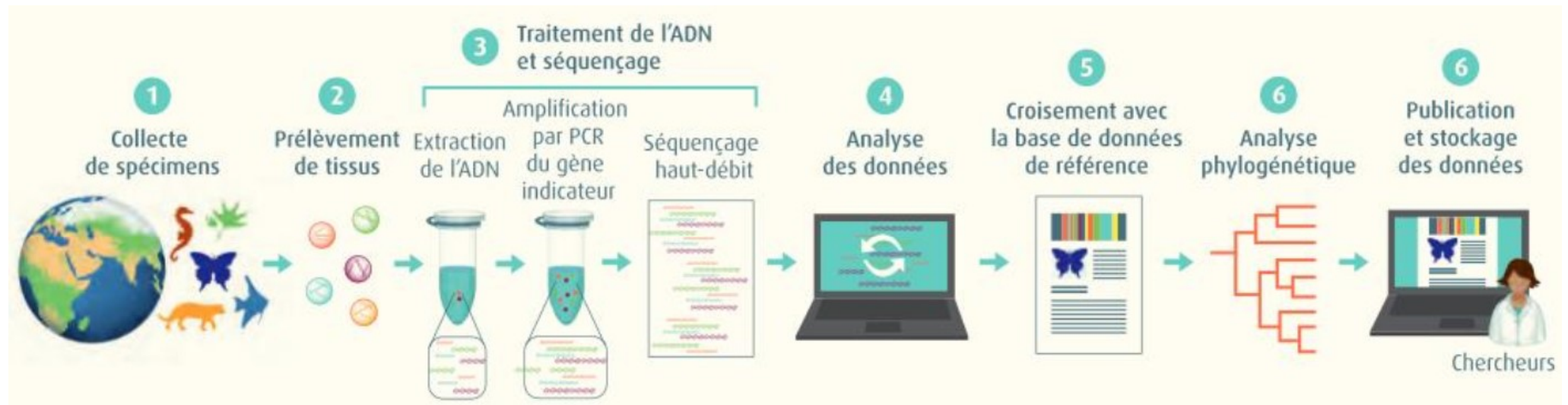
b Deux individus d'espèces différentes :
Aigle pêcheur d'Afrique (en haut)
et Pygargue à tête blanche (en bas)

[Hachette]

Les limites du concept d'espèce



Utilisation du séquençage pour construire des arbres phylogénétiques



Utilisation du séquençage pour construire des arbres phylogénétiques

Avantages

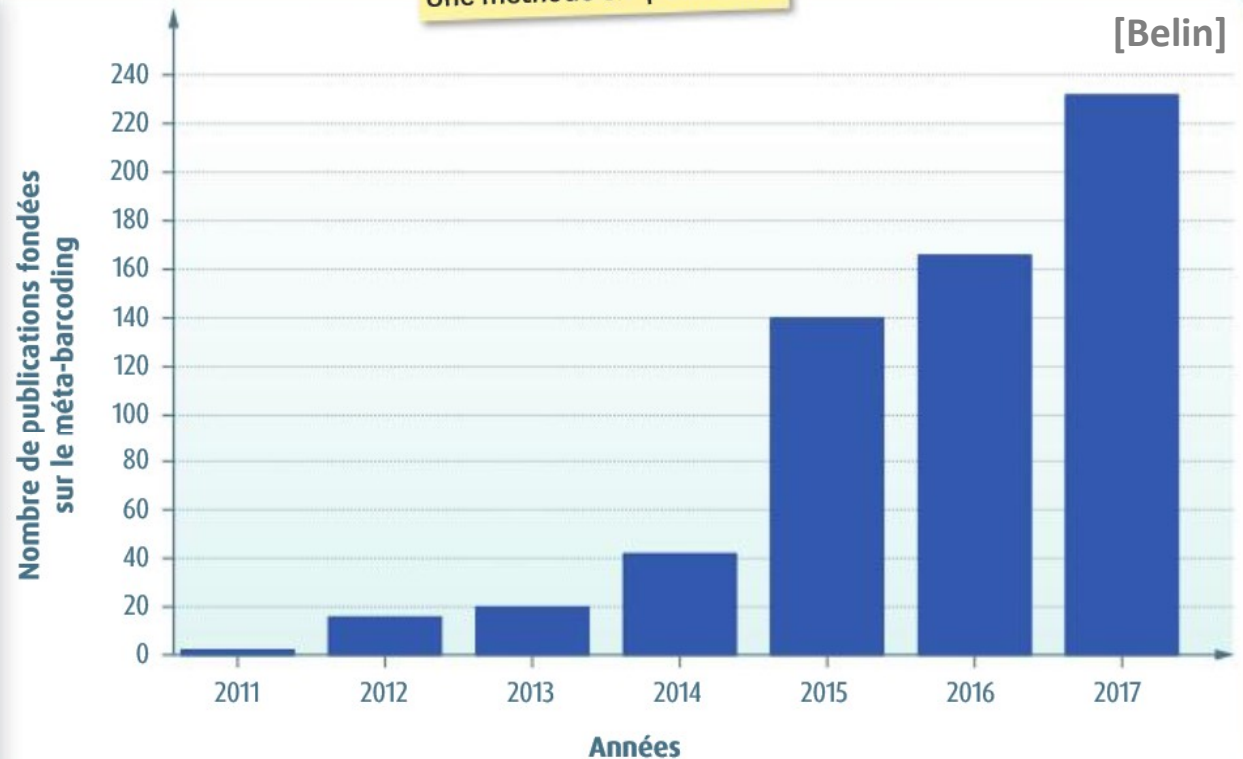
- Coûts réduits
- N'implique le prélèvement de spécimens (méthode non-invasive)

Inconvénients

- On ne sait pas si une espèce détectée est encore présente dans le milieu (son ADN peut « subsister plus longtemps qu'elle »)
- On ne sait rien des populations des espèces détectées (effectifs, localisation)
- On ne peut pas exclure que certains groupes d'ADN correspondent à plusieurs populations d'une même espèce et non à plusieurs espèces

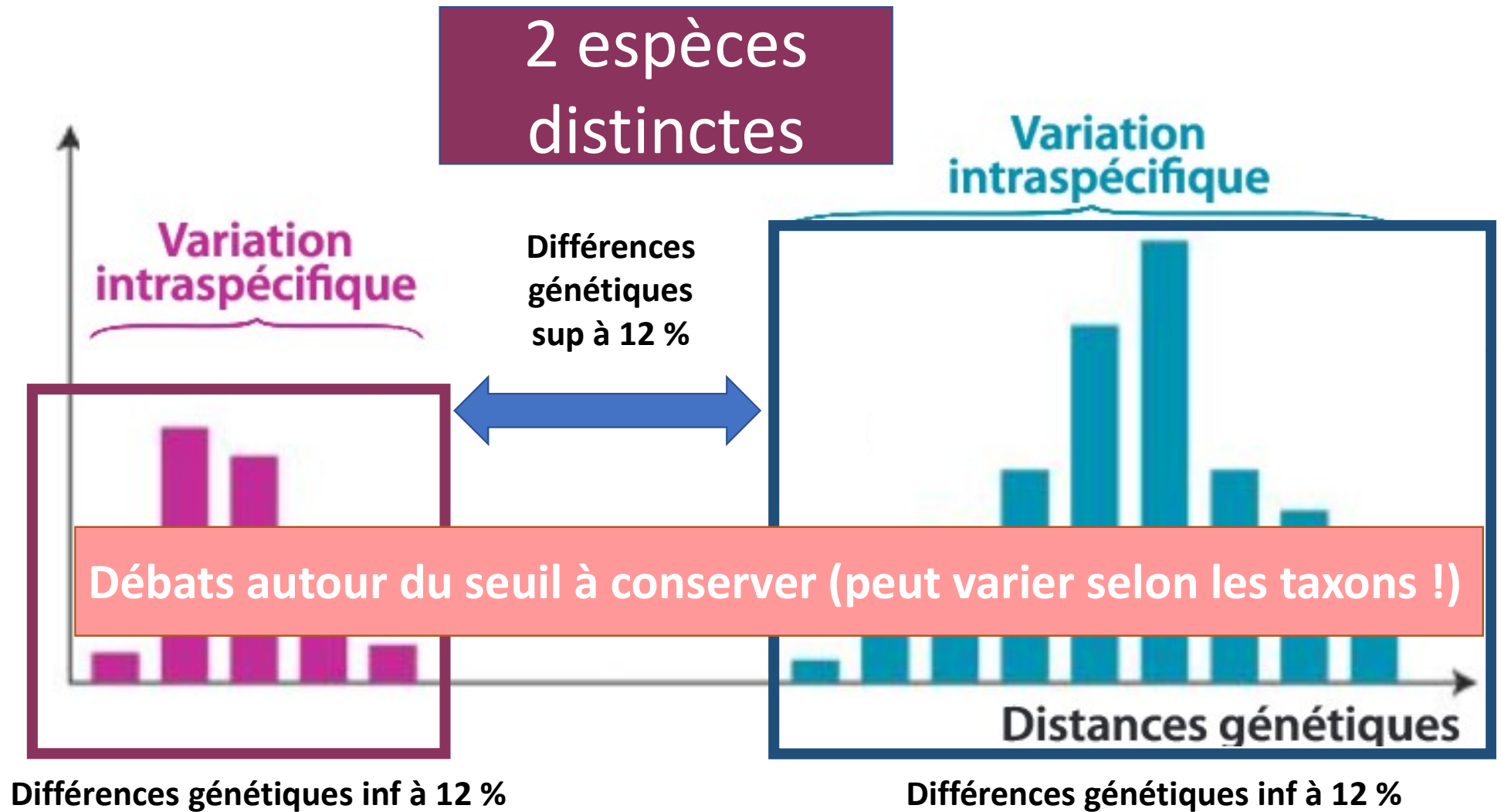
Une méthode en plein essor

[Belin]



2 Le code-barres moléculaire appliqué à l'ADN environnemental (« DNA méta-barcoding »). Dans le DNA méta-barcoding, on n'utilise plus d'ADN prélevé sur des échantillons vivants, mais l'ADN directement prélevé dans l'environnement (le sol le plus souvent).

Déterminer si on a affaire à 2 populations ou 2 espèces



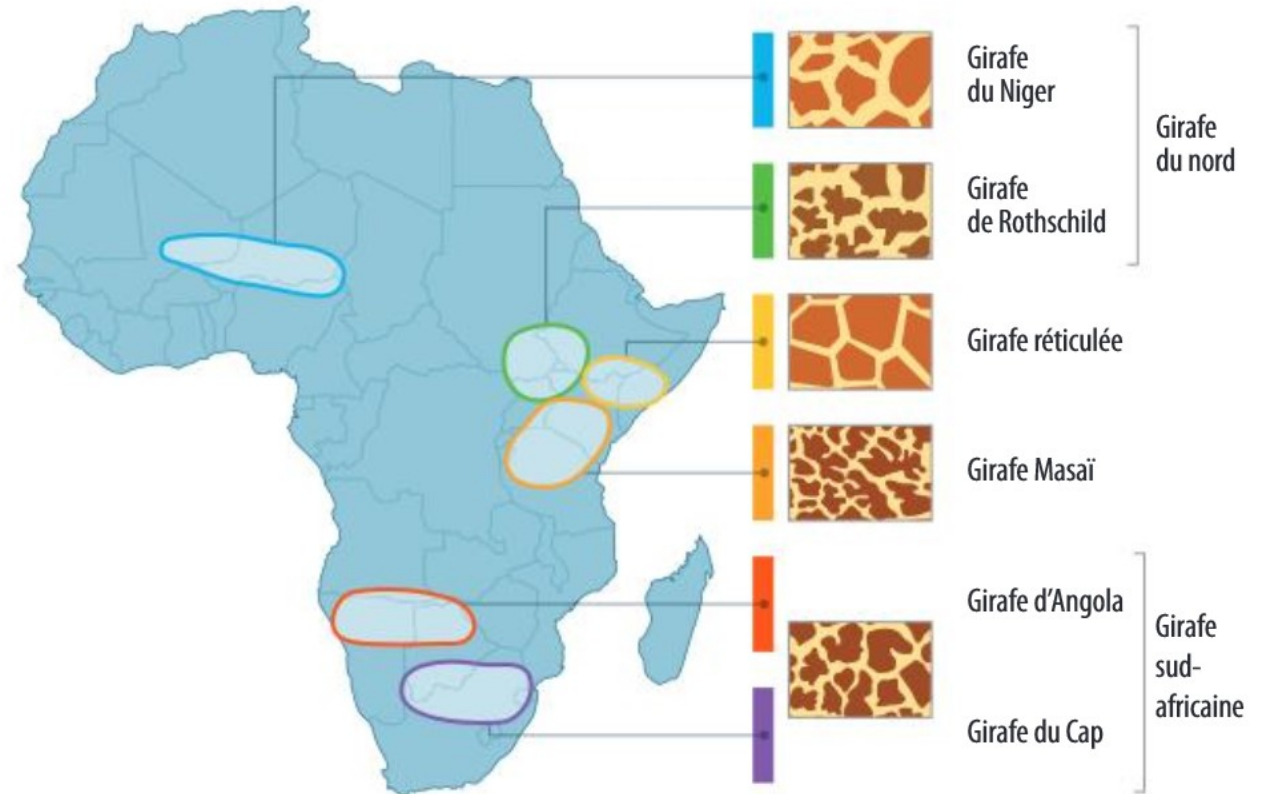
Diversité génétique et révision de la classification (1)

Une seule espèce de Girafe a jusque récemment été reconnue sur le continent africain : *Giraffa camelopardalis*, avec neuf sous-espèces définies selon les motifs du pelage, les caractéristiques des cornes et l'aire de répartition géographique.

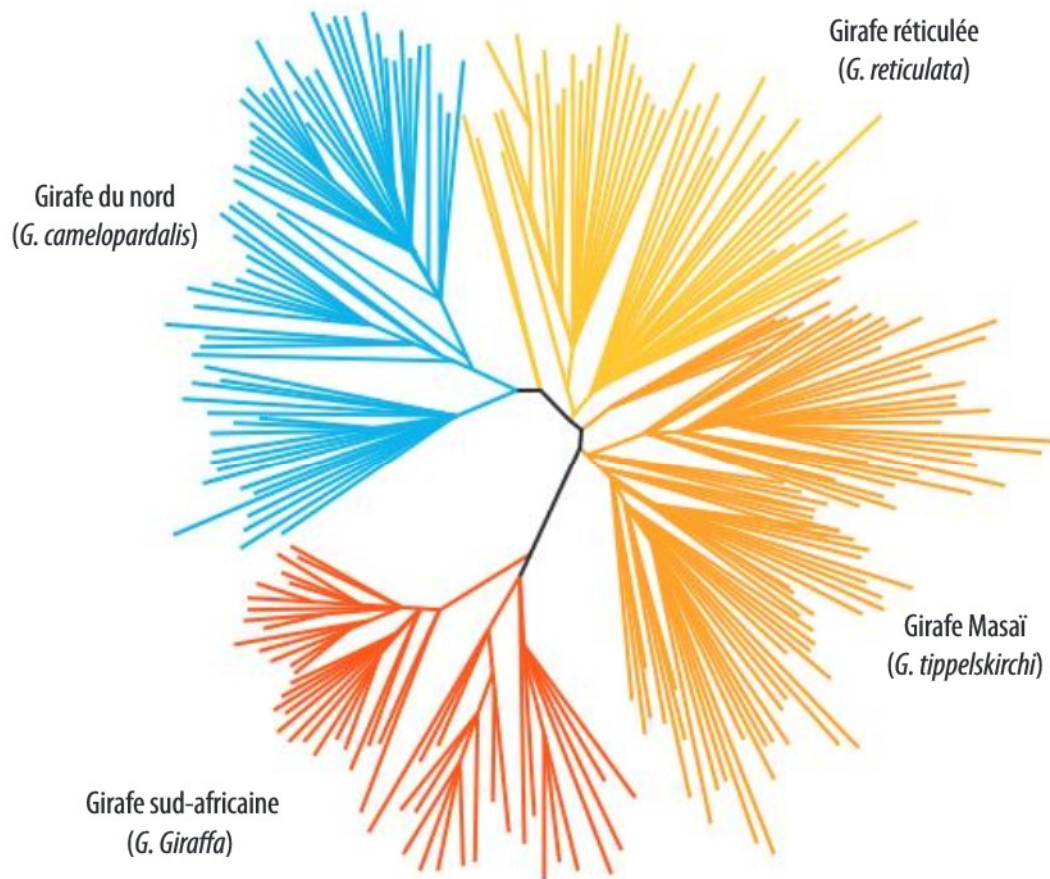
a Aires de répartition géographique et aspects des pelages de différentes populations de Girafes

Même pour les populations voisines sans obstacle géographique entre elles, les Girafes ne se reproduisent pas ou très peu entre populations distinctes.

Source : D. Brown, BMC Biology (2007)



Diversité génétique et révision de la classification (1)



Révision de la classification, non plus 1 espèce mais 4 espèces de girafes !

b Relations phylogénétiques entre différentes populations de Girafes, obtenues à partir de séquençage d'ADN mitochondrial et de petites séquences d'ADN nucléaire

Les résultats ont des implications pour la conservation : toutes les espèces de Girafes doivent être protégées, avec une attention particulière accordée aux Girafes du nord et réticulée, chacune de ces espèces comptant moins de 10 000 individus.

Source : J. Fennessy, *Current Biology* (2016)

Diversité génétique et révision de la classification (2)

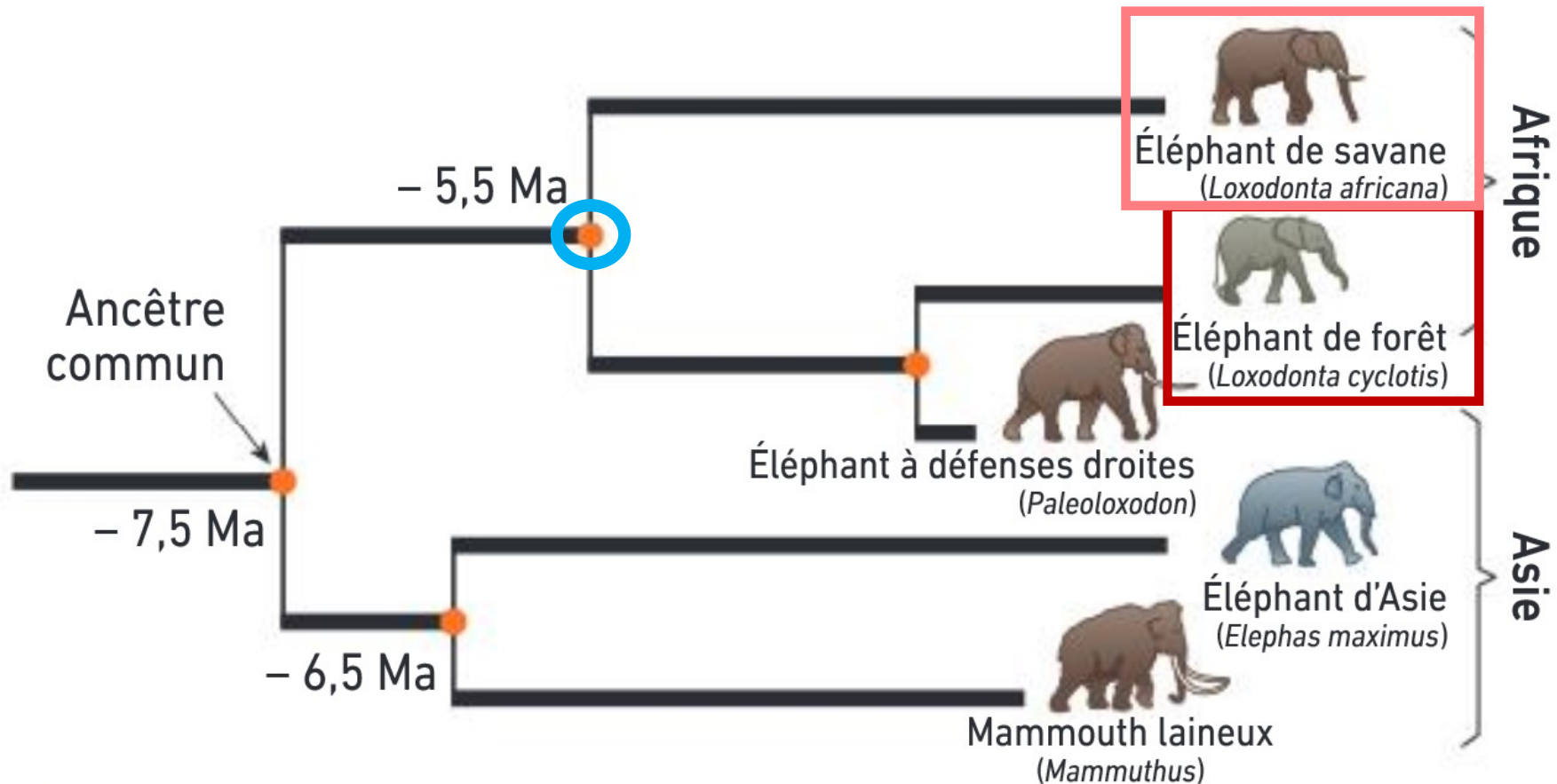
- Même travail sur les éléphants : initialement 2 espèces : éléphant d'Afrique et d'Asie

Eléphants d'Afrique = 1 espèce avec 2 populations



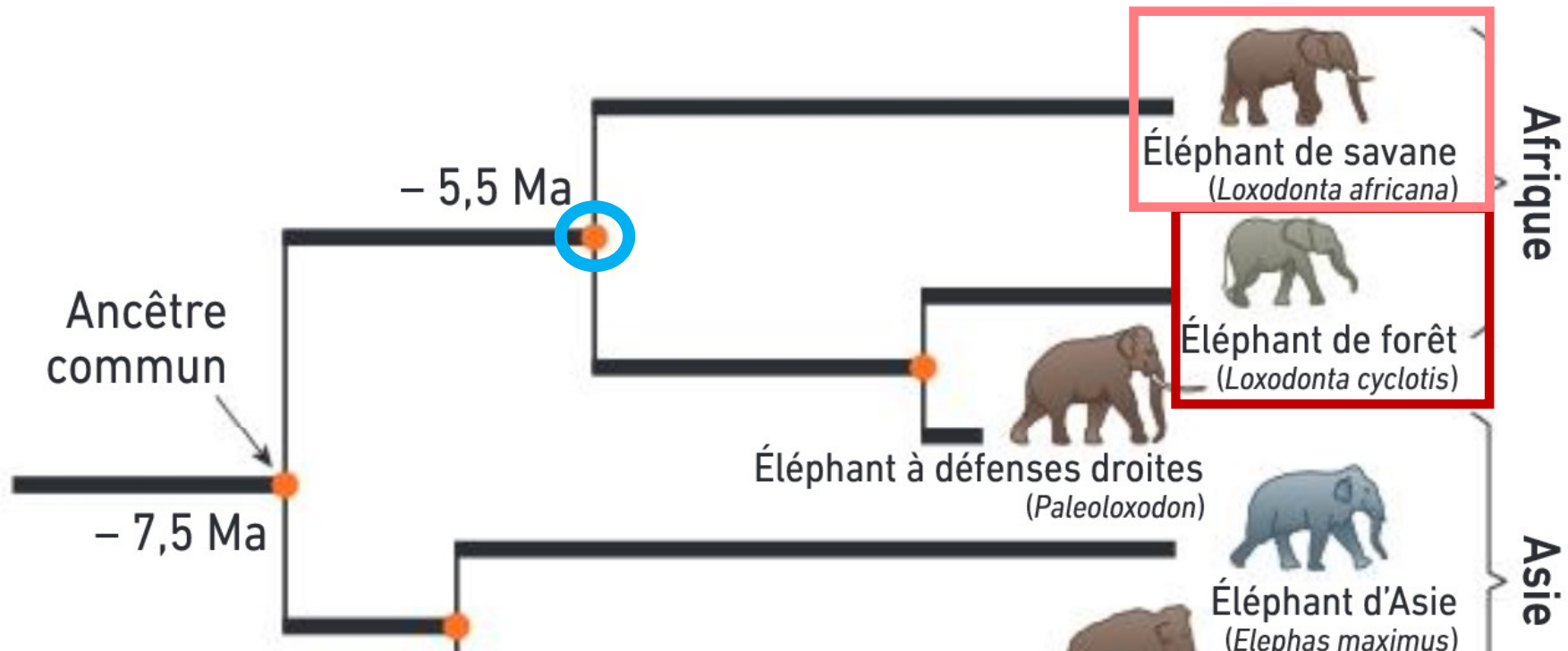
Les **éléphants de forêt (A)** sont plus trapus que les **éléphants de savane (B)** et leurs défenses plus longues. Ils sont plus rares et se reproduisent moins (les femelles ne sont fertiles que vers 20 à 25 ans et le temps entre deux gestations est de 5 à 6 ans).

Diversité génétique et révision de la classification (2)



C Arbre phylogénétique établi par analyse d'ADN de différentes espèces d'éléphantidés.

Diversité génétique et révision de la classification (2)



- Aucune trace d'hybridation entre ces 2 groupes
- Ils vivent au même endroit, mais plus aucun échange de gènes depuis au moins 500 000 ans
- Il y a donc au total 3 espèces d'éléphants, dont 2 sur le continent africain

Diversité génétique et révision de la classification (3)



1 Le grizzly, *Ursus arctos*.

- Pelage : brun.
- Dimensions : tête et corps de 1,7 à 2,8 m ; hauteur au garrot de 0,9 à 1,5 m.
- Extrémité des membres : griffes non rétractiles et longues ; doigts non palmés.
- Régime alimentaire : omnivore.
- Milieu de vie : forêt, zone côtière, montagne.
- Période d'accouplement : mai à juillet.
- Hibernation : de décembre à mi-mars.

2 Focus sur le grizzly.

Diversité génétique et révision de la classification (3)



3 L'ours polaire, *Ursus maritimus*.

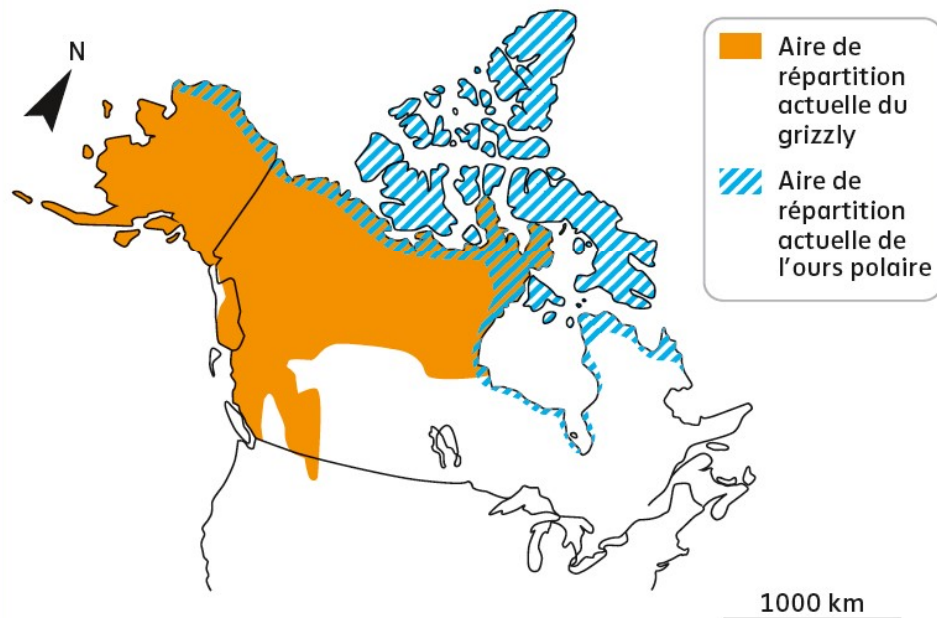
- Pelage : blanc.
- Dimensions : tête et corps de 1,8 à 3 m ; hauteur au garrot de 1 à 1,6 m.
- Extrémité des membres : griffes non rétractiles et courtes, doigts partiellement palmés.
- Régime alimentaire : carnivore.
- Milieu de vie : banquise.
- Période d'accouplement : avril à juin.
- Hibernation : seules les femelles gestantes hibernent.

4 Focus sur l'ours polaire.



Diversité génétique et révision de la classification (3)

Les grizzlys de l'Alaska et du Canada montent de plus en plus vers le nord pour trouver un climat plus frais, tandis que la fonte des glaces fait que les ours polaires passent plus de temps sur le continent. Les deux sortes d'ours se retrouvent alors sur un territoire commun.



6 Carte de répartition des populations des ours polaires et des grizzlys en Amérique du Nord.



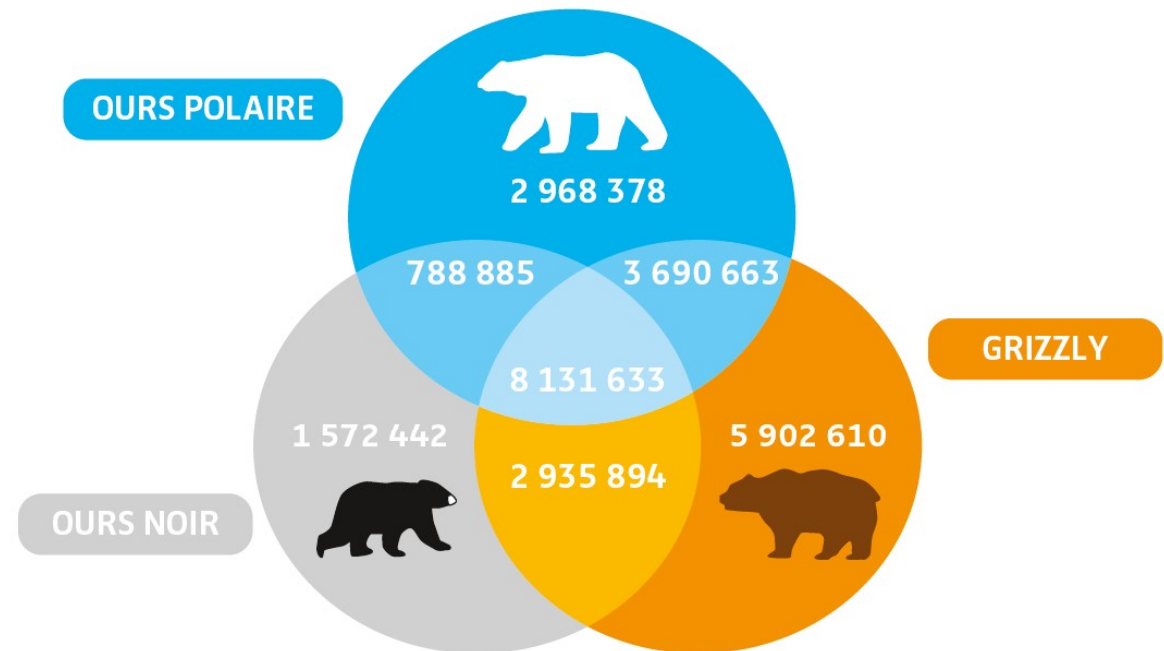
GROLAR ou PIZZLY

[Nathan]

Diversité génétique et révision de la classification (3)

Les SNP (Single Nucleotide Polymorphism) sont des variations de l'ADN qui portent sur un seul nucléotide. Réparties de façon homogène sur l'ensemble du génome, les SNP en sont les variations les plus fréquentes. Il existe des millions de SPN dans un génome.

7 Baliser le génome grâce aux SNP.



L'ours noir d'Amérique du Nord sert d'extra groupe dans cette étude.
Source : National Academy of Sciences, 4 septembre 2012.

8 Nombre d'allèles uniques et partagés par trois espèces d'ours (grizzly, ours polaire et ours noir américain) pour les gènes dits « SNP ».

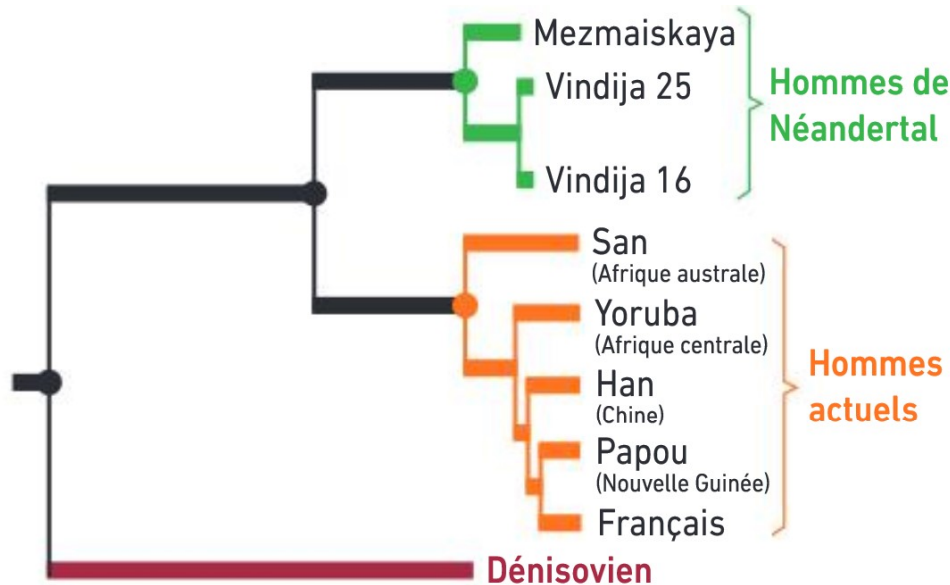
[Nathan]

Diversité génétique et Histoire évolutive d'une espèce (1ère spé)

- Il y a eu par le passé coexistence de plusieurs représentants de la lignée humaine :
 - Homo sapiens
 - Néanderthaliens
 - Dénisoviens

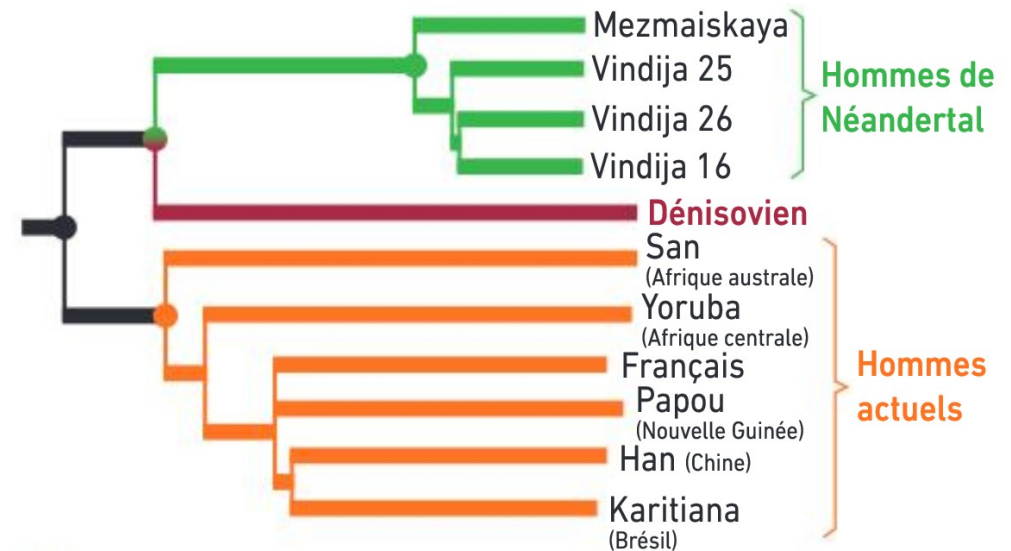
Diversité génétique et Histoire évolutive d'une espèce (1ère spé)

ADN mitochondrial



A Arbre phylogénétique obtenu par comparaison de l'ADN mitochondrial de 9 individus.

ADN nucléaire



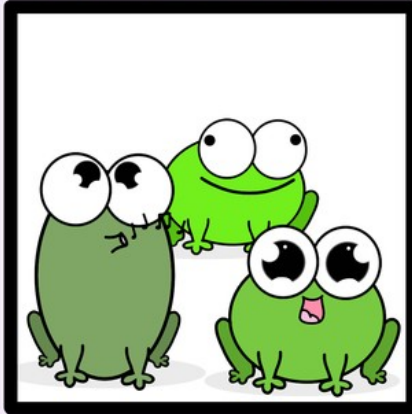
B Arbre phylogénétique obtenu par comparaison de l'ADN nucléaire de 11 individus.

- Arbres phylogénétiques contradictoires
- 1 à 3 % des gènes d'eurasiens (*Homo sapiens*) viennent de Néanderthal
- certains ont 5% de gènes de Dénisoviens
→ métissage entre ces espèces

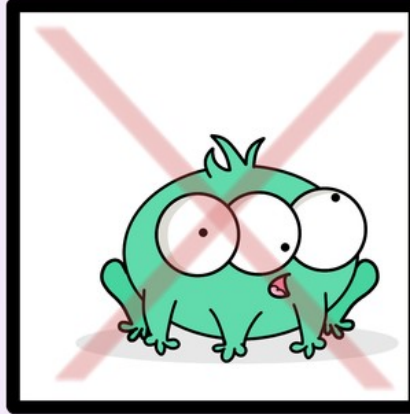
BILAN

Assumptions of Hardy-Weinberg Equilibrium

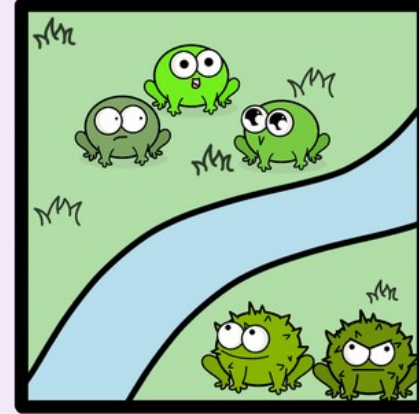
1. No Selection



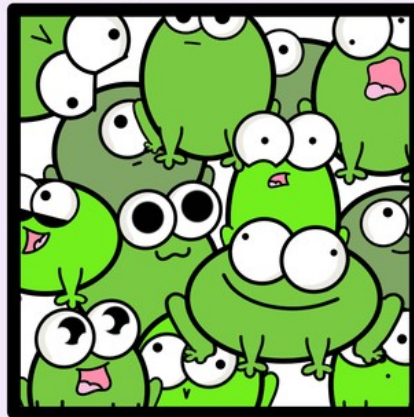
2. No Mutation



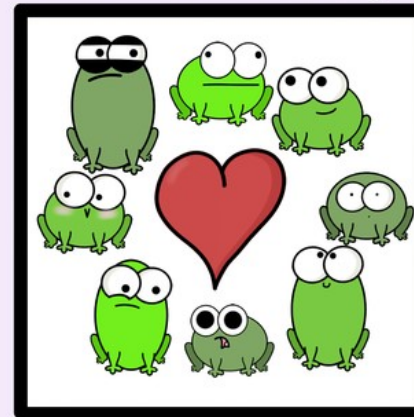
3. No Migration



4. Large Population



5. Random Mating



Hardy-Weinberg equilibrium

If there are only 2 alleles for a trait in a Population, then:

$$P^2 + 2Pq + q^2 = 1$$

frequency of
homozygous
dominant
genotype



frequency of
heterozygous
genotype



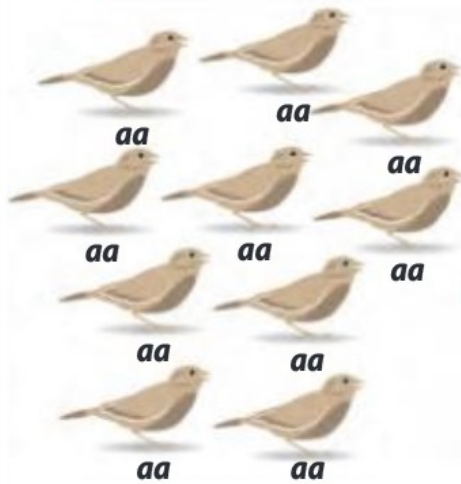
frequency of
homozygous
recessive
genotype



Purple is dominant to Pink

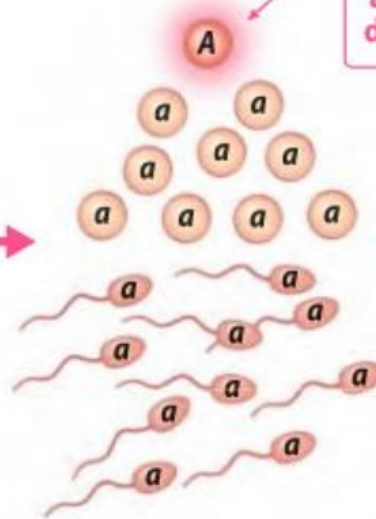
- > fréquence des allèles et
des génotypes constants

Mutation

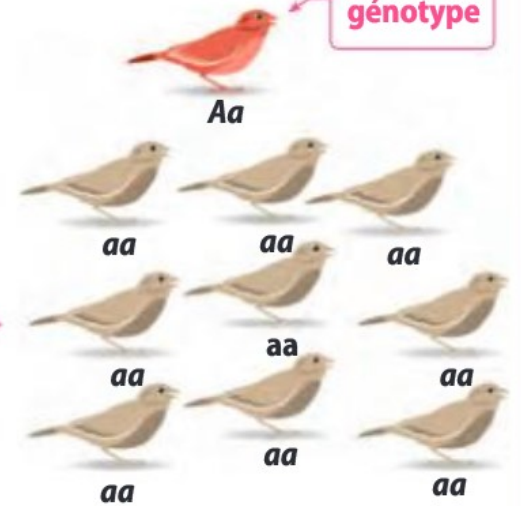


Fréquence de $a = 1.0$

Production
de gamètes



Mutation
aléatoire :
apparition
de l'allèle A



Nouveau
génotype

Fréquence de $A = 0,05$
Fréquence de $a = 0,95$

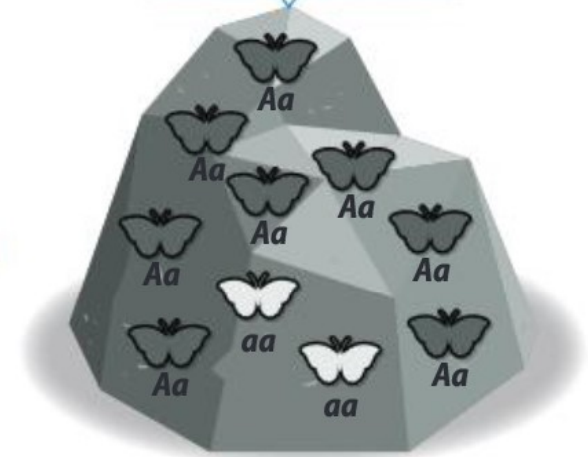
Sélection naturelle



Fréquence de $A = 0,3$
Fréquence de $a = 0,7$

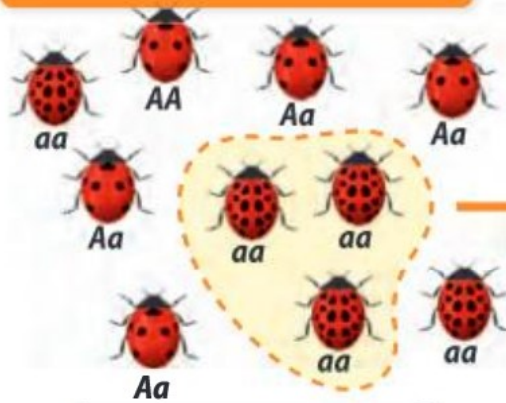
 = Tué par un prédateur

Génération suivante



Fréquence de $A = 0,6$
Fréquence de $a = 0,4$

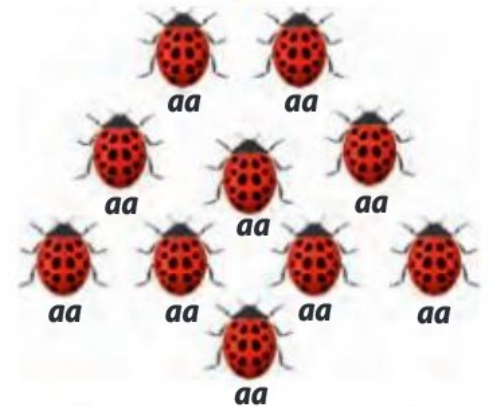
Dérive génétique



Fréquence de $A = 0,3$
Fréquence de $a = 0,7$

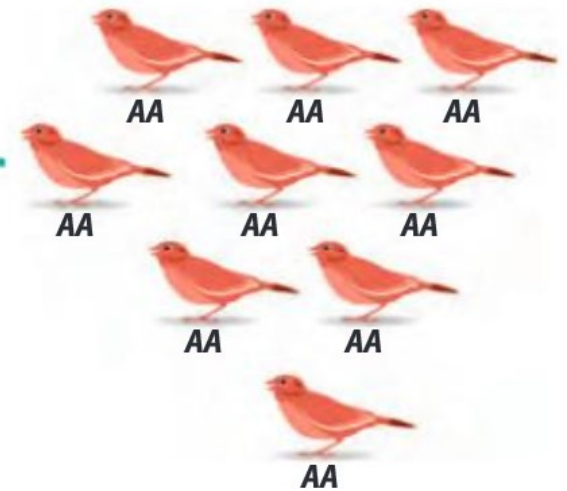
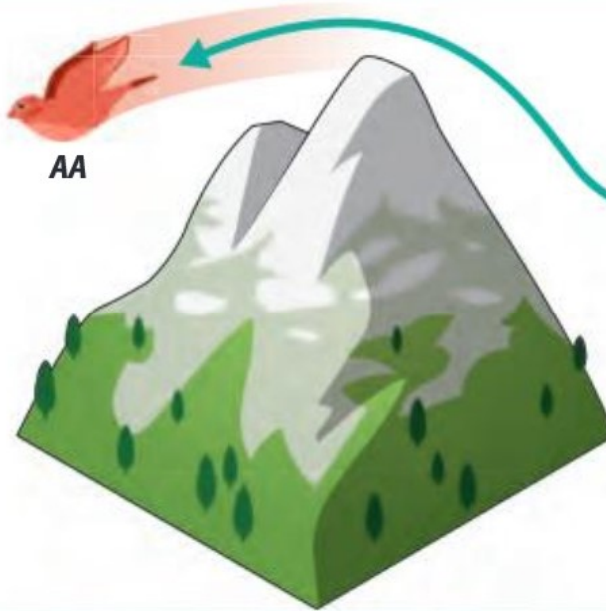
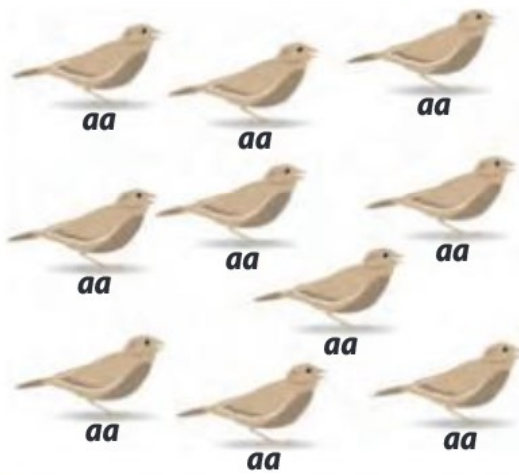
Du fait d'évènements aléatoires,
seuls ces trois individus
se reproduisent

Génération suivante



Fréquence de $A = 0,0$
Fréquence de $a = 1,0$

Migration



Une espèce se définit par des flux de gènes

