

II. L'évolution de la biodiversité génétique d'une population

Définitions :

- **Population** : groupe d'individus appartenant à une même espèce, vivant dans un même lieu et pouvant potentiellement se reproduire entre eux
- **Modèle de Hardy Weinberg** (= HW) : Modèle mathématique qui prédit la **structure génétique** d'une population sous certaines hypothèses (voir ci dessous).
- **Allèle** : **Version** d'un gène. Les allèles diffèrent par leur séquence nucléotidique.
- **Fréquence allélique**: Fréquence d'un allèle par rapport aux autres allèles du même gène dans une population.
- **Génotype** : Ensemble des allèles portés par un individu. On le limitera ici aux allèles du gène étudié. Si l'individu a 2 allèles identiques, on dit qu'il est **homozygote** pour ce gène. Si les allèles sont différents, on dit qu'il est **hétérozygote**
- **Fréquence génotypique** : occurrence d'un génotype donné (**doublet** d'allèle) par rapport au nombre **total** d'individus
- **Sélection naturelle** : force évolutive qui favorise la transmission de certains allèles dans un environnement donné : un allèle qui confère un avantage voit sa fréquence **augmenter**
- **Dérive génétique** : Variation aléatoire de la **fréquence** des allèles au cours des générations. Elle est plus importante dans les **petites** populations.

Les espèces changent au cours des temps parce que la composition génétique de l'espèce se modifie (composition génétique = nature et fréquence des allèles présents chez les individus de cette espèce). L'évolution ne peut s'étudier à l'échelle de l'individu, puisque la définition de l'espèce repose sur la capacité des individus à se reproduire entre eux. Il est donc nécessaire de considérer un groupe d'individus qui peuvent potentiellement se reproduire. On parle de **population**.

A. Le modèle théorique d'Hardy-Weinberg

1. Définitions et calcul d'une fréquence allélique et d'une fréquence génotypique.

Dans une **population** on peut calculer la **fréquence d'un allèle**. On l'exprime comme une proportion de cet allèle dans la population par rapport aux autres allèles de ce gène. La somme des fréquences alléliques de tous les allèles d'un gène dans une population est donc par définition égale à 1.

On peut également calculer la **fréquence d'un génotype** qui correspond à la proportion de ce génotype par rapport aux autres génotypes possibles en considérant un gène. Dans une population, la somme des fréquences génotypiques de tous les génotypes possibles en considérant 1 gène est elle aussi égale à 1.

Attention : une fréquence est toujours comprise entre 0 et 1

Exemple 1 : La couleur des poulets andalous

La couleur des poulets andalous est déterminée par un gène qui existe sous 2 versions alléliques : l'allèle N qui détermine la couleur noire et l'allèle B qui détermine la couleur blanche. Les allèles N et B sont codominants : lorsqu'un poulet possède ces 2 allèles, son plumage est gris bleu.



Phénotype	[noir]	[blanc]	[Gris-bleu]
Génotype	(N//N)	(B//B)	(N//B)
Effectif dans la classe	15	10	8

Calcul des fréquences alléliques :

- fréquence de l'allèle N = $\frac{\text{nombre d'allèle N}}{\text{nombre total d'allèles}} = \frac{(2 \times 15) + 8}{2 \times 33} = \frac{38}{66} = 0.58$

- fréquence de l'allèle B = $\frac{(2 \times 10) + 8}{2 \times 33} = \frac{28}{66} = 0.42$

Fréquence de l'allèle N + fréquence de l'allèle B = $0.58 + 0.42 = 1$

Calcul des fréquences génotypiques :

- fréquence du génotype (N//N) = $\frac{\text{nombre d'individus ayant le génotypes (N//N)}}{\text{nombre total d'individus dans la population}} = \frac{15}{33} = 0.45$

- fréquence du génotype (B//B) = $\frac{10}{33} = 0.3$

- fréquence du génotype (N//B) = $\frac{8}{33} = 0.24$

Somme des fréquences des 3 génotypes : $0.45 + 0.3 + 0.24 \approx 1$

=> **La fréquence des allèles est différente de la fréquence des génotypes dans la population.**

Exemple 2 : On considère une population de 5 individus dont voici les génotypes et les phénotypes pour le gène du groupe sanguin :

Individu	Phénotype	Génotype
Individu A	[A]	(A//O)
Individu B	[O]	(O//O)
Individu C	[AB]	(A//B)
Individu D	[A]	(A//A)
Individu E	[AB]	(A//B)

Calcul des fréquences alléliques de cette population :

Fréquence de l'allèle A = $5/10 = 0.5$

Fréquence de l'allèle B = $2/10 = 0.2$

Fréquence de l'allèle O = $3/10 = 0.3$

Calcul des fréquences génotypiques :

F(A//O) = $1/5 = 0.2$

F(A//B) = $2/5 = 0.4$

Calcul des fréquences phénotypiques :

f[A] = $2/5 = 0.4$ f[O] = $1/5 = 0.2$

f[B] = $0/5 = 0$ f[AB] = $2/5 = 0.4$

La fréquence des allèles est différente de la fréquence des génotypes elle-même différente de la fréquence des caractères phénotypiques dans la population.

Par exemple la fréquence du phénotype [A] est de 0.4

la fréquence du génotype (A//A) est 0.2

la fréquence de l'allèle A est de 0.5

2. Mise en évidence de l'équilibre de Hardy- Weinberg : la constance des fréquences alléliques au cours du temps sous certaines conditions.

On cherche à comprendre comment évoluent les fréquences alléliques et les fréquences génotypiques dans une population au cours du temps.

Le modèle de Hardy-Weinberg (=HW) suppose que dans une population « idéale » = dans laquelle les hypothèses ci-dessous sont respectées, **la fréquence de chaque allèle d'un gène et de chaque génotype est constante de génération en génération.**

Ce modèle est construit sur des hypothèses fortes :

- une population de grande taille
- une absence de mutations
- une reproduction aléatoire des individus
- une absence de migration et de sélection naturelle (les allèles ne modifient pas l'espérance de vie de l'individu).

Par exemple, si on suppose que la population française est à l'équilibre de HW pour les groupes sanguins (ce qui n'est pas tout à fait exact), si la fréquence de l'allèle A est aujourd'hui de 0,27 (=27%) elle restera de 0,27 de génération en génération. De la même façon si la fréquence du génotype (A//B) est aujourd'hui de 0,06 (=6%), elle restera de 0,06 de génération en génération.

Si on travaille avec la version la plus simple du modèle de HW, on considère un gène qui a uniquement deux allèles : l'allèle A, de fréquence p, l'allèle a, de fréquence q (avec $p+q=1$). Le modèle de HW prévoit donc que la fréquence p de l'allèle A gardera la même valeur chiffrée de génération en génération, tout comme la fréquence q de l'allèle a.

Il est en de même pour les fréquences génotypiques, que le modèle prévoit constantes de génération en génération.

Dans ce cas de figure simple (1 gène avec seulement 2 allèles), le modèle permet également d'estimer la fréquence de chaque génotype grâce à des formules (à connaître) :

Fréquences génotypiques :

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

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

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

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

(/!\ A connaître)

3. La démonstration de Hardy : démonstration de la constance des fréquences alléliques au cours du temps (facultative)

Démontrons les formules ci-dessus (ce qui vous permettra de les mémoriser !) :

En considérant dans les cases grises la totalité des gamètes d'une génération (on raisonne ici à l'échelle de la population), on obtient le tableau suivant qui prévoit la fréquence des génotypes de la génération 2 :

		Gamète mâle (de la génération 1)	
		Allèle : N Fréquence : P	Allèle : B Fréquence : q
Gamète Femelle (de la génération 1)	Allèle : N Fréquence : P	Génotype : (N // N) Fréquence du génotype : P x P = P²	Génotype : (N // B) Fréquence du génotype : p x q
	Allèle : B Fréquence : q	Génotype : (N // B) Fréquence du génotype : p x q	Génotype : (B // B) Fréquence du génotype : q x q = q²

Génération 2

Fréquence des génotypes obtenus à la génération 2

On peut alors facilement démontrer que la fréquence de chaque allèle est restée constante, tout comme celle de chaque génotype.

- Fréquence de l'allèle N (à la génération 2) : $\frac{(2 \times p^2) + pq + pq}{2(p^2 + 2pq + q^2)} = \frac{2(p^2 + pq)}{2 \times 1} = \frac{2p(p + q)}{2} = p \times 1 = p$

- Fréquence de l'allèle B (à la génération 2) : $\frac{(2 \times q^2) + pq + pq}{2(p^2 + 2pq + q^2)} = \frac{2(q^2 + pq)}{2 \times 1} = \frac{2q(p + q)}{2} = q \times 1 = q$

Basé sur des connaissances en probabilité simples, ce modèle prévoit un maintien des **fréquences alléliques** et **génotypiques** au cours du temps. On dit alors que la population est à l'équilibre d'Hardy-Weinberg.