



De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité

Correction TP6/FA6

Reconnaître l'évolution conduit à constater l'existence d'une histoire, sur la Terre, de l'ensemble des organismes vivants. Comprendre l'évolution consiste à déceler les mécanismes qui ont présidé à la structuration actuelle de la **biodiversité**, en permettant les multiples adaptations des animaux, des végétaux, des organismes unicellulaires, adaptations qui sont parfois d'une telle précision qu'elles semblent défier l'imagination. Il s'agit donc tout à la fois de décrypter la manière dont les organismes se sont modelés dans leurs formes et leurs fonctions, et de rechercher l'origine des nouveautés et des potentialités évolutives. Ainsi les recherches sous-tendues par le concept d'évolution se séparent clairement en deux volets ; les unes visent la reconstruction de l'histoire de la vie, les autres tendent à comprendre les **modalités** et les **processus** de l'évolution.

Hervé Le Guyader

Pour le généticien, les individus sont une distribution de génotypes. Or, c'est la population qui engendre les génotypes. Les créateurs du mot de "génétique des populations" n'avaient donc pas le choix.

L'unité génétique en évolution, c'est la population.

Une population est un ensemble d'individus appartenant à la même espèce et vivants dans des conditions identiques. Les individus présentent des génomes identiques (mêmes gènes) **mais génotypes différents (allèles différents)**, donc des phénotypes différents. La structure génétique d'une population est représentée par l'ensemble des allèles présents dans la population. La fréquence de ces allèles peut varier au cours du temps de façon plus ou moins importante.

*NB : Il est important de comprendre qu'une population **ne peut évoluer** si tous les individus la composant possèdent le même bagage génétique. Ceci s'explique par le fait que les individus de la génération suivante seraient aussi tous génétiquement identiques. Il n'y aurait donc pas d'évolution possible.*

I/ Les modifications des populations au cours du temps.

1. La dérive génétique : une variation aléatoire de la fréquence des allèles neutres.

Un allèle neutre est un allèle ne conférant au phénotype codé ni avantage, ni désavantage. (Il apparaît par mutation, au hasard, dans la population)

➤ Doc3 page 65

Les modélisations effectuées nous montrent que pour un allèle dont la fréquence à un instant t est de 0,5 :

50 individus sur 100 générations.	1000 individus sur 100 générations.
<p>Lorsque l'effectif de la population est faible, la probabilité de perdre (0%) ou de fixer l'allèle (100%) est importante</p>	<p>Lorsque l'effectif augmente, cette probabilité diminue et la fréquence de l'allèle a plus de chance de se maintenir dans une fourchette autour de sa fréquence initiale.</p>

Cependant, si on augmente l'échelle temporelle (↗ nbr de générations), cette probabilité deviendra non négligeable.

L'évolution de la structure génétique des populations est soumise au hasard pour les allèles non sélectifs, dans un cadre temporel.

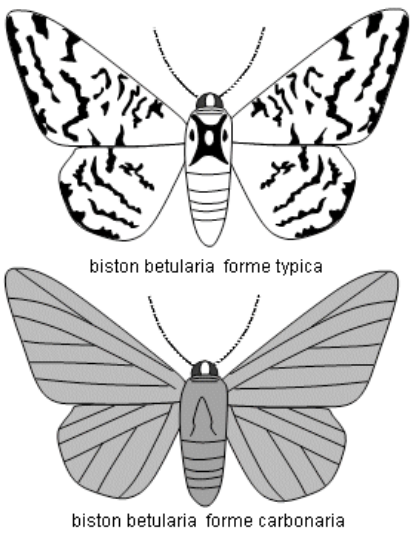
NB :

- Si le risque de la perte de diversité par dérive est réel, on ne doit pas négliger l'apparition constante de nouveaux allèles par mutation.
- Les conditions du milieu fluctuant sans cesse, des allèles neutres dans certaines conditions peuvent changer de statut si les conditions changent.

L'évolution de la structure génétique des populations est donc soumise **au hasard** sur les allèles neutres.

2. L'évolution de la fréquence d'allèles sélectifs.

➤ Doc 1 page 64. : Exemple de la phalène du bouleau : le mélanisme industriel.

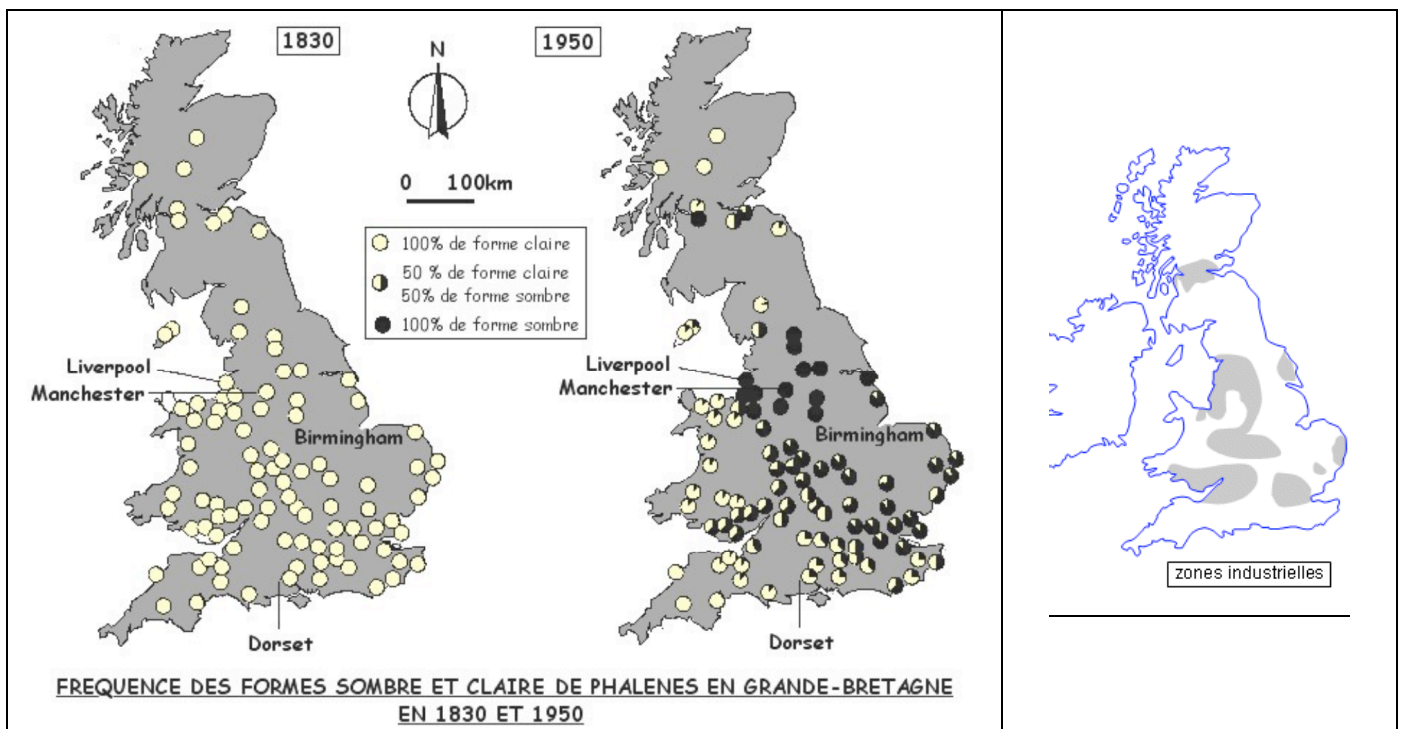


biston betularia forme typica

biston betularia forme carbonaria

La phalène du bouleau (*Biston betularia*) est un papillon, fréquent en Europe du Nord, qui vole la nuit et se repose le jour dans les bouleaux. Cette espèce a été très étudiée depuis le XIX^{ème} siècle car elle présente deux formes principales: l'une claire (*typica*) et l'autre sombre ou mélanique (*carbonaria*) : 2 **phénotypes alternatifs**, dont les fréquences ont considérablement varié dans les populations naturelles au cours des 150 dernières années.

Au milieu du XIX^{ème} siècle, la forme *typica* était largement majoritaire dans les populations anglaises. En 1848 on a capturé le premier individu *carbonaria* dans la région de Manchester. La fréquence de cette forme s'est alors accrue rapidement et les individus mélaniques ont ensuite été observés dans les autres régions industrielles de l'Angleterre.



On sait aujourd'hui que le déterminisme génétique de cette coloration est dû à un gène situé sur un autosome. Il existe 2 allèles :

L'allèle *carbonaria* (C) responsable de la mise en place du caractère « sombre » étant dominant.
L'allèle *typica* (c) responsable de la mise en place du caractère « clair » étant récessif.

Phénotypes	Formes mélaniques : [sombre]		Forme claire : [claire]
Génotypes	C // C	C // c	c // c

Depuis 1848, les variations s'étant toujours produites dans le sens de l'augmentation de la fréquence de la forme carbonaria, il ne peut s'agir d'un phénomène dû au hasard.

Une influence de l'environnement :

Dès le XIX^{ème} siècle, on remarqua une corrélation positive entre la fréquence de la forme mélanique et la pollution industrielle. Celle-ci contribue à la disparition des lichens sur les bouleaux et au noircissement de ces arbres. Le phénomène fut décrit sous le terme de "mélanisme industriel".

La distribution géographique des différentes formes est très suggestive: Les deux cartes présentent la distribution des fréquences des deux formes vers 1830 et 1950.

L'interprétation au regard de l'évolution des idées sur l'évolution :

<http://www.hominides.com/html/theories/theories.html>

Le rejet du modèle lamarckien

L'hypothèse la plus répandue supposait une action dirigée (non aléatoire) de l'environnement, modifiant un caractère héréditaire d'un organisme pour mieux adapter celui-ci à son milieu. Le caractère serait alors transmis sous la forme nouvelle. Cette hypothèse a été formalisée par LAMARCK (1744-1829).(
<http://www.hominides.com/html/theories/theories-evolutionnisme-lamarck.htm>)

Elle est souvent présentée sous le terme « d'hérédité des caractères acquis ».

Compte tenu des connaissances actuelles sur le matériel génétique cette hypothèse est difficilement concevable. Il faudrait en effet que l'environnement "reconnaisse" le gène adéquat pour le modifier spécifiquement dans le "bon sens".

Le modèle darwinien

<http://www.hominides.com/html/theories/theories-evolutionnisme.html>

Dès 1897, certains chercheurs proposèrent une explication au mélanisme industriel dans le cadre de la sélection naturelle: on suggéra que les individus typica, posés sur des bouleaux clairs couverts de lichens, étaient mieux camouflés des oiseaux prédateurs que les individus carbonaria. Sur des bouleaux noircis par les suies et dépourvus de lichens, c'est l'inverse qui se produisait. Les deux formes seraient alors consommées de façon différente selon le type de support, la forme mélanique étant avantagée sur des arbres noircis. Elle se serait ainsi répandue facilement dans les régions industrialisées, suite à la modification de la surface des bouleaux par la pollution.

Cette hypothèse fut reprise par de nombreux biologistes et statisticiens et donna l'objet de simulations mathématiques qui contribuèrent à la théorie synthétique de l'évolution :

<http://www.hominides.com/html/theories/theories-synthese.html>

NB : Attention aux idées fausses sur les théories de l'évolution :

<http://www.hominides.com/html/theories/theorie-evolution-idees-fausses.html>

La vérification expérimentale.

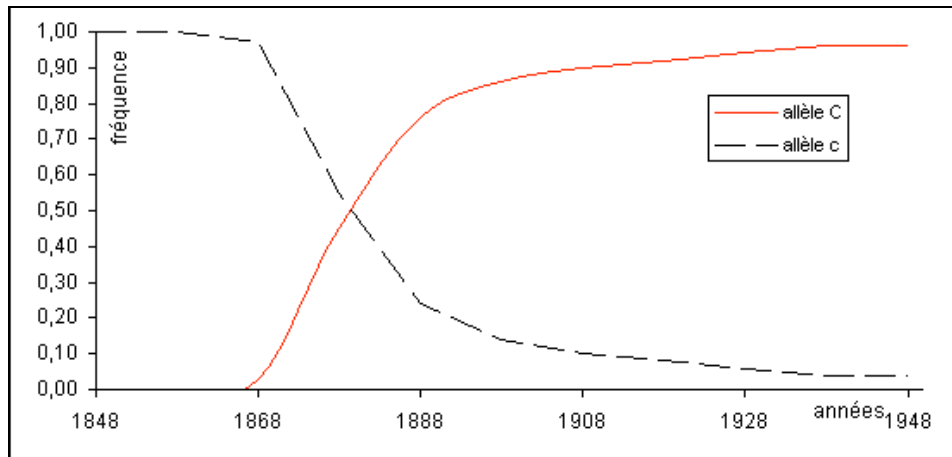
Dans les années 50, on utilisa la méthode des **captures-recaptures** : un grand nombre de phalènes des deux formes furent marquées ventralement, puis relâchées. Quelques jours après, une nouvelle campagne de captures fut menée, et les individus marqués et non marqués des deux formes furent dénombrés.

Sont présentés ici les résultats d'expériences de captures-recaptures effectuées dans deux régions proches, mais différentes par leur taux de pollution. Le tableau suivant résume les résultats obtenus dans des zones boisées "non polluées" de la région du Dorset et dans celles "polluées" situées à proximité de Birmingham (KETTLEWELL, 1955):

Dorset 1955	Forme [carbonaria C]	Forme [typica c]	Total
Nombre d'individus marqués relâchés	473	496	969
Nombre d'individus marqués recapturés	30	62	92
% d'individus marqués

Birmingham 1955	Forme [carbonaria C]	Forme [typica c]	Total
Nombre d'individus marqués relâchés	154	60	218
Nombre d'individus marqués recapturés	82	16	98
% d'individus marqués recapturés	53,25%	26,7%	45%

Evolution de la fréquence des allèles C et c de 1848 à 1950.



Le rôle joué par les prédateurs: la notion de contrainte sélective

L'interprétation générale est que la variation de fréquence des formes de la phalène est due à la prédation différentielle des oiseaux selon les régions, et aux migrations des papillons entre régions.

Pour vérifier la contrainte sélective portée sur certains papillons dans un environnement donné, KETTLEWELL a exposé à la prédation par les oiseaux le même nombre de papillons des deux formes sur chacun des deux sites et a compté le nombre de papillons capturés par les oiseaux dans chaque cas:

Dorset 1955	Forme [carbonaria C]	Forme [typica c]
Nombre de papillons exposés aux oiseaux	190	190
Nombre de papillons capturés par les oiseaux	164	26
% d'individus capturés par les oiseaux	86%	3,1%

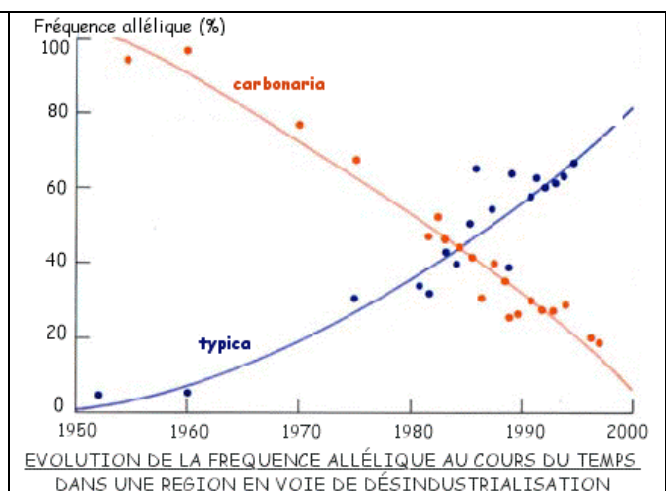
Birmingham 1955	Forme [carbonaria C]	Forme [typica c]
Nombre de papillons exposés aux oiseaux	58	58
Nombre de papillons capturés par les oiseaux	15	43
% d'individus capturés par les oiseaux	26%	74%

L'évolution de l'environnement confirme l'hypothèse :

L'interprétation sélectionniste proposée a pu être mise à l'épreuve de façon inattendue. En effet, dans les années 1950, la Grande-Bretagne adopta une législation anti-pollution ("the Clean Air Acts") qui eut pour effet de réduire les émissions de suie et de SO₂.

Dans la période qui suivit on observa une diminution de la fréquence de la forme mélanique, qui se poursuit depuis lors.

Le graphe ci-contre présente les observations effectuées dans une banlieue en voie de désindustrialisation.



EVOLUTION DE LA FREQUENCE ALLÉLIQUE AU COURS DU TEMPS DANS UNE REGION EN VOIE DE DÉSINDUSTRIALISATION

Selon l'environnement, l'une des formes de papillons, mieux "camouflée", échappe à ses prédateurs. Sa contribution à la formation de la génération suivante est proportionnellement plus importante: ainsi la fréquence des allèles qu'elle possède augmente dans la population et l'une des formes devient rapidement majoritaire.

C'est la sélection naturelle: une mutation, phénomène aléatoire et "non dirigé", confère aux individus qui en sont porteurs un avantage sélectif; ceux-ci se répandent dans la population. Inversement les mutations défavorables ont tendance à voir leur fréquence diminuée puis être quelquefois éliminées, car les individus qui en héritent survivent plus difficilement et se reproduisent moins.

Un sujet corrigé : <http://www.didier-pol.net/99pol6s.htm#2>

Parmi les mutations, certaines peuvent être défavorables ou favorables pour les individus porteurs de ces innovations génétiques. Une mutation est favorable ou défavorable pour les individus porteurs de cette innovation selon l'environnement dans lequel sont ces individus. Si l'environnement change, une mutation auparavant favorable peut se révéler défavorable et inversement. Les individus porteurs d'une mutation qui leur est favorable ont une plus grande probabilité d'atteindre la maturité sexuelle et de se reproduire.

Il s'agit de la **sélection naturelle** : les mutations conférant aux individus un avantage sélectif ont tendance à se répandre (c'est-à-dire que la fréquence de cette mutation va augmenter dans la population) dans la population. Inversement, les mutations défavorables aux individus ont tendance à être éliminées dans la population.

Dans la nature, les individus sont soumis à différentes conditions environnementales qui modulent le nombre de leurs descendants. De nombreux caractères sont impliqués dans ce processus. Pour les caractères possédant un déterminisme génétique, différents phénotypes (correspondant à différents génotypes) sont présents dans la population.

Dans un environnement donné, si les individus porteurs de ces phénotypes se reproduisent mieux que d'autres, ils auront tendance à transmettre plus fréquemment les gènes dont ils sont porteurs .

C'est l'idée de base présentée par DARWIN et WALLACE (1858), qui proposent que les facteurs héréditaires avantageant certains individus soient ainsi mieux transmis au cours des générations. Ils associent l'idée d'adaptation à celle de plus forte reproduction. Il s'agit là pour eux du processus fondamental des changements évolutifs, qu'ils appellent sélection naturelle. En termes actuels, il s'agit d'une transmission différentielle des gènes, et la "**survie du plus apte**" concerne en fait la **capacité à transmettre plus efficacement certains types de gènes**.

La sélection naturelle est relative à des conditions environnementales données. Un allèle n'est pas avantageux par essence, mais il le devient dans un environnement donné et cet état est susceptible d'évoluer.

➤ Exemple des éléphants : doc pages 66 / 67.

Dans toute espèce, un **équilibre** s'instaure entre mutations neutres et dérive génétique, engendrant la variabilité caractéristique de l'espèce, nommée "polymorphisme" . C'est un mécanisme aléatoire, aveugle et non orienté.

Les phénotypes alternatifs créés sont soumis à la pression de sélection du milieu. La sélection naturelle agit comme un **filtre** en retenant les combinaisons alléliques favorables c'est-à-dire celles portées par les formes qui survivent le mieux et qui ont potentiellement plus de descendants.

Dans un premiers temps, des sous-populations peuvent apparaître mais si un isolement génétique se met en place, limitant les échanges génétiques dans le temps, ce sont **de nouvelles espèces qui sont créées**.

II/ De l'évolution des populations à l'évolution des espèces

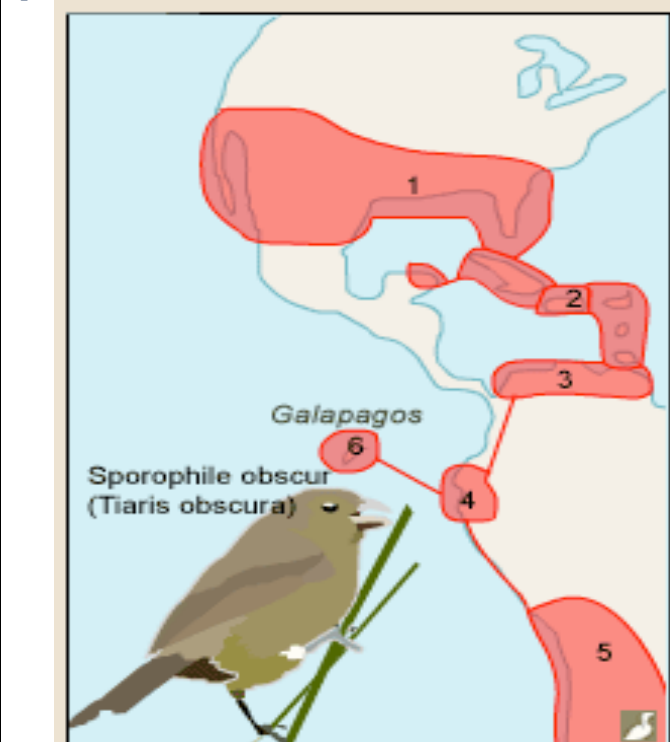
«La distribution géographique actuelle des espèces est révélatrice de leur histoire. Ainsi, les espèces de plantes et d'animaux qui ressemblent le plus à celles des îles Galápagos sont des espèces vivant en Équateur, la terre ferme la plus proche, à environ 1000 Km. Cette distribution géographique suggère fortement que des espèces de l'Équateur ont émigré jusqu'aux Galápagos et s'y sont transformées sous des conditions légèrement différentes. Si toutes les espèces avaient été créées indépendamment les unes des autres, alors pourquoi le Créateur aurait-il placé tous les marsupiaux en Australie et aucun en Afrique ? Ou pourquoi avoir placé tous les lémons à Madagascar, ou tous les singes à queue préhensile en Amérique du Sud, ou aucun ours en Afrique ? Ça semble des caprices sans raisons. Rien dans le climat australien ne permet de croire qu'une poche marsupiale est avantageuse seulement dans cette île ; rien dans la structure ou l'écologie des forêts d'Amérique du Sud n'oblige à porter une queue préhensile plus qu'en Asie ou en Afrique.

Ces distributions géographiques selon lesquelles les espèces qui se ressemblent se rassemblent indiquent que ces dernières ont évolué à partir d'ancêtres communs ayant émergé à un endroit particulier. Tout comme la distribution des Tremblay au Québec il y a cinquante ans. L'alternative serait que le Créateur n'aurait pas distribué ses créatures n'importe où, mais aurait placé, sans raison, les espèces les plus semblables tout près les unes des autres, et mis une distance de plus en plus grande entre les espèces de moins en moins semblables. L'évolution explique très bien toutes ces distributions géographiques à première vue fantaisistes et mystérieuses.»

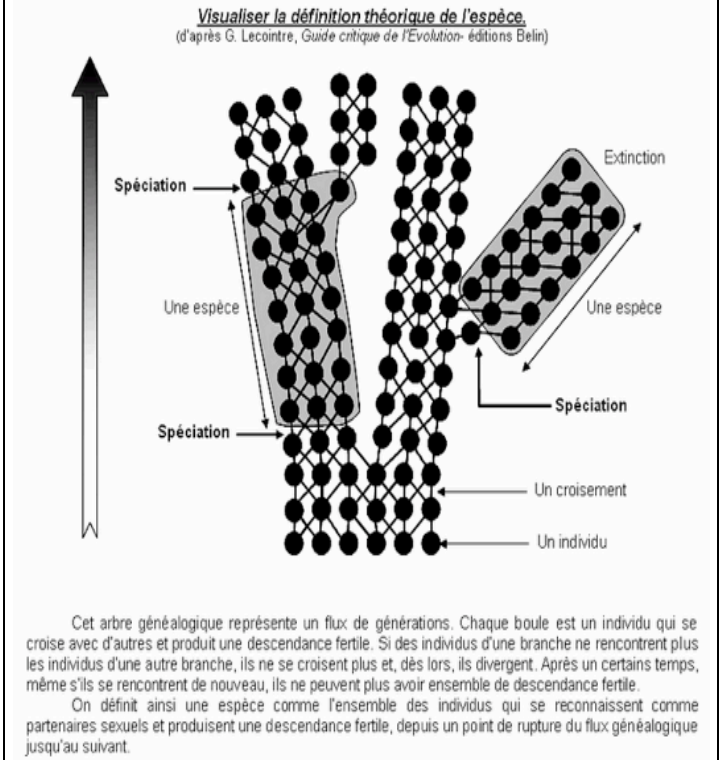
Extrait du livre «le miroir du monde» de Cyrille Barrette

1) L'exemple des pinsons de Darwin + Doc page 46

L'ancêtre supposé des pinsons de Darwin (1) et étapes de la spéciation et de la dispersion des espèces.



Mécanisme de spéciation :



Les 13 espèces identifiées (14 aujourd'hui) dans l'archipel des Galapagos auraient pour origine un pinson continental migrant. La distribution des populations dans les différentes îles, aux conditions écologiques très différentes, auraient fini par modifier suffisamment la structure génétique des populations pour entraîner l'apparition de nouvelles espèces.

La pression de sélection du milieu s'est exercée via **l'adaptation aux ressources alimentaires**, accentuée par la **compétition** entre les espèces.

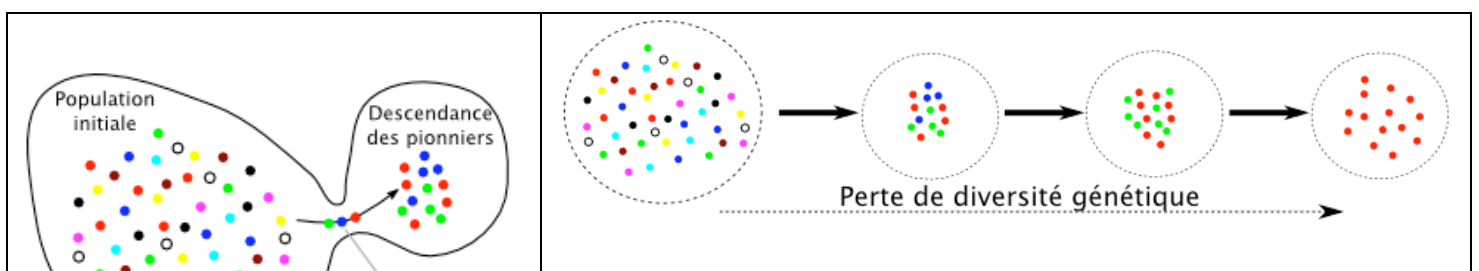
2) La spéciation.

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/normal/normal.html>

➤ Docs page 70/71

Effet fondateur : si un groupe d'une population se trouve isolé (migration, isolement écologique, éthologique...), la combinaison d'une sélection différentielle et de la dérive génétique va tendre à rendre cette population génétiquement homogène (↘ diversité génétique), et ce, d'autant plus que la population est petite.

Lorsque la structure génétique des populations devient trop différente (disparition des transferts génétiques entre les individus) elles ne peuvent plus se reproduire ou donner une descendance fertile → **Spéciation**.




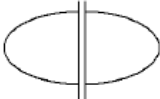


Les mécanismes de la spéciation :

La spéciation est la formation de nouvelles espèces suite à l'isolement des pools génétiques de populations. Il existe deux formes de spéciation.

Propriétés fondamentales de tous les modes de spéciation :

- Les différences génétiques s'accumulent entre populations quand les flux de gènes sont interrompus.
- Ces différences font que les descendants de parents de populations différentes (= hybrides) sont moins viables que les espèces parentes.
- La plus faible valeur sélective des hybrides renforce l'isolement.
- Les différences génétiques s'accumulent davantage

a) L'isolement géographique (spéciation allopatrique) (page 70)

Principe général de la spéciation allopatrique	
	1. Population d'origine.
	2. Apparition d'une <u>barrière extrinsèque</u> (isolement géographique).
	3. Si la barrière extrinsèque perdure suffisamment longtemps, les populations formées <u>divergent</u> (évoluent indépendamment l'une de l'autre).
	4. Si les populations se retrouvent en contact : (1) Elles ont divergé, des <u>barrières intrinsèques</u> se sont installées, elles sont alors <u>isolées</u> . (2) Elles n'ont pas suffisamment divergé, elles se mélangent.

L'isolement géographique se produit après qu'on ait scindé une population par une barrière géographique.
Par exemple, les treize espèces différentes de pinsons dans les îles Galápagos étaient séparées par l'eau, ils avaient des caractéristiques différentes.
D'autres barrières géographiques sont les volcans et les chaînes de montagnes...

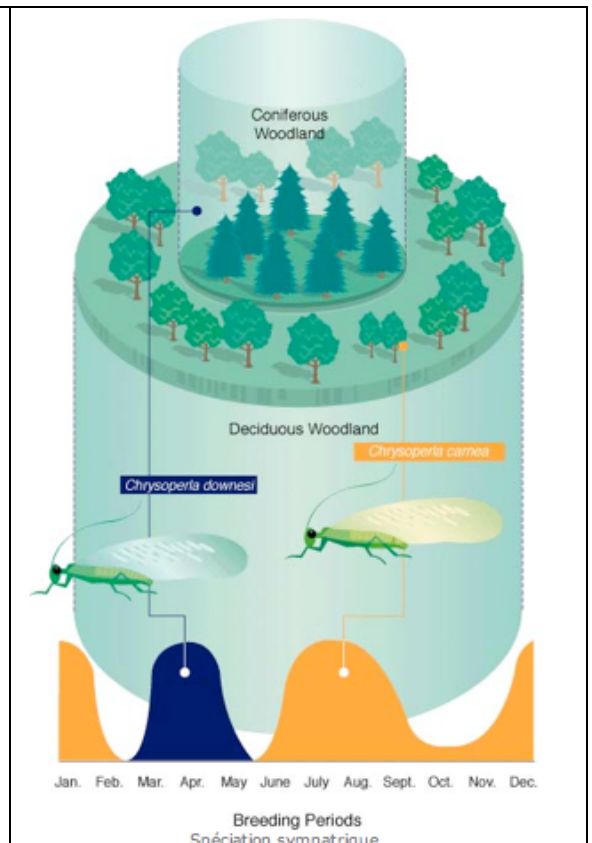
b) L'isolement reproductif. (spéciation sympatrique) (page 71)

Dû à des facteurs biologiques qui préviennent ou entravent l'inter-croisement entre populations. (S'il y a des inter-croisements, la descendance est non-viable ou non-fertile).

Deux espèces apparentées peuvent cohabiter dans un même environnement et être isolées du point de vue de la reproduction.

- Isolement temporel : Par exemple, il peut exister dans un certain milieu deux plantes apparentées qui possèdent des périodes de fécondation différentes. Si une des deux plantes fleurit tôt en saison alors que l'autre fleurit plus tard, elles ne pourront jamais se croiser dans ces conditions.
- Isolement écologique : les 2 populations occupent des milieux aux contraintes écologiques \neq
- Isolement éthologique : Evolution \neq des comportements reproducteurs.
- Isolement mécanique : impossibilité anatomique de l'accouplement.
- Echec des hybridations : infertilité, mortalité des hybrides. La polyploïdie par exemple.

À long terme, cet isolement reproductif peut mener à la production de nouvelles espèces



BILAN :

La naissance de nouvelles espèces est donc due à un éloignement des structures génétiques, initié par un isolement et l'accumulation de différences génétiques :

Sélection naturelle (Adaptation aux conditions locales)
+ Dérive génétique
+ Effet fondateur

La biodiversité émerge quand les flux de gènes s'interrompent entre des populations. Ces populations passent ainsi plus ou moins vite au statut d'espèces. La compréhension de la mise en place d'un isolement reproducteur entre des populations, c'est-à-dire la spéciation, est donc une des clefs permettant de comprendre l'origine de la biodiversité.

III/La notion d'espèce.

➤ (doc pages 68/69)

Evolution de la définition	Limite
Définition typologique (Fondée sur les ressemblances)	
<ul style="list-style-type: none">• <i>Karl von Linné</i> (1707-1778) C'est une définition basée sur la morphologie, l'espèce est définie par comparaison avec un individu de référence conservé en muséum et qui a servi à décrire l'espèce, c'est le type d'où le nom d'espèce typologique. Cette définition ignore le polymorphisme, elle est fixiste, elle souffre d'évidentes limites :	<ul style="list-style-type: none">- Espèces jumelles- Dimorphisme sexuel
Définition biologique (isolement reproducteur)	
<ul style="list-style-type: none"><i>John Ray</i> (1627-1705) Une espèce est l'ensemble de tous les variants qui sont potentiellement les rejetons des mêmes parents.• <i>Buffon</i> (1707-1788) Une espèce est une succession constante d'individus similaires qui peuvent se reproduire ensemble.• <i>Mayr</i> (1904-2005), définition de 1942 Les espèces sont des groupes de populations dont les membres peuvent se croiser entre eux et qui sont reproductivement isolés d'autres groupes.• <i>McClean</i> (1997) : Ensemble de populations entre lesquelles il peut y avoir des échanges de gènes, et dont les descendants de parents de populations différentes ont une valeur sélective égale à celle des parents	<ul style="list-style-type: none">- Hybrides naturels fertiles- Vision non dynamique n'incluant pas la dimension temporelle - Difficile à appliquer aux espèces fossiles
Définition phylogénétique de l'espèce.(Fondé sur les liens de parenté)	
Plus petit ensemble d'organismes partageant des caractéristiques permettant de le distinguer d'autres ensembles du même type, une ascendance et une descendance commune.	<ul style="list-style-type: none">- Combine les définitions biologique et typologique, inscrit l'espèce dans le temps.

Aujourd'hui définir cette notion semble bien complexe et certains posent la question d' »en finir avec la notion d'espèce « (H Le guyader).

Cependant l'espèce reste l'unité de base de la classification du vivant, nous retiendrons une définition tentant d'inclure les aspects **typologiques** (ressemblances), **biologiques** (interfécondité), **génétiques** (flux génétiques et structure génétique), **écologiques** (partage d'une niche écologique) et **phylogénique** (inscription dans une filiation).

Une espèce :

- Est un ensemble d'individus qui présentent des caractéristiques communes (phénotypiques et caryotypiques)
 - Est un ensemble d'individus qui sont interféconds, et dont les descendants sont féconds également
 - Se renouvelle au cours des temps géologiques, ce qui signifie qu'une espèce a une durée de vie limitée, qu'elle peut disparaître, et qu'elle est apparue à un moment donné.
- L'apparition de nouvelles espèces se fait toujours à partir d'espèces préexistantes.

La notion d'espèce est donc placée dans un contexte dynamique évolutif

Pour aller plus loin :

Dossier du CNRS : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/accueil.html>

Site biologie 30 : http://www.defl.ca/~debloisj_dev/evolution/contenu/evolution1.html

Site hominidés : http://www.hominides.com/plan_du_site.php

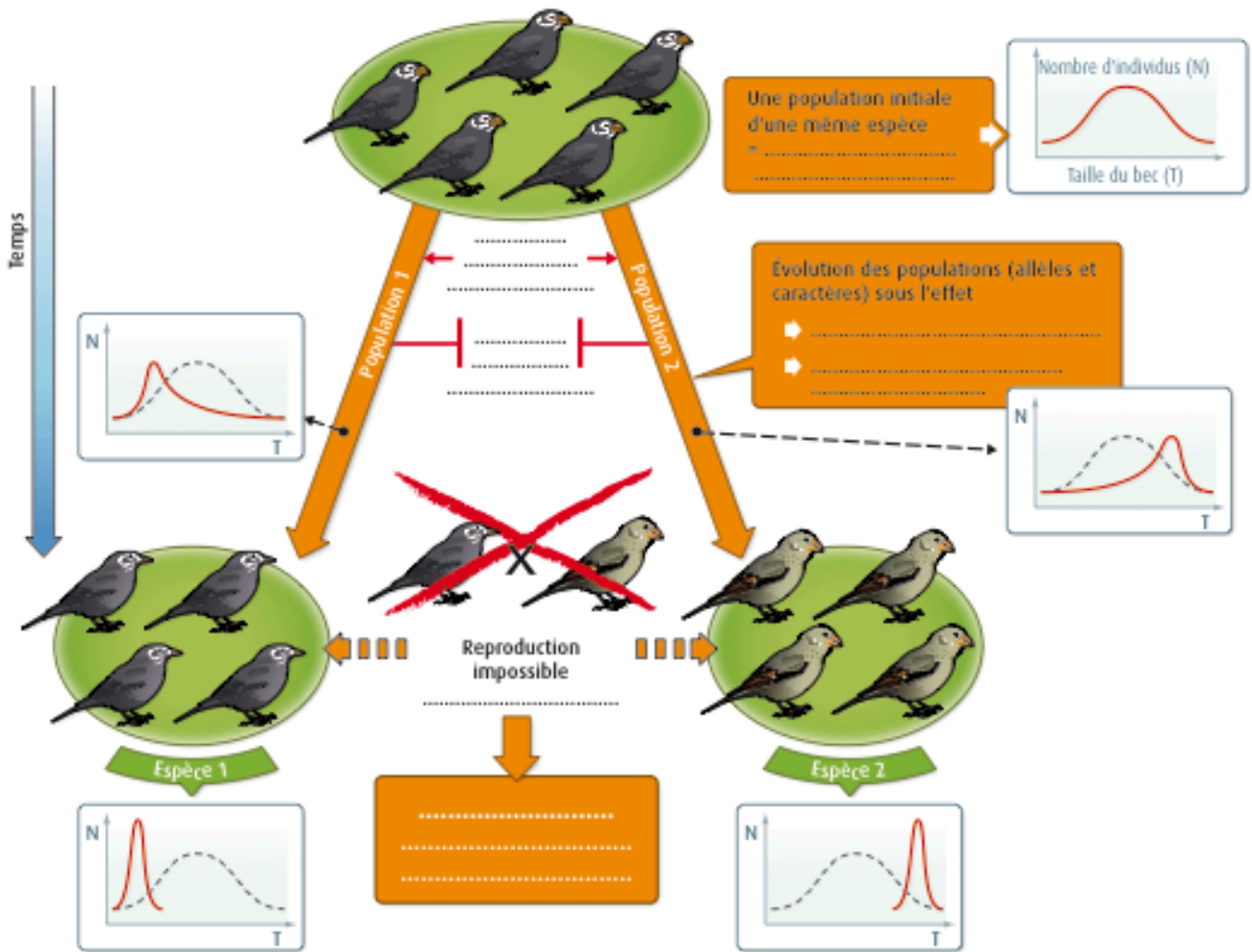
Un cours très bien illustré : http://mpronovost.ep.profweb.qc.ca/BIONP1/bionp1_evolution.html#darwin

L'évolution : une chronologie animée. : <http://www.johnkyrk.com/evolution.fr.html>

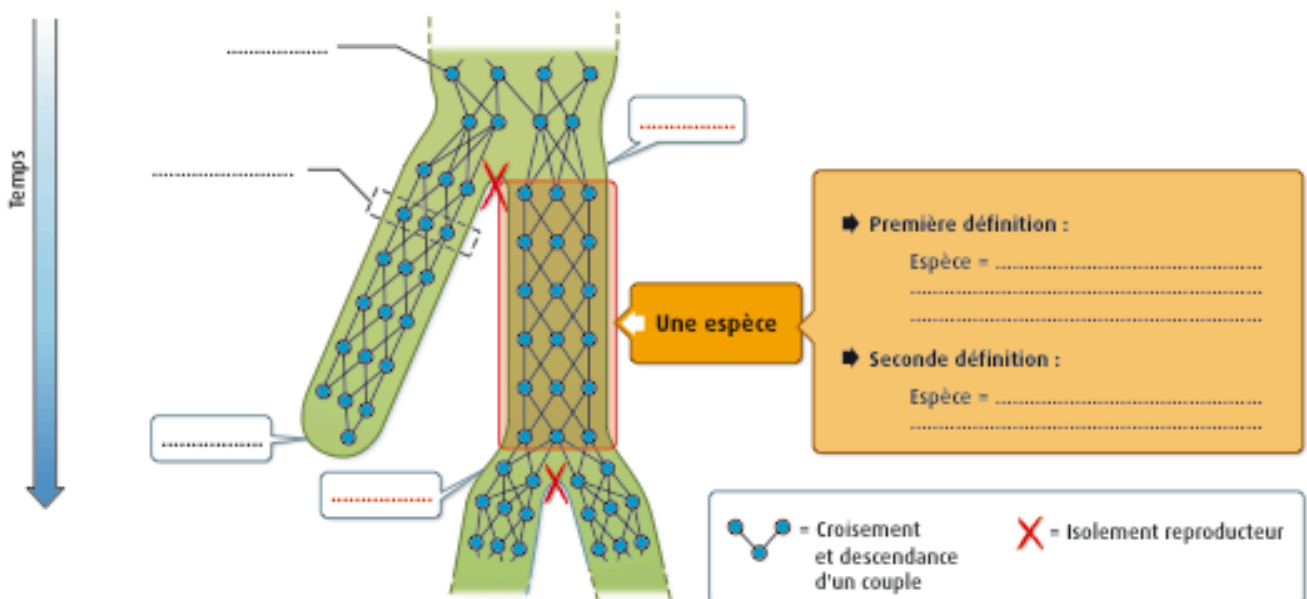
PB : Qu'en est-il de notre espèce : Homo sapiens ?

De la diversification du vivant à l'évolution de la biodiversité.

La diversification du vivant



La définition de l'espèce



Entraînez vous à compléter la synthèse...