

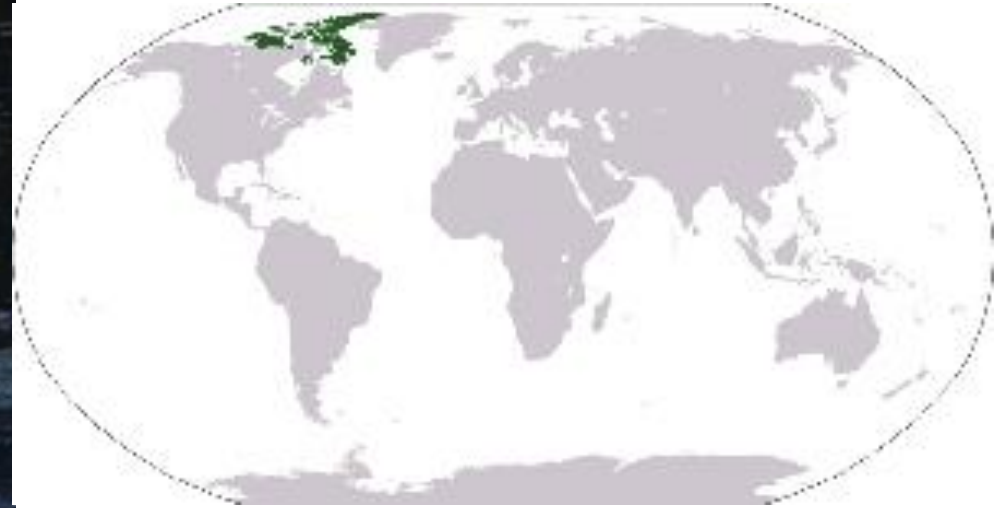


TP 6 sélection naturelle, dérive génétique : évolution de la biodiversité

Comment définir une espèce?
Quels sont les facteurs qui influencent l'évolution de la biodiversité?



Le pizzly au NO du Canada



Source de l'image : Zoo Osnasbrück, Thorsten Vaupel.

- *Ursus maritimus* (ours polaire) et *Ursus arctos* (Ours brun, ou grizzly) sont considérés comme deux espèces d'ours différentes. Or, selon la définition biologique de l'espèce, **deux individus appartiennent à la même espèce s'ils peuvent se reproduire ensemble et que leurs descendants ne sont pas stériles.**

Deux espèces distinctes



***Ursus arctos* d'Amérique du nord**
(= grizzly ou ours brun)



Ursus maritimus
(= ours polaire)

Comparaisons anatomiques et écologiques des deux espèces

<i>Ours</i>		<i>Ursus arctos</i> <i>d'Amérique du Nord (= grizzly ou ours brun)</i>	<i>Ursus maritimus</i> <i>(=ours polaire)</i>
<i>Caractéristiques</i>			
<i>Pelage</i>		<i>Brun</i>	<i>Blanc uniformément</i>
<i>Dimensions</i>	<i>Tête et corps</i>	<i>1.7 à 2.8 m</i>	<i>1.8 à 3m</i>
	<i>Hauteur au garot</i>	<i>0.9 à 1.5m</i>	<i>1 à 1.6 m</i>
<i>Membres</i>		<i>Griffes non rétractiles de 5 à 7 cm à la main et 3 à cm au pied</i>	<i>Griffes plus courtes et plus acérées. Doigts partiellement palmés</i>
<i>Régime alimentaire</i>		<i>Omnivore</i>	<i>Carnivore</i>
<i>Milieu de vie</i>		<i>Forêts, zones côtières, montagnes</i>	<i>Banquise</i>
<i>Période d'accouplement</i>		<i>Mai à Juillet</i>	<i>Avril à Juin</i>
<i>hibernation</i>		<i>De décembre à mi-mars</i>	<i>Seules les femelles gestantes hibernent</i>

Phylogénie des Ursidés

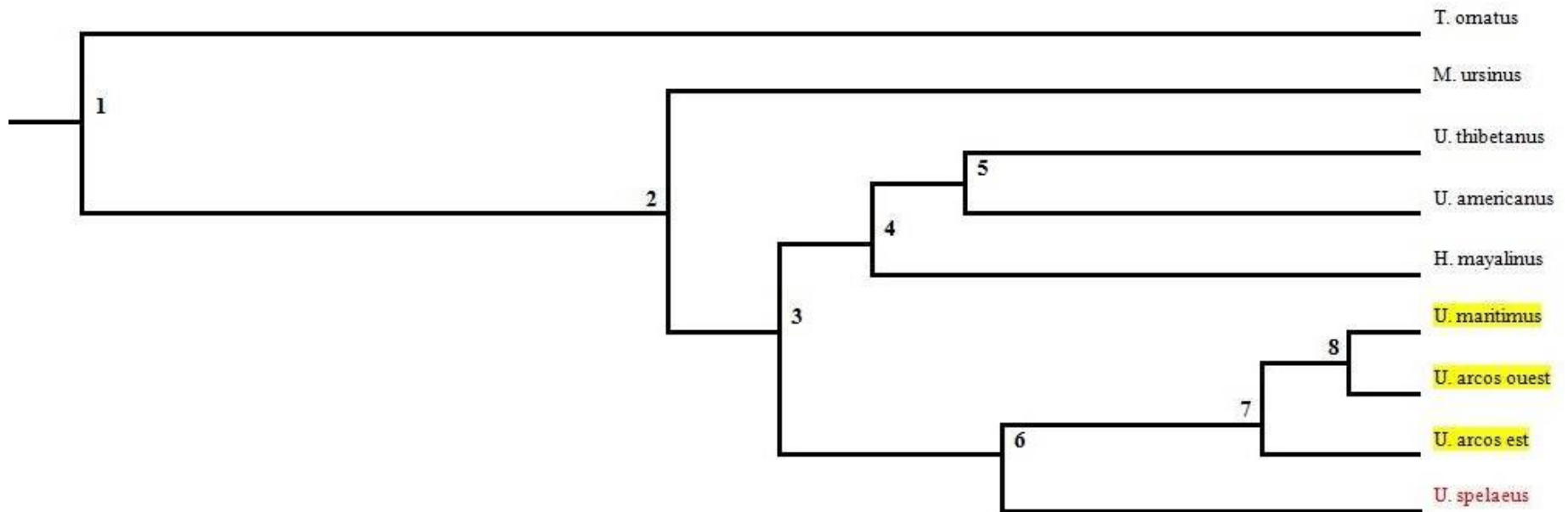
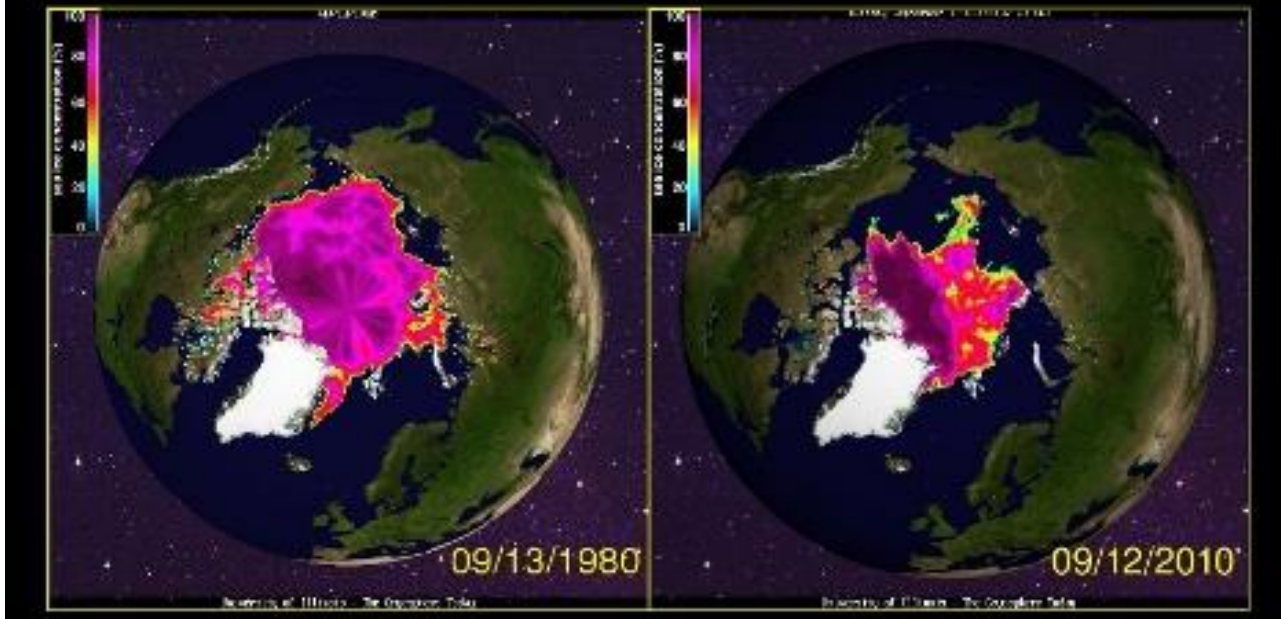


Schéma modifié à partir de l'article "complet mitochondrial genome of the pleistocene jawbone unveils the origins of the polar bear", PNAS, mars 2010

The Cryosphere Today Compare Daily Sea Ice

Left panel date: Right panel date:



La disparition de la récente barrière d'isolement reproducteur entre l'ours brun et l'ours polaire semble être une des conséquences de la fonte de la banquise liée au réchauffement climatique de la Terre. L'ours blanc et le grizzly sont donc deux espèces incomplètement isolées, et le pizzly correspondrait à une population phénotypiquement instable d'hybrides, géographiquement localisée mais pas isolée. La formation d'hybrides fertiles entre les ours polaires et les ours bruns n'est pas le seul exemple d'hybridation actuelle chez les mammifères dans les régions arctiques.


L'évolution de la fréquence des allèles est due au hasard

Dérive génétique et évolution des fréquences alléliques

La dérive génétique est la modification de la fréquence allélique au sein d'une population, indépendamment des mutations, sélections, migrations. **La perte ou le gain d'un allèle se faisant au hasard, la dérive génétique est d'autant plus forte que la population est petite.**

Concrètement, chaque individu se reproduisant ne transmet que la moitié de son patrimoine génétique à sa descendance. Dans une population de petite taille, il est statistiquement inévitable que certains allèles (une variante particulière d'un gène) ne soient transmis par aucun adultes à leurs descendance. De plus, certains individus n'ont pas de descendance du tout. Le nombre des allèles (la variabilité génétique) se réduit donc. Parmi les allèles « survivants », certains vont voir leur fréquence originelle diminuer ou au contraire augmenter.

(source : Wikipedia)

en savoir plus : 

Nom de l'allèle 1 :

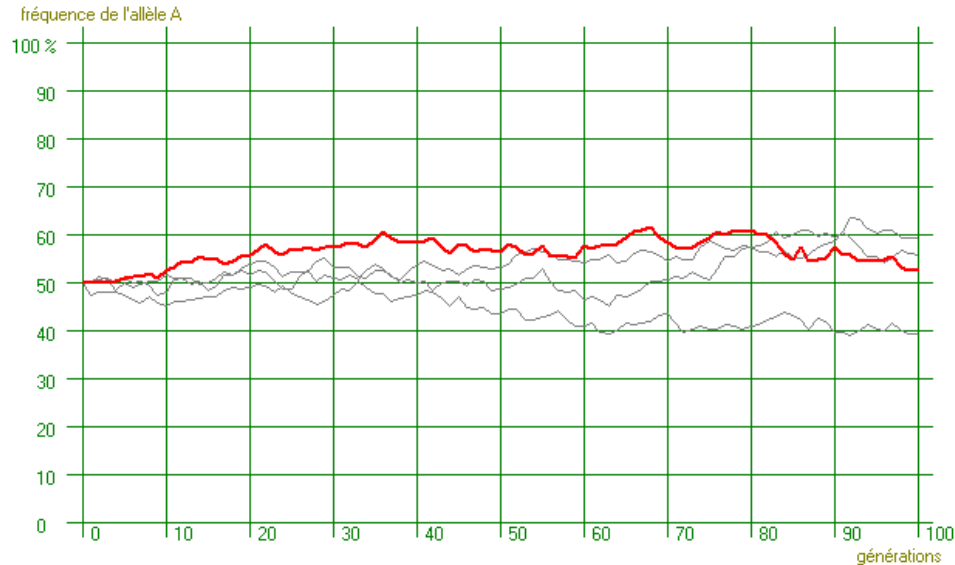
Nom de l'allèle 2 :

Fréquence initiale de l'allèle 1

f = 

Nombre de générations : (max = 100)

Effectif de la population : (max = 10000)



RESULTATS DE LA SIMULATION :

Fréquence des génotypes :

	initiales	finales
A/A :	0.25	0.279
A/a :	0.5	0.502
a/a :	0.25	0.225

Résultats de 4 essais, pour une fréquence de 0,5 pour chaque allèle, une population de 1000 et un nombre de générations de 100.


=> On n'obtient jamais la même fréquence allélique après 100 générations. Même au bout de 10 générations, cette fréquence diffère déjà d'un essai à l'autre.

Dérive génétique et évolution des fréquences alléliques

La dérive génétique est la modification de la fréquence allélique au sein d'une population, indépendamment des mutations, sélections, migrations. **La perte ou le gain d'un allèle se faisant au hasard, la dérive génétique est d'autant plus forte que la population est petite.**

Concrètement, chaque individu se reproduisant ne transmet que la moitié de son patrimoine génétique à sa descendance. Dans une population de petite taille, il est statistiquement inévitable que certains allèles (une variante particulière d'un gène) ne soient transmis par aucun adultes à leurs descendance. De plus, certains individus n'ont pas de descendance du tout. Le nombre des allèles (la variabilité génétique) se réduit donc. Parmi les allèles « survivants », certains vont voir leur fréquence originelle diminuer ou au contraire augmenter.

(source : Wikipedia)

en savoir plus : 

Nom de l'allèle 1 :

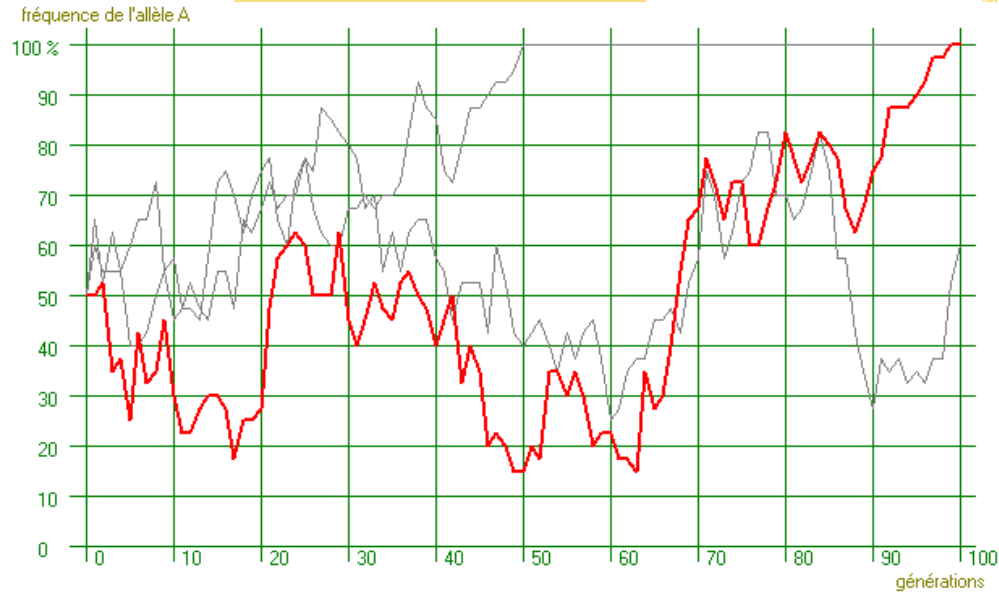
Nom de l'allèle 2 :

Fréquence initiale de l'allèle 1

f = 

Nombre de générations : (max = 100)

Effectif de la population : (max = 10000)



RESULTATS DE LA SIMULATION :

Fréquence des génotypes :

	initiales	finales
A/A :	0.25	1
A/a :	0.5	0
a/a :	0.25	0

L'allèle 'a' a disparu à la 99ème génération.

Cas où l'effectif de la population est réduit à 20.

On constate que sur les 3 essais, deux montrent une disparition de l'allèle a.


=> On en déduit que l'effectif d'une population est un facteur intervenant dans la dérive génétique. = effet de fondation

Dérive génétique et évolution des fréquences alléliques

La dérive génétique est la modification de la fréquence allélique au sein d'une population, indépendamment des mutations, sélections, migrations. **La perte ou le gain d'un allèle se faisant au hasard, la dérive génétique est d'autant plus forte que la population est petite.**


Concrètement, chaque individu se reproduisant ne transmet que la moitié de son patrimoine génétique à sa descendance. Dans une population de petite taille, il est statistiquement inévitable que certains allèles (une variante particulière d'un gène) ne soient transmis par aucun adultes à leurs descendance. De plus, certains individus n'ont pas de descendance du tout. Le nombre des allèles (la variabilité génétique) se réduit donc. Parmi les allèles « survivants », certains vont voir leur fréquence originelle diminuer ou au contraire augmenter.

(source : Wikipedia)

en savoir plus : 

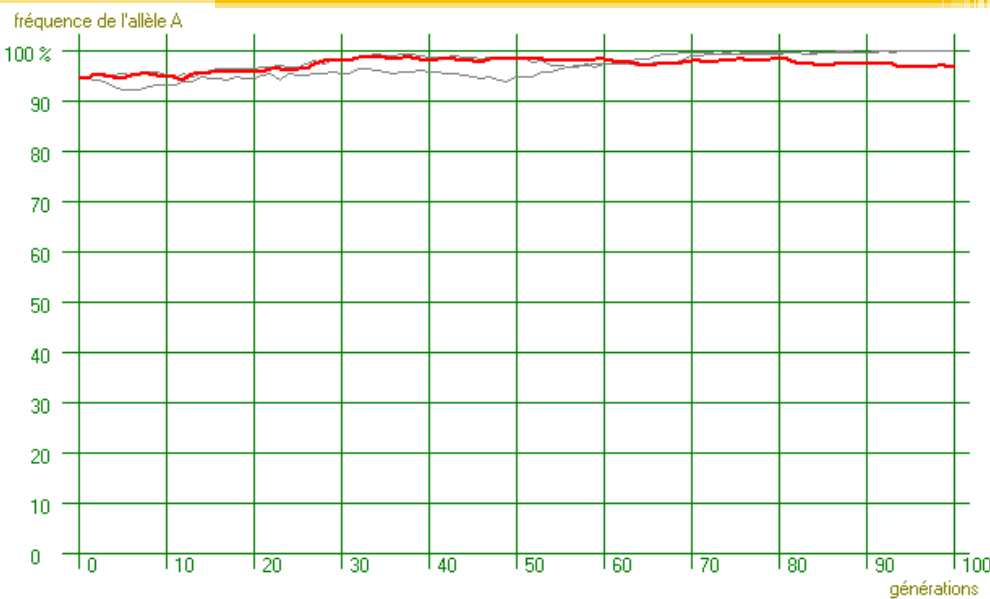
Nom de l'allèle 1 :

Nom de l'allèle 2 :

Fréquence initiale de l'allèle 1
f = 

Nombre de générations : (max = 100)

Effectif de la population : (max = 10000)



RESULTATS DE LA SIMULATION :

Fréquence des génotypes :

	initiales	finales
A//A	0.902	0.939
A//a	0.095	0.057
a//a	0.003	0.001


Dans le cas d'une fréquence allélique initiale très déséquilibrée (0,95 pour l'allèle le plus fréquent), à grand effectif et après de nombreuses générations, le polyallélisme est toujours conservé. En revanche, à effectif réduit l'allèle initialement majoritaire est très rapidement fixé.

Dérive génétique et évolution des fréquences alléliques

La dérive génétique est la modification de la fréquence allélique au sein d'une population, indépendamment des mutations, sélections, migrations. **La perte ou le gain d'un allèle se faisant au hasard, la dérive génétique est d'autant plus forte que la population est petite.**


Concrètement, chaque individu se reproduisant ne transmet que la moitié de son patrimoine génétique à sa descendance. Dans une population de petite taille, il est statistiquement inévitable que certains allèles (une variante particulière d'un gène) ne soient transmis par aucun adultes à leurs descendance. De plus, certains individus n'ont pas de descendance du tout. Le nombre des allèles (la variabilité génétique) se réduit donc. Parmi les allèles « survivants », certains vont voir leur fréquence originelle diminuer ou au contraire augmenter.

(source : Wikipedia)

en savoir plus : 

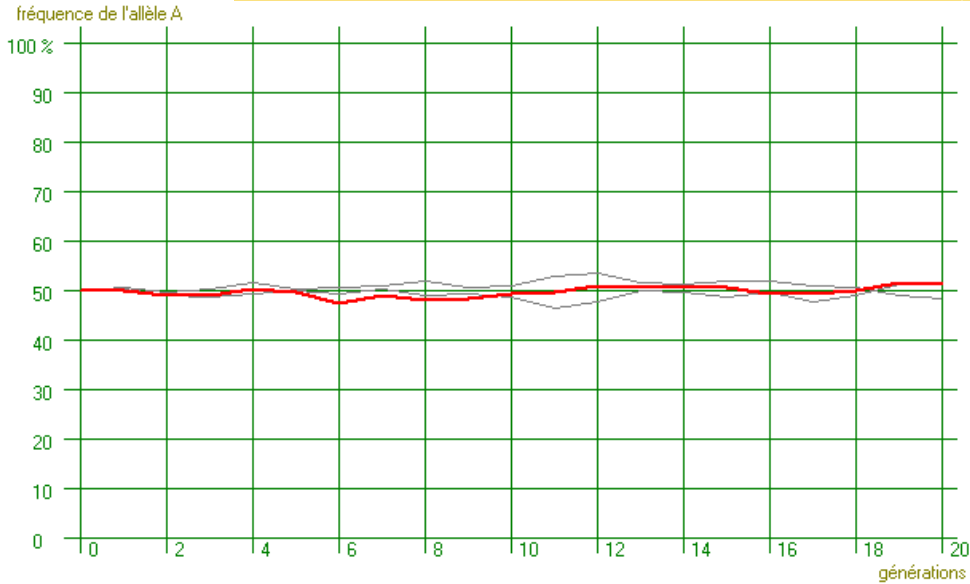
Nom de l'allèle 1 :

Nom de l'allèle 2 :

Fréquence initiale de l'allèle 1
 f = 

Nombre de générations : (max = 100)

Effectif de la population : (max = 10000)



RESULTATS DE LA SIMULATION :

Fréquence des génotypes :

	initiales	finales
A//A :	0.25	0.321
A//a :	0.5	0.508
a//a :	0.25	0.201

Pour étudier l'évolution génétique d'une population, il faut étudier un grand nombre de générations.

Introduction intuitive à la dérive génétique

La dérive génétique est d'autant plus grande que l'effectif est petit

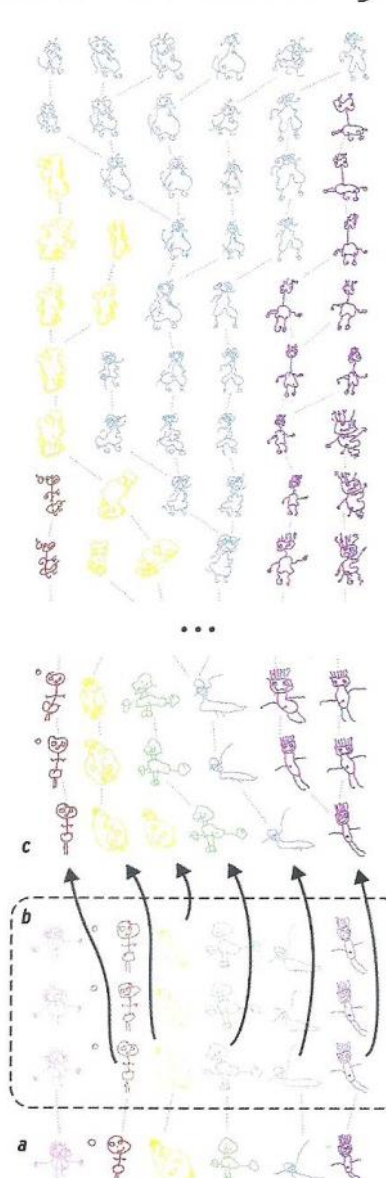
Pour se familiariser avec la notion de dérive génétique, suivons *Dérive Graphique* (voir la figure), une expérience artistique réalisée par le designer Léo Lescop, selon un protocole de création participative mêlant erreurs et hasard. Au départ, six petits bonshommes issus de la main de six enfants de trois ans (a). Simulons maintenant une reproduction strictement clonale, c'est-à-dire sans échange de caractères entre individus, en demandant à des adultes de recopier trois fois, très vite et de mémoire, chaque petit bonhomme. Cette étape introduit une variation, du fait des erreurs de copie, qui simule la mutation. Nous obtenons ainsi 18 descendants (b).

Cependant, la vie est rude, les ressources sont limitées, et seuls six individus parviennent à l'âge adulte pour produire leur propre descendance. Nous négligeons ici la sélection naturelle pour mieux percevoir les seules conséquences du hasard, en supposant que la couleur n'influe en rien sur les chances de reproduction des bonshommes. Choisissons donc au hasard (les flèches noires), parmi les 18 copies, les 6 survivants, les parents de la génération suivante (c).

On remarque que certaines couleurs peuvent ne pas être choisies: dès la deuxième génération, la lignée rose disparaît. Plus généralement, sous le seul effet du hasard, les proportions respectives des différentes couleurs fluctuent au cours des générations successives: c'est la dérive génétique.

Répetons l'expérience et observons les seuls effets des mutations et de la dérive (c, la figure se lit de bas en haut). À la 20^e génération, tous les individus sont bleus. Leurs formes sont distinctes (à cause des mutations), mais tous descendent d'un ancêtre unique ayant vécu à la 12^e génération. La « victoire » des bleus ne pouvait pas être prédite *a priori*, puisque, à la première génération, chaque couleur avait la même probabilité de l'emporter.

De même que la main recopie les dessins avec une certaine maladresse, la machinerie cellulaire



réplique l'ADN en introduisant des mutations. Des portions d'ADN sont modifiées, se dupliquent, d'autres se perdent. Ces mutations, quand elles n'influencent pas sur la survie ou la reproduction des organismes (quand elles sont neutres), peuvent disparaître ou bien se fixer, à l'instar de la couleur bleue dans l'expérience.

Parfois, une mutation améliore la *fitness* (la performance évolutive) de son porteur. Sa probabilité de fixation est alors supérieure à celle d'une mutation neutre. Mais le hasard, la dérive, continue à agir et peut conduire à la disparition d'une telle mutation. Plus souvent, les mutations ont des effets négatifs sur l'hôte. Leur probabilité de fixation est alors inférieure. Pour autant, ces mutations délétères peuvent aussi se fixer sous l'effet de la dérive. Ainsi, la sélection naturelle peut tirer la population dans un sens, mais la dérive introduit du chaos, du bruit.

Essayons de préciser les conséquences d'un paramètre fondamental, la taille de la population (six individus dans l'expérience), sur les contributions respectives de la dérive génétique et de la sélection naturelle. Imaginons une expérience plus réaliste, avec cette fois 600 bonshommes, à raison de 100 pour chacune des six couleurs. Nous produisons 1800 (600 × 3) « bébés » et en choisissons 600 pour la génération suivante. La perte d'une couleur en une seule génération est cette fois très improbable. L'événement se produira, mais beaucoup plus tard. De fait, le hasard a d'autant moins d'influence sur l'évolution des fréquences alléliques (ici, les différentes couleurs) que les populations sont grandes. Ainsi, dans une petite population, la dérive génétique domine la sélection: les mutations délétères peuvent se fixer et les mutations avantageuses peuvent être perdues. À l'inverse, dans une grande population, la sélection devient plus efficace.

La vidéo de *Dérive graphique* est visible sur le site: <http://bit.ly/PLS-LESCOP>

Traces écrites

- Le concept d'espèce s'est modifié au cours de l'histoire de la biologie.
- D'après Ernst Mayr (biologiste allemand) une espèce est un ensemble d'individus, qui se ressemblent morphologiquement, qui sont interféconds, dont la descendance est fertile.

Cette définition trouve ses limites, par exemple dans le cas d'espèces fossiles (comment connaître l'interfécondité?), ou dans le cas d'espèces actuelles comme l'ours blanc et le grizzly dont la fécondation engendre un hybride, fertile!

Quels facteurs influencent la biodiversité?



Ernst Mayr (1904-2005)

Les idées reçues sur la stérilité des Hybrides

- Le croisement entre variétés d'une même espèce ou entre espèces engendre souvent des hybrides stériles. Mais l'inverse existe aussi, et ces hybrides fertiles se reproduisent depuis des générations.
- Accouplez une jument et un âne. De leur union naîtra un animal hybride, mule ou mulet. Accouplez cette fois-ci la mule et le mulet. Vous n'obtiendrez aucune descendance. Car la mule et le mulet sont stériles. Faut-il en conclure que l'hybridation - qui signifie « union illégitime » en latin - mène toujours à une descendance stérile ? Absolument pas ! Le cochon et le sanglier se croisent très bien pour donner un animal lui-même fécond, appelé cochonglier. Tout comme la crocotte, l'hybride d'une chienne et d'un loup.

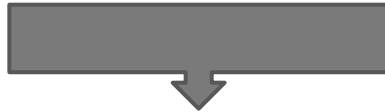
Des exemples d'hybrides



Jument ($2n=64$)



âne ($2n=62$)



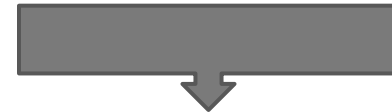
mulet (« 2 » $n=63$)



chienne ($2n=78$)

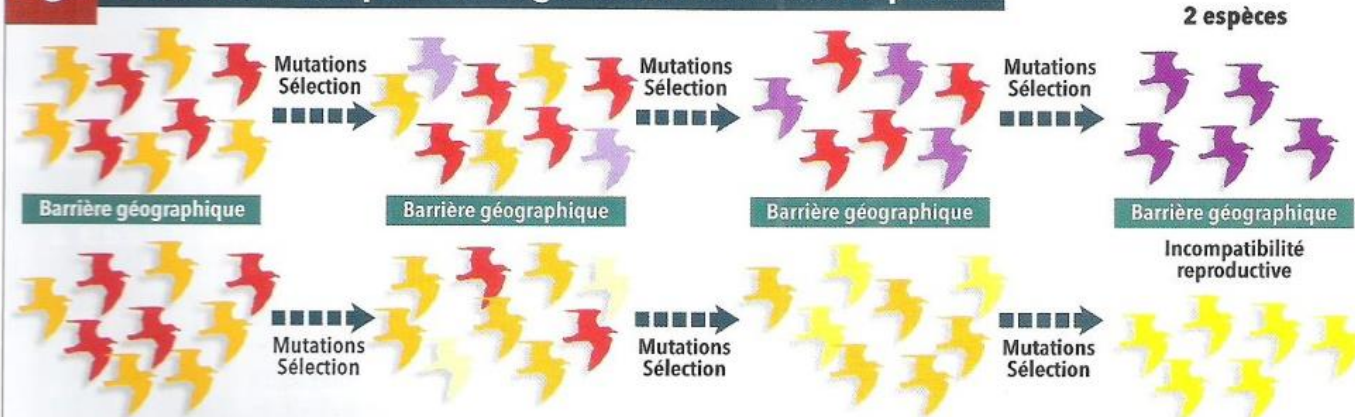


loup ($2n=78$)



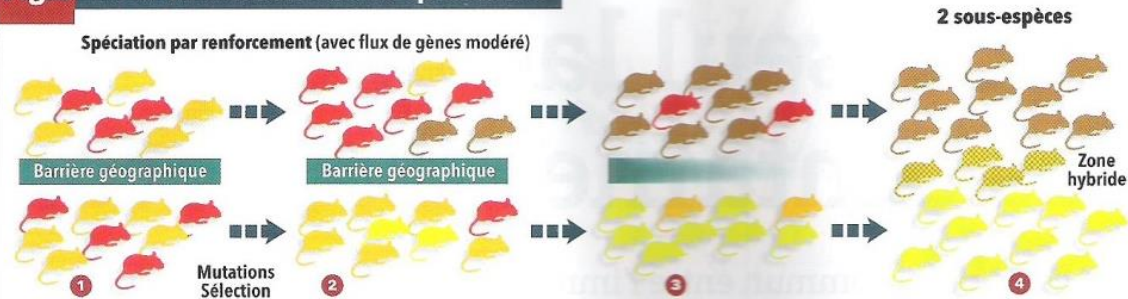
Crocotte ($2n=78$)

Fig.1 Scénario classique d'émergence de nouvelles espèces



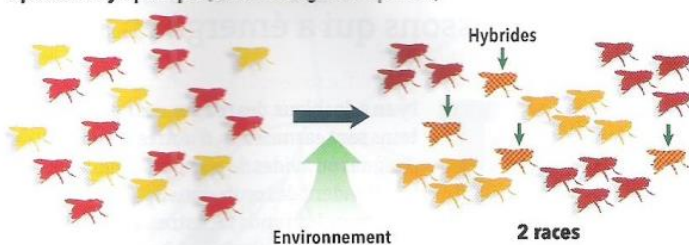
LE MODÈLE DE SPÉCIATION CLASSIQUE postule que, pour qu'une espèce diverge en deux nouvelles espèces, il faut qu'une barrière physique infranchissable scinde en deux une population de l'espèce d'origine (à gauche, en orange et rouge). Chaque sous-population évolue alors indépendamment, par mutations et sélection, sans échanger de gènes. Sur le long terme, ce processus conduit à l'émergence de deux nouvelles espèces. © INFOGRAPHIE SYLVIE DESSERT

Fig.2 Nouveaux modèles de spéciation



DANS LA SPÉCIATION «PAR RENFORCEMENT» (ci-dessus), deux sous-populations issues de l'espèce d'origine (1) divergent d'abord séparément (2), puis se rencontrent (3). Des hybrides sont produits au niveau de la zone de contact (4). S'ils sont moins performants que leurs parents, l'hybridation diminue, et la spéciation s'achève (non représenté). Dans la spéciation sympatrique (à droite), la divergence est déclenchée par adaptation à l'environnement, en dépit de contacts constants. La production d'hybrides est initialement importante. © INFOGRAPHIE SYLVIE DESSERT

Spéciation sympatrique (avec flux de gènes important)



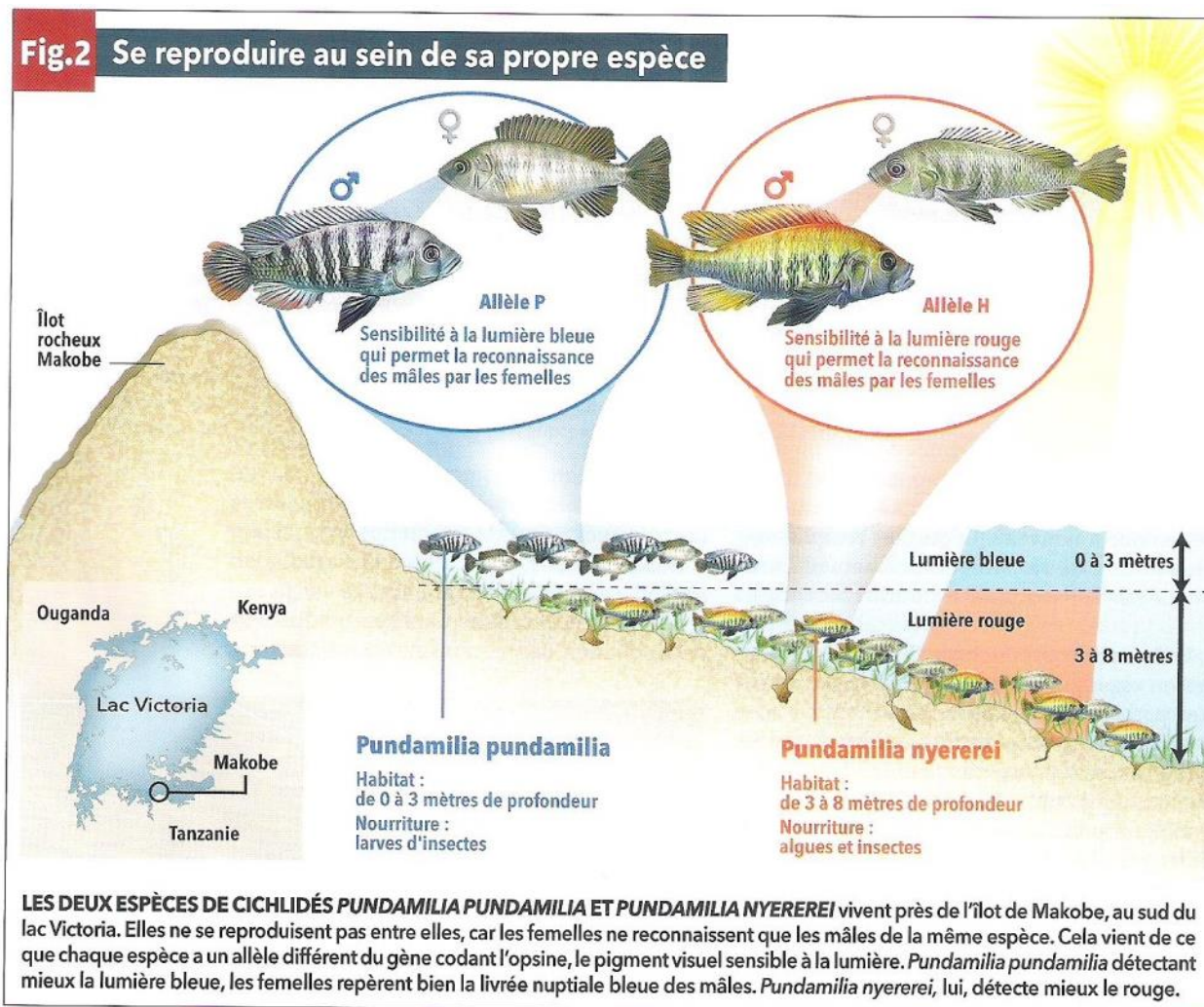
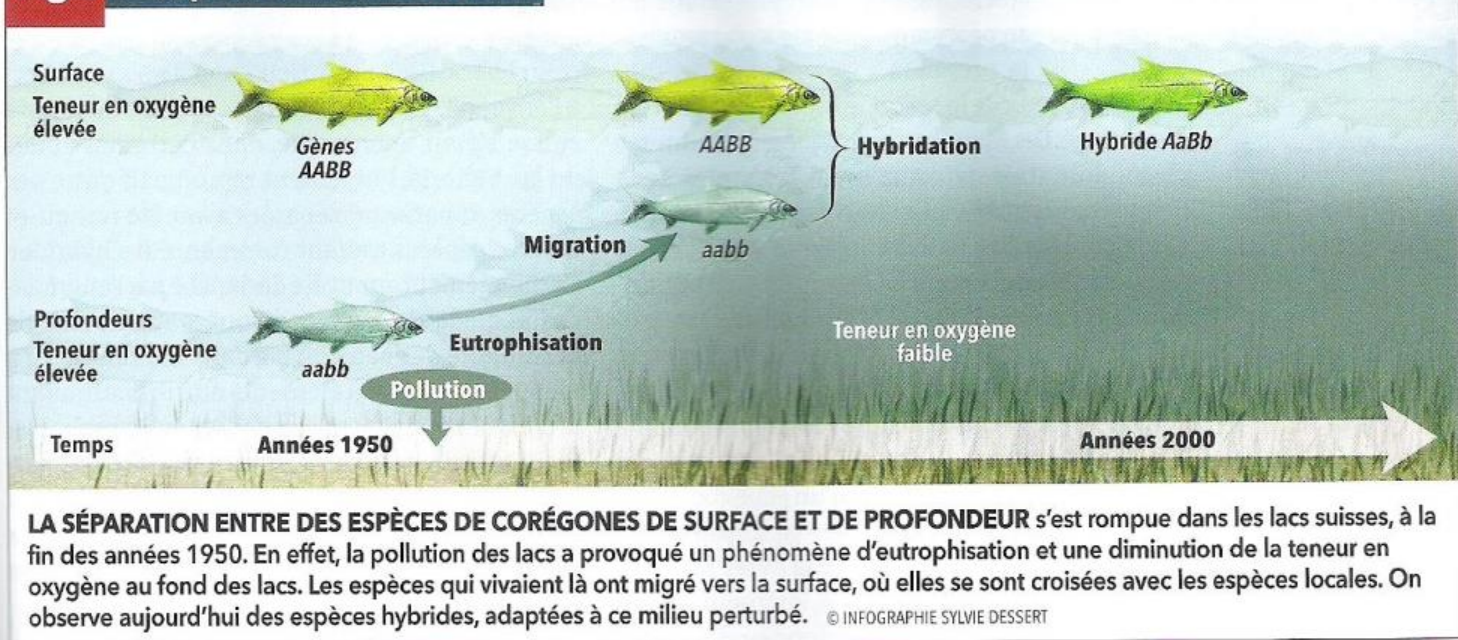
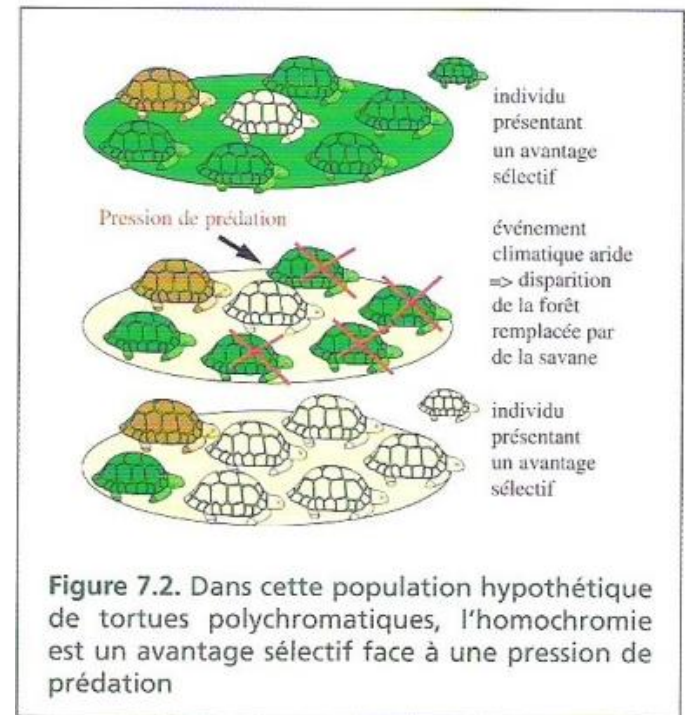


Fig.3 La spéciation à l'envers



Traces écrites (suite)

- Tout d'abord l'environnement exerce une pression de sélection sur les individus. Selon les conditions environnementales, certains individus d'une espèce seront avantagés par rapport à d'autres (phénotype le plus adapté à un moment donné). Leur succès reproductif (fitness) sera plus grand, ils auront donc une plus grande descendance, et la fréquence de leurs allèles au sein de la population sera plus grande: c'est la théorie de la sélection naturelle, initialement énoncée par Charles Darwin (1835).
- Ex: le réchauffement climatique conduit le grizzly à remonter vers le Nord et à rencontrer l'ours polaire pour se reproduire. C'est bien l'environnement qui agit sur la naissance d'une nouvelle espèce.



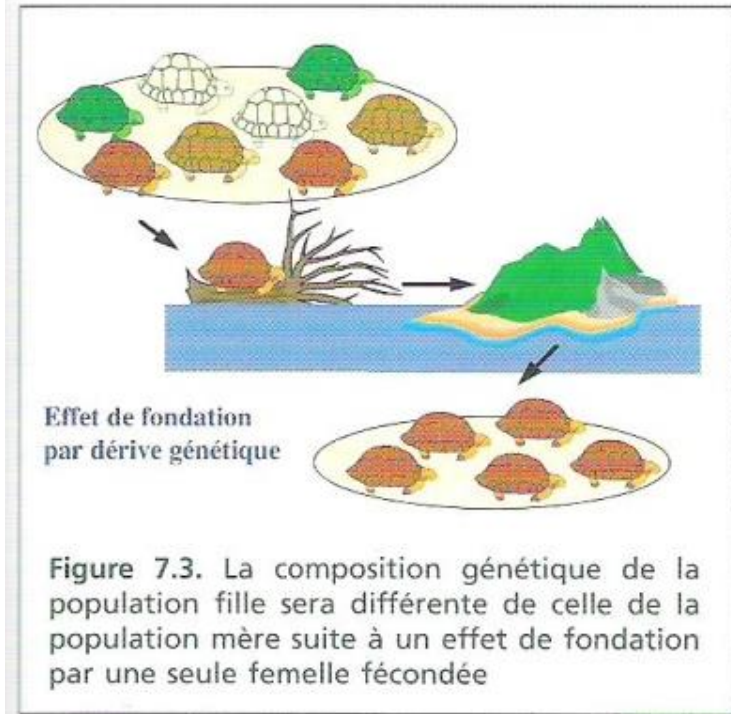
*Génétique moléculaire et évolutive,
M. Harry p,206*

Traces écrites (suite)

- Mais certains allèles peuvent être sélectivement neutres (théorie de Motoo Kimura en 1968). Comment expliquer alors l'évolution des fréquences alléliques et donc de la biodiversité?
- L'évolution de la biodiversité est aussi due au hasard. On parle de dérive génétique, qui est un tri au hasard des allèles; certains allèles se fixent, d'autres se perdent, et ceci est dû au hasard.

Traces écrites (suite)

- La dérive génétique sera d'autant plus importante que l'effectif de la population sera faible. On parle alors d'effet de fondation: par exemple, par isolement géographique, une petite population va continuer d'évoluer sans mélange avec la population d'origine. Du fait de sa faible taille, quelques allèles vont être fixés. Au cours du temps (plus ou moins long), cette population isolée sera devenir une espèce différente de celle d'origine.
- Ex: les moustiques du métro londonien ne se reproduisent plus avec les moustiques de surface, et sont génétiquement différents. Ils forment une nouvelle espèce!



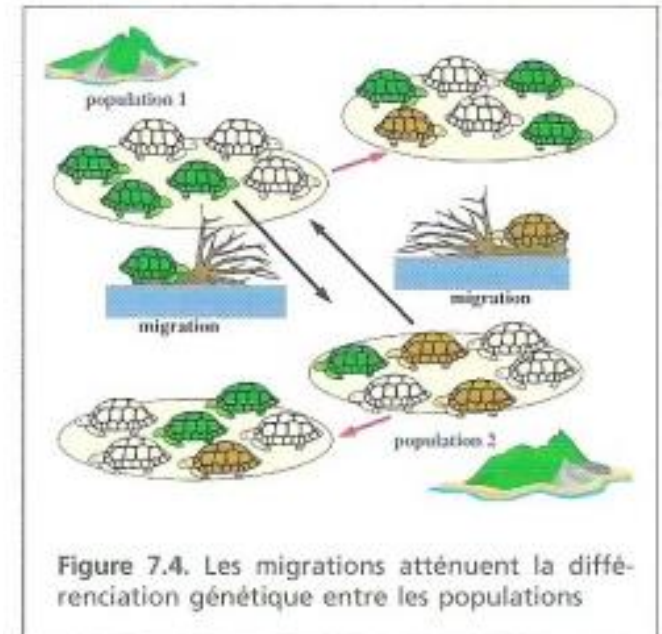
*Génétique moléculaire et évolutive,
M. Harry p,207*

Conclusion

La biodiversité est le produit de l'évolution. Cette évolution dépend du hasard (dérive génétique) et de l'environnement (sélection naturelle). Sous l'effet de la pression du milieu, de la concurrence entre êtres vivants et du hasard, la diversité des populations change au cours des générations.

L'évolution est la transformation des populations qui résulte de ces différences de survie et du nombre de descendants.

L'espèce est éphémère: une population d'individus identifiée comme constituant une espèce n'est définie que durant un laps de temps fini.



*Génétique moléculaire et évolutive,
M. Harry p,207*