

TD10a : Modèle de Hardy-Weinberg et ses écarts

Correction

1^{ère} partie : le modèle théorique de Hardy Weinberg

On cherche à montrer, en utilisant un modèle numérique de suivi de deux allèles d'un gène dans une population théorique, que les connaissances sur la reproduction sexuée vérifient la prédiction du modèle théorique de Hardy-Weinberg.

A l'aide des documents ressource et du document 1 de l'annexe 1,

1- Préciser comment évoluent les fréquences relatives des allèles dans une population quand le modèle théorique de Hardy-Weinberg est à l'équilibre.

Les fréquences relatives des allèles dans une population se stabilisent au cours des générations successives.

2- Expliquer pourquoi, dans la descendance d'un croisement de 2 hétérozygotes, on obtient les fréquences de génotypes p^2 et q^2 pour les homozygotes et $2pq$ pour les hétérozygotes ?

$p^2 = p \times p$: c'est la probabilité que l'allèle p rencontre un autre allèle p lors de la fécondation.

$q^2 = q \times q$: c'est la probabilité que l'allèle q rencontre un autre allèle q lors de la fécondation.

$pq = p \times q$: c'est la probabilité que l'allèle p rencontre un autre allèle q lors de la fécondation. Il y a 2 cases de génotypes pq d'où le $2pq$.

3- A partir des effectifs obtenus par le comptage de gueule de loup dans une prairie (doc 2 annexe 1), montrer par le calcul que cette population respecte l'équilibre de Hardy-Weinberg pour le gène codant la couleur de la fleur.

On a le nombre de chaque phénotype et donc génotype (puisque les allèles sont codominants).

Calcul de la fréquence des allèles A et a

p = fréquence de l'allèle A

q = fréquence de l'allèle a

$$p = \frac{2n(A // A) + n(A // a)}{2 \times \text{total}}$$

$$p = (192 + 2 \times 164) / 2 \times 400$$
$$p = 0,65$$

$$q = \frac{2n(a // a) + n(A // a)}{2 \times \text{total}}$$

$$q = (192 + 2 \times 44) / 2 \times 400$$
$$q = 0,35$$

On a bien $p+q = 1$

Calcul des fréquences génotypiques théoriques d'après la loi de Hardy-Weinberg

$$f(A//A) = p^2 = 0,65^2 = 0,4225 = 42,25\%$$

$$f(A//a) = 2pq = 2 \times 0,65 \times 0,35 = 0,455 = 45,5\%$$

$$f(a//a) = q^2 = 0,35^2 = 0,1225 = 12,25\%$$

$$\text{On a bien } p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Calcul des fréquences génotypiques observées

$$f(A//A) = 164 / 400 = 41\%$$

$$f(A//a) = 192 / 400 = 48\%$$

$$f(a//a) = 44 / 400 = 11\%$$

Les fréquences théoriques sont très proches des fréquences observées, donc la population de Gueule de Loup respecte l'équilibre de Hardy Weinberg pour ce gène.

2^{ème} partie : Comparaison de l'évolution d'une population réelle avec celle théorique d'Hardy-Weinberg

Prenez connaissances des informations (rappels) en annexe 2

Question 4 : Montrer par le calcul que les populations de moustiques (doc 1 annexe 3) ne possèdent pas la structure génotypique de Hardy-Weinberg. Proposer une explication à l'absence d'équilibre et compléter le tableau bilan.

Calcul de la fréquence des allèles Ace^S et Ace^R

p = fréquence de l'allèle Ace^R

q = fréquence de l'allèle Ace^S

$$p = \frac{2n(Ace^R // Ace^R) + n(Ace^R // Ace^S)}{2 \times \text{total}} \quad \begin{aligned} p &= (130 + 2 \times 66) / 2 \times 416 \\ p &= 326 / 2 \times 416 \\ p &= 0.31 \end{aligned}$$

$$q = \frac{2n(Ace^S // Ace^S) + n(Ace^R // Ace^S)}{2 \times \text{total}} \quad \begin{aligned} q &= (130 + 2 \times 220) / 2 \times 416 \\ q &= 480 / 2 \times 416 \\ q &= 0.69 \end{aligned}$$

On a bien $p+q = 1$

Calcul des fréquences génotypiques théoriques d'après la loi de Hardy-Weinberg

$$f(Ace^R // Ace^R) = p^2 = 0,31^2 = 0,1 = 10\%$$

$$f(Ace^R // Ace^S) = 2pq = 2 \times 0,69 \times 0,31 = 0,43 = 43\%$$

$$f(Ace^S // Ace^S) = q^2 = 0,69^2 = 0,47 = 47\%$$

On a bien $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

Calcul des fréquences génotypiques observées

$$f(Ace^R // Ace^R) = 66 / 416 = 16\%$$

$$f(Ace^R // Ace^S) = 130 / 416 = 31\%$$

$$f(Ace^S // Ace^S) = 220 / 416 = 53\%$$

Conclusion :

Les résultats observés ne sont pas en accord avec les résultats théoriques prévus si les populations sont à l'équilibre de Hardy Weinberg.

Avant 1990, l'insecticide utilisé avantageait la survie des individus porteurs de l'allèle Ace^R .

Or nous savons, que depuis 1990, l'insecticide utilisé n'est plus le même et que l'allèle Ace^R induit un développement plus lent du moustique (ce qui est un désavantage lorsque le pesticide n'est pas utilisé). Les individus porteurs de l'allèle Ace^R sont donc « désavantagés ».

La force évolutive intervenant ici est donc la **sélection naturelle**.

Question 5 : Chaque exemple de l'annexe 3 ne respecte pas l'équilibre de Hardy-Weinberg. Déterminer la(s) condition(s) de la population ne respectant pas le modèle de Hardy Weinberg puis l'évolution des fréquences relatives des allèles et les forces évolutives mises en jeu. Compléter le tableau fourni.

Population étudiée	Facteur(s) ne respectant pas le modèle de Hardy Weinberg	Evolution des fréquences relatives des allèles	Forces évolutives mises en jeu
Guppy	Préférence sexuelle des mâles colorés par les femelles. Donc les accouplements ne se font pas au hasard Sélection des individus les moins colorés en présence de prédateurs	* sans prédateur : sélection de l'allèle « nageoires colorées » avantageux pour la reproduction * Avec des prédateurs : diminution puis stabilisation de l'allèle avantageux pour la reproduction, mais désavantageux pour la survie.	Préférence sexuelle et sélection naturelle
Geais à gorge blanche	Flux de population (immigration)	Apport d'allèles par les oiseaux immigrants (augmentation de la fréquence allélique d'un SNP)	Migration
Moustiques du Languedoc-Roussillon	Allèle présentant des avantages ou inconvénients pour la survie de l'individu	Diminution de la fréquence de l'allèle responsable de la résistance à l'insecticide (Ace ^R) depuis l'utilisation d'un nouvel insecticide (car développement plus lent des individus)	Sélection naturelle
Drosophile (allèle Bw)	Effectif de petite taille 🟡	Evolution aléatoire de la fréquence des allèles (pouvant aboutir à la fixation d'un d'entre eux)	Dérive génétique
Afrikaners La porphyrie variegata	Migration d'une petite population non représentative de la population initiale 🟡	Augmentation de la fréquence de l'allèle morbide	Effet fondateur, forme particulière de dérive génétique

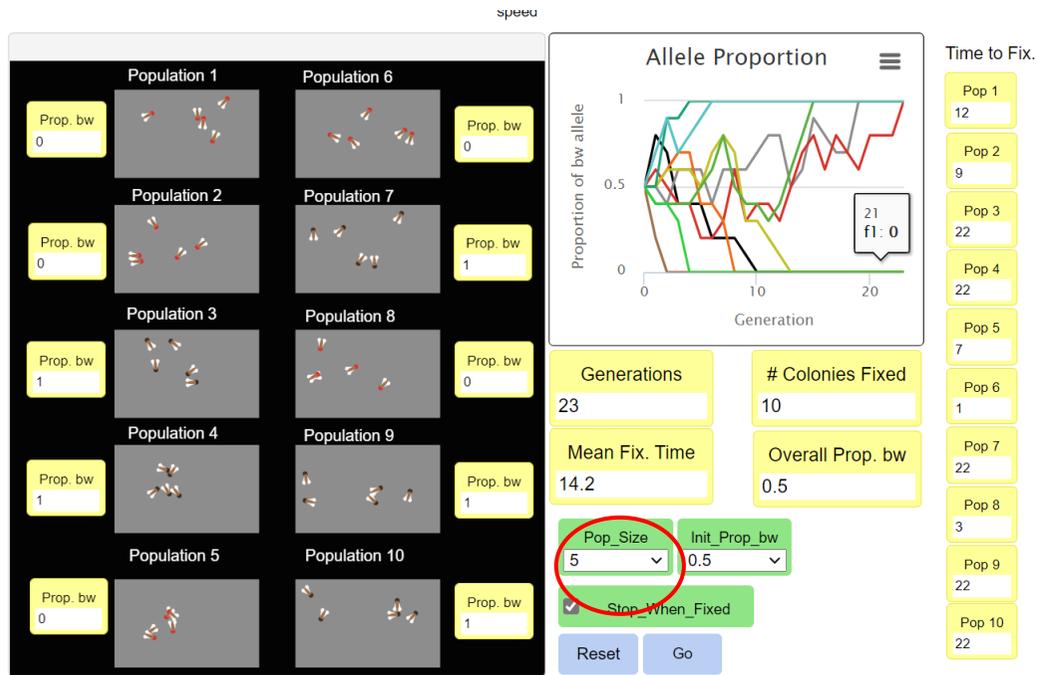
🟡 Une petite population initiale de migrants en Afrique du Sud contenait une proportion élevée inhabituelle de porteur de la porphyrie variegata (au moins un des partenaires du couple sur 800 colons, soit une fréquence allélique minimum de 1/1600 pour l'allèle responsable de la maladie). Cette forte proportion initiale a augmenté pour atteindre aujourd'hui 1/100, probablement, à cause de la forte dérive génétique (plus importante dans les petites populations). En comparaison la population néerlandaise d'origine et actuelle ne compte qu'une personne atteinte sur 100 000.

La fréquence de la maladie est donc différente dans ces deux régions car :

- la fréquence des allèles portés par les migrants ne reflétait pas celle de la population initiale (ce n'était pas un échantillon représentatif).
- cette fréquence des allèles a ensuite évolué sous les effets du hasard.

On parle d'effet de fondation pour qualifier cette forme particulière de la dérive génétique.

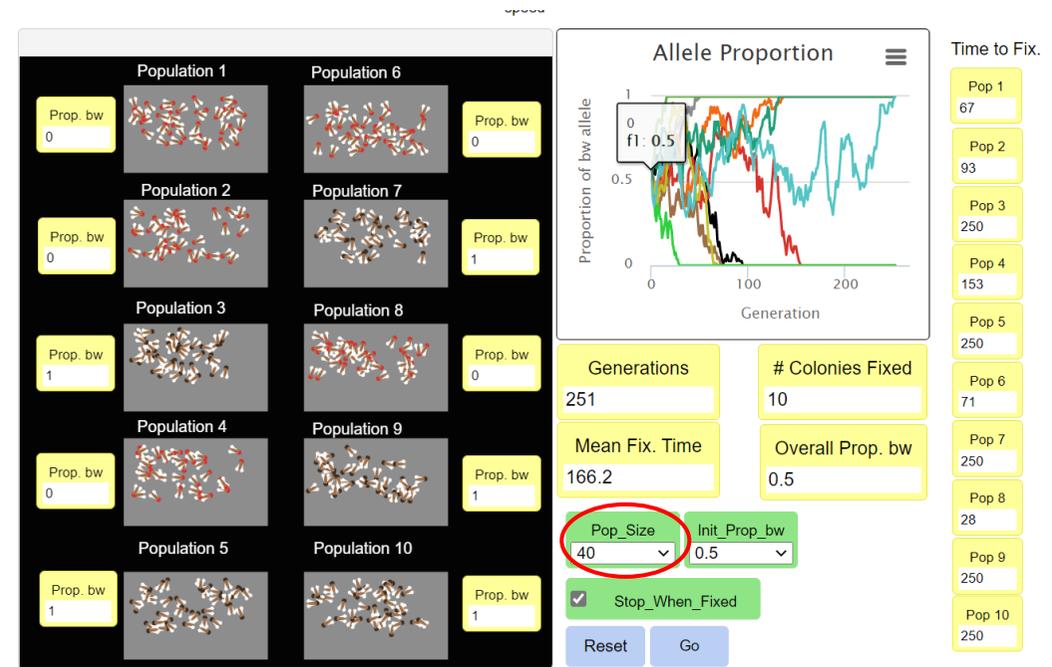
Evolution des fréquences alléliques pour un effectif de 5 drosophiles



La fréquence des allèles fluctue aléatoirement au cours des générations.

L'allèle fixé n'est pas le même en fonction des populations : soit bw pour les populations : 3, 4, 7, 9 et 10 et bw5 pour les autres.

Evolution des fréquences alléliques pour un effectif de 40 drosophiles



La fréquence des allèles fluctue aléatoirement au cours des générations.

L'allèle fixé n'est pas le même en fonction des populations : soit bw pour les populations : 3, 5, 7, 9 et 10 et bw5 pour les autres.

La fixation de l'un des 2 allèles est d'autant plus rapide que la population est de petite taille (14 générations en moyenne pour une population de 5 drosophiles alors qu'elle est de 166 générations pour une population de 40 drosophiles)

Bilan :

* Au début du 20^{ème} siècle, Hardy (mathématicien britannique) et Weinberg (médecin allemand) élaborent un modèle qui étudie la **fréquence des allèles présents dans une population théorique et son évolution au cours du temps.**

* Ce modèle s'appuie sur une **population d'organismes eucaryotes diploïdes à reproduction sexuée** ayant les caractéristiques suivantes :

- **l'effectif de la population est grand (ce qui rend nulle l'effet de la dérive génétique),**
- **les accouplements sont aléatoires (pas de préférence sexuelle),**
- **il n'y a pas de flux d'individus (pas de migration),**
- **il n'y a pas de mutations,**
- **il n'y a pas de sélection naturelle (sélectionnant les allèles avantageux produits par les mutations).**

* Si toutes ces hypothèses sont respectées, ce modèle théorique prévoit que **les fréquences des allèles portés par les organismes de cette population sont stables de génération en génération**. La diversité génétique de la population se maintient et l'on dit que la population est à l'**équilibre de Hardy-Weinberg**. **C'est-à-dire que la population n'évoluerait plus.**

|



Bilan :

* Dans les populations réelles, l'équilibre de Hardy-Weinberg n'est jamais atteint car les caractéristiques théoriques ne sont presque jamais réunies.

* Les différents facteurs empêchant d'atteindre cet équilibre théorique sont :

- l'existence de **mutations** touchant les cellules germinales participant à la fécondation. Cela peut introduire de nouveaux allèles dans la population qui modifie les fréquences préexistantes.

- le **caractère favorable ou défavorable des allèles** : les allèles favorables, conférant un avantage sélectif aux individus qui les possèdent en termes de survie et/ou de reproduction, se répandent davantage dans la population. C'est la **sélection naturelle**.

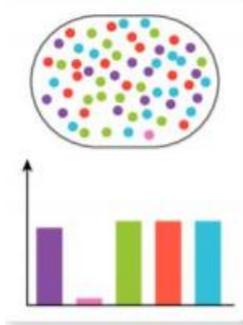
- les **préférences sexuelles** entraînent un accouplement non aléatoire qui a pour conséquence une augmentation de la fréquence des allèles des individus choisis pour la reproduction. C'est la **sélection sexuelle**.

- les **migrations** d'individus : le groupe d'individus qui quitte la population initiale est en général de petite taille avec des fréquences alléliques non représentatives de la population initiale. Les migrations d'individus peuvent également faire entrer de nouveaux allèles au sein d'une population et donc entraîner une modification des fréquences des allèles. C'est l'**effet fondateur**.

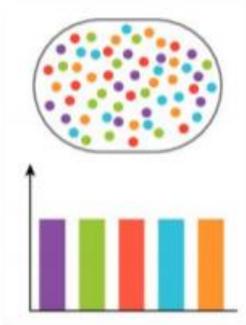
- la **taille limitée d'une population** entraîne une variation des fréquences alléliques sous l'effet du hasard. C'est la **dérive génétique**. Son effet est d'autant plus marqué que les populations sont de petite taille. Elle peut conduire à la fixation ou à la disparition d'un allèle neutre (c'est-à-dire qui apporte ni avantage ni inconvénient à l'individu) et donc à un appauvrissement génétique de la population.

* Les populations sont donc soumises à la **sélection naturelle**, la **sélection sexuelle** et à la **dérive génétique** ce qui **modifie leurs fréquences alléliques au cours du temps**. Ce sont les **facteurs** de l'évolution des populations.

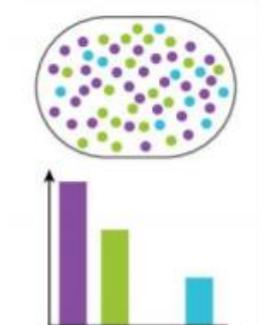
Les causes des écarts entre les fréquences prédites par le modèle de Hardy Weinberg et celles observées dans les populations naturelles



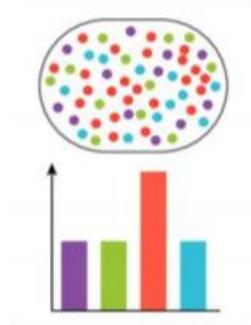
Mutation : Apparition d'un nouvel allèle peu fréquent



Migration : arrivée de nouveaux individus dans la population
Ou
Echantillon non représentatif du pool d'allèles, lors de la création d'une nouvelle population : **effet fondateur**



Dérive génétique : population de taille finie (petite taille).
Variation aléatoire de la fréquence des allèles



Sélection naturelle ou sexuelle : avantage sélectif procuré par un allèle

