



## TP5 - L'évolution des génomes des populations

Les populations d'êtres vivants subissent les forces évolutives (**mutation, sélection naturelle et dérive génétique**), ce qui fait varier leurs **fréquences alléliques**. Deux scientifiques, Godfrey Hardy et Wilhelm Weinberg ont eu l'idée de **modéliser** le devenir des allèles au sein d'une population. Ils ont compris que, sous certaines conditions, les fréquences alléliques sont stables au cours des générations : c'est l'**équilibre de Hardy Weinberg**. On cherche à vérifier si cet équilibre théorique s'applique aux populations actuelles d'éléphants d'Afrique (Parc Luangwa et Parc Addo), en particulier pour le gène qui conditionne la **présence de défense**.

### L'équilibre théorique de Hardy-Weinberg

Si dans une population, il y a seulement 2 allèles pour un caractère donné, alors :

$$P^2 + 2PQ + Q^2 = 1$$

Fréquence du génotype homozygote dominant      Fréquence du génotype hétérozygote      Fréquence du génotype homozygote récessif

**Problème posé :** Comment le modèle de Hardy Weinberg nous renseigne-t-il sur l'évolution des populations ?

#### Matériel et données :

- Manuel BELIN p76 à 85 et Documents 1 à 4
- PC équipé du logiciel Calc/Excel et d'un accès internet pour visualiser Edu'Modèles
- Fichiers « modèle-sans-conainte, modèle-prédation, modèle-braconnage, modèle-Addo », Fichier Excel/Calc « Fréquences Alléliques »

Propositions d'activités	Capacités / Critères de réussite
<p><b>ACTIVITE : Le modèle théorique de Hardy Weinberg et les éléphants d'Afrique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>ETAPE 1 : Proposez une stratégie</b> pour vérifier si les populations d'éléphants du Parc Luangwa et du parc Addo sont à l'équilibre selon le modèle de Hardy Weinberg et pour expliquer l'origine des écarts, s'il y en a. ☎ <b>Appelez le professeur pour vérification</b></li> <li>➤ <b>ETAPE 2 : Réalisez les manipulations proposées</b> afin de déterminer les fréquences des allèles Xi et Xi' dans différentes conditions environnementales. ☎ <b>Appelez le professeur pour vérification</b></li> <li>➤ <b>ETAPE 3 : Récapitulez vos résultats</b> sous une forme judicieuse.</li> <li>➤ <b>ETAPE 4 : Rédigez un texte</b> permettant de répondre à la problématique.</li> </ul> <p>En fin de séance, <u>rangez le matériel</u> et <u>nettoyez la paillasse</u>.</p>	<p><b>Recenser, extraire des informations</b> <i>Quoi ? Comment ? Attendu ?</i></p> <p><b>Utiliser un logiciel (Edumodèles)</b> <i>Maîtriser les fonctions de base du logiciel (Création d'agents, création de comportements, modifier les agents dans l'environnement, visualiser l'évolution des agents au cours du temps ; Capacité à modifier le modèle pour prendre en compte d'autres paramètres (espérance de vie, maturité sexuelle, ...)</i></p> <p><b>Présenter les résultats à l'écrit (Résultats)</b> <i>Techniquement correct renseigné correctement, pertinent pour répondre à la question</i></p> <p><b>Présenter les résultats à l'écrit (Texte)</b> <i>Je vois que..., Or je sais que..., J'en déduis que... Intégrer les données complémentaires.</i></p> <p><b>Gérer et organiser le poste de travail</b></p>

# Fiche technique d'utilisation du logiciel Edu'Modèles

Capture d'écran du logiciel Edu'Modèles

<p>10</p> <p>7</p> <p>9</p> <p>4</p> <p>6</p> <p>5</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>8</p> <p>3</p>	<p>Interface niveau expert : <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Environnement :  <input checked="" type="checkbox"/> Paramètres  <input checked="" type="checkbox"/> Zones  <input checked="" type="checkbox"/> Grille visible : <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Agents (entités) :</p> <p>Femelle=D (XXI)          Femelle=D (XXI-)          Femelle=D (XI-XI-)          Male=D (XIY)          Male=D (XI-Y)</p> <p><input type="radio"/> Ajouter un agent  <input type="radio"/> Supprimer cet agent  <input checked="" type="checkbox"/> Modifier cet agent  <input type="checkbox"/> Placer cet agent  <input type="checkbox"/> Introduire cet agent  <input type="checkbox"/> Dépeupler cet agent          Légende : <input checked="" type="checkbox"/> Effectif : <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Règles (comportements) :</p> <p>REPRO-(XXI)x(XIY)          REPRO-(XXI-)(XIXY)          REPRO-(XI-XI-)(XIXY)          REPRO-(XXI)(XIXY)          REPRO-(XXI-)(XIXY)          REPRO-(XI-XI-)(XIXY)</p> <p><input type="radio"/> Ajouter une règle  <input type="radio"/> Supprimer cette règle  <input checked="" type="checkbox"/> Modifier cette règle  <input type="checkbox"/> Suspendre cette règle</p>	<p><b>Créer un nouveau modèle</b></p>	<p>Modèle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Nouveau modèle</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Charger un modèle</li> <li><input type="checkbox"/> Enregistrer ce modèle</li> </ul>	<p>Permet de créer un modèle à partir de zéro.</p>
			<p><b>Charger un modèle</b></p>		<p>Les fichiers possèdent l'extension « .modele ».</p>
			<p><b>Enregistrer le modèle</b></p>		<p>Permet d'enregistrer le modèle créé.</p>
			<p><b>Paramétrer l'environnement</b></p>	<p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Paramètres</li> <li><input type="checkbox"/> Zones</li> <li>Grille visible : <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></li> </ul>	<p>- <b>Paramètres</b> permet de définir la taille de la grille (ex 100x100)          - <b>Zones</b> permet de créer des zones avec des spécificités.          - On peut également définir si la grille est visible et la visibilité des traits.</p>
			<p><b>Ajouter/supprimer des agents</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Ajouter un agent</li> <li><input type="checkbox"/> Supprimer cet agent</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Modifier cet agent</li> </ul>	<p>Créer des agents (entités) avec des caractéristiques.</p>
			<p><b>Ajouter/supprimer des règles</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Ajouter une règle</li> <li><input type="checkbox"/> Supprimer cette règle</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Modifier cette règle</li> <li><input type="checkbox"/> Suspendre cette règle</li> </ul>	<p>Permet de créer des règles (comportements).</p>
			<p><b>Disposer les agents de la simulation</b> (placer les entités souhaitées dans l'environnement)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Placer cet agent</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Introduire cet agent</li> <li><input type="checkbox"/> Dépeupler cet agent</li> </ul>	<p>Placer les agents n'est disponible que lorsque l'agent est placé en « Manuel » (éditer un agent).          Introduire un agent ajoute des entités au hasard sur la grille.          Dépeupler l'agent supprime tous les agents de ce type.</p>
			<p><b>Lancer la simulation</b></p>	<p>Animation :</p> <p>Tours de chauffe : <input type="text" value="0"/>          Durée (0 = infini) : <input type="text" value="1500"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Vitesse de l'animation :</p> <p>Nombre de tours écoulés : 0</p>	<p>Les boutons servent à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Redémarrer le modèle</li> <li>- Démarrer le modèle</li> <li>- Passer au tour suivant</li> <li>- Mettre en pause</li> </ul> <p>Le curseur permet d'accélérer ou ralentir le modèle.</p>
			<p><b>Légende</b></p>	<p>Légende : <input checked="" type="checkbox"/> Femelle=D (XXI)(386)</p> <p>Légende : <input checked="" type="checkbox"/> Effectif : <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>La légende permet de vérifier que tous les agents sont présents et avoir leur effectif.          L'affichage de ces informations est réglable dans la partie « Agents »</p>

Remarque : les étapes 1 à 6 peuvent être remplacées par le chargement d'un modèle déjà établi.

- Pour créer un modèle complet, il faut :
- 1- Paramétrer l'environnement
  - 2- Créer des **agents (entités)**
  - 3- Créer des **règles (comportements)** pour ces entités
  - 4- **Paramétrer le nombre de tours** (ex : 1500)
  - 5- **Paramétrer la vitesse de l'animation**
  - 6- **Lancer la simulation** (triangle noir)
  - 7- **Observer le graphique** et les résultats obtenus
  - 8- **Observer l'environnement** et le placement des agents
  - 9- (Facultatif) *Exporter le graphique\**
  - 10- (Facultatif) *Enregistrer votre modèle ou charger un autre modèle*

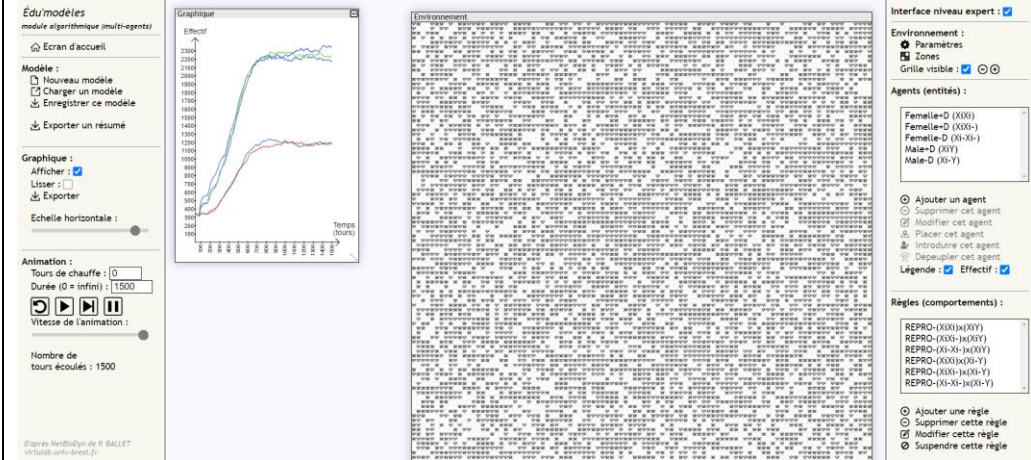
\*Remarque : Les valeurs et graphiques peuvent être exportés mais il est beaucoup plus simple de recopier les valeurs affichées par le logiciel.

## PROTOCOLE : Modéliser les variations des fréquences des allèles Xi et Xi- des éléphants d'Afrique.

1. **Ouvrir le navigateur** et rejoindre le site **Edu'Modèles** (modèles algorithmiques) <https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/edumodeles/algo/index.htm>
2. **Charger le modèle** « sans contrainte ».
3. **Identifier les différents types d'individus (agents)** et leur génotype.
4. **Identifier les différentes règles** qui s'appliquent à ces individus.
5. **Lancer le modèle** en cliquant sur le bouton (triangle noir).
6. **Attendre que les effectifs des différents types d'individus se stabilisent.**
7. **Noter les effectifs** (voir deuxième partie du protocole).  
 **Appelez le professeur pour vérification**
8. **Ouvrir successivement les modèles** « Prédation », « Braconnier » et « Addo ».
9. **Reproduire les étapes 3 à 7** pour chaque modèle.
10. **Comparer les résultats** avec les données des documents 3 et 4.  
 **Appelez le professeur pour vérification**

Remarques :

- Vous pouvez augmenter le nombre d'individus avec « Introduire un agent ».
- Vous pouvez modifier la vitesse du modèle pour aller plus vite (la plupart des modèles sont bloqués à 1500 tours maximum).
- Vous pouvez moduler l'échelle horizontale des graphiques pour un meilleur affichage.



## PROTOCOLE : Déterminer les fréquences alléliques dans chaque modèle

1. **Ouvrir le fichier** « TP5-Frequences-alleliques.ods » avec le logiciel Calc.
2. **Vérifier les formules de calcul** présentes dans les cases vertes et permettant de déterminer les fréquences de chaque allèle.
3. **Reporter les effectifs** obtenus pour chaque type d'individu suite à la simulation.
4. **Identifier les fréquences obtenues pour Xi et Xi-.**
5. **Reproduire les étapes 4 et 5** pour l'ensemble des modèles.
6. **Comparer les valeurs obtenues** avec l'ensemble du groupe.
7. **Identifier de possibles écarts** à l'équilibre et la **force évolutive** impliquée.

Remarques :

- Une formule de calcul commence toujours par =
- Les multiplications se font grâce à la touche \* située sur la partie droite du clavier.
- Les divisions sont obtenues grâce à la touche / située sur la partie droite du clavier.
- La logique du calcul est présentée dans le document 1.
- Exemple de formule :  $=(2*C4+C5+C7)/(2*(C4+C5+C6)+C7+C8)*100$

	Aucune contrainte	Prédation	Braconnier	Addo
<b>Génotype</b>	Nombre d'individus	Nombre d'individus	Nombre d'individus	Nombre d'individus
(Xi//Xi)				
(Xi//Xi-)				
(Xi-//Xi-)				
(Xi//Y)				
(Xi-//Y)				
<b>Allèles</b>	Fréquence (en %)	Fréquence (en %)	Fréquence (en %)	Fréquence (en %)
Xi	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Xi-	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



## Document 1 : Le modèle théorique de Hardy Weinberg

• Le modèle théorique de Hardy Weinberg est un **outil statistique** pour évaluer les forces évolutives qui s'appliquent sur les populations. En effet, ce modèle prévoit que **sans aucune contrainte**, les **fréquences alléliques sont stables** d'une génération à l'autre. Cela implique qu'**aucune force évolutive** ne joue sur les allèles étudiés (pas de mutation, pas de sélection naturelle, ni dérive génétique ni migration, ...)

• Pour un couple d'allèles A et a d'un même gène, de fréquences respectives p et q, on démontre que :

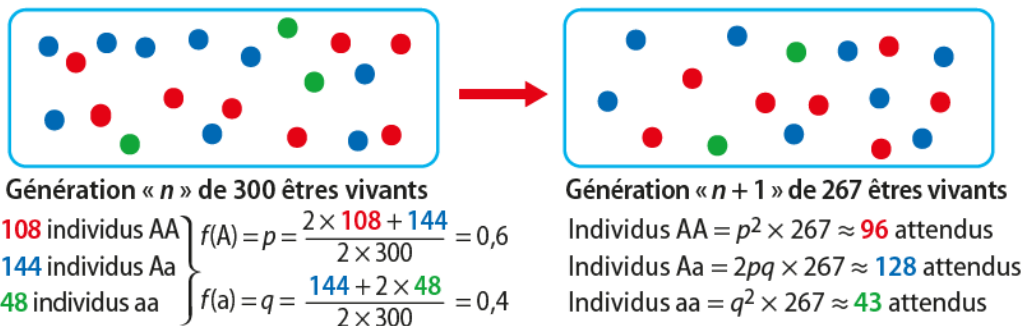
$$p + q = 1$$

$$(p + q)^2 = 1$$

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

Gamète 1 \ Gamète 2	A (p)	a (q)
A (p)	AA ● $p \times p = p^2$	Aa ● $p \times q = p'q'$
a (q)	Aa ● $p \times q = (pq)'$	aa ● $q \times q = q^2$

• Ainsi, on peut déterminer le nombre d'individus **théoriquement attendus** à la génération suivante :

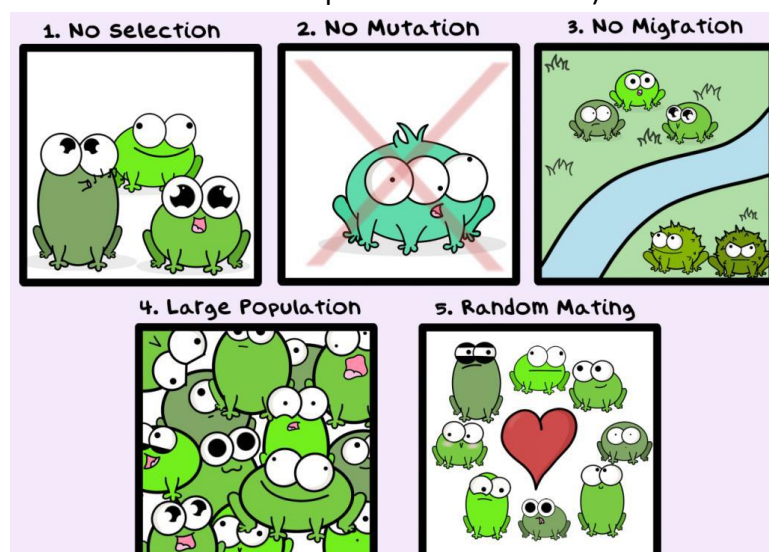


Source : p114 Carnet d'enseignement scientifique

## Document 2 : Les conditions de l'équilibre de Hardy Weinberg

• Il existe 5 conditions nécessaires à l'équilibre de Hardy Weinberg :

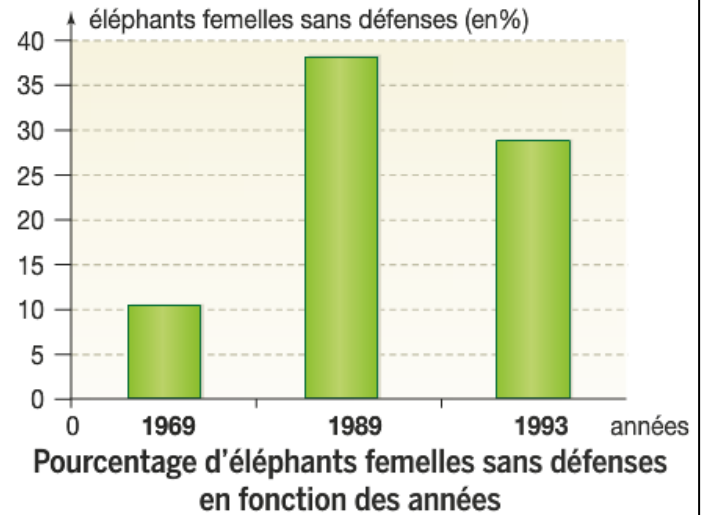
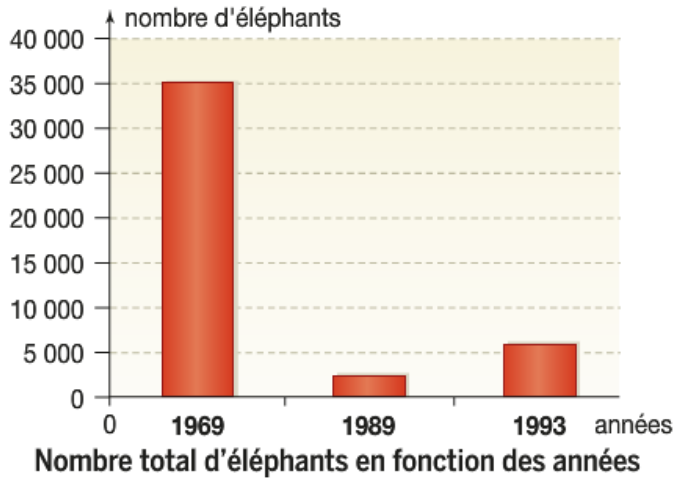
- **Absence de sélection naturelle** (pas de disparition d'allèle)
- **Pas de mutation** (aucun nouvel allèle)
- **Pas de migration** (pas d'arrivée de nouvel allèle depuis une autre population)
- **Population de grande taille** (pas de dérive génétique)
- **Panmixie** (pas de sélection sexuelle et reproduction aléatoire)



• Lorsque ces conditions ne sont pas respectées, les **fréquences alléliques divergent** par rapport au modèle théorique (**écarts** à l'équilibre). Ces écarts dénotent l'existence de forces évolutives, par exemple, la **sélection naturelle** augmente la fréquence d'un allèle avantageux à la population.

### Document 3 : Les éléphants du parc Luangwa

• Entre 1900 et 1989, le parc national de Luangwa en Zambie a vu ses populations d'éléphants décimées par des braconniers qui collectaient illégalement l'ivoire de leurs défenses. En 1989, la Zambie a signé un traité interdisant le commerce de l'ivoire et a créé des parcs nationaux, mettant en place des barrières de protection et des patrouilles anti-braconnage. Les histogrammes suivants sont issus d'un recensement régulier de la population d'éléphants dans la région de Zambie.



### Document 4 : La particularité du Parc Addo (Afrique du Sud)

• Entre 1919 et 1920, un chasseur professionnel a réduit la population d'éléphants du Parc Addo de 130 individus à 11 (8 femelles et 3 mâles). Le parc national Addo a donc été créé en 1931 pour protéger ces individus des braconniers. Ceci a permis d'atteindre environ de 400 individus actuellement, la plupart dépourvus de défense.

• D'autre part, on a pu identifier que l'absence de défense est associée à une **mutation récessive** d'un gène porté par le **chromosome X**. Ainsi, une femelle de génotype ( $Xi//Xi$ ) portera des défenses alors que les femelles ( $Xi//Xi$ ) n'en porteront pas. Les mâles, eux, ne portent qu'un allèle : soit  $Xi$  soit  $Xi$ . En effet, le gène n'est pas porté par le chromosome Y.



#### Données concernant la population du parc national Addo

