

CAPES  
CONCOURS EXTERNE  
ET CAFEP

Section : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

COMPOSITION SUR UN SUJET DE BIOLOGIE

*Durée : 5 heures*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou des hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement*

*NB : hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc... Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

# SUJET

## Quelques mécanismes de l'évolution biologique

### Préambule

*Ce sujet comporte deux parties qui peuvent être traitées de manière indépendante.*

*La première partie est une analyse de documents à partir de questions.*

*La deuxième partie demande de faire une synthèse avec une démarche logique à partir de l'analyse d'un ensemble de documents. Pour cette partie, une introduction, un plan détaillé et une conclusion sont attendus.*

*Seront prises en compte dans la notation : la clarté de la présentation et de la rédaction, la rigueur et la précision de l'analyse et de l'interprétation des documents.*

*Dans la synthèse, les informations apportées par l'exploitation des documents seront intégrées au développement. Des illustrations pertinentes, étayant votre raisonnement, seront appréciées.*

---

### **Partie I. Analyse des documents 1 à 5**

Le genre *Alectoris* comprend sept espèces dans le paléarctique. Trois sont exclusivement asiatiques (*A. philbyi*, *A. melanocephala* et *A. magna*) et ne seront pas étudiées ici. Les quatre autres (*A. rufa*, *A. graeca*, *A. chukar* et *A. barbara*) sont présentes dans le bassin méditerranéen (voir **documents 1 et 2**) et feront l'objet de cette étude. Ce sont essentiellement des oiseaux thermophiles des milieux ouverts méditerranéens : garrigues, pelouses rocheuses des adrets en montagne.

1.1 *Après avoir donné le nom générique français des oiseaux du genre *Alectoris*, précisez le nom vernaculaire de *A. rufa* et *A. graeca*.*

Les aires de répartition de ces deux espèces (*A. rufa* et *A. graeca*) sont en contact en France dans les Alpes du sud (massif du Mercantour). Une analyse génétique de ces deux espèces a été menée sur une partie de leur aire de répartition à partir de 95 individus de *A. rufa* et de 320 individus de *A. graeca*. Trois populations (notées 1, 2 et 3) de *A. rufa*, treize populations de *A. graeca* (notées de 6 à 18) et deux populations dans la zone de contact entre les deux espèces (notées 4 et 5) ont été échantillonnées. La variabilité allélique de six loci, codant pour six enzymes, a été étudiée par électrophorèse sur gel de polyacrylamide. Trois des loci possèdent trois allèles et les trois autres deux allèles. La fréquence de ces 15 allèles a été mesurée dans chacune des 18 populations. Quatre d'entre eux, dont la fréquence varie de 0,85 à 1 dans les populations de *A. rufa* et de 0,12 à 0 dans les populations 17 et 18 de *A. graeca*, ont été considérés comme caractéristiques de *A. rufa*. La moyenne de leur fréquence a été retenue comme indicatrice de la fréquence des allèles caractéristiques de *A. rufa* dans chacune des 18 populations. Le résultat est donné dans le **document 3**.

1.2 *A partir de l'analyse du **document 3**, précisez quelles sont les modalités de distributions des allèles dans les populations étudiées et les particularités de la zone de contact actuelle entre les deux espèces. Comment expliquez-vous les distributions alléliques observées ?*

1.3 *Donnez la définition biologique de l'espèce et comparez les résultats présentés dans le document 3 à cette définition. Comment l'histoire évolutive de ces deux espèces permet-elle d'expliquer cette situation ?*

En 1982, Ernst Mayr a complété la définition biologique de l'espèce en affirmant que l'on peut aussi définir une espèce par sa niche écologique.

1.4 *Définissez la niche écologique. D'après le **document 2**, ces quatre espèces répondent-elles à cette définition écologique de l'espèce ? Pourquoi ?*

Le **document 4** montre la distribution des grandes ceintures de végétation en Europe au maximum de la glaciation du Würm.

1.5 *Sachant que la niche écologique des oiseaux du genre *Alectoris* n'a pas varié depuis le Würm, utilisez ce document pour proposer un modèle de spéciation des espèces de ce genre. De quel type de spéciation s'agit-il ?*

Afin de préciser la relation de parenté entre les sept espèces du genre *Alectoris* une phylogénie moléculaire a été établie. Pour cela, le gène mitochondrial codant le cytochrome b a été séquencé chez les sept espèces. Le résultat est donné sur le **document 5**. On précise que les gènes mitochondriaux mutent à une vitesse en moyenne dix fois supérieure aux gènes nucléaires.

1.6 *Quel est le principe des phylogénies moléculaires ?*

1.7 *Quel est l'intérêt d'utiliser le génome mitochondrial pour établir une phylogénie, en particulier pour des divergences récentes ?*

1.8 *Pourquoi a-t-on introduit la caille japonaise dans le cladogramme ?*

1.9 *Confrontez cet arbre phylogénétique aux plumages des quatre espèces et proposez un scénario temporel de spéciation à partir de ces données.*

En calibrant les données, les chercheurs ont daté la divergence entre *rufa* et *graeca* à 2,4 millions d'années.

1.10 *Comment procède-t-on pour associer une échelle de temps à ces phylogénies moléculaires ?*

1.11 *Confrontez ce résultat à votre réponse à la question 1.5. Discutez les éventuelles incohérences.*

Soit un allèle présent dans une population à une fréquence  $p$ . Cet allèle mute à chaque génération à la fréquence  $u$ .

1.12 Exprimez  $p_n$  la fréquence de l'allèle à la génération  $n$ , en fonction de  $u$  et de sa fréquence à la génération  $n-1$  (notée  $p_{n-1}$ ). Exprimez le nombre de générations nécessaires pour que la fréquence d'un allèle diminue de moitié sous le seul effet de la mutation (on commencera pour cela par exprimer  $p_n$  en fonction de  $p_0$ ).

1.13 Utilisez cette relation pour calculer le temps nécessaire pour que la fréquence d'un allèle diminue de moitié sous le seul effet de la mutation dans le genre *Alectoris* en prenant 3 ans pour le temps de génération et  $u = 10^{-6}$ . On approximera  $\sqrt{2} = 0,7$  et  $\ln(1-u) = -u$ , car  $u$  est très petit devant 1.

1.14 Dédurre de ce calcul que la mutation seule ne peut suffire à expliquer la divergence entre les différentes espèces du genre *Alectoris*. Nommez les deux processus qui interviennent également.

## **Partie II. Synthèse à partir de l'étude des documents 6 à 11**

A partir de l'analyse de l'ensemble des **documents 6 à 11** et de vos connaissances, établissez le mécanisme à l'origine de l'évolution des espèces qui a été proposé, dans sa forme originelle, par Charles Darwin en 1859.

Le **document 9** sera plus spécialement utilisé pour déterminer comment ce mécanisme agit sur les paramètres démographiques des espèces et le **document 10** pour discuter de l'échelle biologique à laquelle il s'exerce.

Expliquez également en quoi ce mécanisme permet de comprendre la mise en place des peuplements endémiques des Îles Galápagos qui avaient attirés l'attention de Charles Darwin.

Discutez de sa valeur exclusive comme mécanisme de fixation des innovations génétiques dans une population en analysant le **document 11**.

L'introduction s'appuiera sur les écrits autobiographiques de Charles Darwin (publiés en 2008 pour la version française intégrale) reproduits ci-dessous :

« pendant le voyage du *Beagle*, j'avais été profondément frappé, d'abord en découvrant dans les couches pampéennes de grands animaux fossiles recouverts d'une armure semblable à celle des tatous actuels ; puis par l'ordre selon lequel les animaux d'espèces presque semblables se remplacent les uns les autres à mesure qu'on s'avance vers le sud du continent, et enfin, par le caractère sud-américain de la plupart des espèces des îles Galápagos, plus spécialement par la façon dont elles diffèrent légèrement entre elles sur chaque île du groupe : aucune de ces îles ne paraît très ancienne au point de vue géologique. Il est évident que ces faits et beaucoup d'autres analogues ne peuvent s'expliquer que par la supposition que les espèces se modifient graduellement ».



*Alectoris rufa*  
Longueur : 32-35 cm.



*Alectoris graeca*  
Longueur : 33-36 cm.



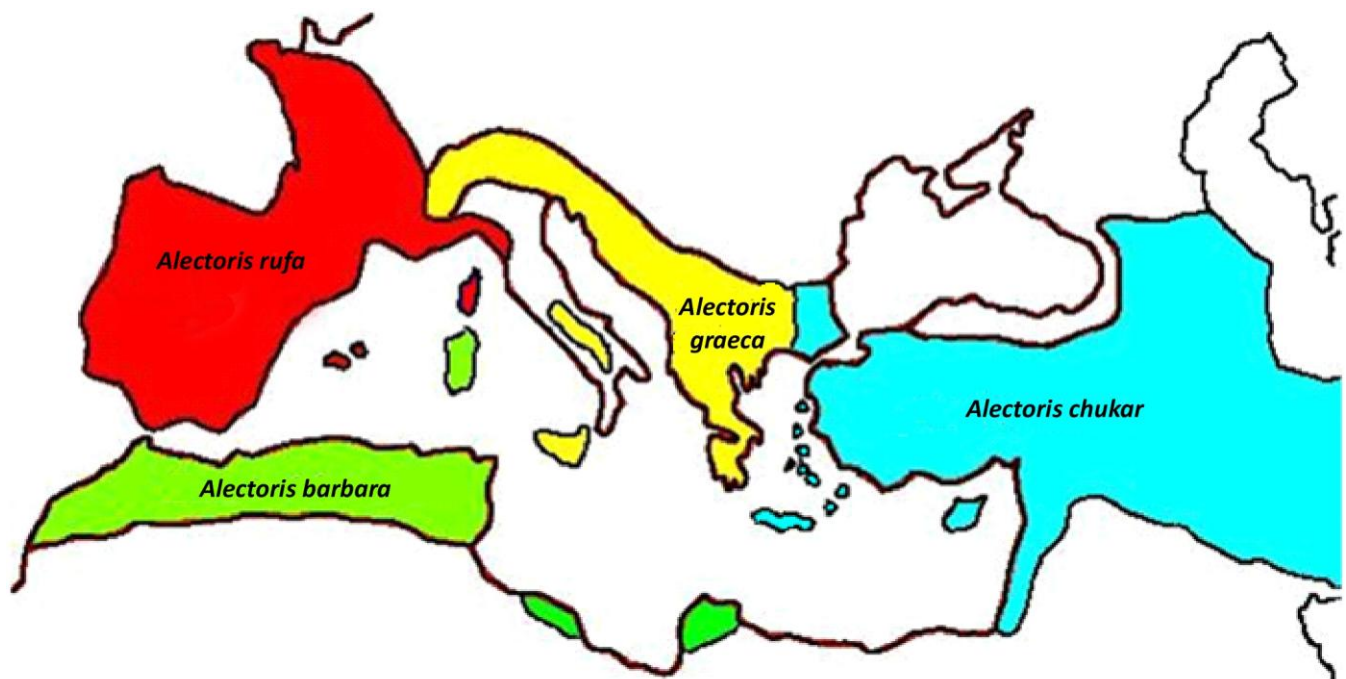
*Alectoris chukar*  
Longueur : 32-35 cm.



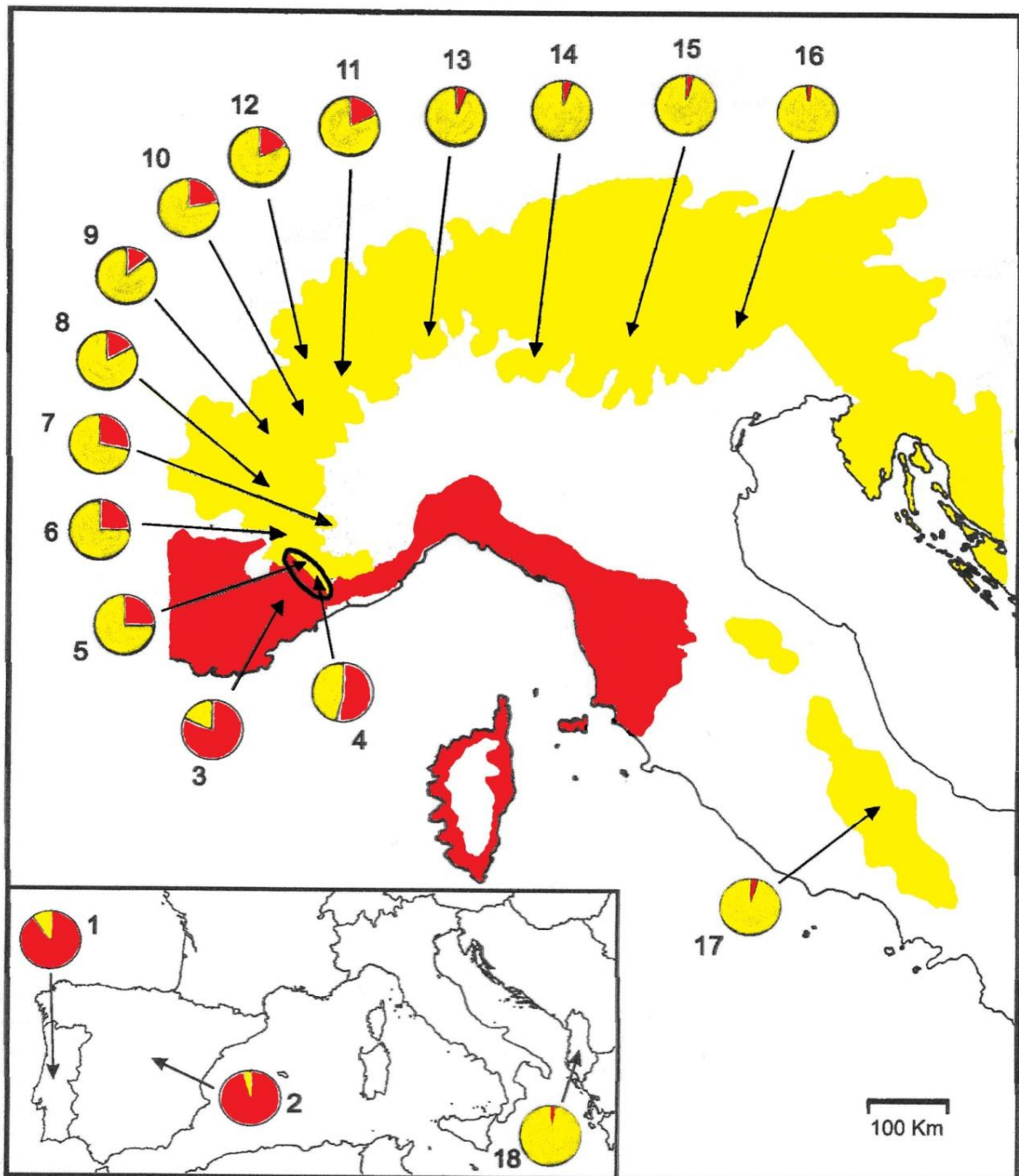
*Alectoris barbara*  
Longueur : 32-35 cm.

**Document 1** : Les quatre espèces méditerranéennes du genre *Alectoris*.

(Svensson L., Mullarney K., Zetterström D. & Grant P.J. (2000), *Le guide ornitho*. Editions Delachaux & Niestlé).



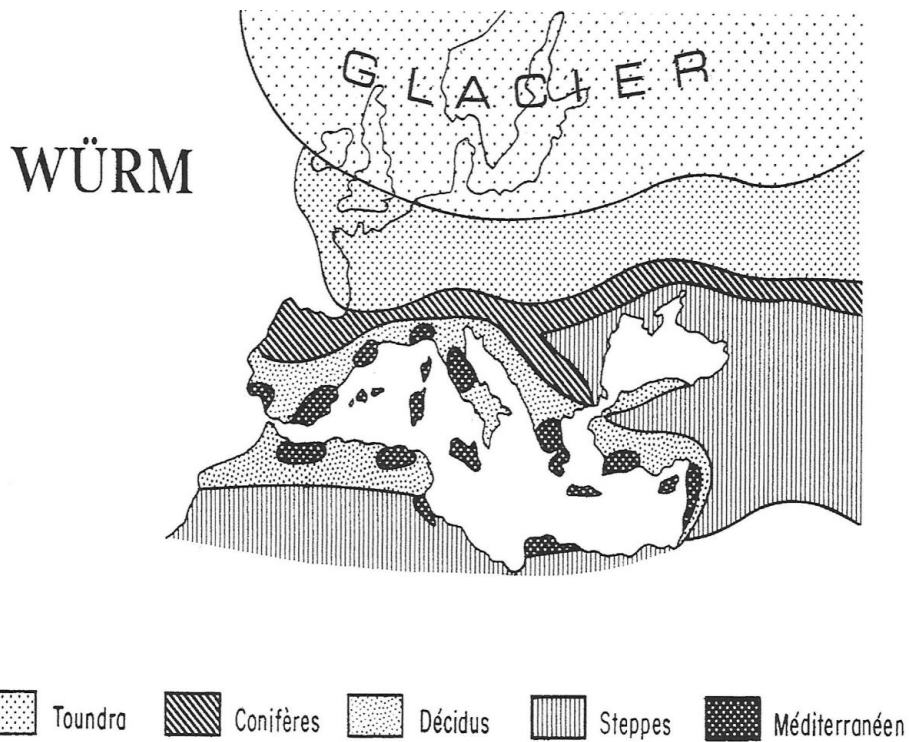
**Document 2** : Aire de répartition des quatre espèces méditerranéennes du genre *Alectoris*. *A. rufa* en rouge, *A. graeca* en jaune, *A. chukar* en bleu et *A. barbara* en vert.  
Chaque île de la méditerranée accueille une seule des quatre espèces.  
(Allano L. & Clamens A. (2010) *Faits et mécanismes de l'évolution biologique*. Ellipses.)



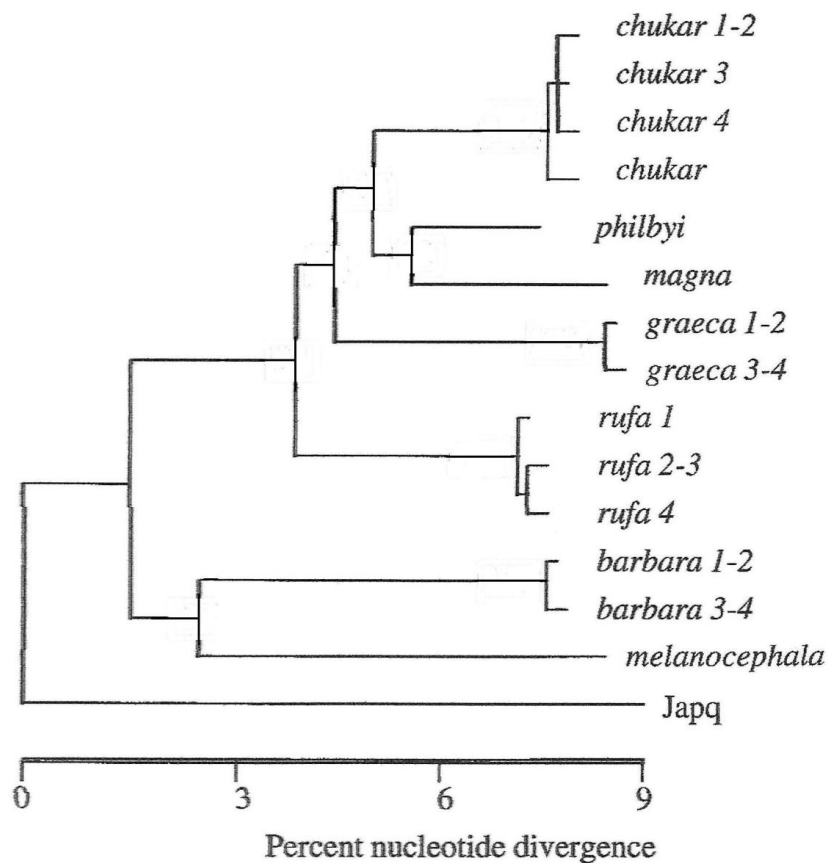
**Document 3** : Distribution géographique de *Alectoris rufa* (en rouge) et *Alectoris graeca* (en jaune) en France et en Italie et localisation des 18 populations étudiées pour l'analyse génétique.

Dans chaque diagramme circulaire la fraction rouge visualise la proportion d'allèles typiques de *rufa*. L'ovale indique la zone de contact actuelle entre les deux espèces. L'encart en bas à gauche localise les populations 1, 2 et 18.

(Randi E. & Bernard-Laurent A. (1999), *The Auk*, 116 (2) : 324-337.)



**Document 4** : Reconstitution des ceintures de végétation lors du maximum de la glaciation du Würm. (Blondel J. (1995), *Biogéographie, approche écologique et évolutive*. Masson.)



**Document 5** : Arbre phylogénétique du genre *Alectoris*.

Japq est la caille japonaise (*Coturnix coturnix*). Les numéros correspondent aux individus, par exemple, quatre *Alectoris graeca* ont été étudiées numérotées de 1 à 4. L'arbre a été construit en estimant la divergence des séquences par les substitutions de nucléotides en 3<sup>ème</sup> position des codons.

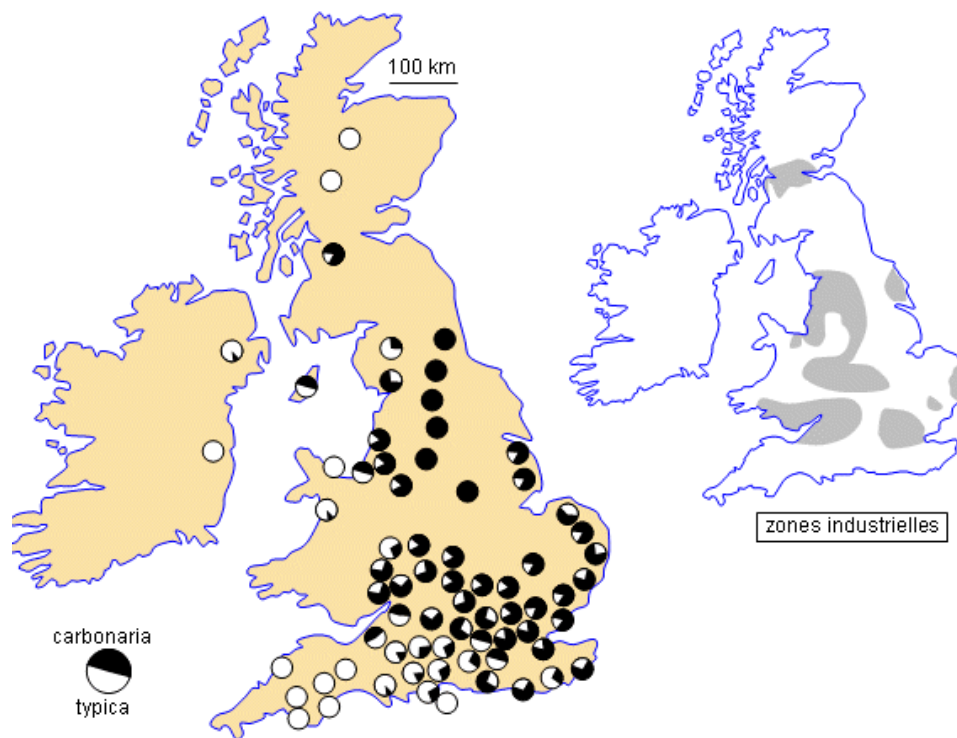
(Randi E. (1996), *Molecular phylogeny and evolution*, 6 (2) : 214-227.)



La phalène du bouleau (*Biston betularia*) est un papillon de nuit de 15 mm de long. Deux formes interfécondes existent naturellement : une forme de couleur claire (*typica*) et une forme de couleur sombre (*carbonaria*). En Grande-Bretagne, la forme *carbonaria* a été signalée pour la première fois en 1848. La photo montre les deux phénotypes de la phalène du bouleau sur un support clair (lichens) à gauche, et sur un support sombre à droite.



La carte présente la fréquence des deux phénotypes de la phalène du bouleau dans différentes populations de Grande-Bretagne en 1950 et la localisation des grandes régions industrielles à la même époque. La désindustrialisation de la Grande-Bretagne depuis 1970 et les mesures antipollution se sont traduites par une régression de la forme *carbonaria*.



**Document 6** : La phalène du bouleau (*Biston betularia*) en Grande-Bretagne.

(Photo d'après : <http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/E/Evolution.html> ; schéma d'Alain Galien, banque de schémas en SVT, Académie de Dijon, [http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id\\_article=753](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=753))

Dans les années 1950, le biologiste Henry Kettlewell et son équipe montrèrent que les colorations des deux formes de la phalène sont dues à deux allèles : l'allèle C, dominant, responsable de la couleur noire, et l'allèle c, récessif, responsable de la couleur claire à l'état homozygote. A partir de la fréquence des deux phénotypes dans les populations, les généticiens ont calculé la fréquence des deux allèles de 1848 à 1948 dans la région de Manchester, une région industrielle de Grande-Bretagne.

Année	Fréquence	
	C	c
1848	0	1
1858	0	1
1868	0,03	0,97
1878	0,45	0,55
1888	0,76	0,24
1898	0,86	0,14
1908	0,90	0,10
1918	0,92	0,08
1928	0,94	0,06
1938	0,96	0,04
1948	0,96	0,04

**Document 7** : Fréquence des allèles C et c dans la population de phalène de la région de Manchester calculée à partir de la fréquence des deux phénotypes.  
(Ridley (1997) *Evolution biologique*. De Boeck.)

Des observations préliminaires montrent, qu'en milieu industriel pollué, 97 % des individus "mélaniques" relâchés après marquage sont indécélables par l'œil de l'observateur. Au contraire, 89 % des individus "typiques" relâchés dans les mêmes conditions s'avèrent détectables.

L'observation directe d'un lot d'insectes relâchés en début de journée dans une forêt polluée montre, qu'en fin d'après-midi, 54 % des individus "typiques" ont disparu contre 37 % des individus "mélaniques". Dans le même temps, on observe que les prédateurs prélèvent les insectes à même les troncs.

Une expérience menée par Kettlewell a consisté à libérer, dans un milieu donné (forêt polluée ou non), un nombre connu d'individus des différents phénotypes. Au bout d'un certain temps, on contrôle la population et on note le taux de recapture des différentes formes.

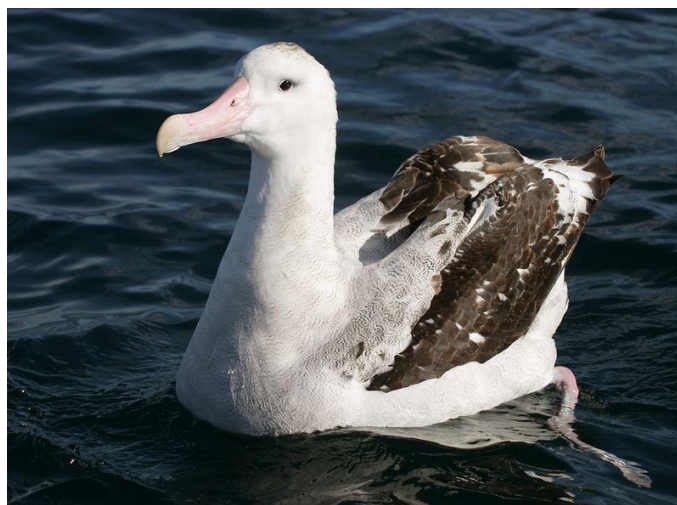
Les résultats obtenus dans une forêt polluée et dans une forêt non polluée sont donnés sur le tableau ci-dessous.

Milieu	Forêt polluée de Birmingham		Forêt non polluée du Dorset	
	<i>typica</i>	<i>carbonaria</i>	<i>typica</i>	<i>carbonaria</i>
Nombre libéré	201	601	496	473
Nombre recapturé	34	205	62	30
% de recapture	16,9	34,1	12,5	6,3

**Document 8** : Expériences de Kettlewell  
(Kettlewell H.B.D. (1955), *Heridity*, 9 : 323-342.)



Mésange bleue *Cyanistes caeruleus*  
 Longueur : 10,5 à 12 cm  
 (Photo : Alex Clamens)



Albatros hurleur *Diomedea exulans*  
 Longueur : 107 à 135 cm  
 (Photo : Mark Jobling)

Paramètres démographiques	Mésange bleue <i>Cyanistes caeruleus</i>	Albatros hurleur <i>Diomedea exulans</i>
Grandeur de ponte (en nombre d'œufs)	8 à 14	1
Nombre de pontes par an	2	< 1
Taux de survie annuel	0,3	0,95
Longévité moyenne (années)	2 à 3	30

**Document 9** : Paramètres démographiques comparés de deux espèces d'oiseaux.

La grandeur de la ponte est le nombre d'œufs pondus par la femelle lors d'une ponte. Dans le cas de la mésange un œuf est pondu chaque jour. Une femelle dont la grandeur de ponte est de 8 œufs pond donc un œuf par jour pendant 8 jours.

Le taux de survie annuel est la proportion des oiseaux âgés de un an qui survivent l'année suivante.

Ces paramètres démographiques sont le résultat de l'histoire évolutive de ces espèces.

(Bennet P. & Owens P.F. (2002). *Ecology Evolutionary of Birds*. Oxford Series in Ecology and Evolution ; Perrins C.M., Lebreton J.D. & Hiron G.J.M. (1991). *Bird Population Studies*. Oxford Ornithology Series.)

La structure sociale des lions est intéressante en termes de compétition pour l'accès à la reproduction sexuée. Ces animaux vivent en groupes constitués en général de deux mâles et de trois à douze femelles avec leurs lionceaux.

Les jeunes mâles sont chassés de la communauté dès qu'ils atteignent la maturité sexuelle. Ils mènent alors une vie vagabonde, cherchant à expulser des mâles dominants d'un groupe afin de s'approprier leurs femelles. Lorsqu'ils y parviennent, leur première action consiste à tuer tous les lionceaux du groupe. Cet infanticide d'apparence cruelle a pour conséquence une entrée en chaleur des lionnes qui s'accouplent ainsi rapidement avec les nouveaux mâles.

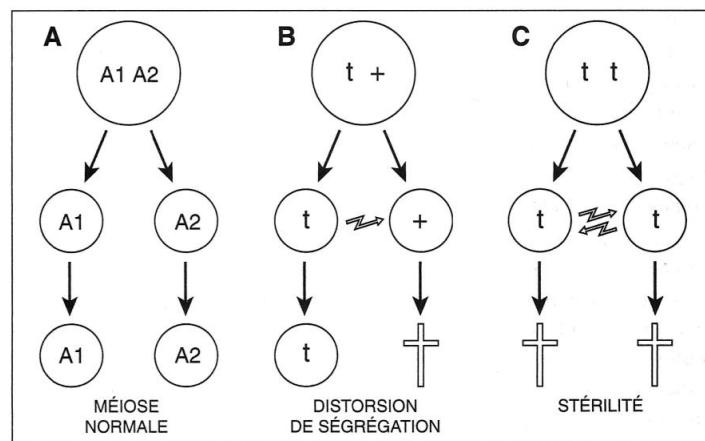


Lion mâle (*Panthera leo*)

(Photo : Alex Clamens)

**Document 10-a** : La structure sociale des lions.

(Allano L. & Clamens A. (2010), *Faits et mécanismes de l'évolution biologique*. Ellipses)



Lors de la méiose, l'information génétique est en général répartie équitablement entre les gamètes. Par exemple, un hétérozygote A1/A2 fournira une moitié de gamètes A1 et une moitié de gamètes A2 (à gauche). L'haplotype t inactive les spermatozoïdes qui ne l'ont pas reçu lors de la méiose, par le biais d'un poison produit avant la méiose et auquel il permet de résister. Cela lui assure d'être présent dans la totalité des spermatozoïdes fonctionnels produits par un hétérozygote t/+ (au milieu). On parle alors de distorsion de ségrégation méiotique. Mais, le plus souvent, il entraîne la mort des homozygotes t/t ou, s'ils sont viables, leur stérilité (à droite). (D'après A. Atlan et P.-H. Gouyon, Les conflits intragénomiques.)

**Document 10-b** : Les distorsions de ségrégation

Chez la souris, l'haplotype t se trouve sur le chromosome 17. Quand des haplotypes t existent dans des populations, la stérilité des homozygotes limite leur fréquence dans la population.

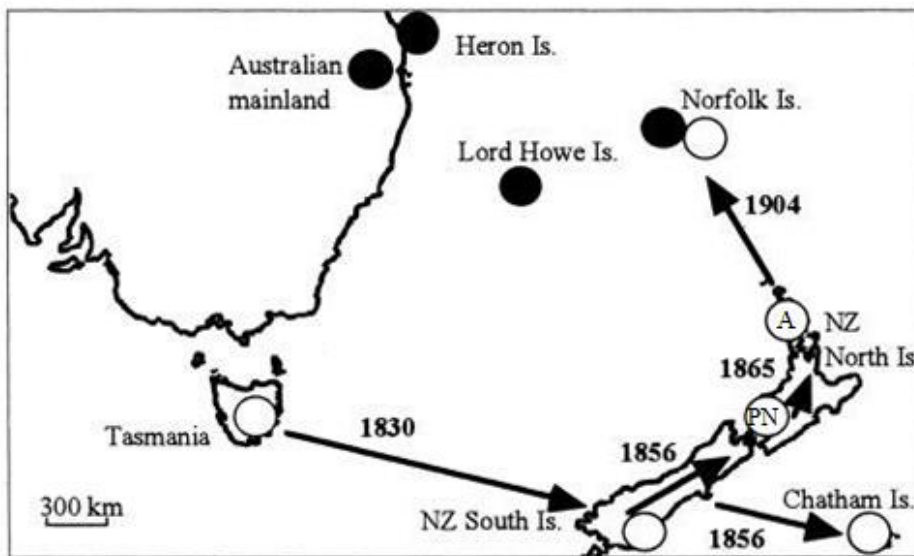
L'haplotype t n'est ainsi présent que dans 10 à 20 % (40% selon les sources) des effectifs des populations de souris étudiées.

(Gouyon P.H., Henry J.-P. & Arnould J. (1997), *Les avatars du gène*. Editions Belin.)

On connaît des exemples similaires chez les espèces animales ou végétales à déterminisme chromosomique du sexe. Chez ces espèces, des chromosomes X « tueurs » possèdent un gène responsable de la mort des spermatozoïdes porteurs du chromosome Y ce qui se traduirait, si le sexe femelle est hétérogamétique, par une majorité de femelles dans la descendance. Cependant, dans les populations où existent de tels chromosomes X « tueurs », les chromosomes Y possèdent un gène de résistance qui les protège du poison produit par le gène porté par X.

(Atlan A. (1998), *La Recherche*, 306 : 42-44.)

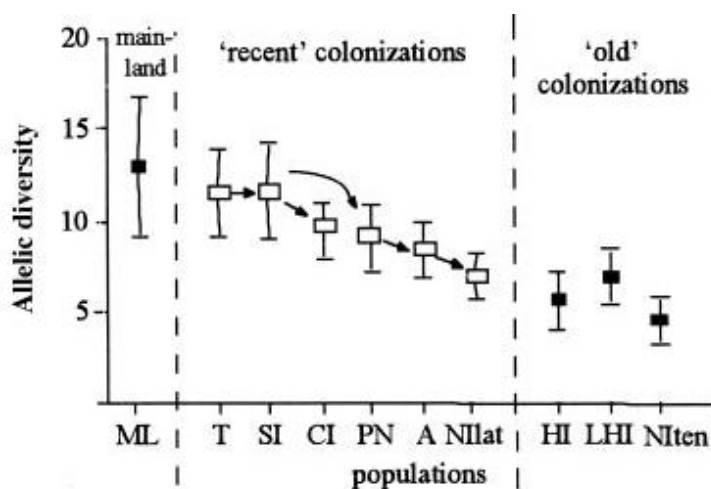
Le Zosterops à dos gris (*Zosterops lateralis*) est un petit passereau d'Australie. Sur l'île Heron, il est représenté par une sous-espèce. Sur les îles Lord Howe et Norfolk on trouve deux autres espèces de Zosterops (*Z. tephropleurus* et *Z. tenuirostris*) qui dérivent de *Z. lateralis* par une spéciation par colonisation à partir de l'Australie. En combinant des données paléontologiques et moléculaires, la colonisation de l'île Heron a été datée de 3000 à 4000 ans et celles des îles Lord Howe et Norfolk respectivement d'une centaine de milliers d'années et de 1 million d'années.



Après avoir colonisé la Tasmanie au début du XIX<sup>e</sup> siècle, le Zosterops s'est installé en Nouvelle-Zélande en 1830, puis a colonisé les deux îles de Nouvelle-Zélande (1856, 1865), les îles Chatam (1856) et enfin l'île Norfolk en 1904. Le nombre d'individus colonisateurs pour chaque événement de colonisation est inconnu, mais les distances importantes entre les îles, la petite taille des oiseaux qui ne les prédispose pas à de longs vols au-dessus de l'océan, ainsi que l'absence de colonisations depuis les épisodes décrits ci-dessus, laissent supposer qu'il a été faible.

Des chercheurs ont comparé les caractères génétiques de ces différentes populations en séparant : la population australienne considérée comme la population d'origine des colonisateurs de toutes les îles (notée ML), les populations des îles les plus récemment colonisées et les populations des îles les plus anciennement colonisées. Sur le graphe, les flèches indiquent les sens de colonisation pour les îles les plus récemment colonisées.

Six loci microsatellites ont été utilisés pour l'analyse. Le graphe représente la diversité allélique (nombre moyen d'allèles par locus) des différentes populations. Au cours du processus de colonisation, l'évolution globale de la diversité allélique est statistiquement significative.



Allelic diversity : diversité allélique  
 Main land (ML) (Australie)  
 Recent colonizations (colonisations récentes) :  
 T (Tasmanie), SI (South Island New Zealand), CI (Chatam Island), PN (Palmerston North), A (Auckland) et Nlat (Norfolk Island)  
 Old colonizations (colonisations anciennes) : HI (Heron Island), LHI (Lord Howe Island), NIten (Norfolk Island)

**Document 11** : Conséquences génétiques de la colonisation d'îles par le Zosterops à dos gris (*Zosterops lateralis*). (Clegg S.M., Degnan S.M., Kikkawa J., Moritz C., Estoup A. & Owens P.F. (2002), *PNAS*, 99 (12) : 8127-8132.)