

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

Partie A – Génétique et évolution

Chapitre 4 – L'inévitable évolution des génomes au sein des populations

1. Un modèle de situation stable : l'équilibre de Hardy-Weinberg

Si l'on veut comprendre l'évolution, il est essentiel de modéliser la transmission des allèles au fil des générations au sein des populations. Le **modèle le plus simple** a été décrit par Godfrey. H. Hardy, mathématicien anglais (1877-1947) et Wilhelm Weinberg, médecin et obstétricien-gynécologue allemand (1863-1937).

Dans ce modèle :

- La population est de très **grande taille** (taille « infinie »)
- Les individus sont **diploïdes**, à **reproduction sexuée**
- La population est isolée (aucun nouvel allèle ne peut apparaître provenant d'une autre population)
- Le croisement des individus se fait au hasard (pas d'interdit ou de préférences sexuelles) : c'est la **panmixie** (mais il n'y a pas de croisements inter-génération)
- On s'intéresse à un gène possédant **deux allèles neutres** notés A1 et A2
- La fréquence de l'allèle A est de p et la fréquence de l'allèle A2 est de q (donc $p+q = 1$)

Si ces conditions sont respectées, à partir de la seconde génération, **les fréquences des allèles A1 et A2 (soit p et q) sont stables dans la population au fil des générations**, et les fréquences des génotypes des individus sont également stables, de valeurs :

- p^2 pour le génotype homozygote (A1//A1)
- $2pq$ pour le génotype hétérozygote (A1//A2)
- q^2 pour le génotype homozygote (A2//A2)

Cette situation stable porte le nom **d'équilibre de Hardy-Weinberg**. Si certaines situations réelles s'en rapprochent pendant un certain laps de temps, aucune ne lui correspond parfaitement. **Quelles sont les raisons pour lesquelles les fréquences des allèles ne se conforment jamais à l'équilibre de Hardy-Weinberg ?**

2. Les facteurs d'évolution génétique d'une population

Les mutations

L'équilibre de Hardy-Weinberg suppose que le nombre d'allèles du gène étudié ne varie pas au cours du temps. Nous savons pourtant que dans une situation naturelle des mutations peuvent faire apparaître de nouveaux allèles. Or, si un troisième allèle A3 apparaît dans la population, cela fera automatiquement diminuer les fréquences de A1 et de A2 dans la population.

La sélection naturelle

L'équilibre de Hardy-Weinberg suppose que la possession de l'allèle A1 ou de l'allèle A2 n'a aucune conséquence sur les chances de reproduction des individus. Ces allèles sont **neutres** par rapport à l'environnement. Pourtant, notre environnement conditionne de bien des façons la survie et la reproduction de chaque être vivant :

- Concurrence entre les individus pour les **ressources alimentaires** ;
- Concurrence entre reproducteurs pour la reproduction et **préférences sexuelles** ;
- Pression des **prédateurs**, etc.

Les individus qui possèdent un génotype favorable dans leur milieu de vie ont un **avantage sélectif**, c'est à dire qu'ils ont davantage de chances de transmettre leurs **allèles** à la génération suivante. La fréquence de ces allèles tend à augmenter au fil des générations. Inversement, les individus qui possèdent un génotype défavorable dans leur milieu ont un **handicap reproductif**, et moins de chances de transmettre leurs allèles : la fréquence de ces allèles tend à diminuer.

Le milieu naturel influence donc fortement la probabilité de transmission des allèles et l'évolution de la fréquence de chaque allèle dans la population. Il en est de même pour les innovations génétiques autres que les allèles, telles que les duplications de gènes.

Cette influence du milieu naturel est la **sélection naturelle**, sélection par l'environnement des allèles les plus favorables à la vie et la reproduction dans cet environnement. La sélection naturelle est un mécanisme d'évolution des espèces initialement proposé en 1859 par le naturaliste anglais **Charles Darwin** dans sa théorie de l'évolution des espèces « De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle », mais complété et développé ensuite grâce aux progrès de la génétique.

Ainsi, la sélection naturelle influence l'évolution en retenant essentiellement les allèles qui permettent des adaptations, c'est à dire des caractères qui augmentent l'avantage reproductif.

Remarque : la sélection naturelle dépend des caractéristiques du milieu naturel dans lequel elle a lieu. Donc, un allèle favorable dans un certain milieu naturel peut être défavorable dans un autre milieu ou si les caractéristiques du milieu viennent à changer. **Il est donc rare qu'un allèle puisse être considéré comme avantageux dans l'absolu.**

Remarque : la sélection ne s'opère **pas uniquement à l'échelle des individus** mais aussi et surtout à l'échelle du groupe (rôle de l'entraide, soins aux jeunes etc...), et de l'écosystème. Ce sont souvent les échelles les plus pertinentes pour l'étudier.

Taille de la population, migrations et dérive génétique

L'équilibre de Hardy-Weinberg suppose une population de très grande taille et isolée, or ces deux conditions se rencontrent rarement en même temps. Dans une grande population, des migrations se produisent le plus souvent :

Des **groupes immigrants** peuvent apporter de nouveaux allèles et faire ainsi automatiquement évoluer la fréquence des allèles déjà présents ;

Des **groupes émigrants** peuvent emporter une partie des allèles de la population initiale, mais ceci reste peu probable si la population est de très grande taille.

Un groupe émigrant constitue souvent une **population de petite taille**. À cause du petit nombre d'individus, un tel groupe s'écarte souvent très fortement de l'équilibre de Hardy-Weinberg.

- En se séparant de la population initiale, un groupe émigrant n'emporte avec lui qu'une partie des allèles de la population initiale. **Sa séparation génère donc brutalement de nouvelles fréquences pour les allèles présents dans ce groupe** et annule les fréquences de tous les autres allèles. Cette perturbation des fréquences est **l'effet fondateur**.
- Plus le groupe est petit, plus le nombre d'individus qui portent chaque allèle est petit. Dans ces conditions, le devenir individuel de chaque membre du groupe a un impact important sur l'évolution de la fréquence des allèles. **L'évolution de la fréquence des allèles devient très sensible à des événements largement aléatoires** (maladie, accident, choix des partenaires pour la reproduction...), et les fréquences des allèles varient aléatoirement au cours du temps. Ces variations sont d'autant plus fortes que le groupe est petit. C'est la **dérive génétique**.

3. De la population à l'espèce

Nous avons vu que divers phénomènes empêchent l'équilibre de Hardy-Weinberg de se réaliser. Dans des conditions naturelles, les **fréquences des allèles changent au cours du temps** dans toutes les populations. Il en est de même pour les fréquences de toutes les modifications génétiques viables qui peuvent apparaître au sein de ces populations, comme les duplications géniques.

À partir d'une grande population initiale, des sous-populations se différencient progressivement en accumulant **des différences dans les fréquences** de certains allèles et innovations génétiques. Ce phénomène peut être amplifié par exemple si ces différences génétiques ont des conséquences sur le **comportement reproducteur**. Dans certains cas, les différences génétiques entre les sous-populations deviennent telles que les « métissages » entre ces sous-population deviennent rares ou stériles. Les deux sous-populations cessent alors d'appartenir à la même espèce, et, à partir d'une espèce initiale, deux espèces distinctes sont apparues.

Le phénomène d'apparition des nouvelles espèces est appelé **spéciation**. Le mécanisme de spéciation tel que nous l'avons présenté correspond à la définition actuelle de l'espèce :

Une espèce est un ensemble de populations entre lesquelles la reproduction assure des échanges génétiques dans les conditions naturelles (**critère des échanges génétiques**). Ces populations n'ont pas ou très peu d'échanges génétiques avec les autres espèces : elles sont génétiquement isolées des autres espèces (**critère de l'isolement reproductif**).