

L'ESSENTIEL SUR LE MODÈLE DE HARDY-WEINBERG APPLIQUÉ À L'ÉVOLUTION BIOLOGIQUE

Introduction

Nous complétons ici la ressource mathématique « Equilibre de Hardy-Weinberg » qui définit le modèle mathématique de Hardy-Weinberg et explique les conditions d'application de cette modélisation en biologie.

La génétique des populations a pour objectif l'étude des fréquences des gènes allèles et des génotypes, et des facteurs susceptibles de modifier ces fréquences au cours des générations successives.

Une population est dite en équilibre de Hardy-Weinberg quand se réalise, à chaque génération, la structure génotypique conforme à la loi de Hardy-Weinberg : dans ce cas, de génération en génération, les fréquences alléliques du patrimoine génétique d'une population restent constantes. Les populations réelles ne répondent jamais aux hypothèses qui fondent cet équilibre. L'observation d'écarts entre les fréquences alléliques d'une population et les valeurs établies par le modèle de Hardy-Weinberg, suggère alors l'intervention de facteurs d'évolution comme la dérive génétique, la sélection naturelle ou des mutations. Nous donnons ici des exemples de situations d'évolution biologique expliquant un écart par rapport au modèle de Hardy-Weinberg.

Mots-clés

Hardy-Weinberg, modèle mathématique, fréquence allélique, fréquence génotypique, forces évolutives

Références au programme

Thème 3 : Une histoire du vivant

3.1- La biodiversité et son évolution

Savoirs

- Le modèle mathématique de Hardy-Weinberg utilise la théorie des probabilités pour décrire le phénomène aléatoire de transmission des allèles dans une population.
- En assimilant les probabilités à des fréquences pour des effectifs de grande taille (loi des grands nombres), le modèle prédit que la structure génétique d'une population de grand effectif est stable d'une génération à l'autre sous certaines conditions (absence de migration, de mutation et de sélection). Cette stabilité théorique est connue sous le nom d'équilibre de Hardy-Weinberg.
- Les écarts entre les fréquences observées sur une population naturelle et les résultats du modèle s'expliquent notamment par les effets de forces évolutives (mutation, sélection, dérive, etc.).

Savoir-faire

- Analyser une situation d'évolution biologique expliquant un écart par rapport au modèle de Hardy-Weinberg.

Conditions d'application de l'équilibre de Hardy-Weinberg (hypothèses)

Voir la ressource mathématiques.

Le modèle de Hardy-Weinberg est soumis aux hypothèses suivantes :

1. la population étudiée est panmictique (système de reproduction sexuée où les fécondations se font au hasard). Les couples se forment au hasard (panmixie), et de même leurs gamètes se rencontrent au hasard (pangamie) ;
2. la population est très grande en effectif (application de la loi des grands nombres), ceci pour diminuer très fortement les variations d'échantillonnage. Si la transmission des allèles se fait au hasard d'une génération à la suivante, plus la population de départ sera grande (taille de l'échantillon), plus le patrimoine génétique de la nouvelle génération sera à l'image de celui de la génération précédente. Il y a donc moins d'erreurs d'échantillonnage. Il faut donc que la taille d'une population tende vers l'infini pour qu'un patrimoine génétique se maintienne ;
3. il ne doit y avoir dans la population, ni sélection, ni mutation, ni migration ;
4. les générations successives sont discrètes (pas de croisement entre générations différentes) ;
5. les différents génotypes sont viables et féconds.

Dans ces conditions, les fréquences alléliques d'un gène possédant deux allèles et génotypiques de la population restent indéfiniment constantes d'une génération à l'autre.

Retrouvez éducol sur



Équilibre de Hardy-Weinberg et forces évolutives

À l'échelle des populations, l'évolution consiste en des changements, d'une génération à l'autre, dans les fréquences alléliques. Ces changements se traduisent par les écarts entre les résultats obtenus par le calcul de Hardy-Weinberg et les fréquences alléliques observées dans les populations réelles qui ne répondent jamais aux hypothèses qui fondent le modèle. Les facteurs principaux qui peuvent modifier les fréquences alléliques d'une population sont :

La dérive génétique

Elle s'applique notamment à des populations de petit effectif. En effet, le patrimoine génétique d'une population de taille réduite n'est pas nécessairement représenté fidèlement dans la génération suivante : il suffit d'évènements fortuits comme des erreurs d'échantillonnage pour que les fréquences alléliques soient altérées.-

Pour qu'un individu puisse transmettre à coup sûr la totalité de ses allèles, il faudrait que son nombre de descendants tende vers l'infini (d'où la condition de taille infinie dans la loi de Hardy-Weinberg).

À l'échelle d'une population, il est donc statistiquement inévitable que certains allèles ne soient pas transmis d'une génération à l'autre. Ce phénomène est encore amplifié si l'on tient compte du fait que certains adultes n'auront pas de descendance.

Les fréquences alléliques d'un gène vont donc varier d'une génération à l'autre, certains allèles voyant leur fréquence diminuer ou augmenter au sein de la population. Ces variations peuvent aller jusqu'à la disparition de certains allèles, ce qui a pour conséquence directe la diminution du nombre d'allèles du gène dans la population. Plus la taille de la population est faible, plus la dérive est rapide.

Exemple d'une petite mouche *Drosophila pseudoobscura* rare en Amérique du sud et très fréquente en Amérique du nord.

Les trois populations états-uniennes sont génétiquement proches pour les différents allèles codant pour la synthèse des enzymes Ptérine-8 et Xanthine déshydrogénase. Par contre la population colombienne de Bogota est très originale ne possédant même qu'un seul allèle du gène codant pour la xanthine déshydrogénase. On explique ceci par le fait que la population de mouches de Bogota est issue sans doute d'un petit nombre d'individus ayant migré accidentellement d'Amérique du nord, ne véhiculant avec eux qu'une partie des gènes allèles des populations du nord. C'est que l'on appelle l'**effet fondateur**.

Allèle	Californie	Mesa Verde	Texas	Bogota
Ptérine-8				
A	1.4	0.9	1.1	8.7
B	47.2	41	44.1	10
C	51.4	57.6	51.2	3
D	0	0.5	3.5	0
Xanthine déhydrogénase				
A	5.3	1.6	1.8	0
B	7.4	7.3	3.6	0
C	26.3	30	23.2	0
D	60	58	66.1	100
E	1	3.2	5.3	0

Variation géographique de deux gènes enzymatiques (Ptérine-8 et Xanthine déhydrogénase) du chromosome II de *Drosophila pseudoobscura* (Prakash, 1969).

La sélection naturelle

Le maintien de l'équilibre de Hardy-Weinberg exige que tous les membres d'une population aient la même aptitude à survivre et à produire une descendance viable et féconde. Cependant cette condition n'est jamais tout à fait respectée dans la nature. Les populations se composent d'individus variés dont certains donnent plus de descendants que d'autres. La sélection fait en sorte que certains allèles se transmettent à la génération suivante de façon disproportionnée (en lien avec la survie ou avec les capacités de reproduction par exemple) par rapport à leur fréquence relative dans la génération parentale.

Exemple des pinsons des îles Galapagos.

Ces îles abritent treize espèces différentes de pinsons appartenant à quatre genres (*Geospiza*, *Camarhynchus*, *Certhidea*, *Pinaroloxias*), qui se différencient par la taille de leur corps, ainsi que par la forme et la taille de leur bec. Ces trois caractères, et notamment la taille du bec, présentent une grande héritabilité d'une génération à la suivante.

Peter et Rosemary Grant ont suivi l'évolution sur trente ans des populations de pinsons sur l'île de Daphne Major et ont pu détecter sur cette période des événements sélectifs importants. Par exemple, la fin des années 1970 a été marquée par une sécheresse importante sur l'île de Daphne Major, causant la raréfaction des graines de petite taille et qui a coïncidé avec une sélection très forte des individus à gros bec chez l'espèce *G. fortis*. Chez cette espèce, la consommation de petites graines est préférée quand celles-ci sont abondantes, alors qu'en cas de sécheresse la consommation de graines plus grosses, accessibles uniquement aux individus à gros bec, est favorisée. L'épisode de sécheresse, en causant la raréfaction des graines de petite taille, a entraîné une mortalité plus importante chez les individus de *G. fortis* à petit bec, et au contraire les individus à gros bec ont survécu en plus grand nombre, et se sont donc en moyenne plus reproduits, ce qui a entraîné un déplacement de caractère à la génération suivante.

Retrouvez éducol sur



La mutation

Elle correspond à une modification de la séquence de nucléotides de l'ADN ou de manière plus générale, toute modification héréditaire du matériel génétique. Dans un organisme pluricellulaire, seules se transmettent à la descendance les mutations qui touchent les cellules germinales. La transmission par les gamètes modifie donc immédiatement le patrimoine génétique d'une population, en substituant un gène allèle à un autre.

Apprentissages à construire

- Dans une population en équilibre de Hardy-Weinberg, il est possible de prédire les fréquences des différents génotypes à partir des seules fréquences alléliques.
- Dans une population en équilibre de Hardy-Weinberg, les fréquences alléliques restent stables au cours du temps ainsi que les fréquences génotypiques.
- L'évolution étant définie par un changement des fréquences alléliques au sein d'une population, tout écart entre les fréquences observées dans une population réelle et les résultats du modèle montre que la population évolue.
- L'évolution des populations s'explique par le fait que les populations réelles ne répondent jamais aux hypothèses qui fondent le modèle de Hardy-Weinberg. L'observation des écarts traduit les effets des forces évolutives (mutation, sélection naturelle, dérive génétique etc...).

Pour aller plus loin

- Biologie, Campbell, 2^{ème} édition, édition De Boeck
- [Atlas of Genetics and Cytogenetics in Oncology and Haematology](#)
- [Travaux dirigés de génétique des populations](#) de l'université de Tours
- [Biologie - Génétique des populations - Le modèle de Hardy-Weinberg](#) d'Université en ligne
- [Génétique des populations - Collège National des Enseignants et Praticiens de Génétique Médicale](#) – Campus Cerimes
- [Génétique des populations - Éléments de cours](#) – AgroParisTech
- [Génétique 2 BOP - S4 – Génétique des populations](#) – Université de Lille
- [Génétique des populations](#) – Université Paris 13

Retrouvez éducol sur

