

## CH3 – L'INÉLUCTABLE ÉVOLUTION DES GÉNOMES AU SEIN DES POPULATIONS

L'**évolution** est l'ensemble des mécanismes qui font varier les populations. La **biodiversité** est à la fois le produit de l'évolution et une étape de celle-ci à un instant donné.

## I – Le modèle d'HARDY-WEINBERG

On définit une **population** comme un ensemble d'individus occupant un espace géographique déterminé et partageant un ensemble de **gènes** du fait qu'ils se reproduisent sexuellement entre eux. Chaque individu de cette population possède une **combinaison unique d'allèles** des différents gènes entraînant une grande diversité génétique au sein de la population.

La **diversité au sein d'une population** peut alors être définie comme **la fréquence des allèles pour les gènes** de leur génome. La diversité des allèles étant elle-même due aux mutations aléatoires et aux brassages génétiques réalisés lors de la méiose et de la fécondation (Cf. T1A-1).

En 1908, G.H. **Hardy** et W. **Weinberg** proposent un modèle théorique qui prévoit **la stabilité des fréquences relatives des allèles** dans les populations eucaryotes à reproduction sexuée. Pourtant, l'exploration du génome des espèces actuelles révèle des déviations par rapport à ce modèle.

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** (A1//A1) + fréquence du **génotype** des **hétérozygotes** (A1//A2) + fréquence du **génotype** homozygote **récessif** (A2//A2) = 1

p = fréquence de l'allèle A1 / q = fréquence de l'allèle A2

Cette loi s'applique à une population :

- Dans laquelle les couples se forment au hasard et tous participent à la reproduction. On dit que la population est **panmictique** (panmixie) ;
- Sans **croisements intergénérationnels** ;
- De **grande taille** (= nombreux effectifs, voire effectif infini) ;
- Non soumise à la **sélection naturelle**, à la **sélection sexuelle** (pas de choix du partenaire sexuel), ni aux **migrations**. Les **mutations** ne sont pas prises en compte (ou on considère que le taux de mutation est constant) ;
- Les allèles étudiés ne confèrent **ni avantage, ni désavantage** aux individus qui les portent, ils sont dits **neutres**.

Si ces conditions sont respectées, ce modèle théorique prévoit que les **fréquences des allèles sont stables de générations en générations** : la population est dite à **l'équilibre de Hardy-Weinberg**.

Les fréquences alléliques permettent de **calculer les fréquences génotypiques**. Les fréquences génotypiques restent invariantes d'une génération à l'autre.

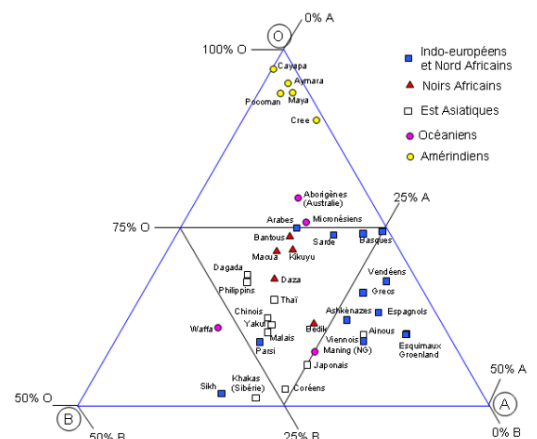
## II – Les limites au modèle d'HARDY-WEINBERG

## 1. Des observations qui s'écartent du modèle théorique

Dans les populations naturelles, les fréquences alléliques observées ne correspondent pas à celles de la prédiction du modèle théorique de Hardy-Weinberg : **l'équilibre théorique n'est jamais atteint**.

Pour de nombreux gènes, **certain allèles** sont, soit **surreprésentés**, soit **sous-représentés** car différents facteurs empêchent d'atteindre l'équilibre d'Hardy-Weinberg. Il peut s'agir de **facteurs biotiques** (c'est-à-dire liés aux interactions avec les autres êtres vivants) ou **abiotiques** (c'est-à-dire liées aux facteurs physico-chimiques du milieu).

Par exemple, concernant **la fréquence des allèles des gènes du système ABO** qui définissent les groupes sanguins, les allèles A et B sont rares chez les Cayapas (Amérindiens) alors que l'allèle O est surreprésenté (1% A – 4% B – 95% O). Et cette ethnie provient des flux migratoires de populations originaires de Sibérie dont les Kakhass actuels sont les représentants les plus proches génétiquement (22% A – 27% B – 51% O)



## 2. Des forces évolutives font varier les fréquences alléliques

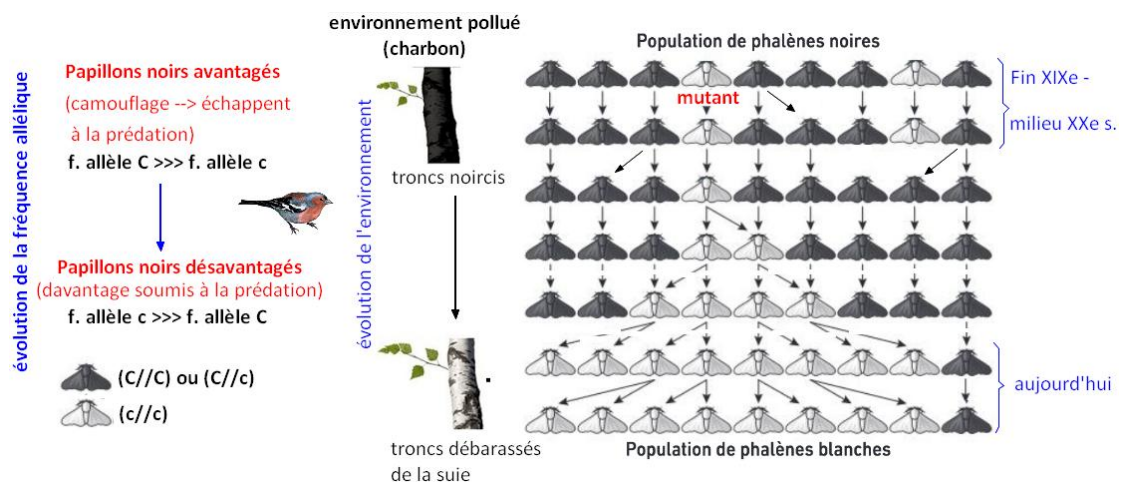
### 2.1. Les MUTATIONS

Les **mutations** qui concernent les **cellules sexuelles** peuvent introduire de nouveaux allèles dans la population, modifiant ainsi leurs fréquences relatives. Mais ces mutations sont **rares** (1/10 000 pour un gène donné), pas obligatoirement avantageuses, et par conséquent **l'impact est limité** sur l'évolution des fréquences alléliques dans les populations d'autant plus si leur effectif est important.

### 2.2. La SÉLECTION NATURELLE

Dans un environnement donné, une mutation peut s'avérer favorable, c'est-à-dire qu'elle augmente le **succès reproducteur** des individus qui en héritent. Leur survie et leur fécondité étant améliorées, le nombre de descendants survivants à la génération suivante est supérieur à celui des individus n'ayant pas hérité de cet allèle favorable. Au cours du temps, si l'environnement reste stable, cet allèle « avantageux » tend à se répandre dans la population tandis que l'allèle défavorable se raréfie, ce qui explique **l'adaptation** des populations à leur environnement.

Dans l'exemple ci-dessous (*La Phalène du bouleau*), les papillons ont été soumis au cours du temps à deux facteurs du milieu qui agissent conjointement : un facteur abiotique (**la pollution** liée aux industries qui employaient du charbon), un facteur biotique (**la prédation** exercée par les oiseaux). L'environnement ayant changé, les oiseaux ont exercé une prédation différente sur les papillons. Les papillons noirs qui avaient **un avantage sélectif** dans un environnement pollué ont perdu cet avantage quand le milieu s'est modifié. Les oiseaux ont exercé un « tri » sélectif sur les individus de la population, c'est un cas de **sélection naturelle**. Cette sélection a modifié la fréquence des deux allèles (C et c) qui interviennent dans la couleur du papillon.



### Un cas particulier, la SÉLECTION SEXUELLE

La sélection sexuelle est un cas particulier de sélection naturelle. Chez certaines espèces, l'accès à la reproduction dépend de caractères identifiables par les individus de sexe opposé : Les partenaires sexuels se choisissent à partir de signaux visuels, sonores, chimiques ou parfois tactiles que l'on nomme **caractères** ou **attributs sexuels**. Par conséquent la **reproduction est orientée** et la préférence d'un partenaire pour certains caractères sexuels héritable plutôt qu'un autre contribue à les rendre plus fréquents dans la population au cours des générations.

En résumé, la sélection résulte d'un **compromis** entre l'avantage que procure un caractère pour l'accès aux partenaires sexuels, et l'inconvénient qu'ils entraînent pour la survie.

Le succès reproducteur dépend de 2 composantes :

- La **probabilité de survie de l'individu** jusqu'à la maturité sexuelle
- Sa **fécondité**, c'est-à-dire sa capacité à se reproduire et à laisser une descendance.

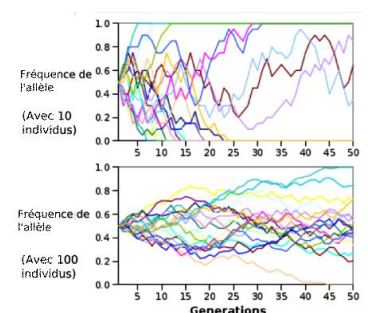
### 2.3. La DÉRIVE GÉNÉTIQUE

De nombreux gènes (ou allèles) ne sont pas soumis à la sélection naturelle car ils ne confèrent ni d'avantages ni d'inconvénients particuliers aux individus qui les portent, ce sont des **allèles neutres**. Ces allèles vont donc se répandre de manière aléatoire (= sous l'effet du hasard) dans la population : c'est la **dérive génétique**. Ce phénomène s'observe d'autant mieux que **l'effectif de la population est faible**. C'est le cas par exemple lorsque qu'une population voit ses effectifs diminuer ou lorsqu'un groupe d'individus s'isole du reste de la population.

Exemple étudié : les allèles **bw** et **bw<sup>75</sup>** qui codent pour la [couleur des yeux] chez la *Drosophile*. Ces allèles ne modifient ni la survie ni la capacité à se reproduire de l'individu. L'étude porte sur **107 populations** comportant chacune **10 individus** (faible effectif).

On voit que **la fréquence des 2 allèles varie de manière aléatoire** au fil des générations. Pour certaines populations, l'allèle **bw** ou **bw<sup>75</sup>** a carrément disparu ; pour d'autre, l'allèle **bw** ou **bw<sup>75</sup>** s'est fixé.

Il en est autrement pour des populations à plus fort effectif (100). Dans ce cas, les allèles **bw** et **bw<sup>75</sup>** ont davantage tendance à se maintenir mais leur fréquence, là aussi évolue au hasard au cours des générations.



Remarque : la **dérive génétique** et la **perte de diversité génétique** qui est associée sont des phénomènes naturels, mais ils peuvent être amplifiés par des pratiques artificielles aboutissant à la réduction des effectifs, par exemple, par la « prédation »

Exemple : Chez l'Éléphant d'Afrique, le caractère « taille des défenses » est un caractère héritable gouverné par un gène porté par le chr. X. Chez les individus porteurs d'une mutation de ce gène, la croissance des incisives est empêchée, ce qui conduit à l'absence de défenses. Les défenses servent principalement à la recherche de nourriture, à la défense contre les prédateurs mais c'est également un attribut sexuel pour les mâles qui se livrent à des combats pendant les « parades nuptiales ».

Les Éléphants Africains ont été massivement chassés pour l'ivoire de leurs défenses. En quelques décennies, le nombre d'éléphants sans défenses a augmenté jusqu'à devenir quasi exclusif dans certaines populations.



## 2.4. Les MIGRATIONS

Dans la plupart des situations réelles, la migration d'individus peut faire entrer de **nouveaux gènes** ou **allèles** au sein d'une population. Ces flux de gènes entre les populations tendent à **homogénéiser leurs fréquences alléliques** et donc à limiter leur différenciation. Ces migrations sont également une barrière à la **consanguinité**.

## III – L'apparition de nouvelles espèces

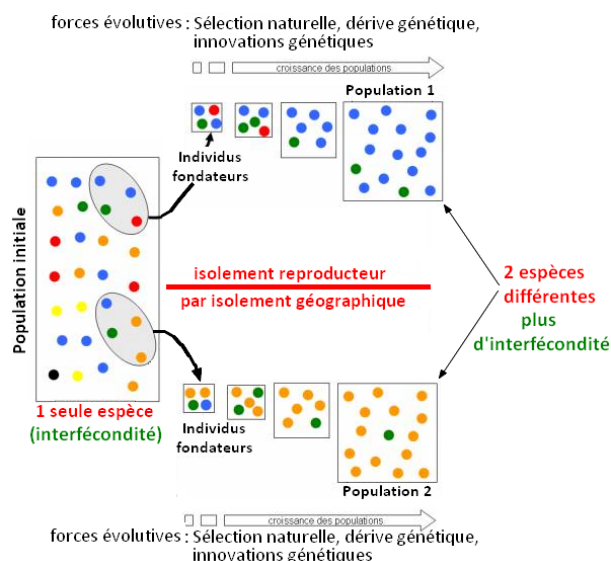
### 1. La notion d'« effet fondateur »

Lorsqu'un groupe d'émigrants s'isole d'une population originelle, il emporte avec lui un **échantillon aléatoire d'allèles** du stock global des allèles de cette population (*ronds colorés*) : c'est **l'effet fondateur**.

Si les deux populations se retrouvent éloignées l'une de l'autre (**isolement géographique**) et qui plus est dans des environnements différents elles vont subir les effets différents de la sélection naturelle, de la dérive génétique et accessoirement des innovations génétiques (mutations, duplications géniques).

L'**isolement reproducteur** empêche le flux de gènes entre les deux sous-populations qui accumulent des **différences génétiques** telles que si par hasard elles sont à nouveau en contact, elles ne peuvent plus se reproduire entre elles ce qui accentue les différences.

Ainsi, l'isolement reproducteur est un phénomène qui conduit à la **spéciation**, c'est-à-dire à l'apparition d'espèces distinctes.



### 2. De la difficulté à définir une « espèce »

Aujourd'hui, la définition la plus couramment employée repose sur des **considérations génétiques** : « **Une espèce est un ensemble d'individus effectivement ou potentiellement interféconds et suffisamment isolés génétiquement des autres populations** ».

Mais comme l'évolution des génomes est permanente, **une espèce n'existe que sur un temps limité** au cours des temps géologiques. Ainsi, une espèce du point de vue temporel est encadrée par un événement de spéciation et par un événement mettant fin à son existence, par exemple une extinction.

Pour Guillaume LECOINTRE, systématicien au Muséum National de Sciences Naturelles de Paris : « [...] dans la nature il n'y a pas d'espèces : il n'apparaît que des barrières de reproduction. Les espèces, c'est nous qui les créons à partir d'un modèle théorique. » (Revue Espèces – n° 1 – septembre 2011).

Cette définition est complétée par d'autres critères :

- Le critère phénétypique : repose sur le nombre de caractères partagés en commun autrement dit la **ressemblance** et de **reproduction à l'identique** : un individu appartient à une espèce s'il ressemble au « morphotype » de cette espèce (un individu de référence habituellement conservé dans un musée ou dans un herbier) ;



Remarque : Cette définition seule est aujourd'hui obsolète : il peut y avoir ressemblance sans parenté (un âne – un cheval) ou parenté sans ressemblance (un dogue allemand et un teckel).

- Selon un critère biologique : L'**interfécondité** : deux individus sont de la même espèce **s'ils peuvent se reproduire entre eux** et avoir une **descendance fertile**. C'est le cas du Grizzly (*Ursus arctos*) et de l'Ours blanc (*Ursus maritimus*).



Remarque : Là encore, elle n'est pas totalement satisfaisante car il existe de nombreux hybrides, notamment chez les végétaux, qui sont fertiles alors que parents et hybrides sont considérés dans ce cas comme des espèces différentes.