

La méthode capture-marquage-recapture

Trichosurus
(Marsupial)



Exemple de marquage :
tatouage laissé après
capture sur un spécimen
du genre *Trichosurus*. La
présence du tatouage dans
l'oreille est vérifiée lors
d'une recapture.



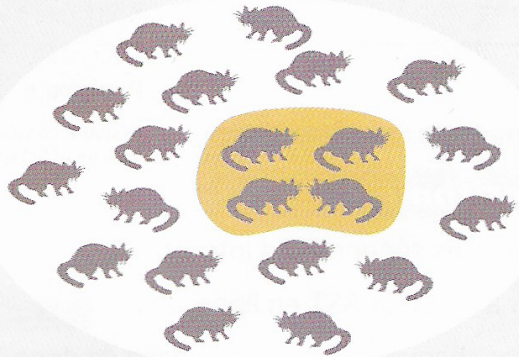
a Bagueage d'un oiseau.

Principe de la méthode de capture-marquage-recapture (CMR)

Étape

1

Capture de n_1 individus

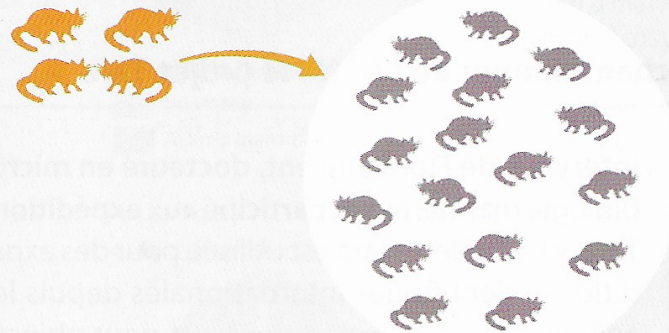


Population* totale de taille N inconnue :
impossibilité de capturer tous les individus

Étape

2

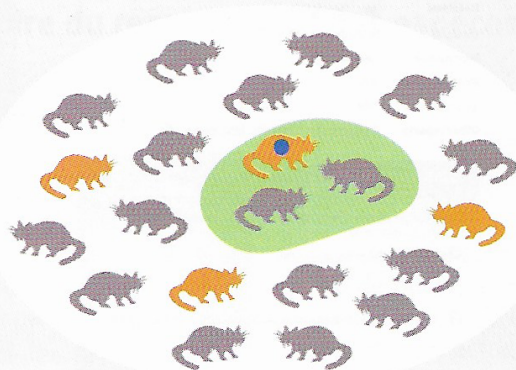
Marquage puis
remise dans la population



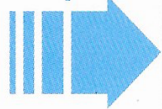
Étape

3

Capture de n_2 individus parmi lesquels
 p sont marqués : recapture



Temps



Étape

4

Estimation statistique
de la taille de la population

Proportion d'individus capturés lors
de la 1^{re} session dans la population totale

Fréquence des individus marqués
capturés lors de la 2^e session

$$\frac{n_1}{N} = \frac{p}{n_2} \rightarrow N = \frac{n_1 \times n_2}{p}$$

Taille totale = indice de Lincoln-Petersen

Hypothèse : l'effectif
reste constant (ni mortalité,
ni natalité, ni migrations)

On fait la supposition qu'il y a
la même proportion
d'individus marqués dans la
population totale que dans
l'échantillon recapturé

2 L'étude d'une population d'opossums



→ Penser la science p. 198

Les opossums sont des marsupiaux. Il en existe des carnivores sur le continent américain mais aussi des herbivores arboricoles en Océanie. En Australie, le genre *Trichosurus* regroupe cinq espèces dont l'espèce *cunninghami*. Ces derniers vivent dans les forêts où ils se nourrissent principalement de feuilles et de fruits. En février-mars 2009, des feux de végétation ont ravagé un grand nombre de forêts dans l'État de Victoria. L'habitat naturel de l'opossum

a donc été directement perturbé par les incendies. De 2004 à 2009, des chercheurs de Canberra s'étaient intéressés à l'effectif de la population d'opossums *T. cunninghami* dans les forêts brûlées. Ils avaient obtenu les résultats ci-contre. En 2019, les chercheurs retournent dans la zone et procèdent à une campagne de CMR : ils capturent et marquent 82 individus

	A	B	C
1	Année	Effectif de la population	
2	2004	3214	
3	2005	3215	
4	2006	3237	
5	2007	2984	
6	2008	3314	
7	2009	1209	
8			
9	2019	??	
10			
11	Nombre d'individus capturés et marqués en début de campagne 2019	Nombre d'individus capturés en fin de campagne 2019	Nombre d'individus marqués lors de la recapture en 2019
12	82	67	2

qu'ils relâchent ; 2 semaines plus tard, ils capturent 67 individus dont 2 portent la marque laissée lors de la 1^{re} capture. Sur l'ensemble des 147 (soit 149 – 2) individus capturés en 2019, 72 étaient des femelles, soit environ 49 %.

- 1) Estimez la taille de la population d'opossums dans la forêt en 2019 avec la méthode capture-marquage-recapture.

1) Calcul de la taille de la population :

Nombre d'individus capturés et marqués en début de campagne 2019 n_1	Nombre d'individus capturés en fin de campagne 2019 n_2	Nombre d'individus capturés en fin de campagne 2019 qui avaient déjà été capturés et marqués en début de campagne 2019 (recaptures) p
82	67	2

Première session : $n_1 = 82$ individus capturés et marqués sur un total N d'individus

Seconde session : $n_2 = 67$ individus capturés

$p = 2$ individus marqués parmi les 67 (recaptures)

$$\frac{n_1}{N} = \frac{p}{n_2} \rightarrow N = \frac{n_1 \times n_2}{p}$$

Taille estimée de la population :

$$\begin{aligned} N &= n_1 \times n_2 : p \\ &= 82 \times 67 : 2 \\ &= 2\,747 \end{aligned}$$

II. La composition génétique des populations au cours du temps

L'histoire du modèle de Hardy-Weinberg et ses hypothèses.



Godfrey Hardy (1877-1947)

Godfrey Hardy est un mathématicien anglais ayant exercé à Cambridge entre 1906 et 1919. Un de ses amis, Reginald Punnett, fut pris dans une controverse autour de la génétique et de la biologie évolutive. Des opposants à Punnett avançaient que la proportion d'individus portant certains allèles ne cesserait d'augmenter dans la population. Peu attiré par les mathématiques appliquées à d'autres domaines scientifiques, Hardy s'engagea donc par amitié à prouver que, quelle que soit la répartition des génotypes dans la population de départ, cette répartition devient stable dès la 2^e génération. Pour cela, il se fonda sur les hypothèses suivantes :

Hypothèses portant sur la population de départ	Hypothèses portant sur les mécanismes évolutifs
<ul style="list-style-type: none">- Population de taille infinie, pangamie* et panmixie*- Espèce considérée diploïde* et à reproduction sexuée- Générations non chevauchantes	<ul style="list-style-type: none">- Absence de mutations sur les allèles étudiés- Absence de migration* (la population étudiée est isolée)- Absence de sélection

Le nom du modèle vient de sa formulation à la même époque par le médecin allemand Wilhem Weinberg.

Pangamie : croisement aléatoire des individus

Panmixie : formation aléatoire de couples

Migration : arrivées ou départ d'individus d'une population

Démonstration de la stabilité des fréquences alléliques au cours des générations :

On considère un gène dont les deux allèles R et B déterminent la couleur des pétales de la belle de nuit. La fréquence f_R de l'allèle R est égale à p et la fréquence f_B de l'allèle B est égale à q. Comme il n'y a que 2 allèles, on a $f_R + f_B = 1$, donc $p + q = 1$ (a). À l'issue de fécondation, s'il y a panmixie, c'est-à-dire si les différents individus se croisent au hasard, la fréquence des différents génotypes des zygotes sera :

Génotype	R//R	B//B	R//B
Fréquence	p^2	q^2	$2pq$

On peut donc calculer les fréquences f_R et f_B des allèles R et B dans les zygotes :

$$f_R = \text{fréquence (R//R)} + \frac{1}{2} \text{ fréquence (R//B)} = p^2 + pq$$

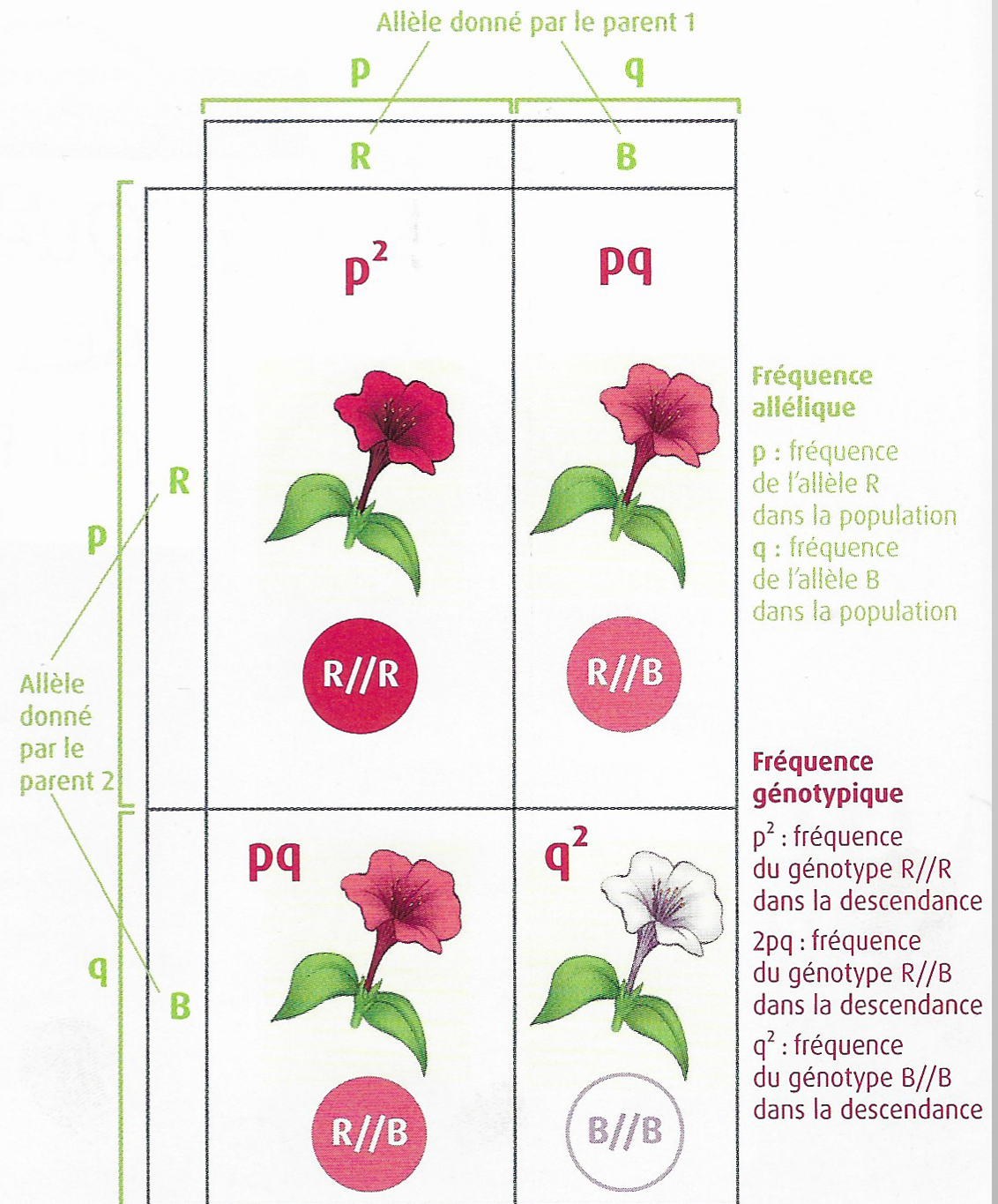
$$f_B = \text{fréquence (B//B)} + \frac{1}{2} \text{ fréquence (R//B)} = q^2 + pq$$

D'après (a), $q = 1 - p$ et $p = 1 - q$. Donc :

$$f_R = p^2 + pq = p^2 + p(1 - p) = p^2 + p - p^2 = p$$

$$f_B = q^2 + pq = q^2 + (1 - q)q = q^2 + q - q^2 = q$$

Donc, la fréquence de l'allèle R dans les zygotes est identique à la fréquence de l'allèle R chez les parents et la fréquence de l'allèle B dans les zygotes est identique à la fréquence de l'allèle B chez les parents. Si aucune force évolutive n'agit sur ces zygotes et sur les individus qui seront issus de leur développement, la fréquence des allèles et des génotypes sera constante dans la population considérée.



Confronter la réalité au modèle : étude de la dynamique d'une population d'araignée paon.

L'araignée paon *Maratus volans* est une espèce endémique de l'Australie. L'abdomen des mâles présente des couleurs très vives : bleu, rouge, orange ou jaune, qui attirent les femelles. Ces dernières sont davantage camouflées. En 2019, des chercheurs ont montré que les taches noires sont dues à des structures particulières : les « bumps », plus ou moins développés chez les mâles d'une même population. Des taches noires plus développées permettent un meilleur contraste des couleurs et confèrent un réel avantage sexuel.

Le gène permettant la formation des bumps possède deux allèles A et a de fréquences respectives p et q . Les individus de génotype AA sont plus contrastés que les individus Aa eux-mêmes plus contrastés que les individus aa.

Lors d'un suivi de population, les chercheurs ont mesuré la fréquence de l'allèle A au cours du temps (tableau ci-dessus).

	A	B
1	Génération	p
2	1	0,40
3	2	0,46
4	3	0,52
5	4	0,57
6	5	0,60
7	6	0,63
8	7	0,65
9	8	0,67
10	9	0,68
11	10	0,69



Mâle de *Maratus volans* arborant son abdomen coloré.

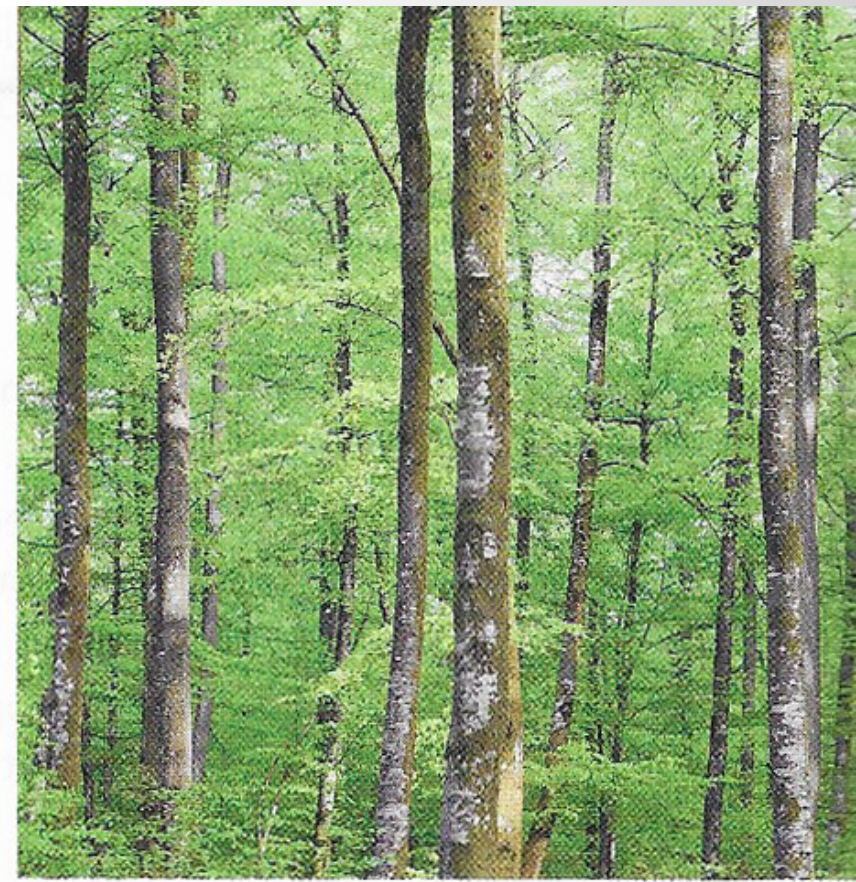
Question : Vérifiez que l'équilibre de Hardy-Weinberg est validé dans la population d'araignée paon.

Structure génétique d'une hêtraie

Une étude de la composition génétique d'une population de hêtres a été réalisée dans une forêt de Basse-Saxe, en Allemagne. Le gène considéré est celui de la 6-PGDH, une enzyme, et se décline en deux allèles $P1$ et $P2$. Les génotypes ont été établis pour chaque arbre, et sont décrits dans le tableau suivant.

Génotypes	$P1//P1$	$P1//P2$	$P2//P2$
Nombres	133	52	6

1. Calculer la fréquence des allèles $P1$ et $P2$ dans cette population
2. Vérifier si la structure génétique de cette population est conforme aux prédictions du modèle de Hardy-Weinberg (à 1 % près).



■ Une hêtraie dans les Vosges.