

**Université de Biskra –  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de  
l'Univers  
Département des Sciences Vétérinaires**

# **Amélioration Génétique et Biotechnologie AGB**

**Préparé par:**

**Dr. Houfani Asma**

**Année universitaire 2025/2026**

The background features a light gray gradient with several realistic water droplets of varying sizes scattered in the corners. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

# **CHAPITRE II :**

## **Génétique des populations**

# **CHAPITRE II : Génétique des populations :**

## **2. Loi d'Hardy-Weinberg**

**2.1. Énoncé de la Loi d'H-W**

**2.2. Démonstration**

## **3. Paramètres de variation et évolution de la structure génétique**

**3.1. Taille de la population**

**3.2. Sélection**

**3.3. Mutation**

**3.4. Migration**

**3.5. Panmixie**

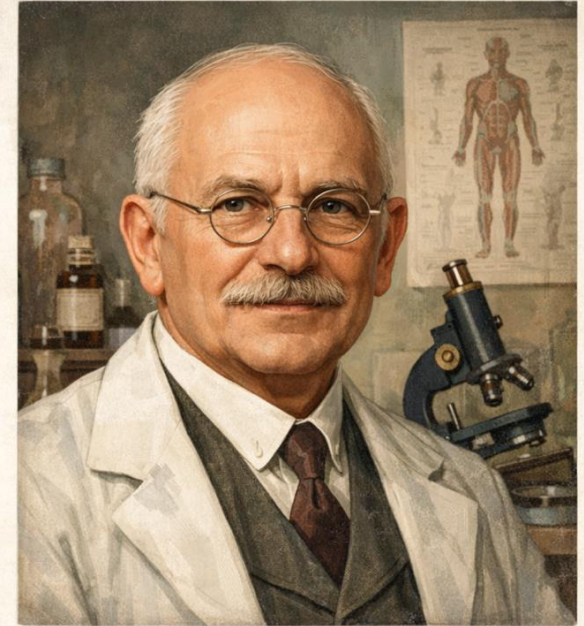
## Introduction

Dans l'étude de la génétique des populations, la compréhension de la distribution naturelle des allèles au sein des populations animales est essentielle avant d'analyser toute variation évolutive. Le concept **d'équilibre génétique** se réfère à l'état dans lequel les fréquences alléliques restent stables d'une génération à l'autre, sans être influencées par des facteurs externes tels que la sélection naturelle, les mutations, la migration ou la dérive génétique.

**En 1908, les chercheurs G. H. Hardy et Wilhelm Weinberg ont démontré indépendamment que les fréquences alléliques pouvaient rester stables mathématiquement d'une génération à l'autre, indépendamment de la dominance ou de la récessivité des allèles, si certaines conditions étaient respectées dans la population.**



**G. H. Hardy**  
Mathématicien anglais



**Wilhelm Weinberg**  
Médecin allemand



**La loi de Hardy–Weinberg de l'équilibre génétique constitue la pierre angulaire de la génétique des populations, permettant :**

**1.de déterminer l'état de référence d'une population animale avant tout processus évolutif ;**

**2.de détecter tout facteur évolutif influençant les fréquences alléliques ;**

**3.d'appliquer ces connaissances à des situations pratiques, telles que l'étude des maladies génétiques, la gestion de la diversité génétique dans les troupeaux, et l'analyse des porteurs de traits héréditaires.**



**La loi établie par G. H. Hardy et Wilhelm Weinberg en 1908 stipule que : Dans une population de grande taille, panmictique (accouplements aléatoires), et en l'absence de mutation, migration, sélection naturelle et dérive génétique, les fréquences alléliques et génotypiques demeurent constantes d'une génération à l'autre.**

## Formulation mathématique de la loi de Hardy–Weinberg

Considérons un locus autosomique présentant deux allèles **A** et **a**, de fréquences respectives :

$$p = f(A), \quad q = f(a)$$

avec :

$$p + q = 1$$

À l'équilibre génétique, dans une population de grande taille, panmictique, et en l'absence de mutation, migration, sélection naturelle et dérive génétique (conditions définies par G. H. Hardy et Wilhelm Weinberg en 1908), les fréquences génotypiques à la génération suivante sont données par :

Ainsi :

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

## **Exercice d'application de la loi de Hardy–Weinberg**

**Un troupeau bovin est composé de 400 vaches. Depuis plusieurs générations, les accouplements se font au hasard au sein du troupeau (population panmictique). Aucun individu n'est introduit ni retiré du troupeau (absence de migration). De plus, il n'existe ni sélection naturelle ni sélection artificielle contre un génotype particulier, et aucune mutation liée au caractère étudié n'a été signalée.**

**On observe que 16 vaches sont atteintes d'une maladie génétique autosomique récessive, correspondant au génotype aa.**

## Questions :

- **Vérifier que les conditions d'application de la loi de Hardy–Weinberg sont réunies.**
- **Déterminer la fréquence de l'allèle pathologique  $qq$  et celle de l'allèle normal  $pp$ .**
- **Calculer les fréquences génotypiques attendues dans le troupeau.**
- **Déterminer le nombre de vaches saines homozygotes (AA), hétérozygotes porteuses (Aa) et malades (aa).**

## Application de la loi de Hardy-Weinberg

### Conditions:

- ✓ Population panmictique
- ✓ Pas de migration
- ✓ Pas de sélection
- ✓ Pas de mutation

16 vaches malades (aa)



$$q^2 = \frac{16}{400} = 0,04$$

$$q = \sqrt{0,04} = 0,2$$

$$p + q = 1 \rightarrow p = 1 - 0,2 = 0,8$$

Fréquences génotypiques attendues :

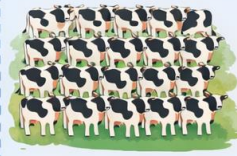
$$AA = p^2 = 0,64$$

$$Aa = 2pq = 0,32$$

$$aa = q^2 = 0,04$$

Effectif du troupeau (400 vaches)

256 vaches saines (AA)



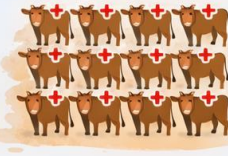
$$p^2 = 0,64 \times 400 = 256$$

128 vaches porteuses (Aa)



$$2pq = 0,32 \times 400 = 128$$

16 vaches malades (aa)



$$q^2 = 0,04 \times 400 = 16$$

**Nous nous appuyons sur la loi de Hardy–Weinberg.**

➤ **Cas d'un gène autosomique**

**Le gène est localisé sur un autosome (chromosome non sexuel).**

**Cas de deux allèles (A et a) Formulation mathématique:**

$$p + q = 1$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Avec :

- $p$  = fréquence de l'allèle A
- $q$  = fréquence de l'allèle a

**Exemple: Dans un troupeau de 1000 bovins :**

$$p = 0,7$$

$$q = 0,3$$

**Fréquences génotypiques attendues :**

$$AA = p^2 = 0,49 \rightarrow 490 \text{ individus}$$

$$Aa = 2pq = 0,42 \rightarrow 420 \text{ individus}$$

$$aa = q^2 = 0,09 \rightarrow 90 \text{ individus}$$

Cas de plusieurs allèles (allélisme multiple) Si trois allèles sont présents :

$A_1, A_2, A_3$

Formule

$$p + q + r = 1$$

Fréquences génotypiques :

$$p^2 + q^2 + r^2 + 2pq + 2pr + 2qr = 1$$

**Dans une population canine :**

**•  $p = 0,5$**

**•  $q = 0,3$**

**•  $r = 0,2$**

**On calcule chaque combinaison génotypique selon la formule développée.**

## Cas de dominance complète (A dominant sur a)

$$p + q = 1$$

- $p$  = fréquence de l'allèle dominant A
- $q$  = fréquence de l'allèle récessif a

## Fréquences génotypiques à l'équilibre

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

- $AA = p^2$
- $Aa = 2pq$
- $aa = q^2$

## Fréquences phénotypiques (cas particulier de dominance complète)

Puisque A est dominant :

- Phénotype dominant = AA + Aa
- Phénotype récessif = aa

Donc :

$$F(\text{phénotype dominant}) = p^2 + 2pq$$

$$F(\text{phénotype récessif}) = q^2$$

## **Cas de codominance**

### **Définition**

**En codominance :**

- **AA → phénotype 1**
- **Aa → phénotype 2 (différent)**
- **aa → phénotype 3**

**Chaque génotype a un phénotype distinct.**

**Aucun allèle ne masque l'autre.**

## Formule générale

Toujours :

$$p + q = 1$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

avec :

- $p$  = fréquence de l'allèle A
- $q$  = fréquence de l'allèle a

Puisque chaque génotype est visible :

$$p^2 = f(AA)$$

$$2pq = f(Aa)$$

$$q^2 = f(aa)$$

Donc :

$$p = f(AA) + \frac{1}{2}f(Aa)$$

$$q = f(aa) + \frac{1}{2}f(Aa)$$

## **Exemple simple**

**Population de 100 individus :**

**•36 AA**

**•48 Aa**

**•16 aa**

**Fréquences génotypiques :**

$$f(AA) = 0,36$$

$$f(Aa) = 0,48$$

$$f(aa) = 0,16$$

Calcul :

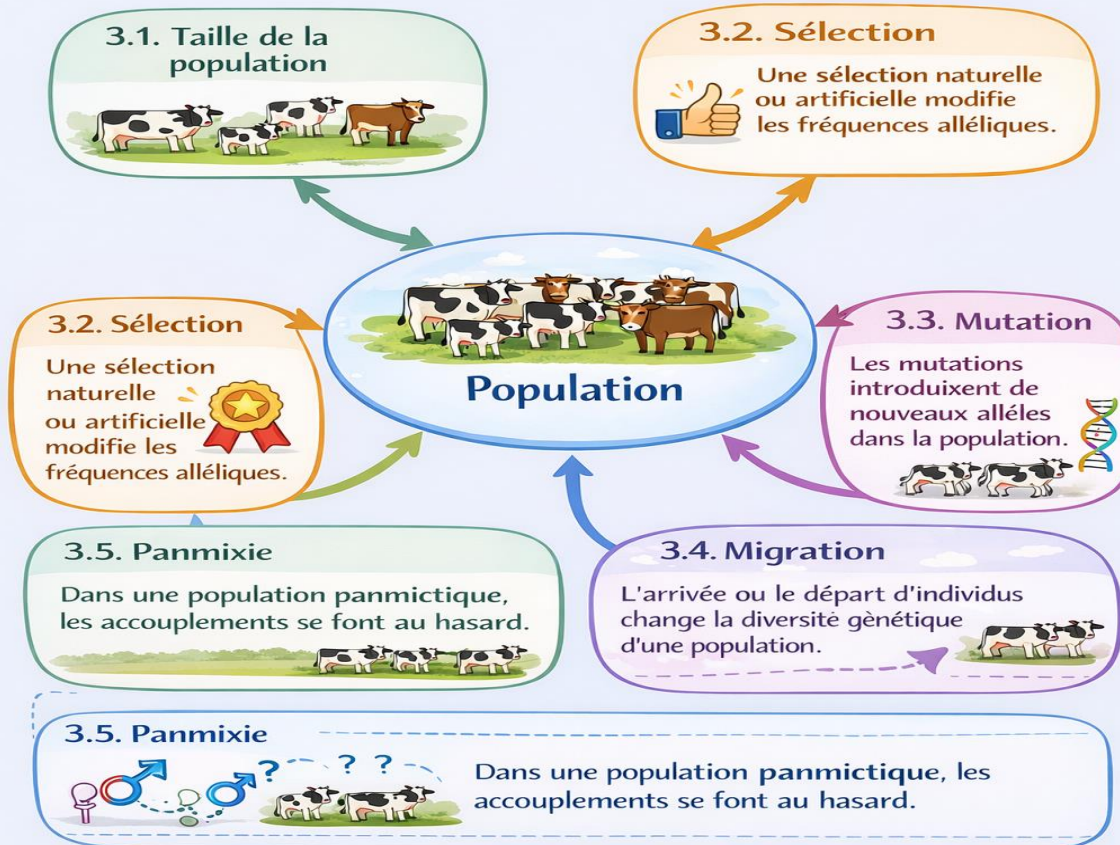
$$p = 0,36 + \frac{1}{2}(0,48) = 0,36 + 0,24 = 0,60$$

$$q = 0,16 + 0,24 = 0,40$$

Vérification :

$$p + q = 0,60 + 0,40 = 1$$

## Paramètres de variation et évolution de la structure génétique



## Gène lié au chromosome X et loi de Hardy-Weinberg

- Étude des gènes liés au sexe
- Exemple: Chattes tricolores (Calico)



**Sexe**                      **Chromosomes**                      **Nombre de copies du gène**

**Femelle**

**XX**

**2**

**Mâle**

**XY**

**1**

**Femelle peut avoir: XAXA, XAXa, XaXa**

**Mâle peut avoir: XAY, XaY**

**Les mâles expriment directement l'allèle récessif  $q$  car ils ont une seule copie du gène  $X$**

**Les femelles suivent la loi classique  $p^2 + 2pq + q^2$**

**Exemple tricolore illustre l'effet du gène lié au  $X$  et l'application pratique de la loi de Hardy-Weinberg**

## **Application de la loi de Hardy-Weinberg**

**Fréquences alléliques:**

**Femelles:  $p^2 + 2pq + q^2 = 1$**

**Mâles:  $p + q = 1$**

## Exemple des chats tricolores

$X^B = \text{noir}$ ,  $X^O = \text{orange}$

Femelles (XX):

$oX^B X^B \rightarrow \text{noir}$

$oX^B X^O \rightarrow \text{noir} + \text{orange}$  (tricolore avec gène blanc)

$oX^O X^O \rightarrow \text{orange}$

Mâles (XY):

$oX^B Y \rightarrow \text{noir}$

$oX^O Y \rightarrow \text{orange}$

## Pourquoi les chats tricolores sont appelés « **Calico** » ?

### ✓ Origine linguistique :

- Le terme **Calico** vient de **Calicut**, une ville en Inde.
- À l'origine, désignait un « **type de tissu coloré et à motifs** »

### ✓ Pourquoi les chats ?

- Leur pelage tricolore rappelle ce tissu décoratif importé d'Inde.
- Ainsi, on a appelé ces chats « **Calico** » par « **analogie** avec les couleurs du tissu **coloré** ».



Ainsi, on a appelé ces chats « **Calico** » par « **analogie** avec les couleurs du tissu **coloré** ».


# Combinaisons possibles pour un gène lié au chromosome X

## Chez la Femelle (XX)


$XAXA \rightarrow$  Orange

$XAXa \rightarrow$  Tricolore (Noir + Orange)

$XaXa \rightarrow$  Noir

 La femelle a 2 copies du gène, donc peut exprimer le mélange de couleurs.



 La femelle a 2 copies du gène, donc peut exprimer le mélange de couleurs.


## Chez le Mâle (XY)

$XAY \rightarrow$  Orange

$XaY \rightarrow$  Noir

Le mâle a **une seule copie** du gène X, donc la couleur apparaît directement selon l'allèle.



 Le mâle a **une seule copie** du gène X, donc la couleur apparaît directement selon l'allèle.

On a **100 mâles** dans une population :

- 20 mâles sont orange  $\rightarrow XaY$
- 80 mâles sont noirs  $\rightarrow XBY$

### Questions :

- Calculer la fréquence de l'allèle orange (**q**) et noir (**p**) chez les mâles.
- En supposant que la population est en équilibre de Hardy-Weinberg, calculer : Les proportions de **femelles  $XBXB$ ,  $XBXO$  et  $XOXO$** .
- Interpréter pourquoi la couleur tricolore (Calico) apparaît surtout chez les femelles.

## Étape 1 : Fréquence des allèles chez les mâles

$$q = \text{fréquence de } X^O = 20/100 = 0.2$$

$$p = 1 - q = 0.8$$

## Étape 2 : Fréquences génotypiques chez les femelles

$$XBXB \rightarrow p^2 = 0,8^2 = 0,64 \rightarrow 64\% \text{ femelles noires}$$

$$XBXO \rightarrow 2pq = 2 \times 0,8 \times 0,2 = 0,32 \rightarrow 32\% \text{ femelles tricolores (Calico)}$$

$$XOXO \rightarrow q^2 = 0,2^2 = 0,04 \rightarrow 4\% \text{ femelles orange}$$

## Étape 3 : Conclusion

- **La couleur tricolore (Calico) apparaît principalement chez les femelles car elles ont 2 chromosomes X et peuvent donc exprimer les deux allèles ( $X^B + X^o$ ).**
- **Les mâles n'ont qu'un X, donc ils sont soit noir soit orange, jamais tricolores.**