

3

THÈME UNE HISTOIRE DU VIVANT



Caricature publiée dans le journal *La Lune Rousse* en 1878. Darwin représenté en singe et aidé du philosophe et homme politique Émile Littré, saute dans les cerceaux de la crédulité et de l'ignorance. Cette caricature souligne la controverse suscitée par la théorie de l'évolution de Darwin à sa publication. Les caricatures de Darwin en singe sont alors fréquentes à cette époque.

HISTOIRE DES SCIENCES

- En quelle année et suite à quel voyage Darwin publie-t-il son bestseller *L'origine des espèces* ?
- Comment est reçu le livre de Darwin à sa publication ?

ESPRIT CRITIQUE

- L'histoire des sciences est jalonnée de désaccords entre scientifiques. La controverse scientifique vous semble-t-elle importante pour la construction des savoirs scientifiques ?



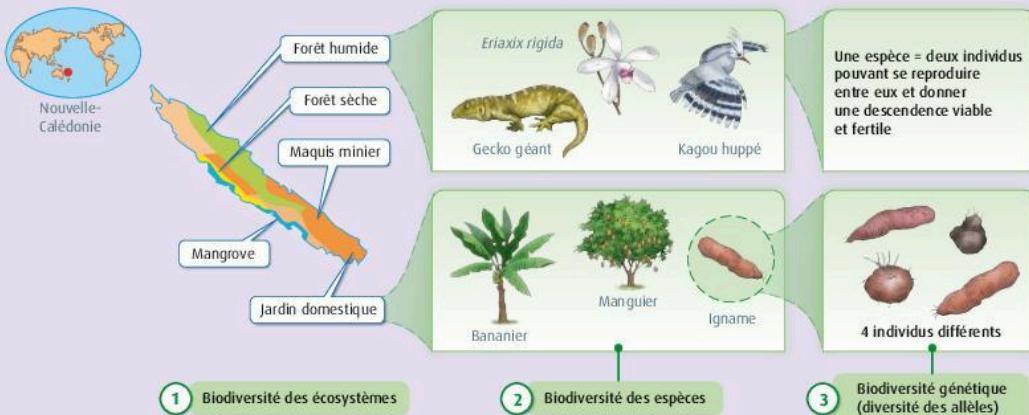
Des liens pour m'aider



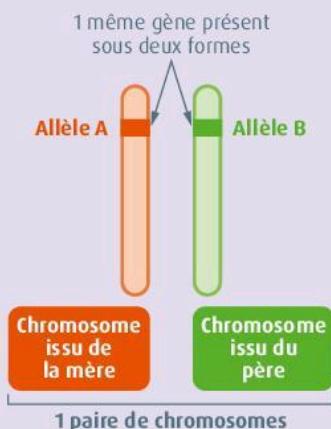
POUR BIEN COMMENCER

Quelques notions déjà vues

SVT 2de Les niveaux de la biodiversité



SVT Cycle 4 Caractères, gènes et allèles



Maths 2de Échantillonnage

Résultats de 3 essais de 50 tirages aléatoires d'une pièce de monnaie.

	Nombre de pile	Nombre de face
Essai 1	28	22
Essai 2	23	27
Essai 3	26	24

La fréquence de pile et de face varie d'un échantillon à l'autre : c'est la fluctuation d'échantillonnage.

Se tester avant de démarrer

Savez-vous répondre aux questions suivantes ?

- Quel est la définition de la biodiversité ?
- Quels sont les deux principaux mécanismes évolutifs qui peuvent faire évoluer la fréquence des allèles au cours du temps ?
- Lors d'un tirage aléatoire, comment évolue l'intervalle de confiance lorsque l'échantillon augmente en taille ?

Étude d'un récif corallien en Papouasie-Nouvelle-Guinée, novembre 2017. L'étude de la biodiversité et de son évolution dans le temps requiert différentes techniques d'échantillonnage, comme ici, des mesures et des observations en milieu océanique, à 6 m de profondeur.



LA BIODIVERSITÉ ET SON ÉVOLUTION



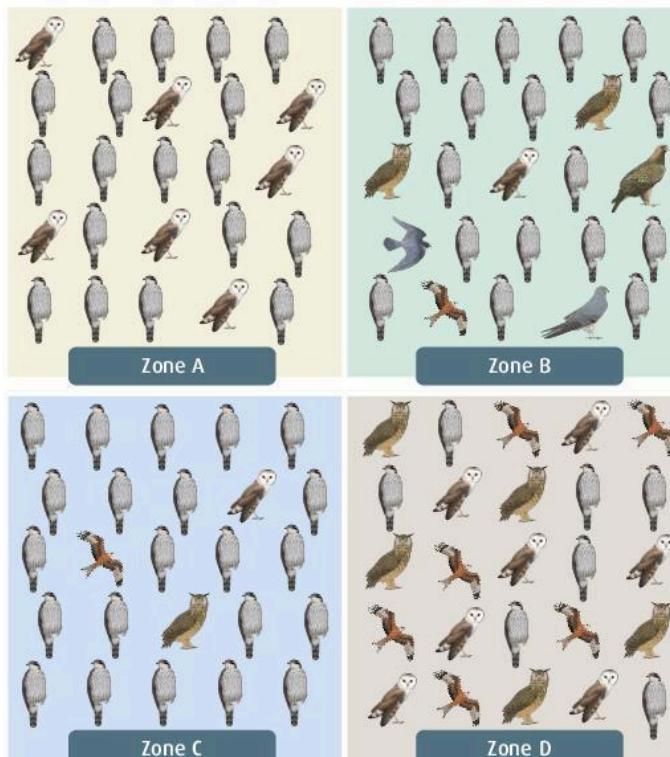
Quelles méthodes et modèles permettent de décrire la biodiversité, son évolution dans le temps et sa vulnérabilité face aux activités humaines ?

Estimer la biodiversité d'un milieu

La préservation de la diversité des êtres vivants reste une préoccupation majeure à l'échelle planétaire. Évaluer la biodiversité est un prérequis nécessaire pour comprendre sa dynamique et les conséquences des actions humaines.

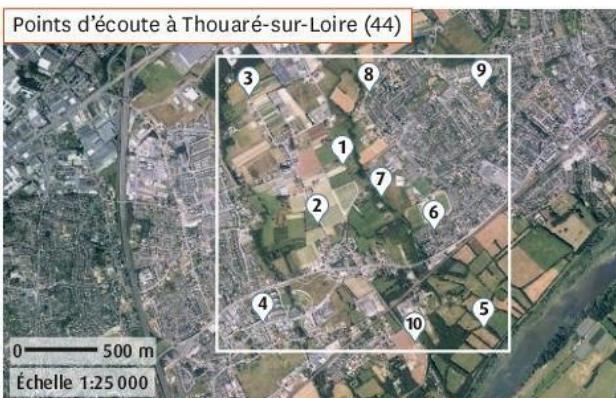
Comment évaluer la biodiversité d'un milieu ?

La biodiversité peut être estimée de différentes manières. La **richesse spécifique** correspond au nombre d'espèces présentes dans un milieu alors que la **l'abondance** représente le nombre d'individus de la même espèce. Dans un milieu contenant plusieurs espèces (ou populations*), l'**équitabilité** estime si l'abondance entre chaque espèce est équilibrée. Par exemple, la zone D contient autant d'espèces que la zone C, mais son équitabilité est supérieure. Un milieu contenant beaucoup d'espèces pour lesquelles les abondances sont réparties équitablement a donc une biodiversité plus importante.



DOC 1 Les composantes de la biodiversité. *Population : ensemble d'individus de la même espèce situés à un endroit donné.

Le Suivi temporel des oiseaux communs par échantillonnage ponctuel simple (STOC-EPS) est un programme mis en place en 1989 et coordonné par le Muséum national d'Histoire naturelle. Il permet de suivre l'évolution de la richesse spécifique et de l'abondance des oiseaux nicheurs. Les sites à prospection sont des carrés de 4 km², tirés aléatoirement dans chaque département.



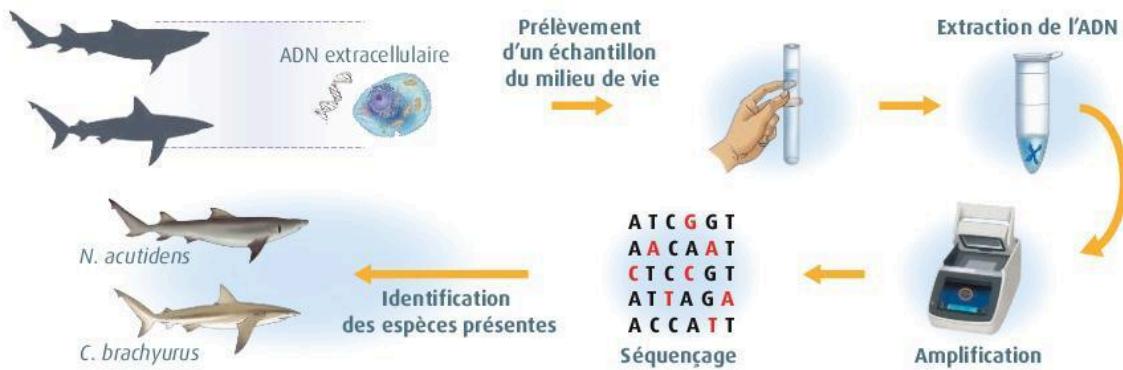
Chaque carré est attribué à un observateur qui répartit de façon homogène 10 points d'écoute dans son Carré. Deux fois par an, l'observateur reste immobile pendant 5 min à chaque point d'écoute et compta toutes les espèces et individus vus et entendus. Le tableau montre les dénominations dans le Carré ci-dessous, proche de Nantes.

Espèce	Effectifs dénombrés en juin				
	2002	2006	2010	2014	2018
Choucas des tours	0	5	4	2	1
Corneille noire	14	13	24	11	11
Grive musicienne	5	5	3	0	0
Linotte mélodieuse	13	0	0	0	0
Merle noir	17	29	20	18	24
Petit Gravelot	0	0	0	0	5
Pigeon ramier	6	26	31	24	15
Rougegorge familier	7	8	4	5	7
Tourterelle turque	11	11	10	15	4
Verdier d'Europe	14	20	6	2	0

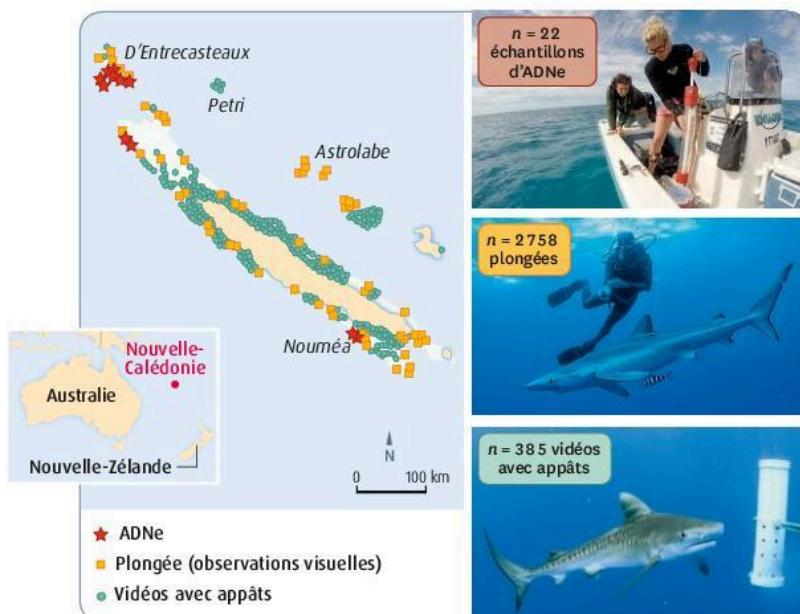
DOC 2 Suivi des populations d'oiseaux communs (Programme STOC, Vigie Nature) : points d'écoute et données.

Tous les organismes vivants laissent dans leur milieu des cellules (cellules de la peau, gamètes,...). L'ADN environnemental (ADNe) est un mélange d'ADN intracellulaire provenant de cellules vivantes et d'ADN extracellulaire issu de cellules dégradées.

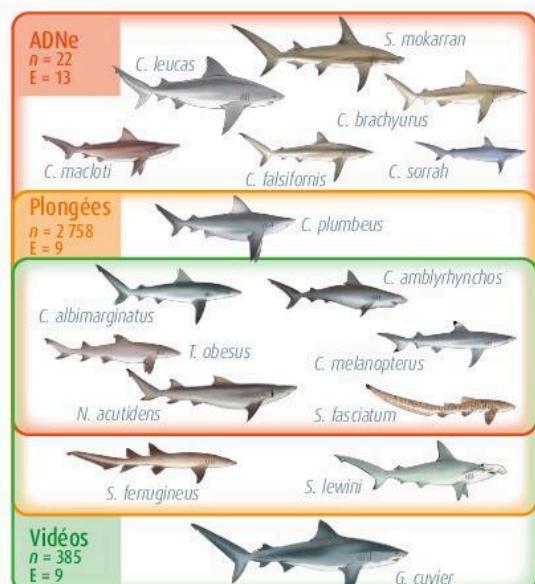
Dans le milieu aquatique, l'ADNe se dégrade en quelques jours : il témoigne de la présence actuelle ou très récente d'une espèce dans le milieu échantillonné. Cette technique permet de détecter la présence d'espèces rares ou difficiles à observer.



DOC 3 De l'ADN pour détecter la biodiversité invisible.



DOC 4 Techniques d'échantillonnage utilisées pour estimer la biodiversité des requins en Nouvelle-Calédonie.



DOC 5 Détection d'espèces de requins selon les méthodes d'échantillonnage. E : nombre d'espèces. n : nombre d'échantillons.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Comparez la richesse spécifique et l'équitabilité dans chaque zone du **DOC. 1**.
- Commentez l'évolution de la richesse spécifique et de l'abondance de chaque espèce au cours du temps dans la zone étudiée (**DOC. 2**). Indiquez si ces données sont suffisantes pour conclure qu'une population d'oiseaux est en déclin en France. Quelles autres données vous semblent nécessaires pour énoncer une telle conclusion ?
- Après avoir comparé le nombre d'échantillons utilisés dans chaque méthode, déterminez quelle méthode permet de détecter le plus grand nombre d'espèces. Montrez une limite pour chacune des trois méthodes proposées (**DOCS 3 à 5**).

ESPRIT CRITIQUE

Le programme STOC est un programme de suivi des oiseaux communs coordonné par des scientifiques et réalisé par des ornithologues amateurs. C'est un exemple de science participative.

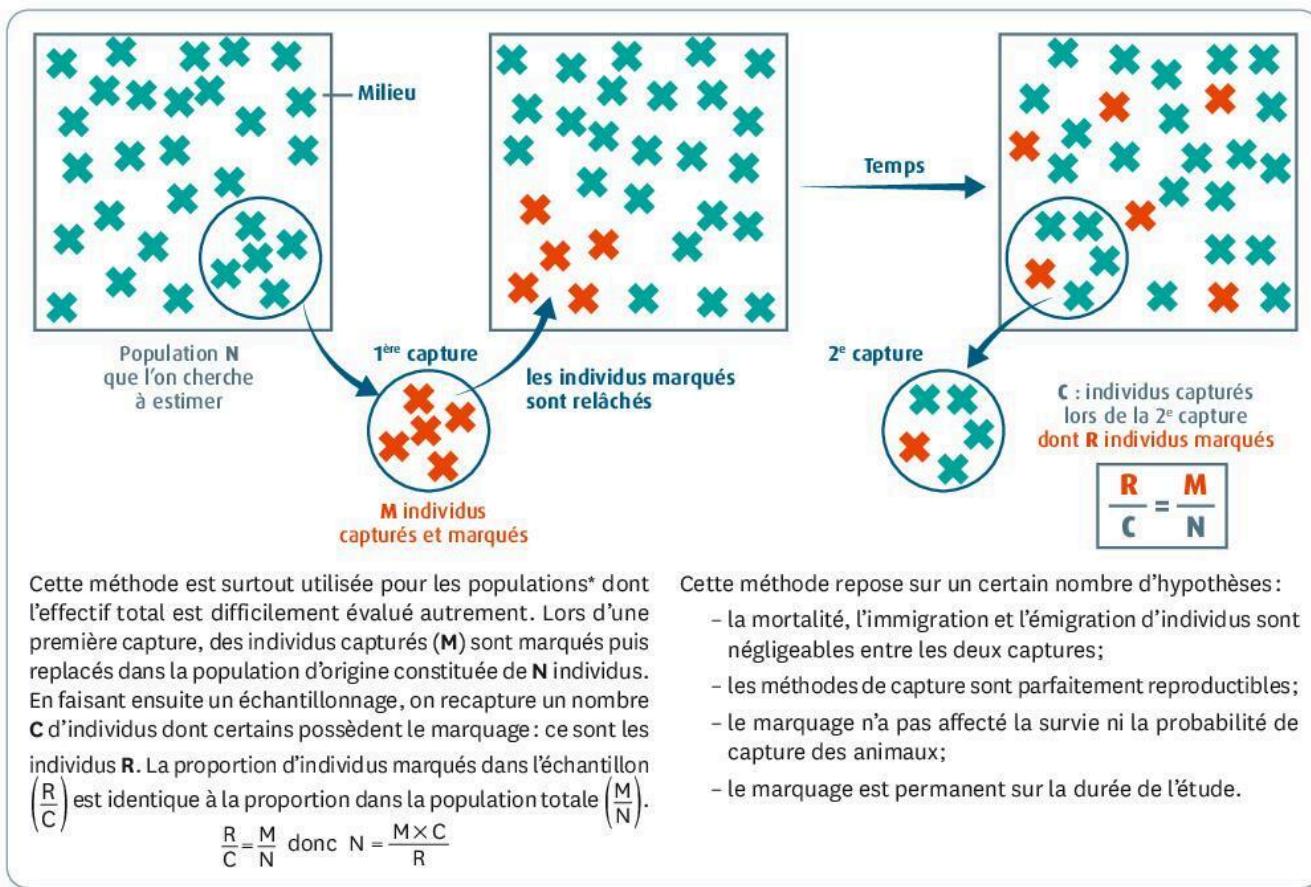
- Effectuez quelques recherches pour trouver trois autres exemples de science participative.
- Quel peut-être l'intérêt pour les chercheurs d'une telle démarche ?
- Quelles conditions vous semblent indispensables pour que les données issues de sciences participatives soient exploitables ?

Pistes de travail ► Recherche Internet

Estimer l'abondance par capture-marquage-recapture

L'abondance des individus est un critère important pour étudier la dynamique d'une population. Cela permet de déterminer si une espèce est en danger d'extinction ou au contraire si elle prolifère. Cela permet également d'adapter les programmes de prévention contre les espèces vectrices de maladie pour l'être humain.

Comment évaluer la taille d'une population ?



Cette méthode est surtout utilisée pour les populations* dont l'effectif total est difficilement évalué autrement. Lors d'une première capture, des individus capturés (**M**) sont marqués puis replacés dans la population d'origine constituée de **N** individus. En faisant ensuite un échantillonnage, on recapture un nombre **C** d'individus dont certains possèdent le marquage : ce sont les individus **R**. La proportion d'individus marqués dans l'échantillon $\left(\frac{R}{C}\right)$ est identique à la proportion dans la population totale $\left(\frac{M}{N}\right)$.

$$\frac{R}{C} = \frac{M}{N} \text{ donc } N = \frac{M \times C}{R}$$

Cette méthode repose sur un certain nombre d'hypothèses :

- la mortalité, l'immigration et l'émigration d'individus sont négligeables entre les deux captures;
- les méthodes de capture sont parfaitement reproductibles;
- le marquage n'a pas affecté la survie ni la probabilité de capture des animaux;
- le marquage est permanent sur la durée de l'étude.

DOC 1 Principe de la méthode

de capture-marquage-recapture. *Voir définition d'une population **DOC. 1** p. 194.



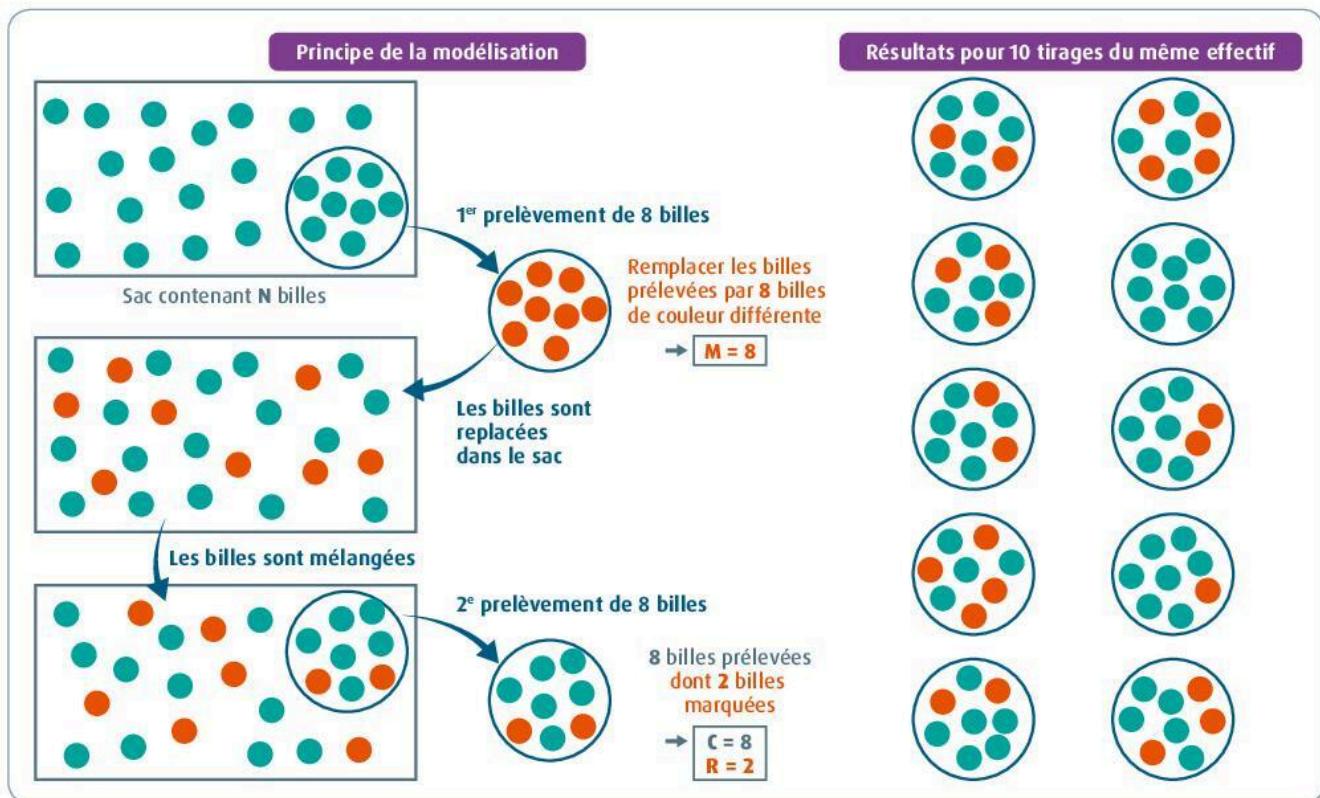
DOC 2 Exemple de marquage de moustiques. Moustiques avec marqueurs fluorescents vert et rouge visibles seulement en lumière ultraviolette.



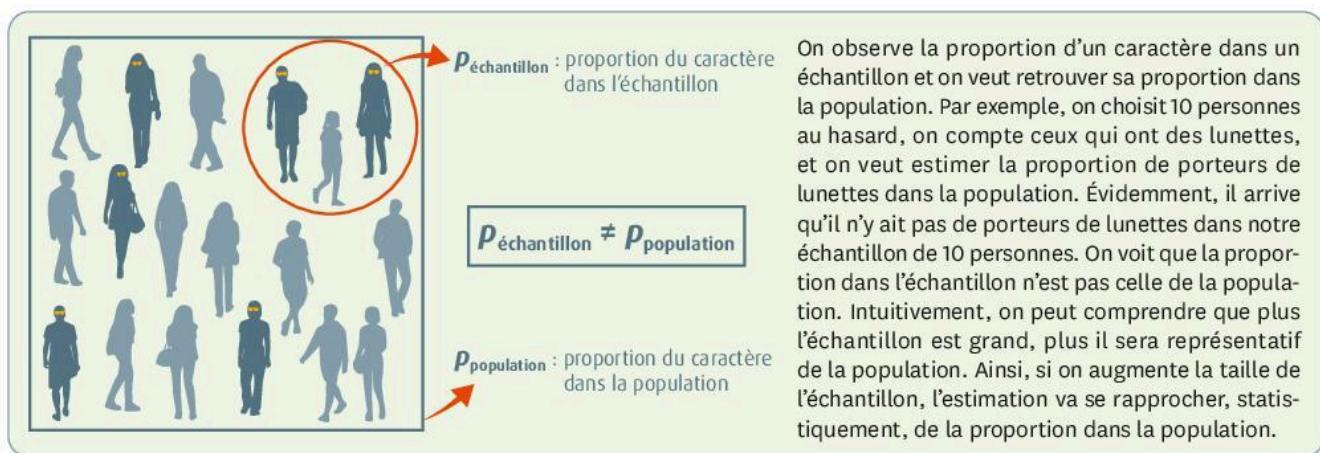
ESPRIT CRITIQUE

	Saison humide Sept 2013	Saison sèche Mai 2014
Moustiques marqués lâchés	3 407	5 267
Moustiques capturés non marqués	5 843	363
Moustiques capturés marqués	44	49

DOC 3 Estimation de la taille d'une population de moustiques *Anopheles gambiae* dans un village du Burkina Faso, par la technique de capture-marquage-recapture. Le moustique *A. gambiae* est le principal vecteur de la malaria au Burkina Faso. La connaissance de la taille des populations de moustiques est indispensable pour mettre en place des programmes de luttes. Les moustiques sont ici marqués par des poudres colorées.



DOC 4 Modélisation analogique des captures-marquages-recaptures.



DOC 5 Des valeurs réelles ou estimées?

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Indiquez le(s) paramètre(s) M, N, C ou R concernés par chacune des hypothèses sur lesquelles repose la méthode de capture-marquage-recapture (DOC. 1).
- En détaillant votre raisonnement, calculez les effectifs de la population de moustiques *A. gambiae* en saison sèche et en saison humide dans le village du Burkina Faso (DOCS 1 à 3).
- Calculez l'effectif de la population à partir de chacun des 10 échantillons. Commentez vos observations (DOC. 4).
- Expliquez pour quelles raisons la formule $N = \frac{M \times C}{R}$ donne une estimation et non une valeur exacte (DOCS 4 et 5).

ESPRIT CRITIQUE

Les auteurs de l'étude du doc. 3 utilisent des poudres colorées non fluorescentes pour marquer les moustiques. Ils notent dans leur publication qu'un biais possible de leur étude serait que les moustiques marqués aient une durée de vie plus courte à cause des manipulations et du marquage.

- Comment les manipulations et le marquage peuvent-ils réduire la durée de vie des moustiques ?
- La conséquence de ce biais est-elle une surestimation ou une sous-estimation de la taille de la population de moustiques ?

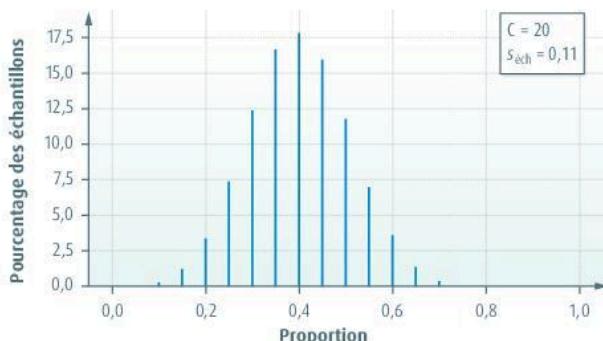
Pistes de travail ► DOC. 3

Estimer une proportion à partir d'un échantillon

La méthode de capture-marquage-recapture permet d'estimer la taille d'une population. Comme il s'agit d'une estimation, il est nécessaire d'en quantifier l'incertitude. Cette incertitude permet de construire un intervalle au sein duquel on pense que l'effectif de la population se trouve, avec un niveau de confiance donné.

Comment calculer l'incertitude associée à une estimation ?
Comment transformer cette incertitude en intervalle de confiance ?

Prenons l'exemple d'un caractère qui se trouve dans une proportion connue dans une population. Nous considérons ainsi une **population d'oiseaux** dont la proportion de mâles est connue et vaut 0,4.



En comptant la proportion des mâles dans un échantillon de 20 individus, on ne tombera pas toujours sur 0,4, mais sur des valeurs qui fluctueront autour de 0,4. Si on considère un grand nombre d'échantillons de 20 individus, on peut représenter l'ensemble des proportions observées à l'aide d'un histogramme.

Ici, on observe logiquement que :

- la proportion la plus fréquemment observée est 0,4;
- les différentes proportions observées dans un échantillon de 20 individus varient de 0,05 ($=1/20^{\circ}$) en 0,05.

Le fait que la proportion observée puisse varier d'un échantillon à l'autre est appelée **fluctuation d'échantillonnage**.

DOC 1 Les fluctuations d'échantillonnage.

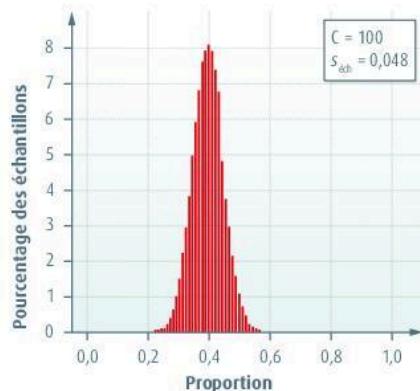
Pour caractériser la variabilité des proportions observées, on utilise l'**écart-type**.

Cette grandeur quantifie la dispersion des observations, et fournit donc un ordre de grandeur de la largeur caractéristique de l'histogramme des observations.

Plus la taille C de l'échantillon est grande, moins la proportion fluctue. L'écart-type diminue donc lorsqu'on augmente la taille de l'échantillon.

L'écart-type $s_{\text{éch}}$ d'une proportion $p_{\text{éch}}$ dans un échantillon de taille finie C vaut :

$$s_{\text{éch}} = \sqrt{\frac{p_{\text{éch}} \times (1 - p_{\text{éch}})}{C}}$$



Tableur

PIX

EXPÉRIMENTATION

On simule à l'aide d'un tableur un échantillon de 20 individus qui ont chacun la probabilité $p = 0,4$ de montrer un caractère donné.

- Entrer la formule = SI(ALEA()<0,4; 1; 0) dans la cellule A1.

ALEA() retourne une valeur réelle comprise entre 0 et 1, aléatoirement. Dans 40 % des cas elle se trouve entre 0 et 0,4. La fonction SI permet de retourner 1 si elle est inférieure à 0,4, et 0 dans le cas contraire. On obtient donc la valeur 1 avec une probabilité 0,4 et 0 avec une probabilité 0,6.

- Recopier cette formule dans 20 cellules adjacentes de la même colonne.

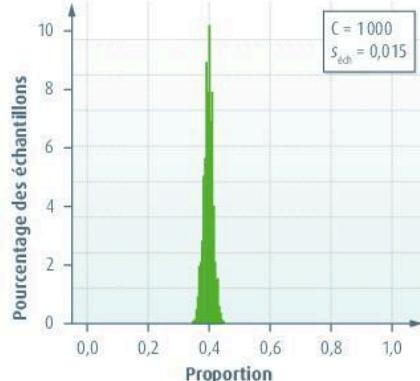
- Dans la cellule A21, calculer la proportion observée à l'aide de la formule :

$$=\text{SOMME}((A1:A20)/20)$$

- Recopier cette colonne sur les colonnes adjacentes, pour créer 25 échantillons de ce type.

- Tracer l'histogramme des proportions observées ($p_{\text{éch}}$) et calculer leur écart-type dans une cellule à l'aide de la formule :

$$=\text{ECARTYPE}(A21:Y21)$$



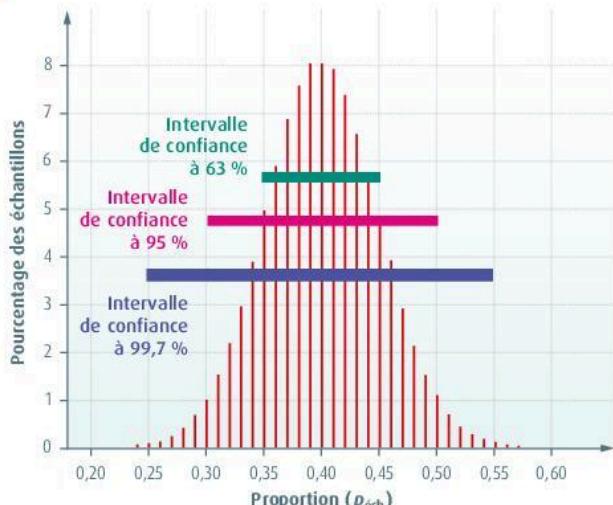
DOC 2 L'écart-type de la proportion dans l'échantillon du DOC. 1.

DOC 3 Simulation de l'effet de la taille de l'échantillon sur l'écart-type



Expérimentation sur tableau

PIX



Niveau de confiance	Intervalle de confiance
68 %	[$p_{\text{éch}} - S_{\text{éch}}$; $p_{\text{éch}} + S_{\text{éch}}$]
95 %	[$p_{\text{éch}} - 2S_{\text{éch}}$; $p_{\text{éch}} + 2S_{\text{éch}}$]
99,7 %	[$p_{\text{éch}} - 3S_{\text{éch}}$; $p_{\text{éch}} + 3S_{\text{éch}}$]

En général on ne connaît pas la proportion p d'un caractère dans la population. On n'a accès qu'à la proportion $p_{\text{éch}}$ dans l'échantillon de taille C et à son incertitude associée, donnée par l'écart-type $s_{\text{éch}}$ calculé à partir de $p_{\text{éch}}$ (DOC. 2).

$p_{\text{éch}}$ et $s_{\text{éch}}$ permettent de construire un **intervalle de confiance** qui inclut probablement la proportion p de la population. La taille de cet intervalle dépend du **niveau de confiance** qu'on se fixe. Le **niveau de confiance** représente la probabilité que l'intervalle des valeurs qu'on vient de construire recouvre effectivement la proportion dans la population.

DOC 4 Intervalle de confiance de la proportion p dans la population.

- À partir de l'intervalle de confiance déterminé pour la **proportion** dans la population, on peut déduire l'intervalle de confiance au sein duquel on espère que l'**effectif** de la population se trouve.

- Cet effectif est estimé par $N = \frac{M \times C}{R}$ (DOC. 1 p. 196).

La proportion d'individus marqués dans l'échantillon valant $p_{\text{éch}} = \frac{R}{C}$, on obtient $N = \frac{M}{p_{\text{éch}}}$.

- Au niveau de confiance 95%, il y a 95% de chance que la proportion p d'individus marqués soit comprise entre p_{inf} et p_{sup} (DOC. 5), c'est-à-dire $[p_{\text{inf}}, p_{\text{sup}}]$ avec:

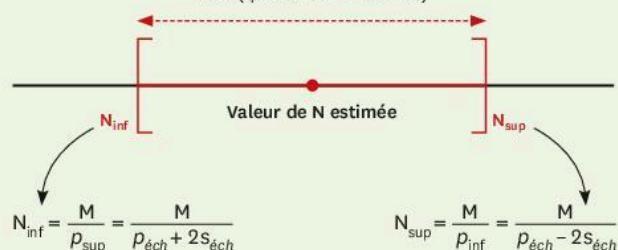
$$[p_{\text{éch}} - 2s_{\text{éch}}; p_{\text{éch}} + 2s_{\text{éch}}].$$

On en déduit qu'il y a 95% de chances que l'effectif de la population soit compris entre $N_{\text{sup}} = \frac{M}{p_{\text{inf}}}$ et $N_{\text{inf}} = \frac{M}{p_{\text{sup}}}$.

En effet, l'effectif le plus grand est atteint pour la proportion la plus faible, et inversement. L'intervalle de confiance pour l'effectif N de la population est donc :

Intervalle de confiance à 95%

95 % de chances que cet intervalle recouvre effectivement la valeur réelle de N (qui demeure inconnue)



Avec:

$$p_{\text{éch}} = \frac{R}{C}; s_{\text{éch}} = \sqrt{\frac{p_{\text{éch}} \times (1 - p_{\text{éch}})}{C}}.$$

DOC 5 Intervalle de confiance pour l'effectif de la population dans la méthode de capture-marquage-recapture.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Refaites la simulation du DOC. 3 pour $C = 100$. Vérifiez si l'écart-type obtenu est proche de celui donné par la formule du DOC. 2.
- Reprenez l'exemple du DOC. 3 p. 196 et calculez successivement, pendant la saison sèche et la saison humide:
 - l'estimation de proportion d'individus marqués ;
 - l'incertitude associée à cette estimation ;
 - l'intervalle de confiance à 95 % correspondant ;
 - l'intervalle de confiance à 95 % de la population de moustiques.

ESPRIT CRITIQUE

Un sondage d'opinion est en général effectué sur un échantillon de 1000 individus, qu'on considère comme choisis au hasard. Supposons qu'un sondage ait pour but de prédire le résultat d'un référendum, et que la proportion observée d'individus en faveur du oui soit de 48 %.

- Cette observation permet-elle de prédire le résultat du référendum au niveau de confiance 95 % ?
- Vous semble-t-il important que les instituts de sondage communiquent les intervalles de confiance ?

Pistes de travail ► DOC. 5 et recherche Internet

La composition génétique des populations au cours du temps

Les individus qui constituent une population possèdent un patrimoine génétique qui diffère d'un individu à l'autre.

Peut-on prédire la composition génétique d'une population au cours du temps ?



Interview de Christine Vassiliadis,
Maître de conférences à l'Université Paris-Saclay, Orsay

Une population se définit comme l'ensemble des individus d'une même espèce vivant dans un même endroit; ces individus se reproduisent entre eux, ils partagent des gènes. La génétique des populations est l'étude

de la distribution et des changements de la fréquence des allèles (c'est-à-dire les versions d'un gène) dans les populations, sous l'influence des pressions évolutives (sélection naturelle, dérive génétique, mutations, et migration) et du régime de reproduction (accouplements aléatoires ou non). Les généticiens des populations étudient donc les fréquences alléliques et les fréquences génotypiques, deux notions à ne pas confondre.

DOC 1 Qu'est-ce que la génétique des populations?



• Fréquences génotypiques

Dans cette population de pétunias, chaque individu possède deux allèles, identiques ou différents pour le gène responsable de la couleur des pétales. S'il n'existe que deux allèles pour ce gène, il existe trois génotypes possibles : (R//R), (R//B) et (B//B). Les **fréquences génotypiques** représentent la fréquence de chacun de ces génotypes dans la population.

$$f(\text{génotype}) = \frac{\text{Nombre d'individus de ce génotype}}{\text{Nombre total d'individus}}$$

$$\text{Par exemple } f(R//R) = \frac{5}{10} = 0,5.$$

• Fréquences alléliques

Les **fréquences alléliques** donnent la fréquence de chacun des allèles dans une population sans tenir compte de leur répartition chez les individus. Chez une espèce à deux chromosomes,

on a, pour un gène donné, deux fois plus d'allèles que d'individus (puisque chaque individu a deux allèles).

$$f(\text{allélique}) = \frac{\text{Nombre total de l'allèle donné}}{(2 \times \text{nombre total d'individus})}$$

$$\text{Par exemple, } f(R) = p = \frac{14}{20} = 0,7.$$

Si on considère un gène qui n'a que deux allèles R et B, on sait que $f(R) + f(B) = 1$.

Si on note $f(R) = p$ et $f(B) = q$, alors $p + q = 1$.

• Déduire les fréquences alléliques des fréquences génotypiques pour une génération donnée

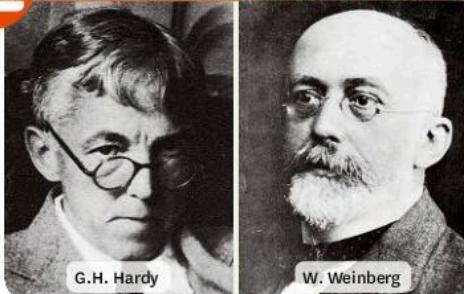
La fréquence de R dans la population correspond à la fréquence des individus (R//R) et à la moitié de la fréquence des individus (R//B).

$$\text{On retrouve bien } f(R) = f(R//R) + \frac{1}{2} f(R//B) = 0,5 + 0,2 = 0,7.$$

DOC 2 Fréquences alléliques et fréquences génotypiques.



Signification des hypothèses de la loi de Hardy-Weinberg



On se place dans le cas d'une population isolée d'effectif illimité, non soumise à la sélection, dans laquelle il n'y a pas de mutation et dans laquelle les accouplements sont aléatoires.

Si ces conditions sont respectées pour un gène donné, les fréquences génotypiques de la deuxième génération se déduisent directement des fréquences alléliques de la première génération, c'est-à-dire la génération des parents (DOC. 4).

La loi de Hardy-Weinberg stipule alors que les fréquences alléliques et génotypiques pour le gène considéré restent constantes après une génération. On dit que la population est à l'équilibre de Hardy-Weinberg pour ce gène.

DOC 3 Énoncé de la loi de Hardy-Weinberg. Cette loi a été énoncée indépendamment au début du xx^e siècle par le mathématicien anglais Godfrey Harold Hardy et par le médecin allemand Wilhelm Weinberg.

On considère que les conditions de la loi de Hardy-Weinberg sont respectées pour le gène responsable de la couleur des pétales des pétunias. La probabilité, à l'échelle de la population, qu'un individu reçoive de ses parents un allèle R ou B dépend de la fréquence de ces allèles dans la population parentale. Un tableau de croisement permet ainsi de prédire la fréquence de chaque génotype de la génération 2 à partir des fréquences alléliques de la génération 1. La somme de toutes les fréquences génotypiques de la génération 2 est nécessairement égale à 1.

		p	q
		Allèle R	Allèle B
p	Allèle R	p^2 R//R	pq R//B
	Allèle B	pq R//B	q^2 B//B

Fréquence allélique de la génération 1 (parents)

p : fréquence de l'allèle R dans la population

q : fréquence de l'allèle B dans la population

Fréquence génotypique de la génération 2 (enfants)

p^2 : fréquence du génotype R//R dans la descendance

$2pq$: fréquence du génotype R//B dans la descendance

q^2 : fréquence du génotype B//B dans la descendance

avec :

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

Expérimentation à l'aide d'un tableau



À la génération 2, les fréquences génotypiques pour les 3 génotypes sont p^2 , $2pq$ et q^2 .

On peut en déduire les fréquences alléliques de R et B pour cette génération 2 (DOC. 2) :

$$\begin{aligned} f(R) &= f(R//R) + \frac{1}{2} f(R//B) \\ &= p^2 + \frac{1}{2} (2pq) \\ &= p(p+q) \\ &= p \end{aligned}$$

car $p + q = 1$

⇒ la fréquence de R est donc la même à la génération 2 qu'à la génération 1.

De même,

$$\begin{aligned} f(B) &= f(B//B) + \frac{1}{2} f(R//B) \\ &= q^2 + \frac{1}{2} (2pq) \\ &= q(p+q) \\ &= q \end{aligned}$$

car $p + q = 1$

⇒ la fréquence de B est donc la même à la génération 2 qu'à la génération 1.

Ainsi, dans une population où les hypothèses de la loi de Hardy-Weinberg sont respectées, les fréquences alléliques et génotypiques sont stables après une génération.

DOC 4 Prédiction des fréquences génotypiques de la génération suivante dans une population à l'équilibre de Hardy-Weinberg.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Déterminez toutes les fréquences génotypiques et les fréquences alléliques de l'exemple donné (DOC. 2).
- Indiquez les conditions sous lesquelles on peut prédire les fréquences génotypiques de la génération 2 à partir des fréquences alléliques de la génération 1 (DOC. 3).
- Calculez la fréquence de chaque génotype à la génération 2 (DOC. 4), en considérant que les fleurs présentées dans le DOC. 2 constituent la génération parent. Déduisez-en les fréquences alléliques de la génération 2 (DOC. 2 et 5).
- À partir de vos réponses à la question 3. et du DOC. 5, montrez que les fréquences alléliques et génotypiques sont constantes pour les générations 2, 3 et 4.

DOC 5 Démonstration de la loi d'Hardy-Weinberg.

ESPRIT CRITIQUE

L'équilibre de Hardy-Weinberg n'est respecté que sous des conditions précises, dans lesquelles les forces évolutives (migration, mutations, sélection naturelle, dérive génétique) n'entrent pas en jeu.

→ Ces conditions vous semblent-elles courantes dans la nature ? Justifiez.

→ Quel est alors l'intérêt de cette loi ?

Pistes de travail ► DOC. 4 p. 203

Les écarts au modèle de Hardy-Weinberg

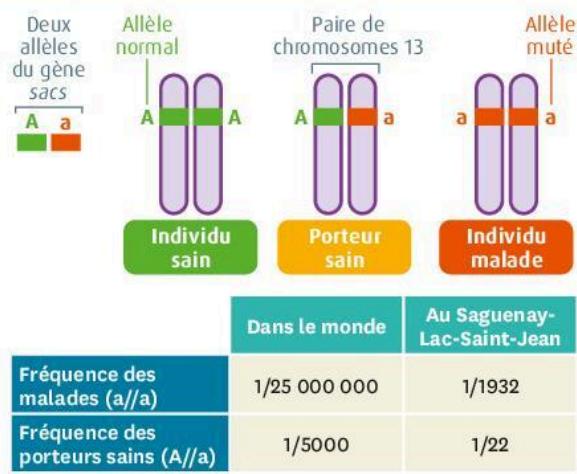
Pour de nombreux gènes dans une population, la loi de Hardy-Weinberg ne peut s'appliquer car les hypothèses de départ ne sont pas respectées. Dans ce cas, la fréquence des allèles évolue au cours du temps.

Quelles sont les forces évolutives qui expliquent les modifications des fréquences alléliques au cours du temps et comment agissent-elles ?

Interview de Christine Vassiliadis, Maître de conférences à l'Université Paris-Saclay, Orsay

La dérive génétique s'observe lorsque l'une des hypothèses de Hardy-Weinberg n'est pas respectée : la population est trop petite pour être considérée comme infinie. En effet, la reproduction sexuée opère un « tirage au sort » des allèles de chaque gène qui se retrouvent chez les enfants, puisque chaque parent ne transmet qu'un seul de ses deux allèles. Dans les populations de faible effectif, tout se passe comme s'il n'y avait pas suffisamment de tirages au sort pour que les allèles aient la même fréquence à la génération des parents et à la génération des enfants. On peut prendre l'image suivante : lorsqu'on lance seulement 10 fois une pièce non truquée, on pourra par exemple obtenir « pile » avec une fréquence de 0,8. Le « face » sera sous-représenté. Si on lance 1000 fois la même pièce, la fréquence moyenne obtenue s'écartera peu de 0,5. Avec la reproduction sexuée, il n'est plus question de pile ou de face d'un dé, mais d'allèle d'un gène. Dans les populations de faible effectif, la fréquence d'un allèle peut se trouver fortement augmentée ou diminuée par le seul hasard lié à la reproduction sexuée : c'est la dérive génétique.

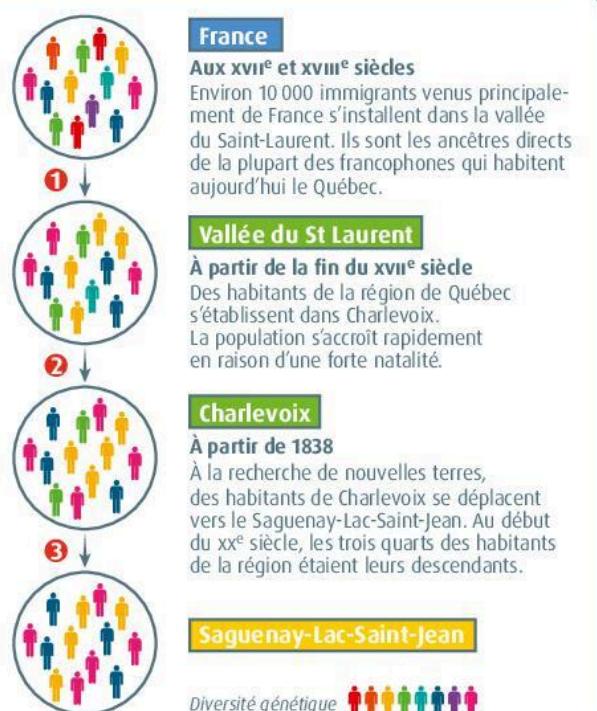
DOC 1 La dérive génétique.



DOC 2 Lataxie spastique au Québec. La population du Saguenay-Lac-St-Jean au Québec présente un grand nombre d'individus atteints d'une maladie génétique, lataxie spastique. Cette pathologie provoque entre autres des troubles de la motricité. Un seul gène, appelé *sacs*, est impliqué dans la maladie et l'allèle muté est récessif.



DOC 3 Histoire de l'établissement des Français au Saguenay-Lac-St-Jean (Québec).



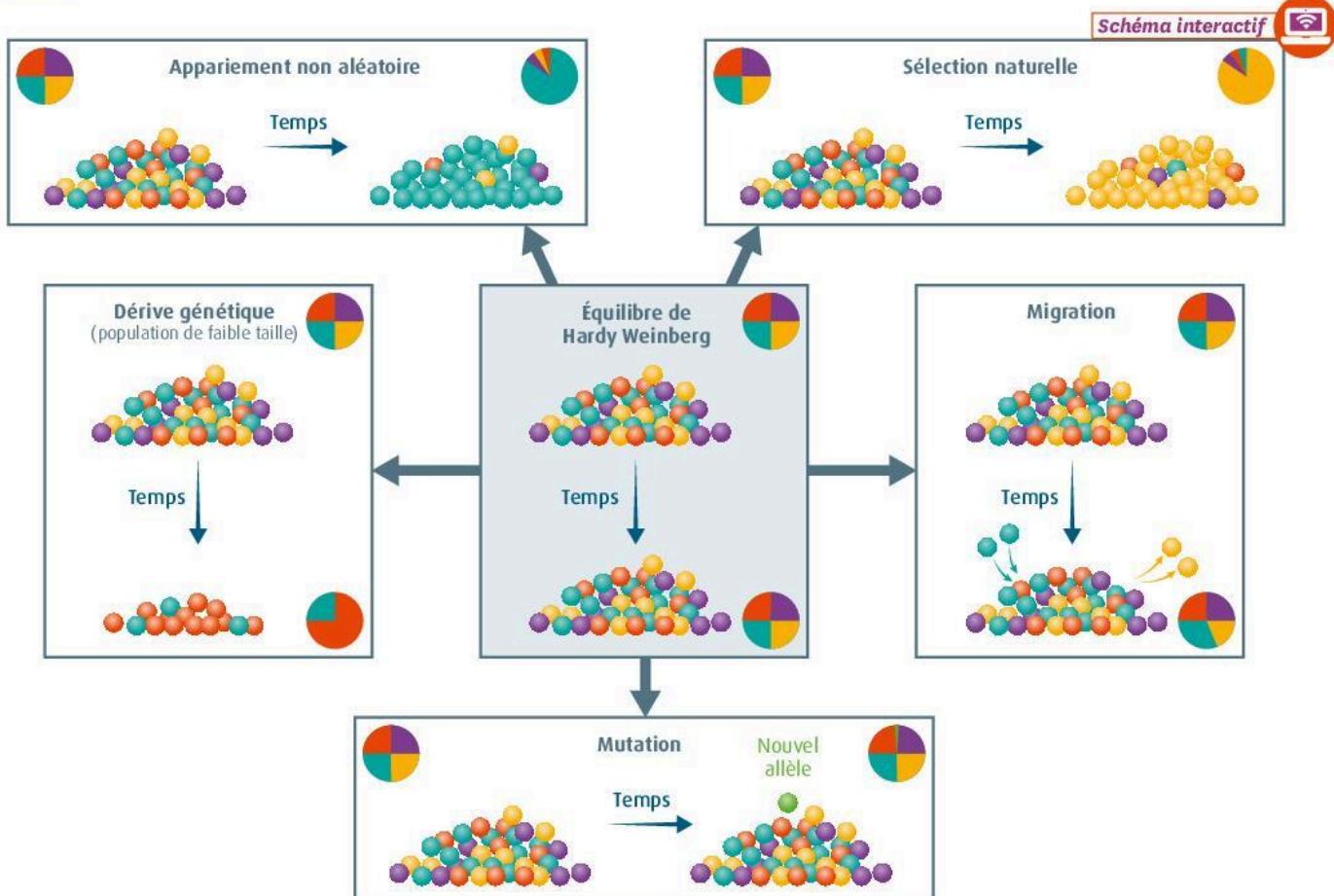


Interview de Christine Vassiliadis, Maître de conférences à l'Université Paris-Saclay, Orsay

Beaucoup de populations naturelles s'écartent de l'équilibre de Hardy-Weinberg, situation théorique. Un tel écart, quantifiable, est la signature qu'une ou plusieurs hypothèses ne sont pas remplies et qu'une ou plusieurs forces évolutives ont agi. La **reproduction** peut ainsi s'éloigner des accouplements aléatoires, par exemple dans le cas de **sélection** des partenaires. La sélection, souvent observée,

trouve parmi les différents caractères ayant une base génétique, liés à la capacité des individus à survivre et/ou se reproduire selon l'environnement. Elle aboutit à la fixation d'un allèle favorable ou à la disparition d'un allèle délétère. La **migration**, mouvement d'individus qui vont se reproduire ou de gamètes entre populations, aboutit à homogénéiser ces populations. Les **mutations**, changement aléatoire de la séquence du gène, créent de nouveaux allèles. Elles sont importantes chez de grandes populations comme les bactéries. Enfin, la **dérive génétique**, en petite population, fixera aléatoirement certains allèles.

DOC 4 Forces évolutives et équilibre de Hardy-Weinberg.



DOC 5 Les écarts à l'équilibre de Hardy-Weinberg.

Les billes de différentes couleurs représentent la diversité allélique.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Déterminez dans quelles conditions la dérive génétique peut avoir lieu ([DOC. 1](#)).
- À l'aide de la formule donnée dans le [DOC. 2](#) p. 200, calculez les fréquences de l'allèle muté à puis de l'allèle A dans le monde et au Saguenay-Lac-Saint-Jean ([DOC. 2](#)).
- Indiquez en justifiant si l'équilibre de Hardy-Weinberg est respecté pour le gène considéré dans la population du Saguenay-Lac-Saint-Jean ([DOC. 2](#)).
- Expliquez l'origine de la forte présence de cette maladie génétique dans cette région du Canada ([DOC. 3](#)).
- Expliquez dans un texte argumenté de 10 lignes maximum pourquoi l'équilibre de Hardy-Weinberg est rarement atteint dans les conditions naturelles ([DOCS 4 et 5](#)).

ESPRIT CRITIQUE

D'autres maladies héréditaires ont une prévalence plus importante dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean que dans le reste du monde.

- Qu'est-ce que la prévalence d'une maladie ?
- Montrez à partir des documents de cette double page qu'il est intéressant pour les médecins de connaître l'histoire des populations pour affiner un diagnostic.

Pistes de travail ► Recherche Internet, DOCS 1 à 5

L'impact des humains sur la biodiversité

La période que nous vivons est très souvent qualifiée de sixième crise biologique. Cette crise qui impacte lourdement la biodiversité serait principalement liée aux activités humaines.

Quels sont les impacts des activités humaines sur la biodiversité ?

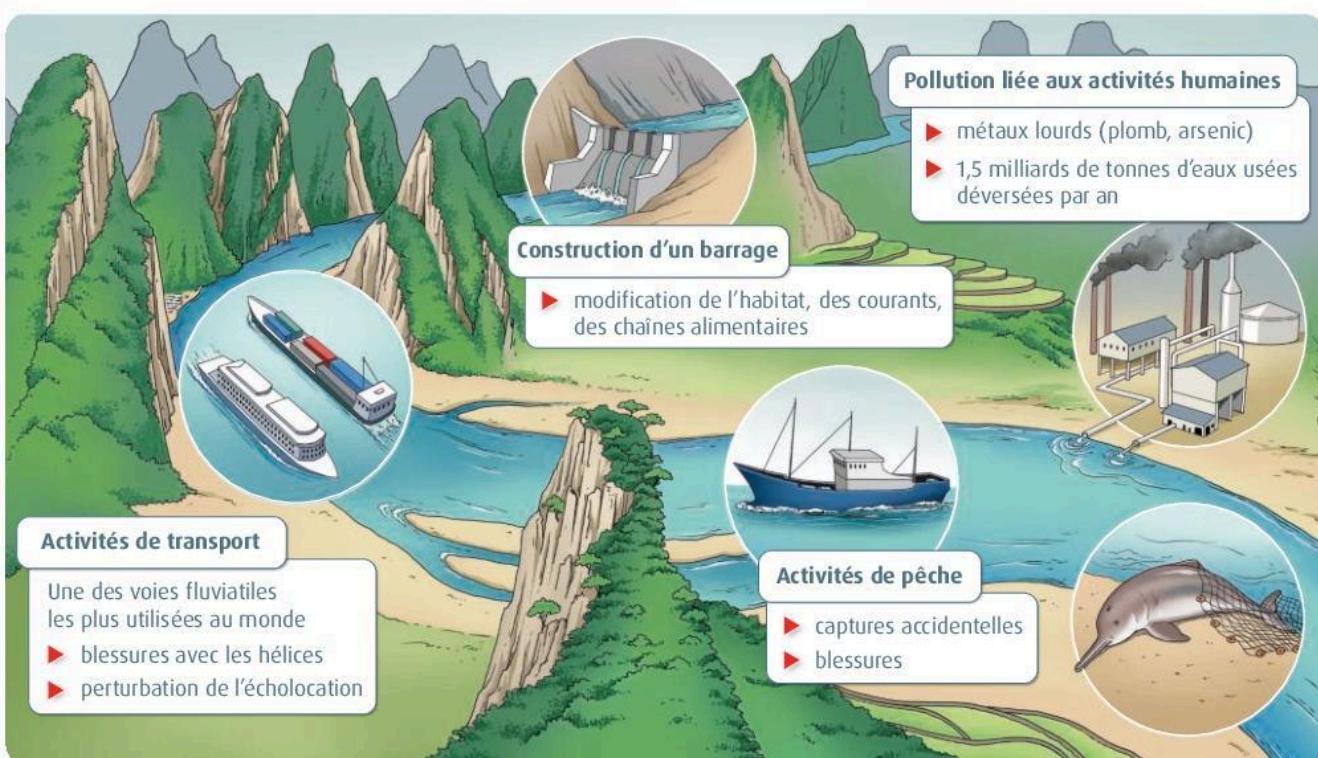


DOC 1 Le dauphin du Yang-Tsé et son habitat.

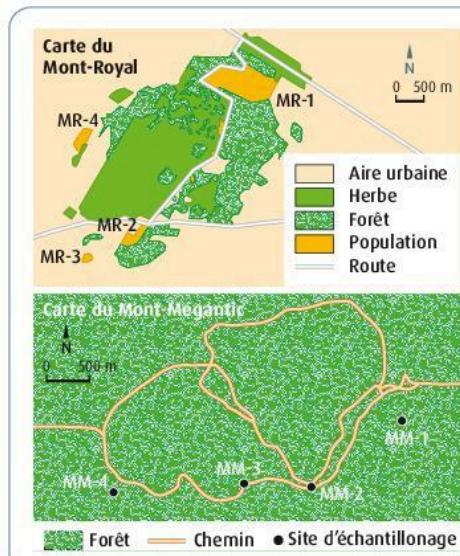
Dates	Zone étudiée (doc. 1)	Population estimée (nombre d'individus)
1985-1986	A - B	300
1987-1990	A - C	200
1997-1999	A - B	> 13
2006	A - C	0

Afin d'évaluer les populations de dauphins du Yang-Tsé, des recensements réguliers ont débuté en 1978. La plupart de ces études étaient réalisées depuis un ou plusieurs bateaux, avec à bord au moins un opérateur formé au repérage des dauphins. L'espèce a été officiellement déclarée éteinte en décembre 2006.

DOC 2 Effectifs des dauphins du Yang-Tsé. D'après Perrigon, 2014.



DOC 3 Les causes de la disparition. S'il n'a pas été chassé volontairement, le dauphin du Yang-Tsé a subi l'impact des activités humaines. Une faible diversité génétique pourrait avoir accéléré la disparition de cette espèce.



- Les salamandres cendrées sont des animaux sédentaires dont l'habitat se limite à une dizaine de mètres carrés.
- Les populations du Mont-Royal (MR-1 à MR-4), à Montréal, sont isolées les unes des autres par des routes ou des bâtiments, et sont séparées par des distances allant de 0,9 à 3,3 km.
- Les populations du Mont-Mégantic, à 200 km à l'Est de Montréal, sont continues et quatre sites d'échantillonnage ont été sélectionnés (MM-1 à MM-4) séparés par des distances allant de 0,8 à 4,1 km.
- Les salamandres ont été recueillies par recherche active sous des couverts naturels (feuilles, troncs, etc...).
- Les tailles des populations du Mont-Royal sont inférieures à la taille de la population du Mont-Mégantic.



DOC 4 Fragmentation de l'habitat chez la salamandre cendrée au Québec (Canada). D'après Noël et al., 2006.

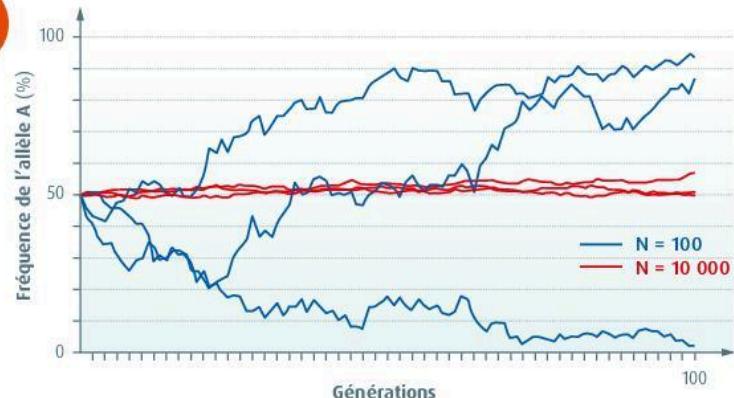
Je modélise la dérive génétique à l'aide d'un logiciel



Populations	Mont-Royal	Mont-Mégantic
Nombre d'individus	120	101
Nombre d'allèles	44	62
Indice de diversité génétique	4,18	6,82

Plus l'indice de diversité génétique est grand et plus la population présente une grande diversité génétique. La diversité génétique est étroitement liée à la capacité d'une espèce à s'adapter aux changements d'environnement. Une faible diversité génétique peut menacer la survie à long terme d'une population.

DOC 5 Diversité génétique de la salamandre cendrée dans un milieu fragmenté ou non.



Six simulations sont réalisées sur 100 générations à l'aide du logiciel «Dérive génétique». Chaque simulation est représentée par une courbe et modélise l'effet de la dérive génétique sur la fréquence d'un allèle A, présent initialement à 50 %. Trois simulations sont réalisées avec une population de grande taille ($N = 10\ 000$; courbes rouges) et trois simulations dans une population de taille plus réduite ($N = 100$; courbes bleues).

DOC 6 Evolution de la fréquence d'un allèle selon la taille de la population.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Expliquez comment les scientifiques ont conclu à la disparition du dauphin du Yang-Tsé et les causes de sa disparition (DOCS 1 à 3).
- Décrivez le protocole utilisé et indiquez les causes de la fragmentation de l'habitat des salamandres cendrées (DOC. 4).
- Après avoir comparé la diversité génétique des populations de salamandres du Mont-Royal et du Mont-Mégantic, déterminez les causes de la faible diversité génétique des salamandres du Mont-Royal (DOCS 5 et 6).
- Montrez que la dérive génétique a pu contribuer à la disparition du dauphin du Yang-Tsé (DOCS 3, 5 et 6).

ESPRIT CRITIQUE

En 2016, des écologistes chinois déclarent avoir observé un dauphin dans le Yang-Tsé, 10 ans après sa disparition officielle. Le doute concernant la disparition de cette espèce s'est alors propagé. Les scientifiques ont déclaré que cette espèce était fonctionnellement éteinte.

→ Qu'est-ce qu'une espèce fonctionnellement éteinte ?

→ Cette définition s'applique-t-elle au dauphin du Yang-Tsé ?

Pistes de travail ► Recherche Internet

La préservation de la biodiversité

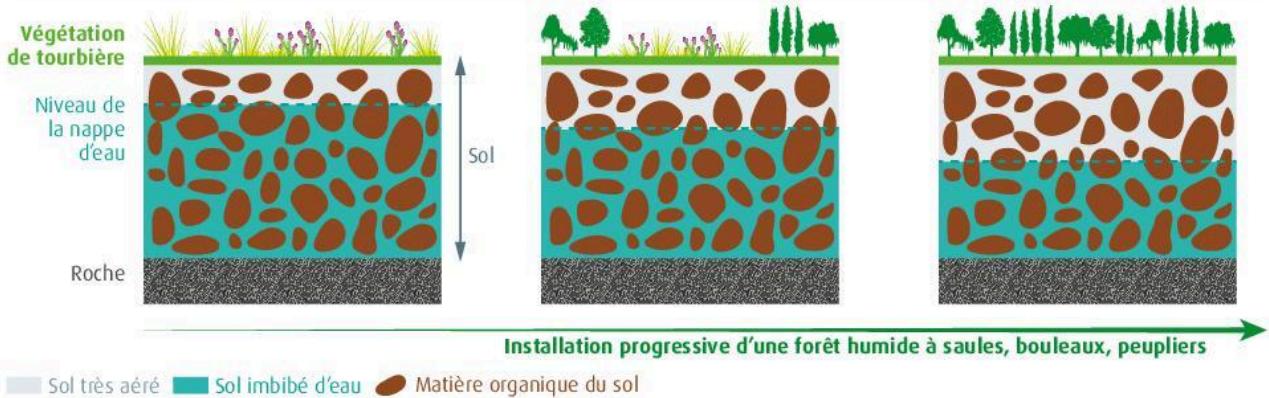
Pour être efficace, la préservation de la biodiversité exige de faire des inventaires des espèces et de déterminer les modalités de protection et de gestion de l'environnement les plus favorables à leur maintien. Ces aspects sont étudiés par la biologie de la conservation.

Quelles sont les modalités de préservation de la biodiversité ?



DOC 1 Étrépage d'une tourbière en Normandie par les membres d'une association naturaliste.

Les tourbières sont des milieux humides menacés, qui renferment une riche biodiversité. On y trouve notamment des plantes rares par ailleurs, comme les Droséra, des plantes carnivores. En France, beaucoup de tourbières sont protégées par différents statuts, comme le statut de site Natura 2000 de l'Union Européenne, ou intégrées à des réserves naturelles. L'étrépage consiste à retirer la couche superficielle du sol et à l'emmener en dehors de la tourbière.



DOC 2 La dynamique spontanée d'une tourbière. Aujourd'hui, sans intervention humaine, une tourbière se boise en quelques décennies et se transforme en forêt devenant impropre au maintien des plantes typiques des tourbières. Avant l'arrivée des humains, de grands mammifères aujourd'hui disparus (bisons d'Europe et aurochs) piétraient régulièrement les tourbières et empêchaient le développement de la forêt.

Végétation	Carré	C ₁	C ₂	Végétation	Carré	C ₁	C ₂
Hauteur moyenne de végétation (cm)		15	25	<i>Molinia caerulea</i>		++	+
Recouvrement herbacé (% de la surface du carré recouverte)		50	80	<i>Erica tetralix</i>		+	+
Recouvrement par les mousses (% de la surface du carré recouverte)		1	70	<i>Calluna vulgaris</i>		+	++
Sol nu, sans végétation (%)		50	< 5	<i>Drosera rotundifolia</i>		+	0
				<i>Juncus bulbosus</i>		0	0

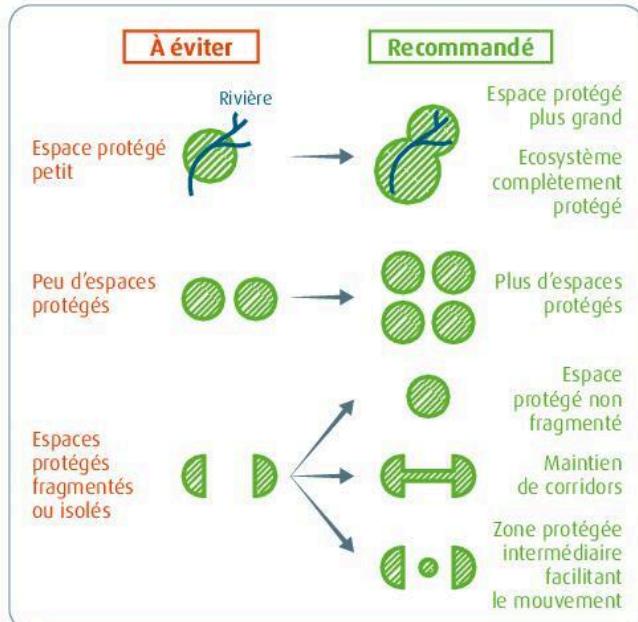
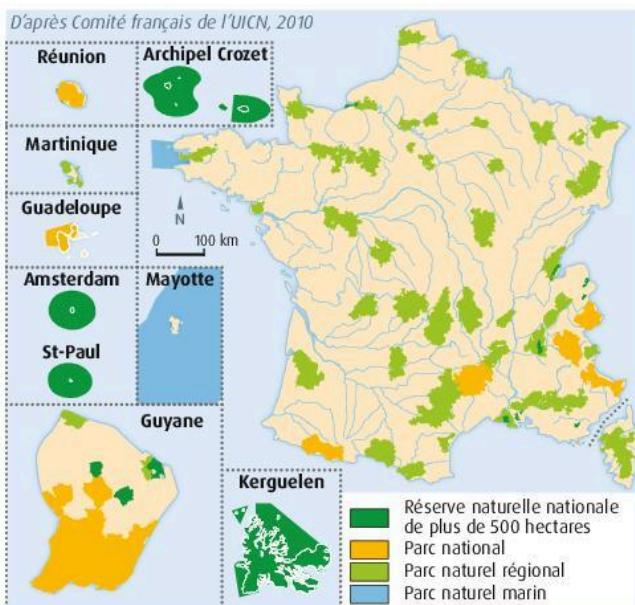
D'après Rappor Rés. Nat. des landes de Versigny, 2016.

DOC 3 Effet de l'étrépage sur l'abondance de quelques espèces herbacées caractéristiques des tourbières (tourbière de Versigny, Aisne). Deux carrés de 4 m de côté, C₁ et C₂, sont délimités. C₁ subit un étrépage mais pas C₂. Quatre ans après l'étrépage, les chercheurs comparent la végétation et comptent les plantes présentes dans les carrés. Les «+» représentent une abondance relative. Les plantes herbacées (herbes) peuvent recouvrir les mousses.

Services	Modalités
Stockage du carbone	La matière organique morte se décompose mal dans les tourbières et peut y rester plusieurs millénaires
Dépollution des eaux de ruissellement	L'eau contenant des polluants est filtrée par le sol des tourbières et les polluants sont dégradés par les microorganismes présents.
Réduction des inondations	Le sol des tourbières peut absorber des grandes quantités d'eau, jouant ainsi le rôle d'éponge gigantesque limitant les inondations sur les routes et habitations en aval.

DOC 4 Exemple de services rendus par une tourbière.

Quelques types d'aires protégées en France

**DOC 5** Principes de conception d'une aire protégée.

DOC 7 Répartition de quelques aires protégées en France. La France abrite 10 % de la biodiversité mondiale en partie dans ses territoires d'outre mer. Environ 20 % du territoire bénéficie de statut de protection dont 1,4 % en protection élevée, c'est-à-dire dans lesquelles les activités humaines sont interdites.

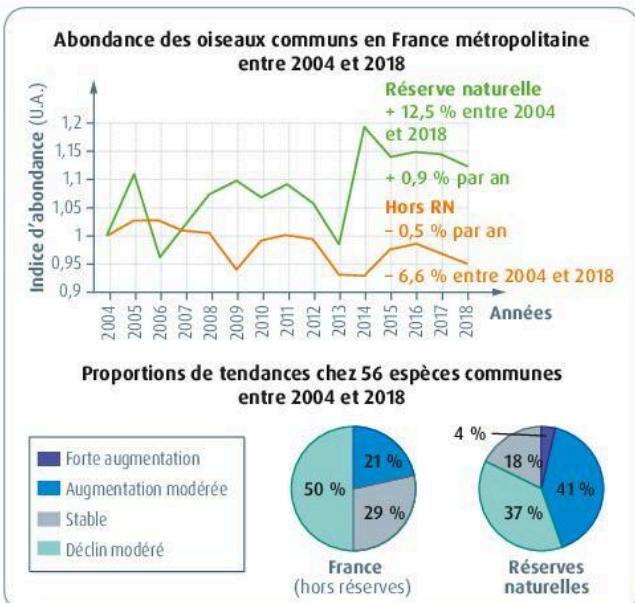
EXPLOITER LES DOCUMENTS TÂCHE COMPLEXE

À l'aide des documents de la double page, montrez que certaines actions humaines ont un impact favorisant la biodiversité.

Aide → Expliquez l'impact et l'intérêt des actions humaines sur la conservation des tourbières (DOCS 1 à 4).

→ Décrivez les différents types d'aires protégées en France et l'intérêt d'une telle diversité de protection (DOCS 1 à 8).

Les aires protégées françaises peuvent être classées en une douzaine de catégories (réserves naturelles, site Natura 2000...), dont les statuts diffèrent en fonction des objectifs et des possibilités locales. Par exemple, les parcs naturels régionaux associent la préservation et la mise en valeur du patrimoine naturel et culturel. Les activités humaines n'y sont pas exclues mais encadrées (limitation de nouvelles constructions...). En revanche, dans les réserves intégrales, les activités humaines sont interdites. Dans les zones Natura 2000, les habitats naturels sont préservés pour assurer le maintien des espèces qui en dépendent. L'impact des aires protégées se mesure grâce à différents paramètres, comme le suivi dans le temps des populations à protéger. Ainsi les effectifs des oiseaux communs (DOC. 8) donnent une idée de l'efficacité des mesures de protection, les oiseaux étant de bons indicateurs de l'état général de la biodiversité. De la même façon, le suivi des papillons de jours depuis 1994 a montré une augmentation des effectifs de 18 % dans les réserves françaises, contre une baisse de 11 % sur l'ensemble du territoire et de 26 % dans les espaces agricoles.

DOC 6 Les aires protégées en France.

DOC 8 Conséquences des réserves naturelles sur les populations d'oiseaux communs. Cette étude réalisée en 2019 utilise les données du programme STOC (DOC. 2 p. 194) entre 2004 et 2018. Elle réunit plus de 200 000 observations sur plus de 200 espèces en France métropolitaine.

D'après Rés. Nat. France, 2019

ESPRIT CRITIQUE

Il existe différentes mesures de protection de la biodiversité.

→ Mais dans le fond, à quoi ça sert de protéger la biodiversité ?

Vous argumenterez votre réponse à partir de trois exemples choisis et détaillés.

Pistes de travail ► Recherche Internet

1. Estimer la biodiversité d'un milieu

- ▶ La biodiversité, ou diversité du vivant, peut être décrite à l'échelle des écosystèmes, des espèces et des individus. Les millions d'espèces décrites ne représentent qu'une faible proportion de la biodiversité sur Terre. La **richesse spécifique** représente le nombre d'espèces d'un milieu. Pour l'estimer, les scientifiques réalisent des échantillonnages : piégeages, observations, écoutes ou prélèvements d'ADN environnemental pour détecter des espèces difficilement observables. > **Unité 1**
- ▶ L'**abondance** représente le nombre d'individus d'une population. On peut l'estimer avec la méthode de capture-marquage-recapture. Si on suppose que la proportion d'individus marqués est identique dans l'échantillon de recapture et dans la population totale, on estime l'effectif de la population par proportionnalité. > **Unité 2**
- ▶ Comme l'échantillon n'est pas strictement représentatif de la population, le calcul de l'effectif d'une population est assorti d'une incertitude : c'est la **fluctuation d'échantillonnage**. À l'aide de l'écart-type de la proportion d'individus marqués dans l'échantillon, on calcule l'intervalle de confiance au sein duquel on espère que l'effectif de la population se trouve. Pour un niveau de confiance donné, l'estimation est d'autant plus précise que la taille de l'échantillon est grande. > **Unité 3**

2. La composition génétique des populations au cours du temps

- ▶ La diversité génétique des individus s'explique par la présence de différentes versions d'un même gène : les allèles. On décrit une population par la fréquence des allèles et des génotypes présents. Le modèle mathématique de **Hardy-Weinberg** prédit que la structure génétique (fréquences allélique et génotypique) d'une population de grand effectif est stable au cours du temps. Cet **équilibre théorique** repose sur certaines conditions : reproduction aléatoire, absence de migration, de mutation et de sélection naturelle. > **Unité 4**
- ▶ Contrairement à ce que prédit le modèle de Hardy-Weinberg, la composition génétique des populations d'une espèce change de génération en génération. Cela s'explique par le fait que les conditions du modèle sont rarement respectées. Les populations subissent le plus souvent les effets de **forces évolutives** (sélection naturelle, dérive génétique, mutations, migration, appariements non aléatoires). > **Unité 5**

3. L'impact des humains sur la biodiversité

- ▶ Par la pollution, l'urbanisation, le réchauffement climatique ou la surexploitation, les activités humaines entraînent la destruction d'écosystèmes. L'abondance des espèces peut alors diminuer dramatiquement, ce qui conduit à leur **extinction**. La fragmentation des milieux, par exemple par le passage de routes, entraîne une fragmentation des populations. Une abondance plus faible au sein d'une population favorise la dérive génétique, qui résulte en la perte de certains allèles, conduisant à un appauvrissement de la diversité génétique > **Unité 6**
- ▶ La connaissance des écosystèmes et de leur fonctionnement permet de mettre en place des mesures de protection de la biodiversité. Des **aires protégées** comme les réserves ou les parcs naturels préservent les écosystèmes et leurs espèces. La connaissance de l'abondance des espèces permet de les placer (le cas échéant) sur la liste des espèces en danger et de les protéger au niveau international. > **Unité 7**

Les mots-clés du chapitre

- **Richesse spécifique :** Nombre d'espèces présentes dans un milieu.
- **Abondance :** Nombre d'individus au sein d'une espèce.
- **Fluctuation d'échantillonnage :** Le fait qu'une proportion observée varie d'un échantillon à l'autre.
- **Équilibre de Hardy-Weinberg :** La structure génétique d'une population de grand effectif est stable d'une génération à l'autre sous certaines conditions (pas de forces évolutives en jeu).
- **Force évolutionnaire :** Processus de modification des êtres vivants au cours des générations, par mutation, sélection naturelle, dérive génétique et/ou migration
- **Extinction :** Disparition d'une espèce constatée par l'absence d'observations de ses individus.
- **Aire protégée :** Espace géographique défini, géré afin d'assurer la protection d'un habitat et des espèces qui y résident.

Ne pas confondre

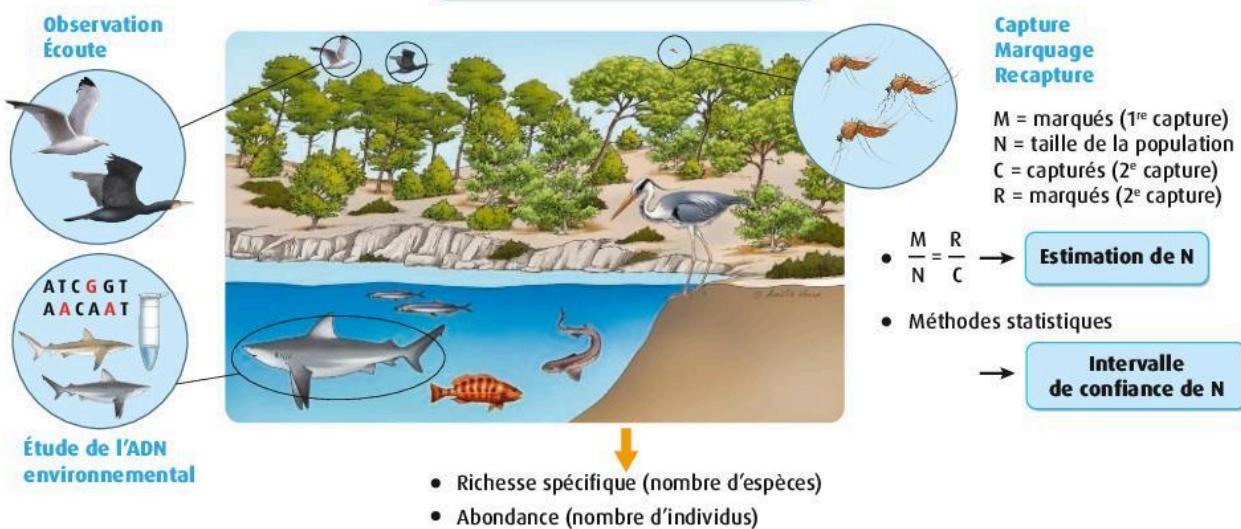
- **Fréquence allélique :** Fréquence des allèles dans une population, sans tenir compte de leur répartition chez les individus.
- **Fréquence génotypique :** Fréquence des génotypes (= combinaison de 2 allèles chez un individu) dans la population.

l'essentiel par l'image

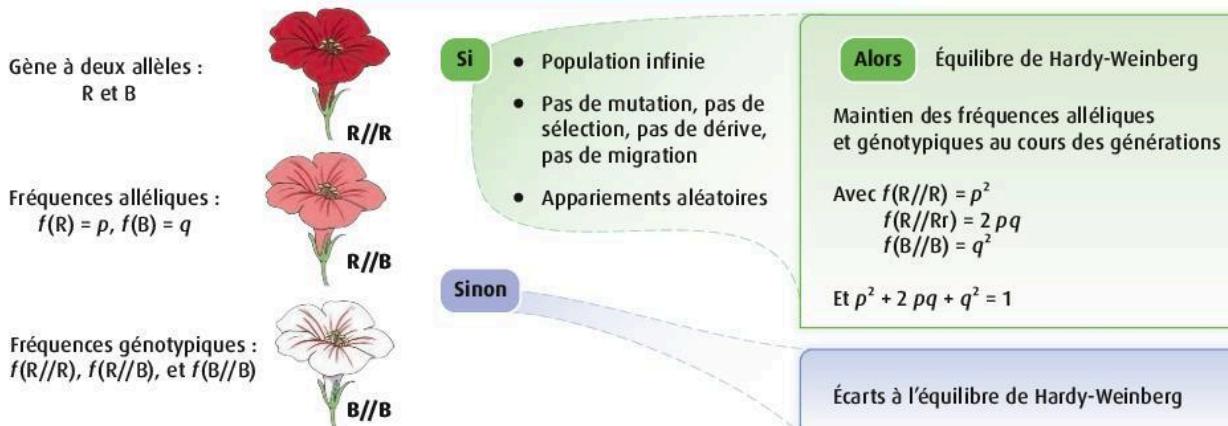
Schéma interactif



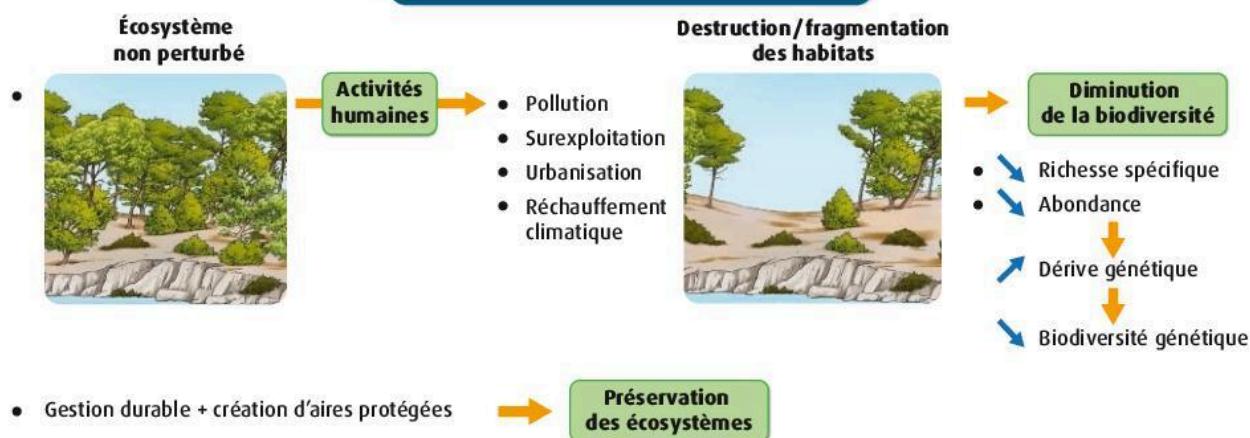
Évaluer la biodiversité



Structure génétique des populations



Les humains et la biodiversité



Mémoriser son cours

Exercices corrigés



Pour mémoriser l'essentiel du cours, posez-vous régulièrement ces questions et vérifiez vos réponses.

1. Comment définit-on la biodiversité d'un milieu?
2. Comment peut-on mesurer la biodiversité d'un milieu et son évolution au cours du temps?
3. Quel est le principe de la méthode de capture-marquage-recapture? Illustriez votre réponse à l'aide d'un schéma.
4. Qu'appelle-t-on la fluctuation d'échantillonnage?
5. Quelles sont les conditions requises pour qu'une population soit à l'équilibre de Hardy-Weinberg?
6. Les activités humaines ont-elles des conséquences sur la biodiversité? Justifiez votre réponse à l'aide de trois exemples précis.

Pour s'échauffer

Exercices interactifs corrigés



1 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1. La richesse spécifique d'un milieu représente:

- a. le nombre d'individus d'une population.
- b. le nombre de populations vivant dans différents milieux.
- c. le nombre d'espèces présentes dans ce milieu.
- d. le pourcentage d'espèces en danger dans un milieu donné.

2. L'abondance est:

- a. le nombre d'individus d'une population.
- b. le nombre de populations vivant dans différents milieux.
- c. le nombre d'espèces présentes dans ce milieu.
- d. le pourcentage d'espèces en danger dans un milieu donné.

3. La méthode de capture-marquage-recapture (CMR) repose sur le fait que:

- a. la proportion d'individus marqués capturés est identique à la proportion d'individus marqués dans la population totale.
- la proportion d'individus marqués capturés est identique à la proportion d'individus non marqués dans la population totale.
- b. les proportions d'individus marqués et non marqués sont identiques.
- c. la population totale possède initialement des individus marqués.

4. L'ADN environnemental:

- a. permet de détecter la présence d'espèces sur un temps très long.
- b. se dégrade rapidement dans l'environnement, surtout en milieu aquatique.
- c. est constitué d'ADN intracellulaire et extracellulaire.
- d. est utilisé pour estimer la richesse spécifique d'un milieu.

5. Dans le modèle théorique de Hardy-Weinberg:

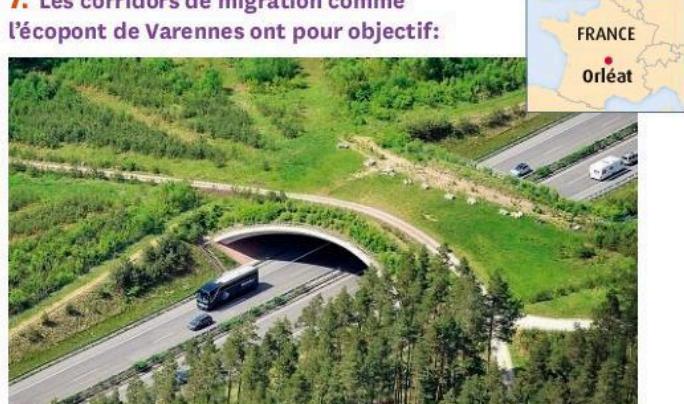
- a. les fréquences alléliques et génotypiques varient au cours du temps.
- b. la structure génétique de la population n'est pas prévisible.

- c. les fréquences alléliques et génotypiques sont stables au cours du temps.
- d. seules les fréquences alléliques sont stables au cours du temps.

6. La fragmentation d'une population en plusieurs échantillons de faibles effectifs:

- a. entraîne un enrichissement de la diversité génétique par dérive génétique.
- b. entraîne un appauvrissement de la diversité génétique par dérive génétique.
- c. n'a d'impact que sur l'abondance de l'espèce mais pas sur les fréquences alléliques.
- d. augmente la diversité génétique par sélection naturelle.

7. Les corridors de migration comme l'écopont de Varennes ont pour objectif:



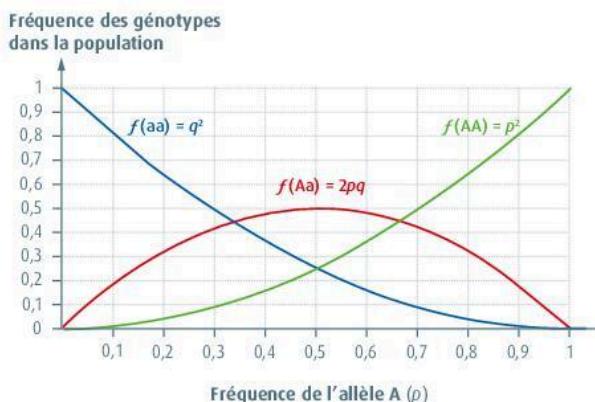
Écopont de Varennes sur la commune d'Orléat (Puy-de-Dôme)

- a. d'augmenter l'abondance des espèces du milieu.
- b. de limiter la fragmentation des populations.
- c. de rétablir la continuité des échanges génétiques entre les populations de part et d'autre de la route.
- d. d'augmenter la dérive génétique des populations animales voisines.

► CORRECTION p. 321

2 Vrai/faux

Identifiez les bonnes réponses et correz les fausses.
Lorsqu'une population est à l'équilibre de Hardy-Weinberg, on peut déterminer la fréquence génotypique en connaissant la fréquence allélique. Le graphique ci-dessous résume la relation entre ces 2 fréquences.



D'après ce graphique :

- la fréquence des individus A//a est la plus élevée lorsque la fréquence q vaut 0,5 .
- lorsque la fréquence q est inférieure à 0,3, il y a plus d'individus A//a que d'individus A//A.
- il n'existe aucune fréquence p pour laquelle les fréquences des génotypes A//A et A//a sont identiques.
- lorsque q vaut 1, il n'y a que des individus de génotype a//a.

3 Qui suis-je ?

- Le nombre d'espèces dans un milieu donné.
- Le nombre d'individus d'une population.
- Un modèle prédisant la stabilité génétique d'une population pour un gène donné, sous certaines conditions.
- La cause de l'appauvrissement de la diversité génétique observé dans les populations de faible effectif.

4 Écart-type et intervalle de confiance

Parmi 900 poissons pêchés dans un lac, on a observé 180 poissons porteurs de parasites.

- Calculez la proportion des individus parasités dans la population.
- Calculez l'écart-type de cette proportion (Aide: [DOC. 2](#) p.198).
- Déterminez l'intervalle de confiance à 95 % associé à cette proportion (Aide: [DOC. 5](#) p.199).

5 Capture-marquage-recapture

On désire évaluer le nombre N d'individus d'une espèce animale vivant sur une île. Pour cela, on capture 800 individus ; ces individus sont marqués, puis relâchés. On recapture ultérieurement 1000 animaux parmi lesquels on dénombre 250 animaux marqués.

- Estimez la taille de cette population animale.
- À l'aide de la formule du [DOC. 5](#) p.199, donnez l'intervalle de confiance à 95 % pour la taille de cette population.

6 Fréquences alléliques dans le maïs

Aux USA, l'étude d'une population de 1000 individus de maïs donne les fréquences génotypiques suivantes pour un gène donné:

Génotype	(B//B)	(B//b)	(b//b)
Fréquence observée	0,35	0,5	0,15

Question : Calculez les fréquences alléliques des allèles B et b.

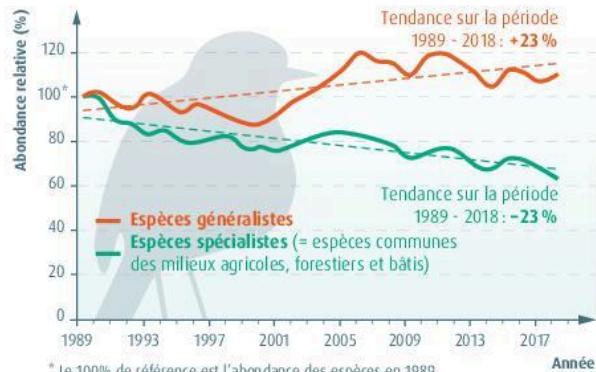
7 Albinisme

Chez les humains, on considère que le gène de la pigmentation de la peau est présent sous la forme de deux allèles: l'allèle A dominant et l'allèle a responsable de l'albinisme chez les homozygotes a//a. Des recherches montrent que la fréquence relative de l'allèle a est $q = 0,005 \%$.

- Calculez la fréquence p de l'allèle A.
- En supposant que la population est à l'équilibre de Hardy-Weinberg pour ce gène, calculez la fréquence relative des hétérozygotes A//a, porteurs sains du caractère d'albinisme.

8 Des oiseaux et des humains

Les espèces spécialistes d'un habitat ont des exigences écologiques plus strictes que les espèces généralistes. Une diminution de l'abondance des espèces spécialistes est le reflet d'une perturbation des habitats, par exemple une diminution des ressources alimentaires, des sites de nidification, ou une augmentation du dérangement.



D'après Programme STOC, Vigie Nature

Question : À l'aide du texte et du graphique, décrivez et expliquez les évolutions de l'abondance des oiseaux spécialistes et généralistes en France métropolitaine.

9 Aires protégées

On considère une zone fragmentée en deux espaces protégés de petite taille, comme schématisé ici.

Espaces protégés fragmentés ou isolés



- Expliquez en une ou deux phrases le problème que pose la fragmentation des écosystèmes pour la biodiversité.
- À l'aide d'un schéma, représentez deux solutions qui permettraient de protéger davantage la biodiversité de ce milieu, pour des espèces animales se déplaçant par exemple.

10 Effectuer et contrôler des calculs, présenter une démarche de manière argumentée

Molécules à la surface des globules rouges

On cherche à établir si des populations sont à l'équilibre de Hardy-Weinberg concernant un gène codant des molécules à la surface des globules rouges. Il existe deux allèles pour ce gène, l'allèle M et l'allèle N. Une étude menée en 1958 dans la ville minière de Ashibetsu au Japon révèle la répartition suivante des génotypes dans la population.

Génotype	Nombre d'individus
MM	406
MN	744
NN	332
Total	1482



QUESTIONS

- Calculez les fréquences des allèles M et N dans la population.
- À partir des fréquences alléliques, calculez les fréquences génotypiques théoriques, c'est-à-dire si la population était à l'équilibre de Hardy-Weinberg.
- Comparez les fréquences génotypiques théoriques avec les fréquences génotypiques observées. Déduez-en si la population respecte l'équilibre de Hardy-Weinberg pour ce gène.

Comme chaque individu a deux allèles, il y a au total deux fois plus d'allèles que d'individus dans la population.

Si les fréquences génotypiques théoriques (de la génération suivante) sont les mêmes que les fréquences génotypiques observées, alors la population est à l'équilibre de Hardy-Weinberg pour le gène considéré.

Si la population est à l'équilibre de Hardy-Weinberg, les fréquences génotypiques et alléliques sont stables d'une génération à l'autre. On calcule donc les fréquences génotypiques de la génération suivante à partir des fréquences alléliques calculées à la question 1.

RÉSOLUTION

1. Calcul des fréquences alléliques des allèles M et N

Il y a 1482 individus donc $1482 \times 2 = 2964$ allèles dans cette population.

Les individus de génotype MM possèdent 2 allèles M et ceux de génotypes MN n'en possèdent qu'un.

La fréquence p de l'allèle M est donc:

$$f(M) = p = \frac{2 \times 406 + 744}{2964} = 0,525.$$

La fréquence q de l'allèle N est donc:

$$f(N) = q = 1 - p = 1 - 0,525 = 0,475.$$

2. Calcul des fréquences génotypiques théoriques (à l'équilibre de Hardy-Weinberg)

À l'équilibre de Hardy-Weinberg, les fréquences génotypiques théoriques de la génération 2 calculées à partir des fréquences alléliques de la génération 1 sont:

- p^2 pour le génotype MM,
- q^2 pour le génotype NN
- $2pq$ pour le génotype MN.

Les fréquences génotypiques théoriques sont donc:

Génotype	Fréquence théorique	Application numérique
MM	p^2	$0,525^2 = 0,276$
MN	$2pq$	$2 \times 0,525 \times 0,475 = 0,498$
NN	q^2	$0,475^2 = 0,226$
Total	$p^2 + 2pq + q^2 = 1$	$0,276 + 0,498 + 0,226 = 1$

3. Comparaison des fréquences génotypiques observées et des fréquences génotypiques théoriques à l'équilibre de Hardy-Weinberg

Génotype	Fréquences observées	Fréquences calculées
MM	$406/1482 = 0,274$	0,276
MN	$744/1482 = 0,502$	0,498
NN	$332/1482 = 0,224$	0,226
Total	1	1

Les fréquences génotypiques et calculées étant très proches, on peut conclure que la population étudiée est à l'équilibre de Hardy-Weinberg.

Exercices d'application

Méthode

11 Effectuer et contrôler des calculs, présenter une démarche de manière argumentée

Gène de la calpastatine chez le mouton



Le gène de la calpastatine (*cast*) a un effet majeur sur la croissance musculaire et la tendreté de la viande après l'abattage. Il est situé sur le cinquième chromosome chez le mouton. Deux allèles, M et N, ont été identifiés pour ce gène, l'allèle M provoquant une croissance plus importante des moutons. Certaines populations de moutons ont subi une sélection pour obtenir des moutons de poids plus important. Il a été démontré que les moutons de génotypes NN avaient le plus souvent un poids inférieur aux moutons des autres génotypes. Des échantillons de sang ont été prélevés sur 720 animaux au total provenant des populations de moutons de Kivircik (KIV) et Karacabey Merino (KM) en Turquie.

Races de moutons	Génotypes			Total
	MM	MN	NN	
KIV	245	79	12	336
KM	166	65	17	248

D'après Yilmaz et al., 2014.

QUESTION

À partir de ces données, montrez que l'une de ces populations n'est pas à l'équilibre de Hardy-Weinberg et expliquez les raisons probables de cet écart.

AIDE

1. Je calcule les fréquences alléliques pour chacune des populations
2. À partir des fréquences alléliques, je calcule les fréquences génotypiques théoriques dans le cas où l'équilibre de Hardy-Weinberg est respecté.
3. Je compare les fréquences génotypiques théoriques et observées afin de conclure.
4. Je cherche dans l'énoncé quel principe de Hardy-Weinberg n'est pas respecté.

12 Effectuer et contrôler des calculs, présenter une démarche de manière argumentée

Étude d'une population de lamier

Lamium amplexicaule est une plante que l'on trouve dans la région de Montpellier. Sa population est importante puisqu'on trouve plusieurs centaines d'individus autour de Montpellier.

La particularité de cette plante est qu'elle montre deux types de fleurs :

- des fleurs cléistogames qui restent fermées et imposent l'autofécondation à l'intérieur de la fleur;
- des fleurs ouvertes dites chasmogames qui permettent une fécondation entre les individus.



Les chercheurs s'intéressent à un gène qui est neutre pour la plante, c'est-à-dire que sa présence n'est ni avantageuse, ni désavantageuse pour un individu. Ce gène existe sous deux formes, les allèles A et a.

Un échantillon de N = 39 individus est prélevé aléatoirement dans cette population.

Génotypes	Homozygote	Hétérozygote	Homozygote
	AA	Aa	aa
Effectifs observés dans l'échantillon	4	1	34

D'après Stojanova et al., 2013.

QUESTIONS

1. Calculez l'effectif théorique de chaque génotype de l'échantillon dans l'hypothèse où l'équilibre de Hardy-Weinberg serait respecté.
2. Montrez que l'échantillon de *Lamium amplexicaule* ne respecte pas l'équilibre de Hardy-Weinberg pour le gène étudié.
3. À partir des données de l'énoncé, formulez une hypothèse pour indiquer quelle condition de l'équilibre de Hardy-Weinberg n'est pas respectée. Justifiez votre réponse.

Tester ses compétences

13 Effectuer et contrôler des calculs

Estimer l'effectif d'une population de baleines



L'intervalle de confiance à 95 % pour N est donné par la formule :

$$[N_{\text{inf}}; N_{\text{sup}}] = \left[\frac{M}{p_{\text{éch}} + 2s_{\text{éch}}}; \frac{M}{p_{\text{éch}} - 2s_{\text{éch}}} \right]$$

Avec $p_{\text{éch}} = \frac{R}{C}$ et $s_{\text{éch}} = \sqrt{\frac{p_{\text{éch}} \times (1 - p_{\text{éch}})}{C}}$

DOC 2 Intervalle de confiance à 95 % pour N.

AIDE

- J'établis la relation entre N, M, C et R (voir DOC. 1 p. 196).

Le Rorqual de Bryde est un cétacé que l'on trouve dans les eaux tropicales et subtropicales. Une étude a évalué la population de ces baleines dans le golfe de Thaïlande entre 2011 et 2013. Les baleines ne sont pas physiquement marquées : les photographies prises depuis le bateau permettent de les identifier en utilisant des marques naturelles propres à chaque individu. Lorsqu'une baleine est identifiée pour la première fois, elle est dite marquée (M). L'année suivante, les baleines sont observées (C) et si une baleine correspond à une baleine vue l'année précédente elle est dite capturée marquée (R).

	Marqué (M)	Capturé (C)	Capturé marqué (R)
2011	24	32	21
2012	32	30	26
2013	30	34	26

DOC 1 Protocole et données pour estimer l'effectif d'une population de baleines au large de la Thaïlande. D'après Cherdskajai et al, 2015.

QUESTIONS

- Estimez la taille N de la population de baleines à l'aide du tableau. Commentez l'évolution de N au cours du temps. Ces données vous semblent-elles suffisantes pour conclure ?
- Expliquez pourquoi la taille N calculée dans la question 1 est une estimation et non une valeur exacte.
- Pour chaque année, calculez les bornes de l'intervalle de confiance à 95 % au sein duquel on espère que N se trouve. Commentez votre résultat.

14 Interpréter des résultats et en tirer des conclusions

Estimer la richesse spécifique de poissons

Afin d'analyser les espèces de poissons vivant dans l'estuaire de deux fleuves de Grande-Bretagne, la Tees et la Tweed, des scientifiques ont analysé l'ADN présent dans l'estomac de crevettes grises. Celles-ci se nourrissent en effet de poissons morts.

Les chercheurs ont ensuite comparé cette méthode

à l'étude de l'ADN environnemental trouvé dans l'eau et les sédiments. Par ailleurs, la pêche au filet au niveau de l'estuaire de ces deux fleuves a permis d'identifier 9 espèces de poissons, dont 6 pour lesquelles l'ADN n'a pas été détecté par les autres méthodes.



Estomac	Eau	Sédiments
<i>Salmo salar</i>		
<i>Dicentrarchus labrax</i>		
<i>Salmo trutta</i>		
<i>Scomber scombrus</i>	<i>Barbatula barbatula</i>	
<i>Trachurus trachurus</i>	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	
<i>Trisopterus minutus</i>		
<i>Squalius cephalus</i>		
<i>Syngnathus typhle</i>	<i>Gobio gobio</i>	
<i>Taurulus bubalis</i>	<i>Gobius paganellus</i>	
	<i>Lampræta fluviatilis</i>	

DOC 1 Espèces de poissons détectées par les trois méthodes utilisant l'ADN.

QUESTIONS

- À l'aide de vos connaissances, schématissez le principe de l'étude de l'ADN environnemental.
- Déterminez les avantages et les inconvénients de chaque méthode : ADN environnemental dans l'eau et les sédiments, ADN stomachal et pêche au filet.
Vous présenterez vos résultats sous forme de tableau.

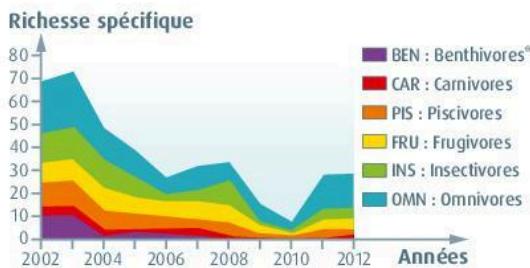
AIDE

- Je note le nombre d'espèces pour chaque méthode et compare les résultats.

15 Mettre en relation des informations issues de documents

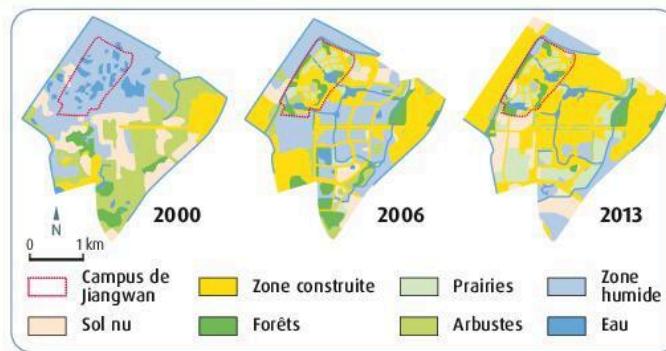
Construction de la ville de Jiangwan

La ville nouvelle de Jiangwan se trouve au Nord-Est de la ville de Shanghai, en Chine, et couvre une superficie de 6,56 km². Cette zone a rapidement évolué notamment après la construction d'un campus universitaire.



DOC 2 Évolution de la richesse spécifique des oiseaux dans la zone étudiée.

*se nourrissent d'espèces vivant au fond de l'eau.



DOC 1 Construction de la ville de Jiangwan.

QUESTION

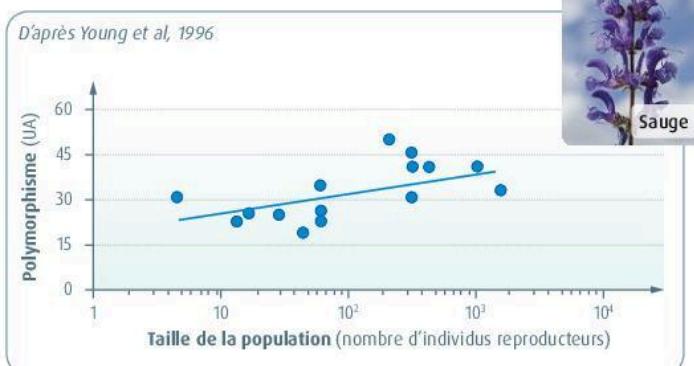
Après avoir décrit les modifications environnementales de la zone étudiée, décrivez les conséquences sur la richesse spécifique des oiseaux. Formulez une hypothèse pour expliquer vos observations.

16 Mettre en relation des informations issues de documents

Taille des populations et diversité génétique

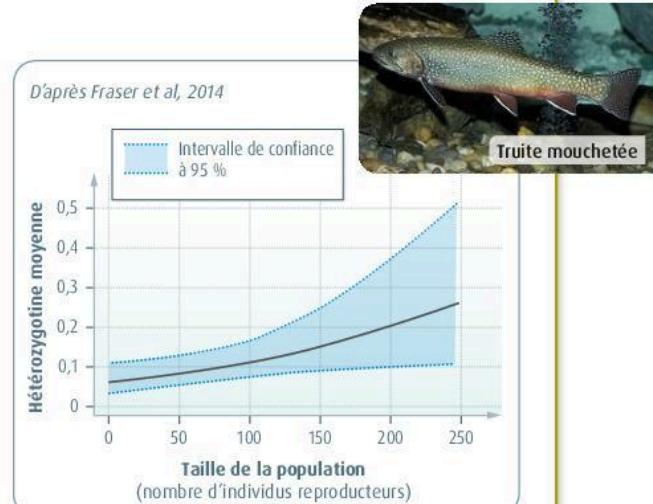
Ci-dessous sont présentés les résultats de deux études distinctes qui s'intéressent à l'effet de la diminution de la taille des populations sur la diversité génétique.

DOC 1 Effet de la taille de la population sur l'hétérozygotie moyenne des gènes de la truite mouchetée (*Salvelinus fontinalis*). L'hétérozygotie moyenne représente le nombre moyen de gènes hétérozygotes dans l'espèce étudiée. Plus cet indicateur est élevé, plus la diversité génétique est importante dans la population.



DOC 2 Polymorphisme en fonction de la taille de la population chez la sauge commune (*Salvia pratensis*).

La diversité génétique des plantes est estimée par le polymorphisme. On compare les séquences des mêmes parties du génome dans une population. Plus ces séquences diffèrent d'un individu à l'autre, plus la diversité génétique est importante.



QUESTIONS

1. D'après vos connaissances, expliquez en quelques lignes en quoi la fragmentation d'un milieu peut conduire à la réduction de taille d'une population.
2. À partir des résultats des **DOCS 1 et 2**, montrez que la réduction de taille d'une population a un effet sur la diversité génétique.
3. D'après vos connaissances, quel mécanisme permet d'expliquer la variation des fréquences alléliques dans les populations de petite taille?

17 Exploiter des documents, rédiger une argumentation scientifique**Estimer la survie de la phalène du bouleau**

La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Le jour, il se repose sur des troncs d'arbre et est alors exposé aux prédateurs. La couleur du corps et des ailes de ce papillon est un caractère héréditaire.

En 1848, on remarque pour la première fois dans la région de Manchester (Angleterre) l'existence deux formes ou morphes de ce papillon. Un morphé clair (ailes et corps blancs) et un morphé foncé (ailes et corps noirs). À cette époque, les grandes villes d'Angleterre connaissent une forte industrialisation, avec une utilisation massive de charbon comme source d'énergie. Il en résulte une pollution de l'air importante avec des dépôts de particules sombres dans l'environnement.



	Birmingham (régions polluée)		Dean End Wood (région non polluée)	
	typica	carbonaria	typica	carbonaria
Lâchés	64	154	496	473
Recapaturés	16	82	62	30

Pour estimer la survie des papillons dans le milieu naturel, le chercheur Kettlewell et son équipe réalisent une étude dans les années 1950. Les scientifiques lâchent des papillons marqués dans une région polluée ou non. Ils capturent la nuit suivante des papillons en ne s'intéressant qu'aux papillons marqués. Si la survie des papillons est identique, les chercheurs devraient théoriquement retrouver la même proportion d'individus recapturés par rapport au nombre d'individus lâchés pour chaque morphé.

Formes carbonaria et typica de la phalène du bouleau sur un tronc d'arbre dans une zone polluée. Dans les zones non polluées, les troncs d'arbres sont beaucoup plus clairs. Des oiseaux peuvent se nourrir de papillons posés sur les troncs des arbres durant la journée.

DOC 1 Formes carbonaria et typica.**DOC 2 Estimation de la survie des formes carbonaria et typica selon l'environnement.**

- S1 : Simulation avec une mortalité uniquement liée à la prédatation par les oiseaux
- S2 : Simulation avec une mortalité liée à la prédatation et à la migration
- S3 : Simulation avec une mortalité liée à la prédatation, à la migration et à une sélection indépendante de la prédatation
- Observations

DOC 3 Mortalité des morphes carbonaria en fonction de la distance à Liverpool.

La fréquence des carbonaria diminue lorsque l'on s'éloigne de Liverpool pour aller dans la campagne. Ce phénomène s'appelle une cline. En 1990, des chercheurs réalisent différentes simulations pour reproduire la cline observée et ainsi déterminer les critères qui participent à la mise en place de cette cline.

QUESTIONS

1. Calculez pour chaque localisation le pourcentage d'individus recapturés de chaque morphé.
2. Proposez une explication à ces observations à partir des informations des **DOCS 1 et 3**.

18 Exploiter des documents, formuler des hypothèses

Les mangroves d'Asie du Sud-Est

Les forêts de mangroves sur les littoraux d'Asie du Sud-Est sont très riches en biodiversité et fournissent de multiples services écosystémiques dont dépendent des millions de personnes. Leur exploitation par les humains a des conséquences sur la biodiversité.

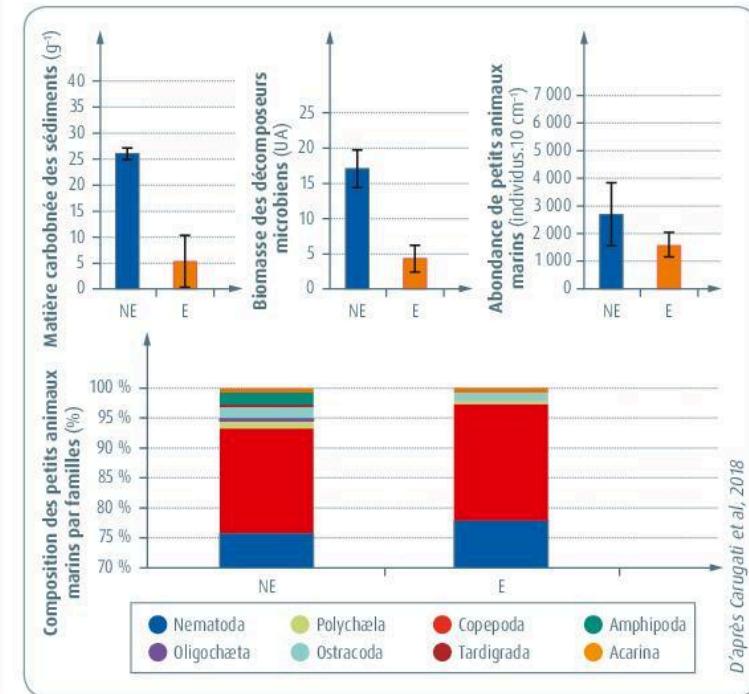
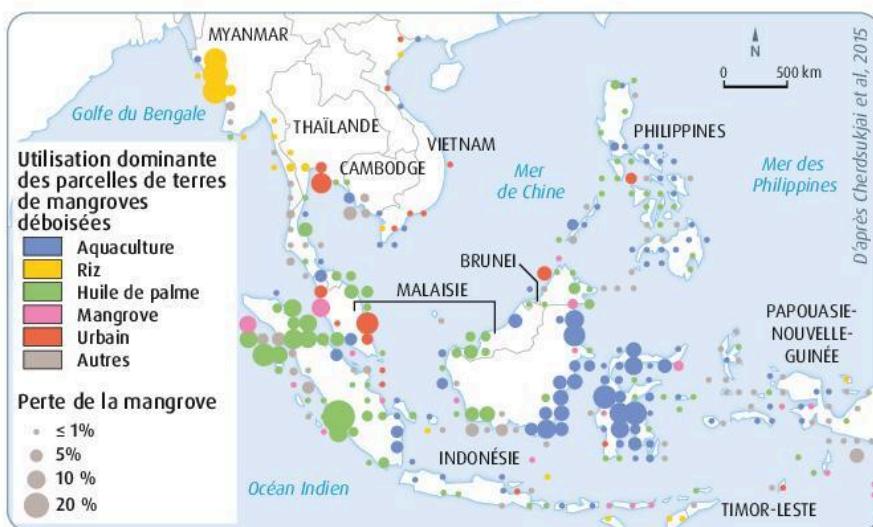


Mangrove non exploitée



Mangrove exploitée

DOC 2 Causes principales de déforestation des mangroves dans le Sud-Est asiatique.



Les mangroves sont des réservoirs importants de biodiversité, favorisent la protection des côtes et stockent parmi les densités de carbone les plus élevées de tous les écosystèmes du monde. Malgré leur importance, les mangroves disparaissent à un taux de perte global de 1 à 2 % par an, et le taux de perte global a atteint 35 % ces 20 dernières années.

Les changements climatiques (élévation du niveau de la mer et modifications des précipitations) et les activités humaines (développement urbain, aquaculture, exploitation minière et surexploitation du bois, des poissons et des crustacés) représentent des menaces majeures pour les habitats des mangroves.

DOC 1 Les mangroves, un écosystème fragile.

DOC 3 Conséquences de l'exploitation sur l'écosystème des mangroves. Des chercheurs ont comparé différents paramètres de 3 mangroves non exploitées (NE) à trois mangroves exploitées par l'homme (E).

QUESTIONS

- Expliquez les causes principales de la destruction des mangroves (DOC 1 et 2).
- Décrivez les conséquences sur l'écosystème de l'exploitation des mangroves par les humains. À l'aide vos connaissances sur les réseaux trophiques (chaînes alimentaires), proposez des liens de causalité entre les résultats du DOC 4.