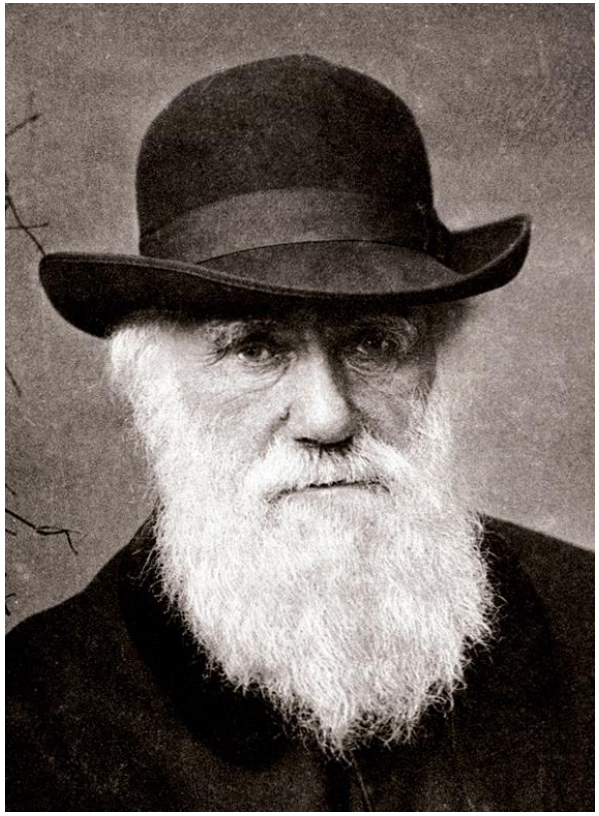
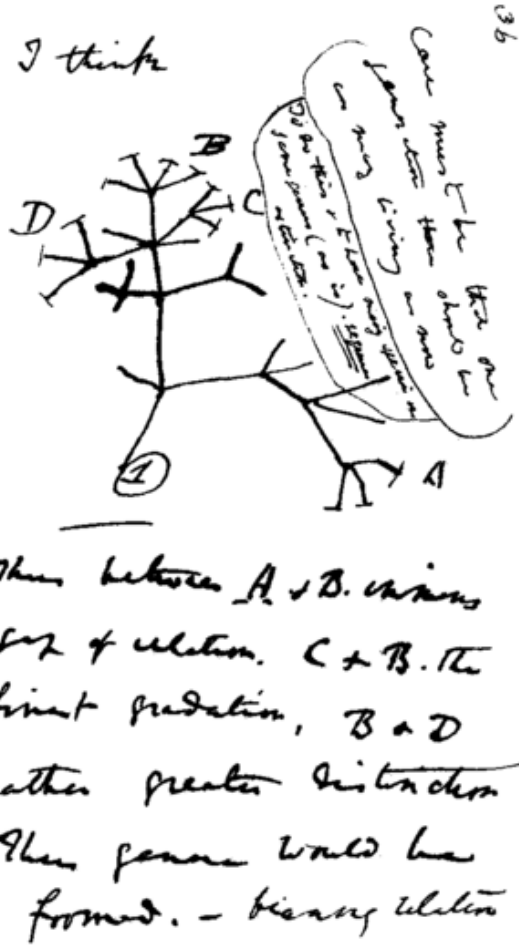
SV K 1

Les mécanismes de l’évolution



Par Elliott & Fry — Swarthmore.edu (1st version); Flickr (second version), original source Corbis Images, Domaine public, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=443325

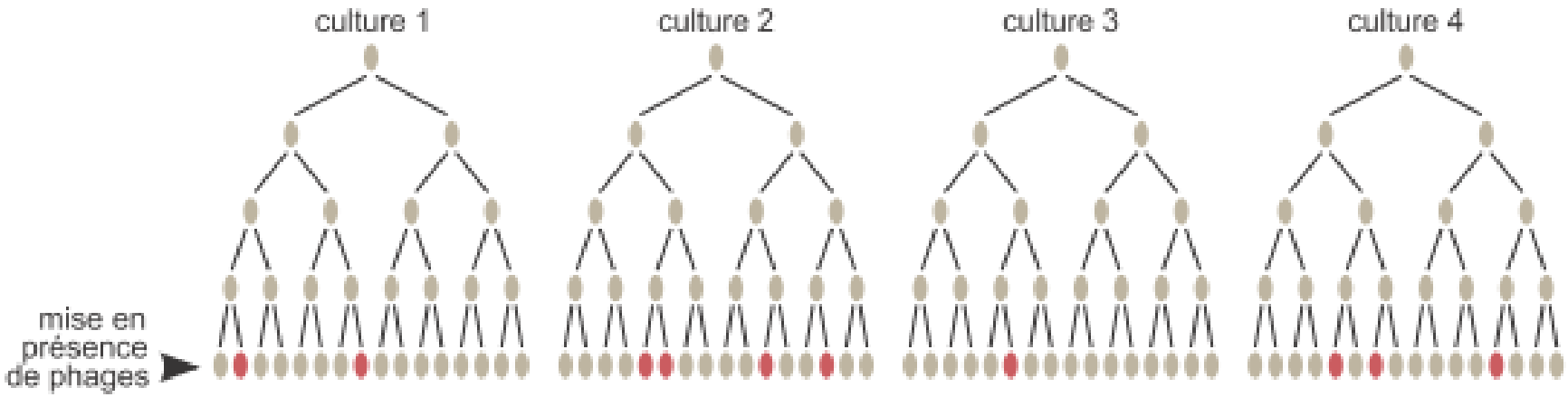


La première esquisse de Darwin d'un arbre phylogénétique tirée de son First Notebook on Transmutation of Species (1837).

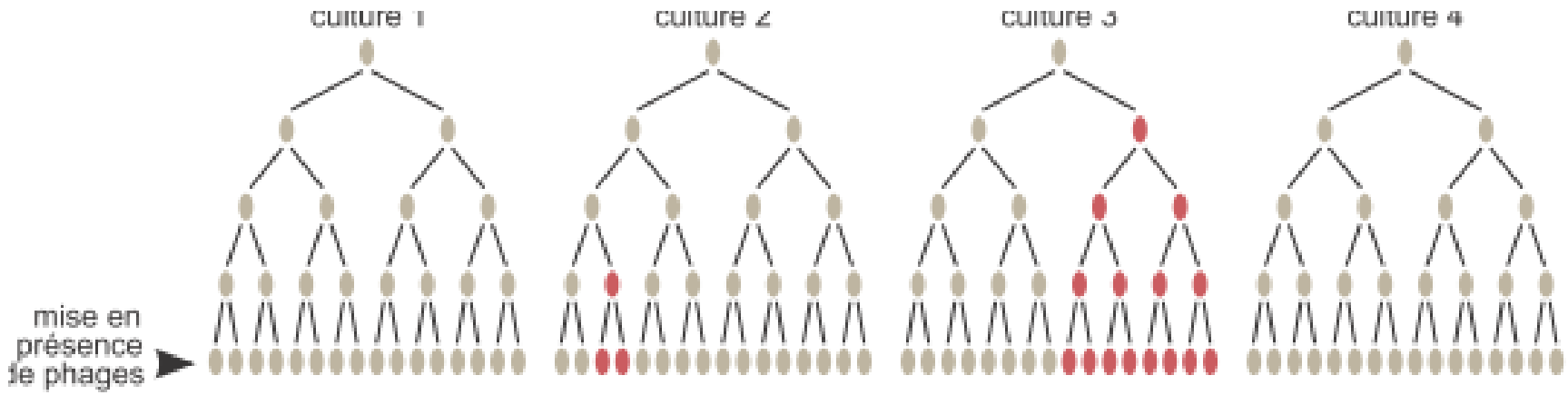
Doc 1- Acquisition de la résistance de bactéries à des phages

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

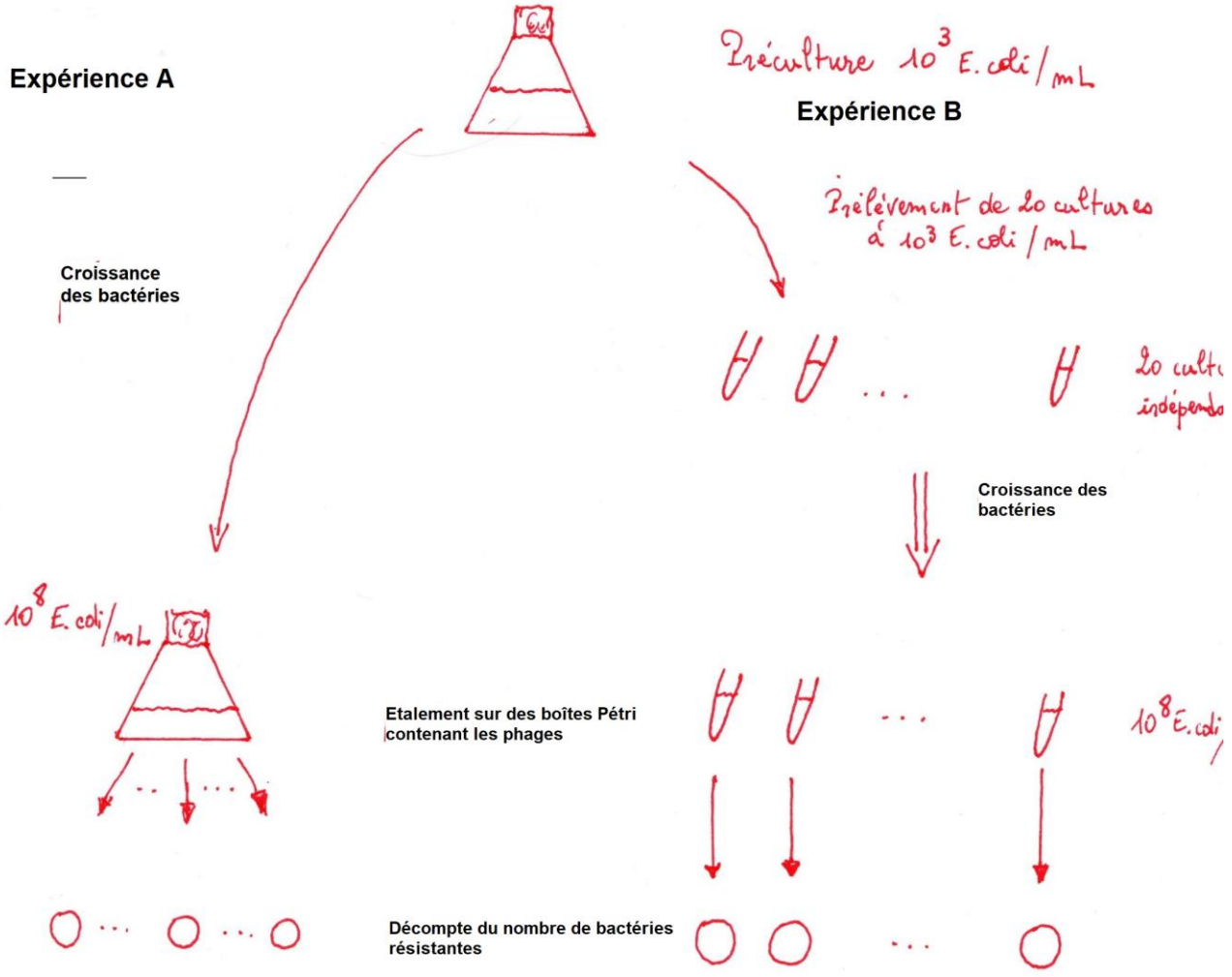
Hypothèse adaptative : induction des mutants par contact avec le phage



Hypothèse mutationnelle : apparition spontanée et aléatoire des mutants



Doc 2 Le test de fluctuation de Luria et Delbrück. Protocole



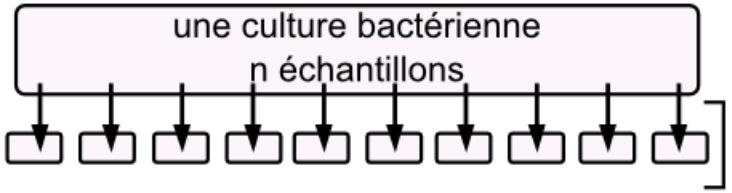
Nombre de colonies résistantes

	Culture unique de grand volume Expérience A	Cultures indépendante de petit volume Expérience B
moyenne	**16,7**	**11,3**
variance	**15**	**752**

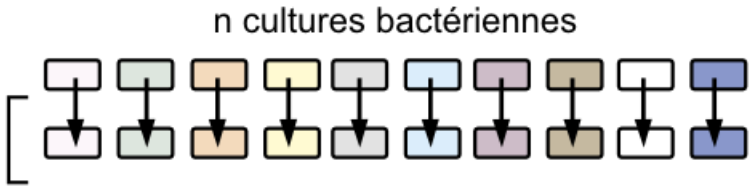
Le test de fluctuation de Luria et Delbrück. Protocole

2 hypothèses
- mutationnelle : les mutations sont aléatoires
- adaptative : les mutations sont induites par la présence des phages

Protocole : deux situations



étalement en présence des phages



Variance faible du nombre de colonies résistantes

Résultats

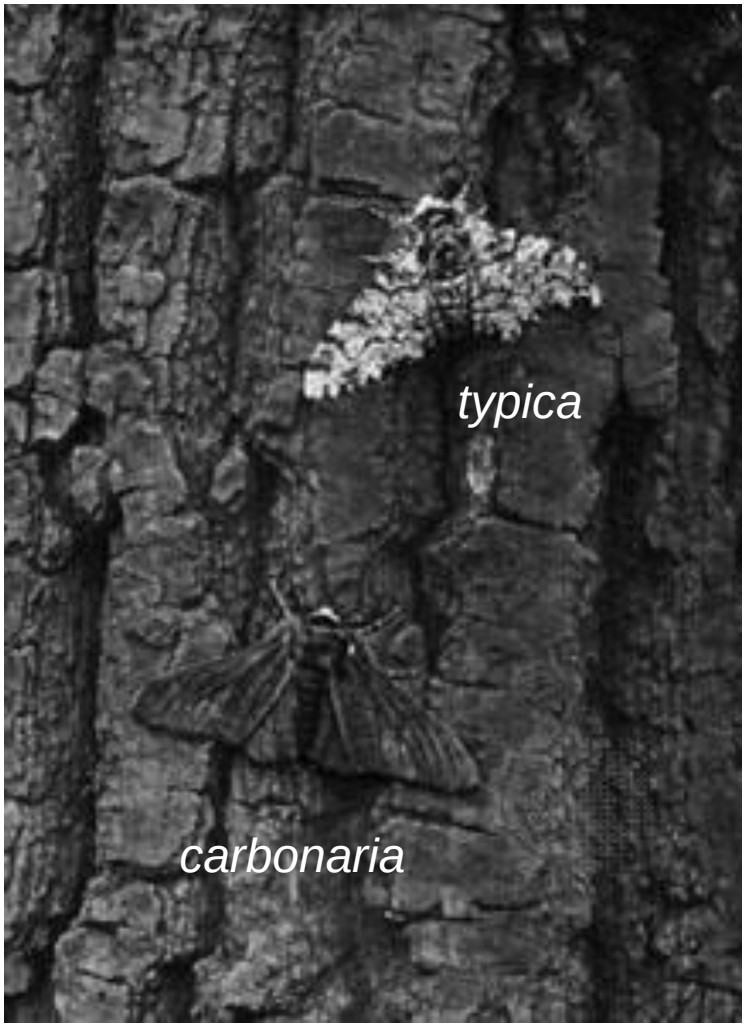
Variance élevée du nombre de colonies résistantes

⇩

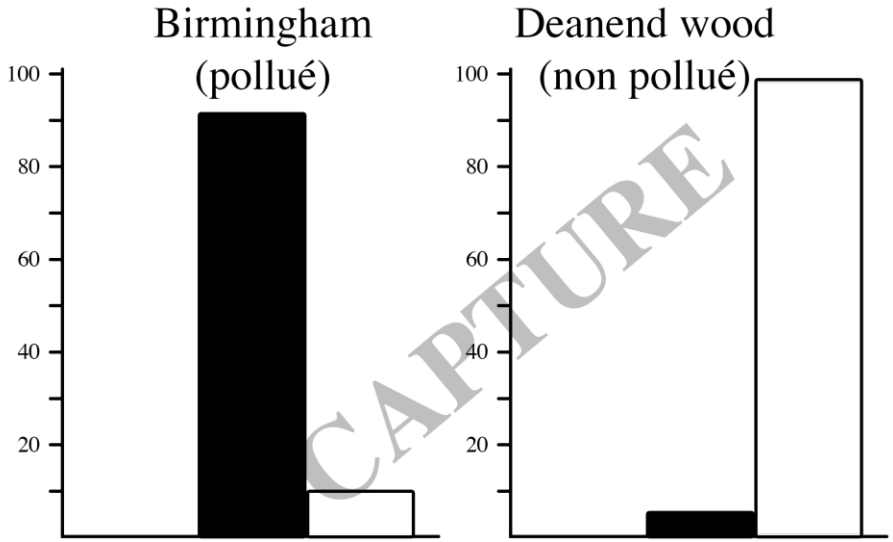
HYPOTHÈSE MUTATIONNELLE VALIDÉE

Variabilité phénotypique de la phalène du bouleau

Morphe ***typica*** **Sur un tronc couvert de lichens.**

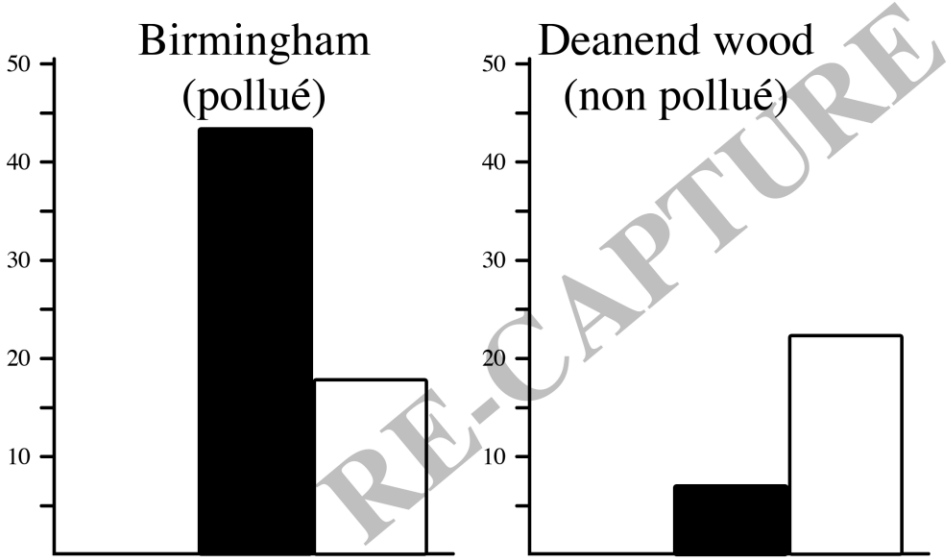


Sur un tronc dépourvu de lichens.



Proportion d'individus B. carbonaria
(histogramme noir)
plus grande en milieu pollué
plus faible en milieu non pollué

La forme carbonaria est bien avantagée en milieu pollué en termes de survie.
(les 2 formes ont des longévités similaires)

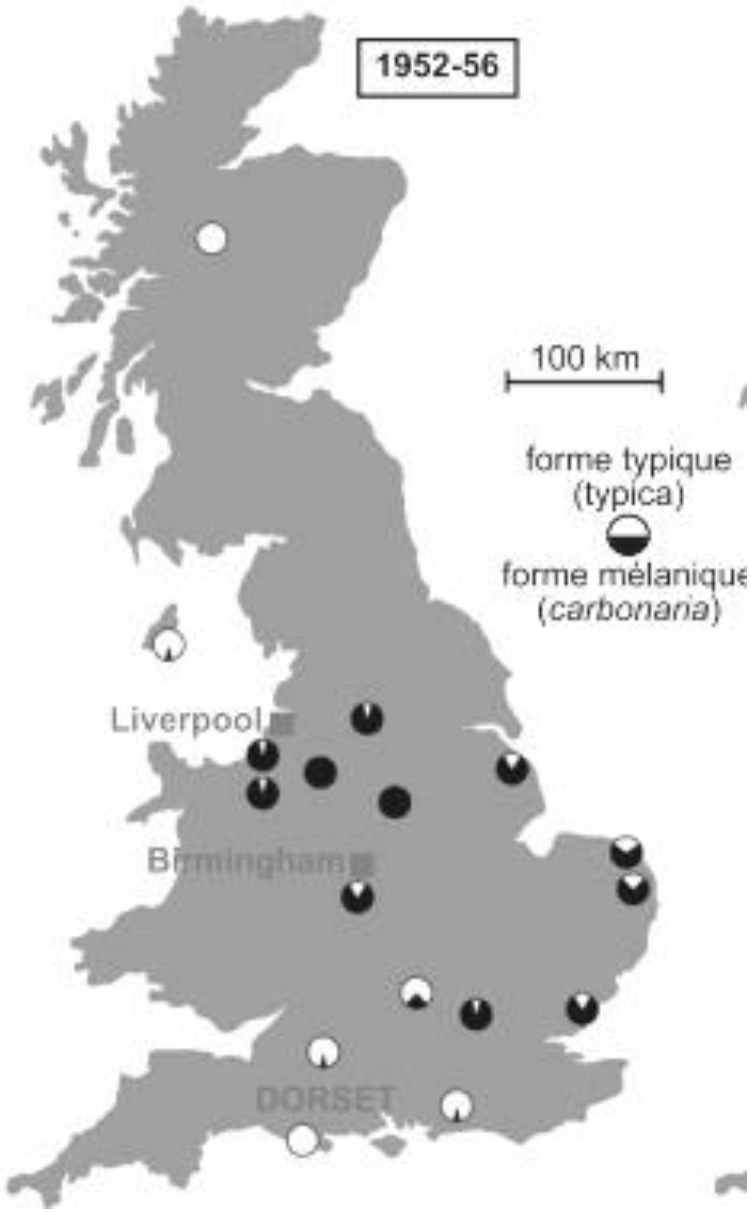


Doc 4

CAPTURE
RE-CAPTURE

Évolution de la distribution géographique des variants au Royaume-Uni

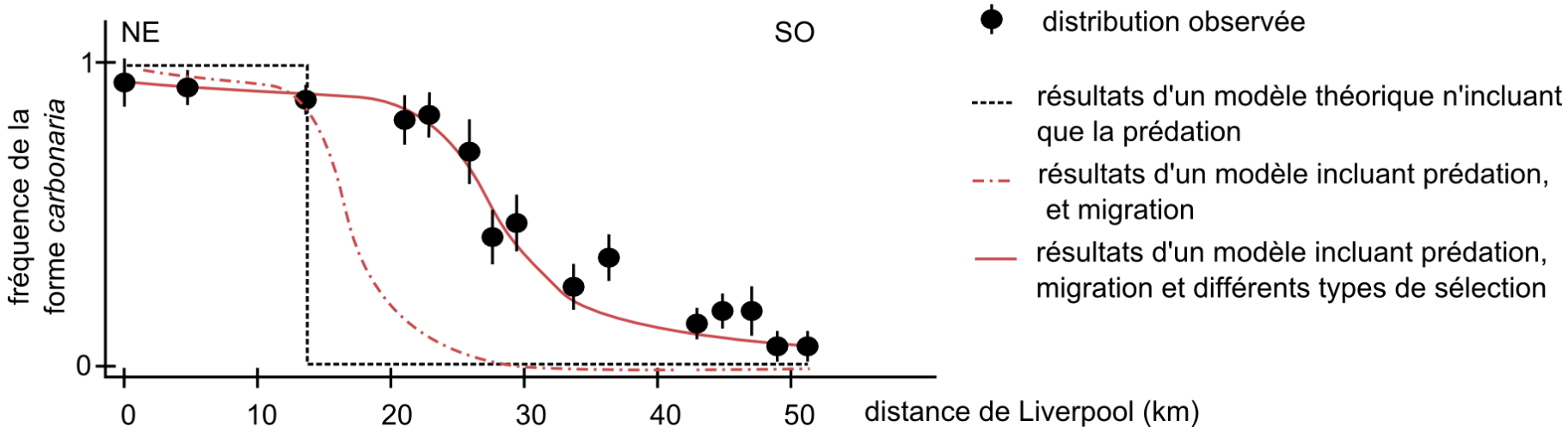
Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014



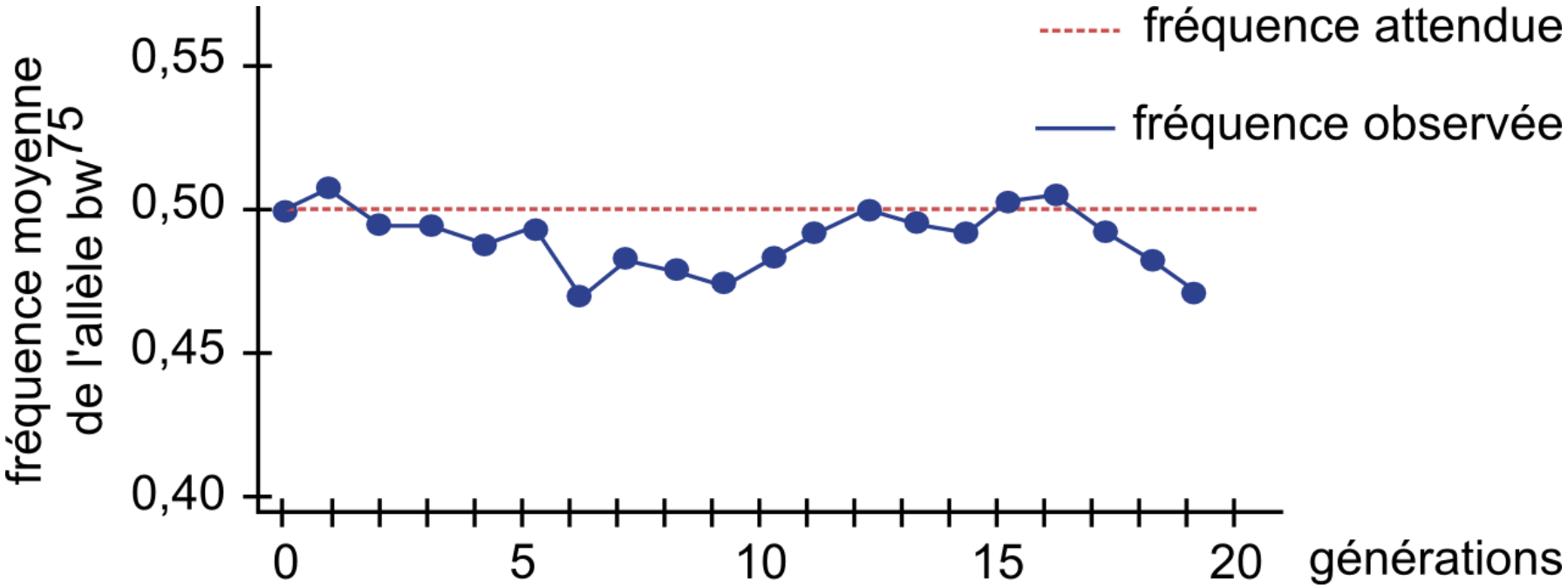
Effectifs et mortalité des deux morphes

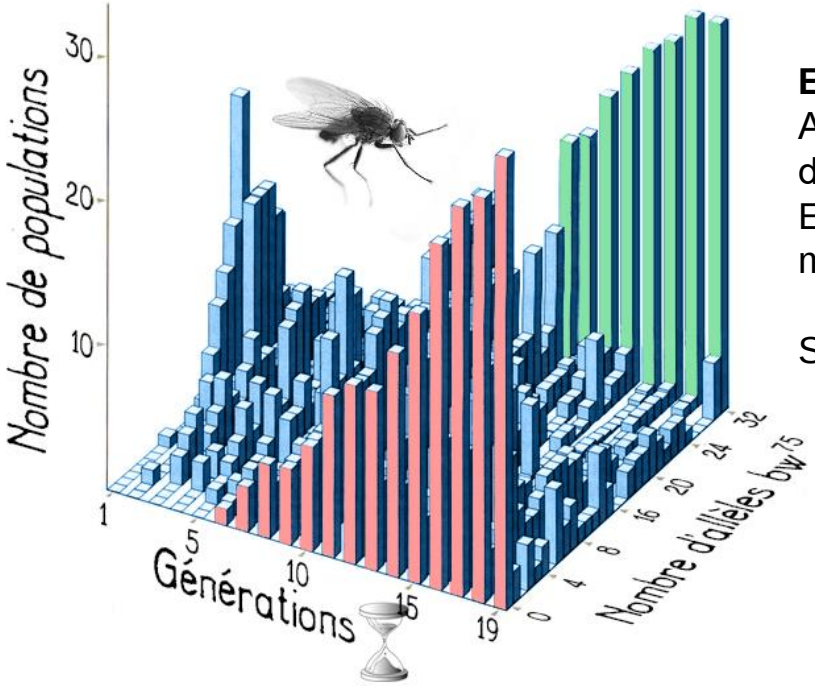
	région de Birmingham	Dorset
% carbonaria	85-87 %	2-3 %
Mortalité de carbonaria / typica	1/2	2

Doc 5 Évolution de la fréquence des phalènes *carbonaria* le long d'un transect entre Liverpool (z. industrielle) et le nord du pays de Galles (z. rurale)



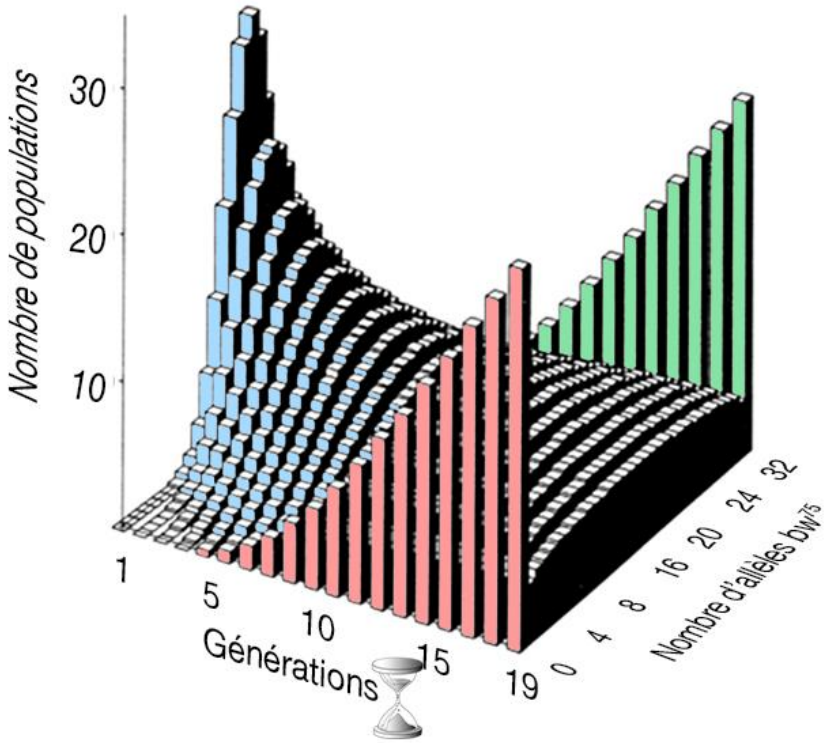
Doc 6. Évolution de la fréquence allélique dans une population d'effectif fini illustrée par l'expérience de Buri (1956)



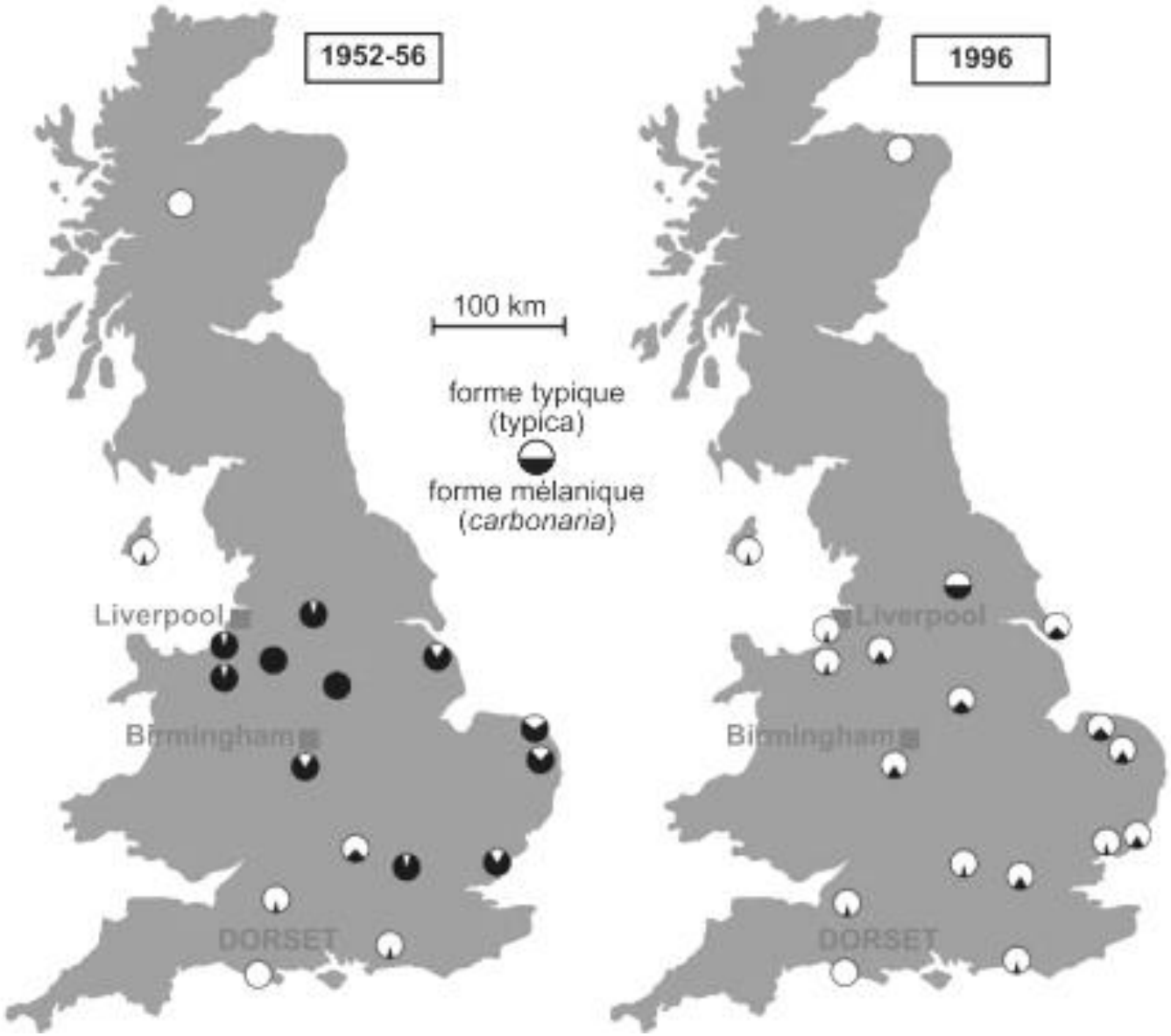


Expérience de Buri:
A gauche: les résultats de l'expérience montrant la fixation de l'allèle bw^{75} au bout de 19 générations
En dessous : résultat théorique comparable par modélisation numérique

Source: Anselme B, Biomathématiques, Dunod



Évolution de la distribution géographique des variants au Royaume-Uni.



Parade nuptiale chez les Tétras des armoises

mons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42087592

Dimorphisme sexuel chez le Lucane cerf volant

Le **principe de Fisher** explique pourquoi, pour la plupart des espèces, le sexe-ratio est approximativement de 1:1.
Il suppose que le « coût de production » soit identique pour produire un mâle ou une femelle.

Supposons que les naissances mâles soient moins fréquentes que les naissances femelles. La population comprend moins de mâles que de femelles.

Un nouveau-né mâle a alors des chances d'accouplement plus élevées qu'une nouveau-née femelle. Par conséquent il peut s'attendre à avoir plus de descendants (qu'une femelle).

Donc les parents génétiquement disposés à produire des mâles ont tendance à avoir un nombre de petits enfants plus élevé que la moyenne.

Par conséquent, les gènes qui tendent à produire des mâles se répandent, et les naissances mâles deviennent plus fréquentes.

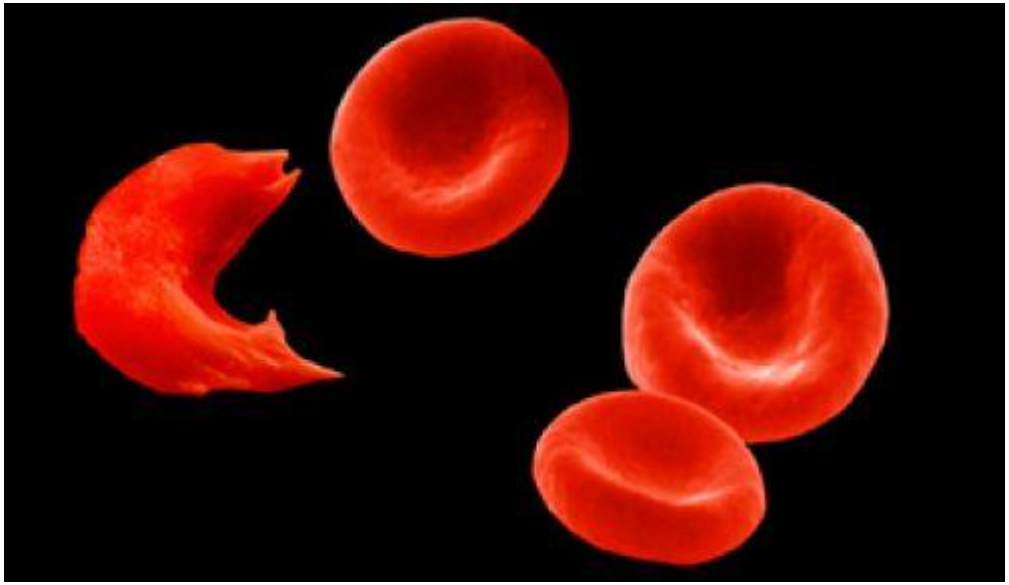
Lorsque le sexe-ratio s'approche de 1:1, l'avantage donné à la production de mâles diminue jusqu'à disparaître complètement.

Ce raisonnement est identique si les rôles des femelles et des mâles sont inversés.

Le sex-ratio 1:1 est donc la stratégie évolutivement stable, c'est-à-dire la valeur d'équilibre du sexe-ratio.

Extrait de Wikipédia : *Fisher 1930 The Genetical Theory of Natural Selection*

Maintien de **l'anémie falciforme**

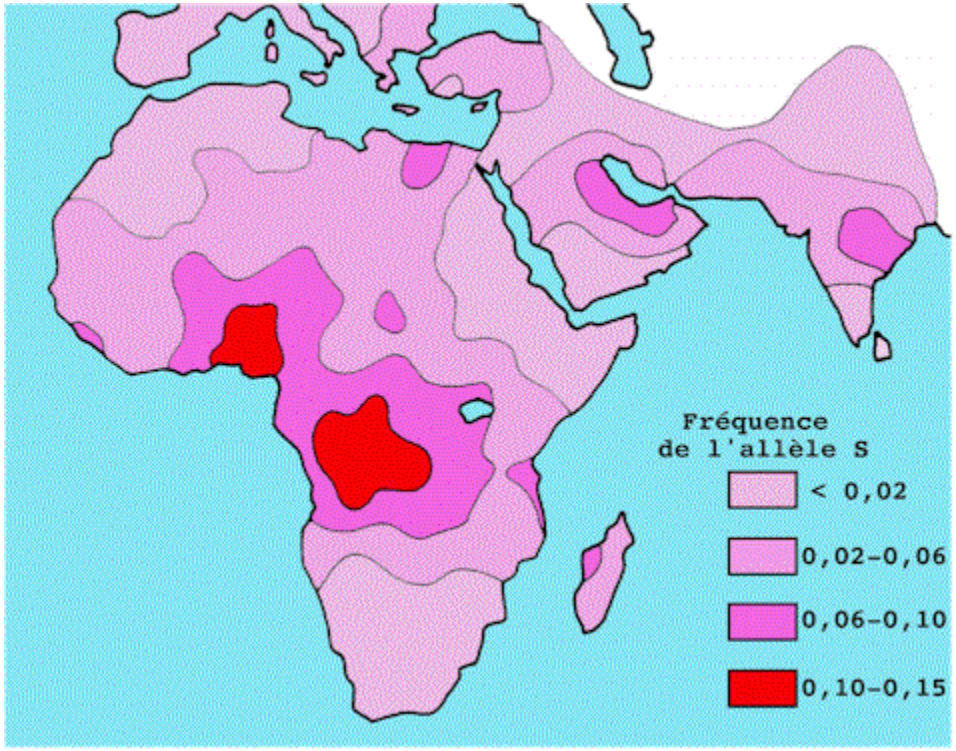


HbS//HbS : espérance de vie diminuée

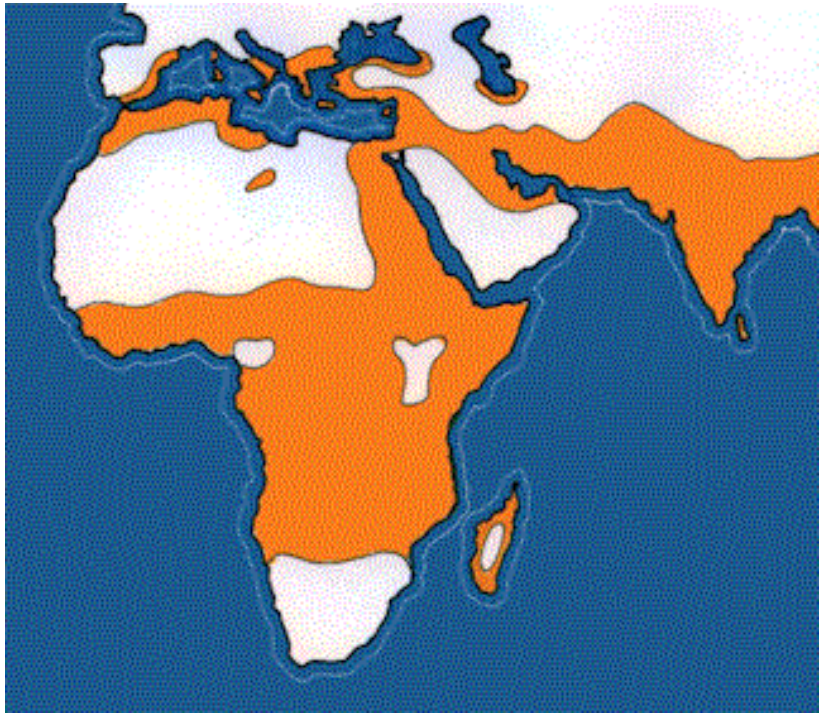
HbA//HbS : peu de symptômes
HbA//HBA : sains

Répartition géographique

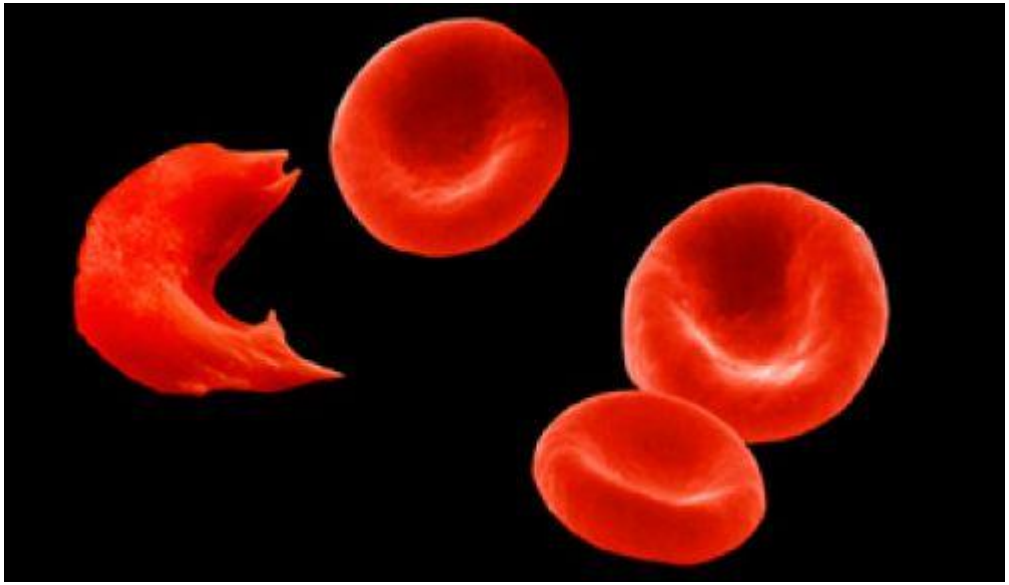
De l’anémie



Du paludisme



Maintien de **l'anémie falciforme**



Pas de multiplication de l'agent du paludisme

- HbS//HbS : espérance de vie diminuée
- HbA//HbS : peu de symptômes

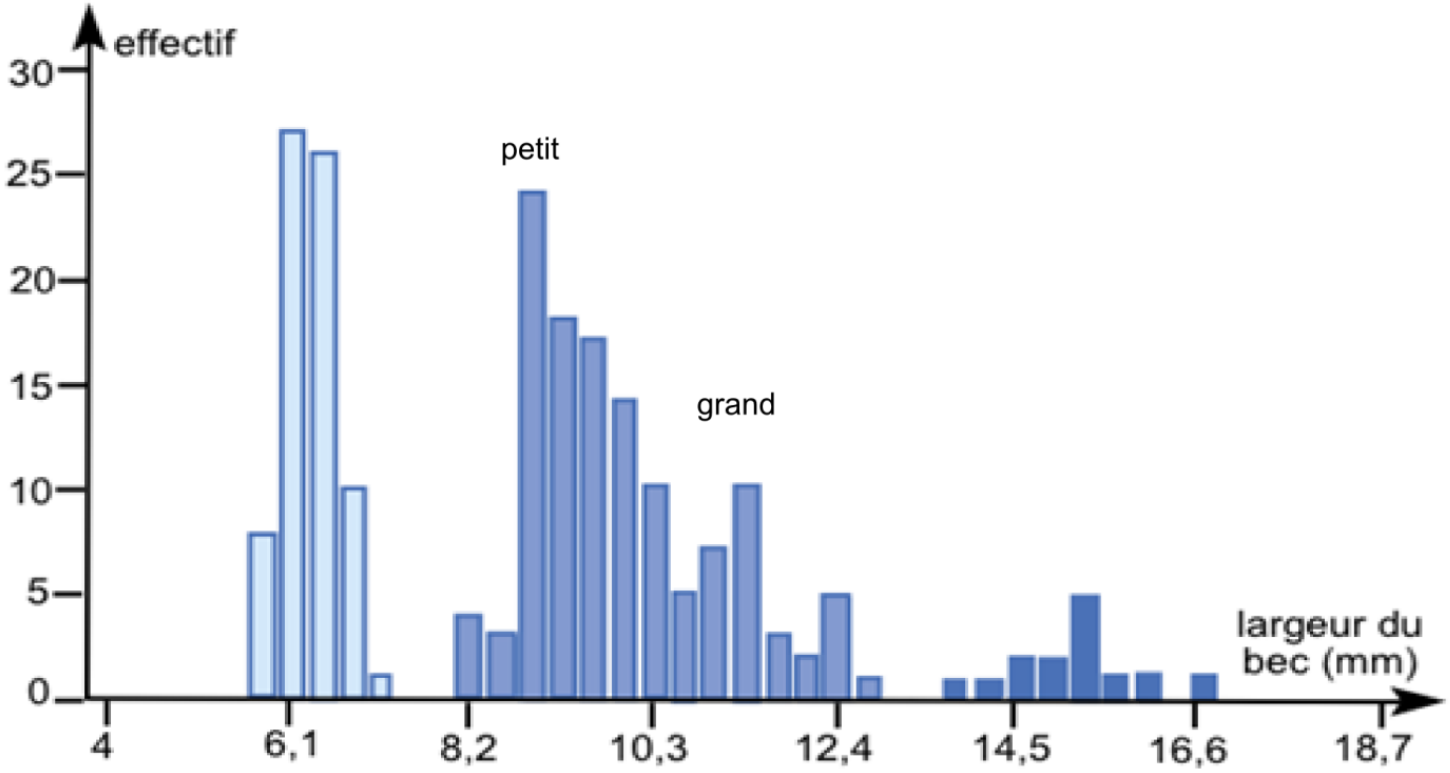
HbA//HBA : sains

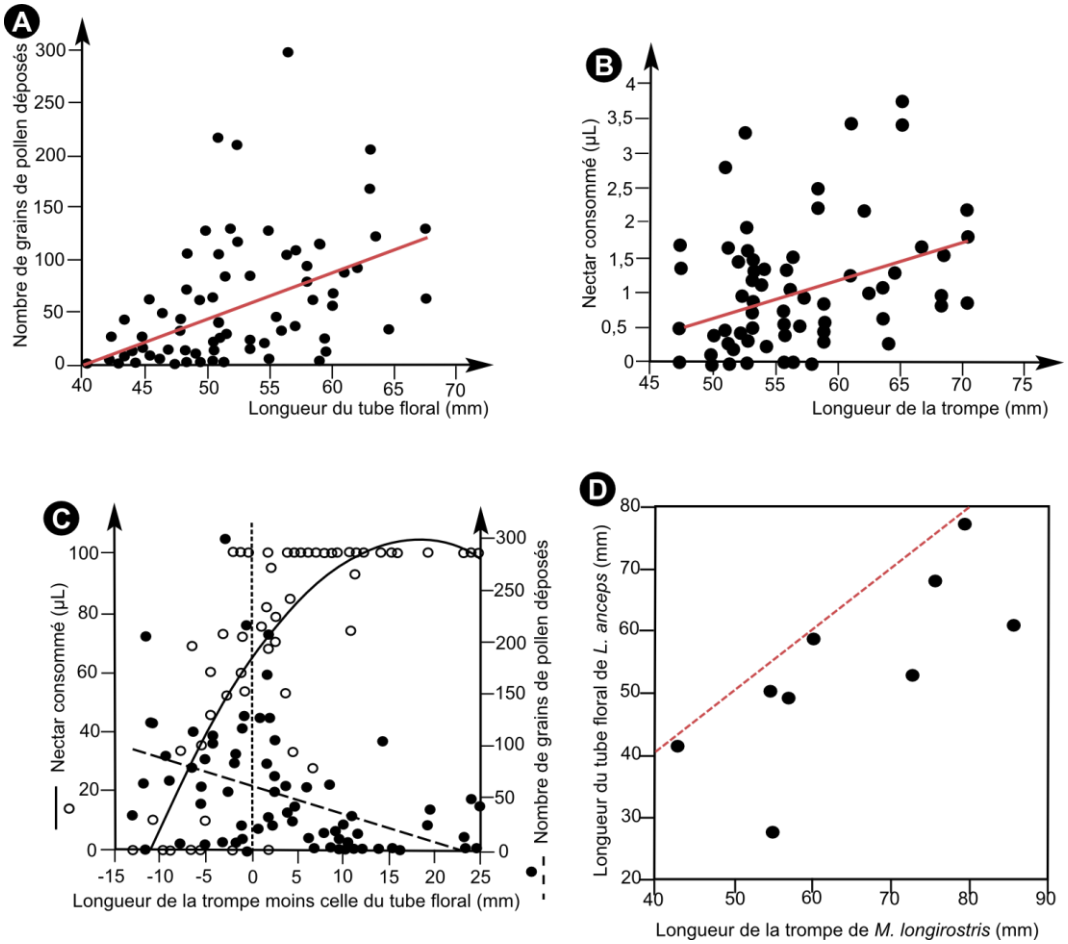
Îles Galapagos

G. fuliginosa

G. fortis

G. magnirostris

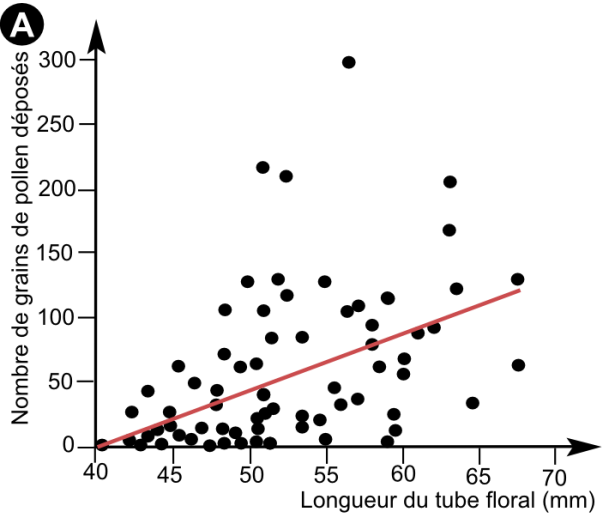




C’est une relation mutualiste.

La quantité de nectar consommée par les mouches est une évaluation de la fitness des mouches: on s’attend à ce que mieux elles sont nourries, mieux elles survivent et se reproduisent.

La quantité de grains de pollen déposés sur les stigmates est une évaluation de la fitness des iris : on s’attend à ce que plus il y a de pollen sur les stigmates, plus la fécondation est probable, et donc plus la probabilité de descendance de l’iris est élevée.



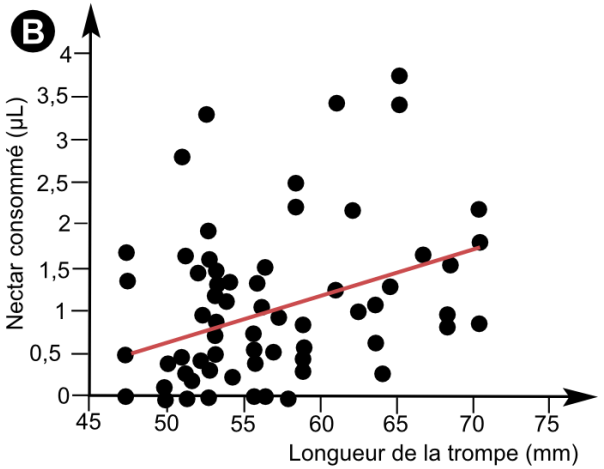
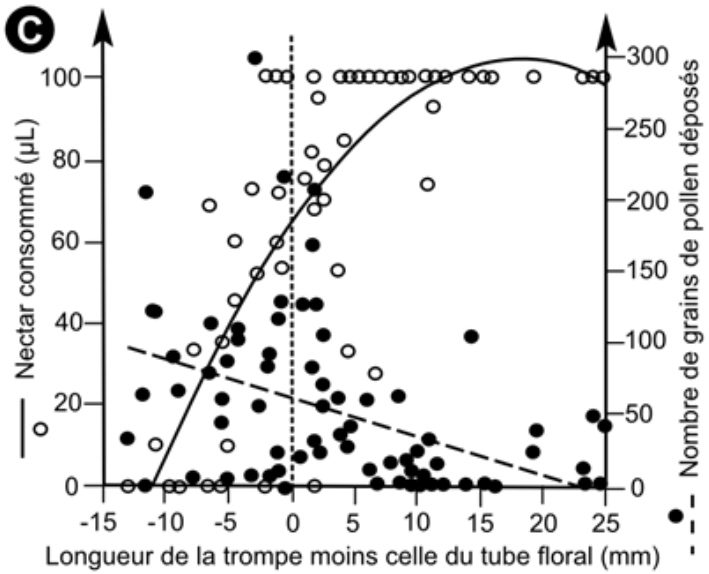


Figure A : plus la trompe des mouches est longue, plus la quantité de nectar consommée est grande (= plus leur fitness est grande si l'on suit le raisonnement précédent).

⟹ une pression de sélection directionnelle pour une augmentation de la longueur de la trompe.

Figure B ; plus le tube floral est long, plus la quantité de grains de pollen déposés sur les pistils est grande (= plus la fitness des iris est grande) ; un long tube floral oblige les mouches à plonger et à déposer le pollen dans tube.

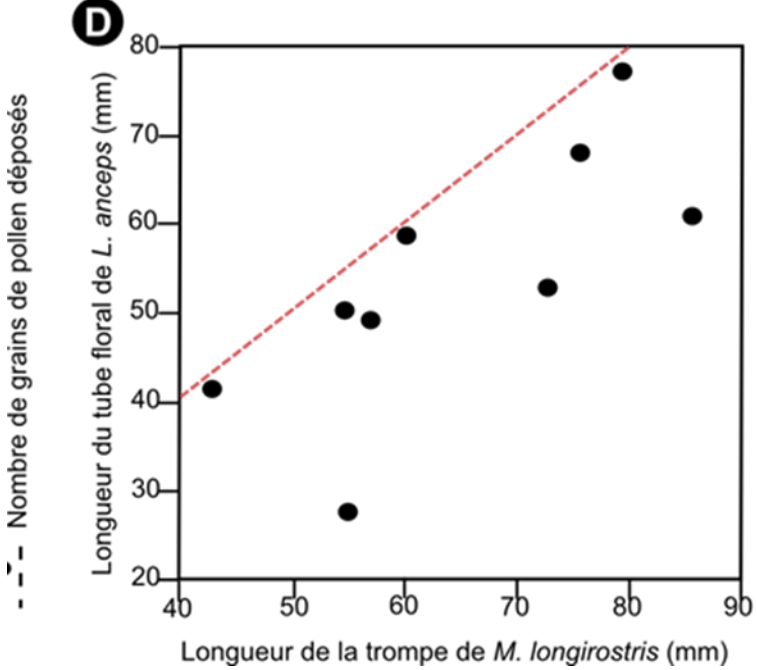
⟹ autre pression de sélection directionnelle pour une augmentation de la longueur du tube floral.



Plus la différence de taille entre tube floral et trompe est grande, plus la fitness des mouches est grande et plus celle des iris est faible.

- Chaque espèce exerce une pression de sélection sur l'autre (élément capital pour la démonstration de la coévolution) : les iris, via la longueur des tubes floraux exercent la pression de sélection sur la trompe des mouches ; les mouches, via la longueur des trompes exercent une pression de sélection sur le tube floral des iris.
- Chaque espèce est à la fois agent et cible de la sélection, i.e. l'une des espèces est la cause de l'évolution de l'autre, et inversement.

On peut caractériser le type de coévolution du système étudié. Il s'agit ici d'une « course aux armements».

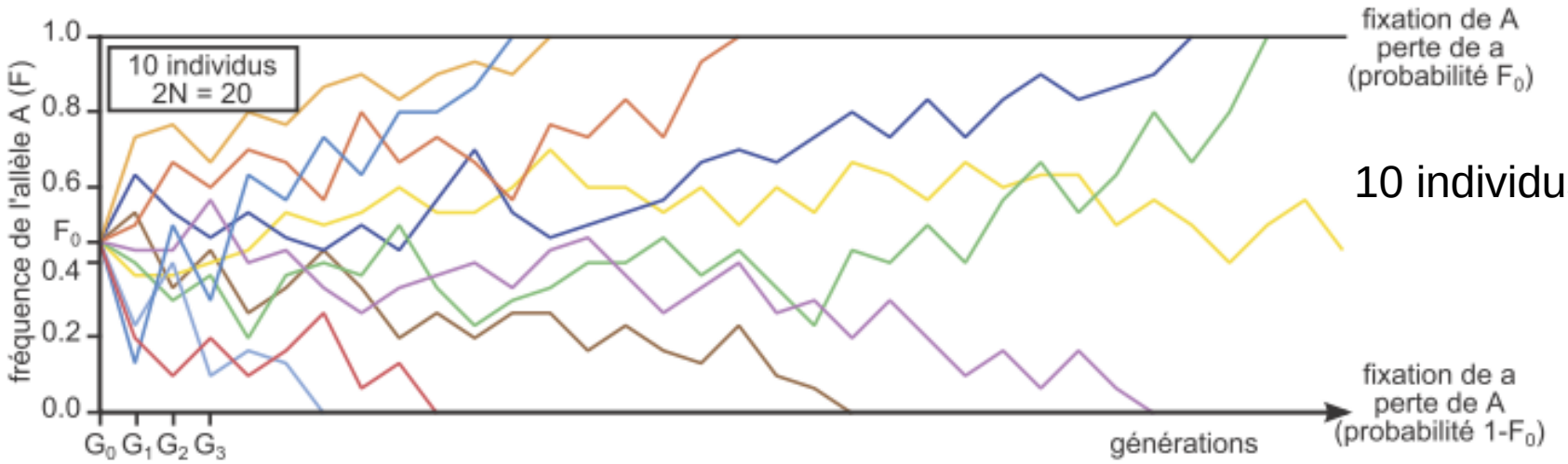


On observe une correspondance entre les longueurs des tubes floraux et les longueurs des trompes, avec des longueurs de trompes toujours légèrement supérieures à celles des tubes floraux.

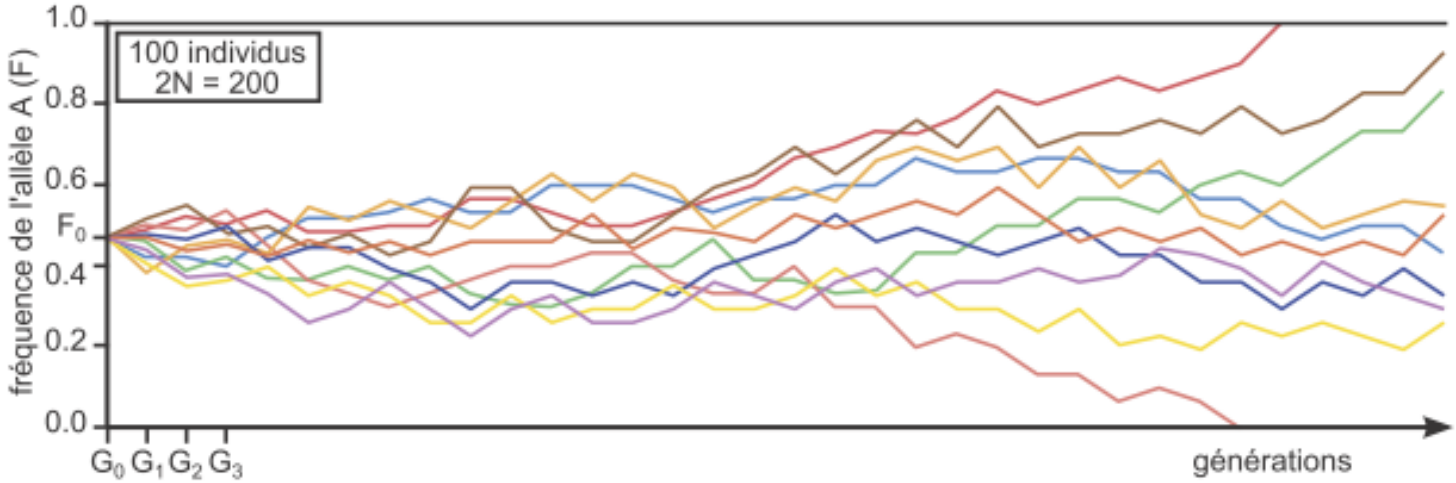
Existence d'autres contraintes environnementales…?

. Effet de la dérive génétique sur la fréquence des allèles d'un même locus

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014



10 individus



100 individus

- Influence de la sex - ratio sur l’effectif efficace d’une population d’effectif constant

$$Ne = 4Nm.Nf / (Nm + Nf)$$

Effectif des mâles Nm	Effectif des femelles Nf	Effectif total N	Effectif efficace Ne
500	500	1000	1000
400	600	1000	960
200	800	1000	640
100	900	1000	360
10	990	1000	40
1	999	1000	4

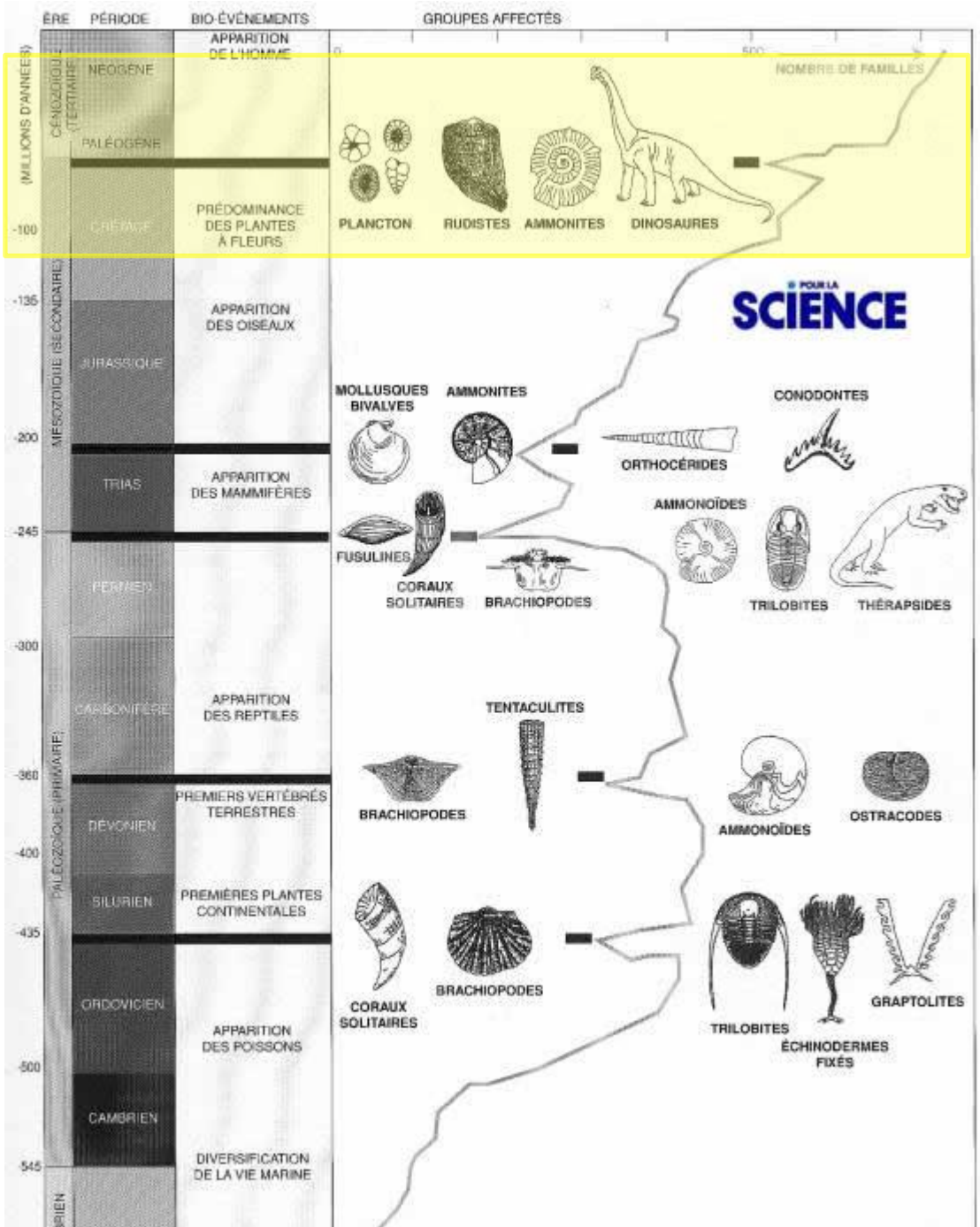
Tristan da Cunha

Peuplée à partir de 1817

27 habitants en 1827

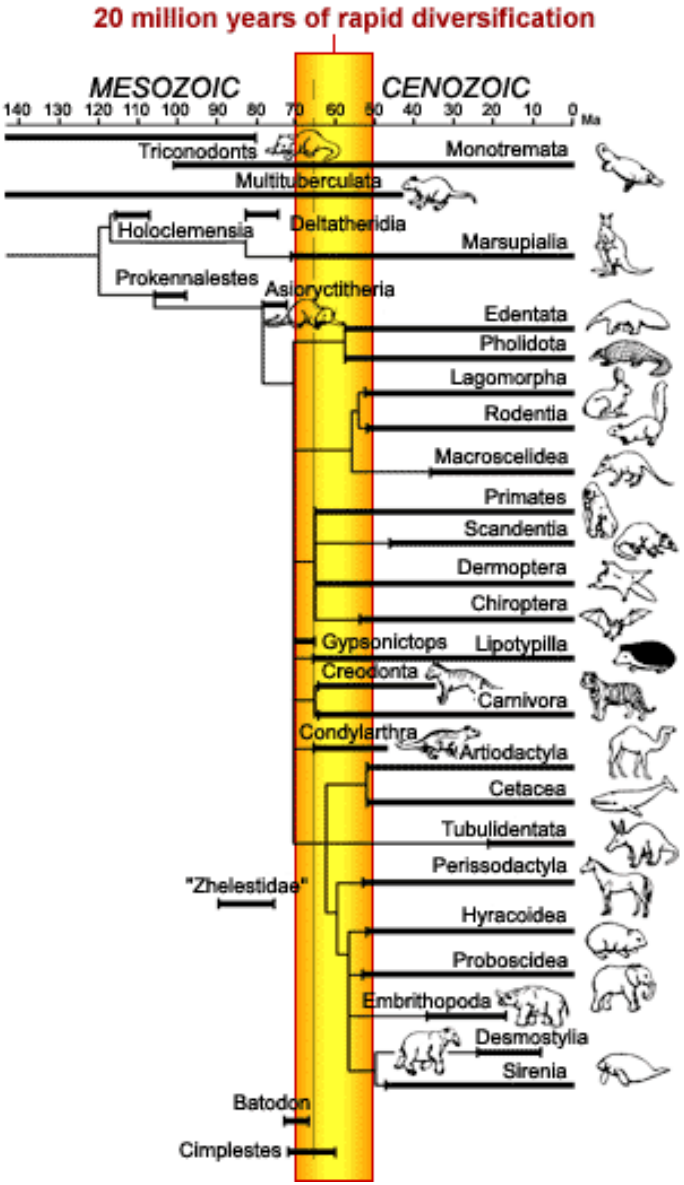
261 membres en 1961, tous issus de 19 ancêtres

Fréquence d’asthme et de glaucome plus élevée que pour la moyenne des populations humaines



Les crises biologiques au cours du Phanérozoïque

http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/limite-cretace-tertiaire.xml



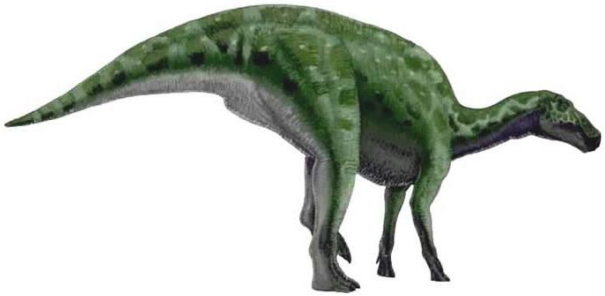
La radiation des Mammifères

http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/limites/Temps/allee/comprendre/terre-moderne

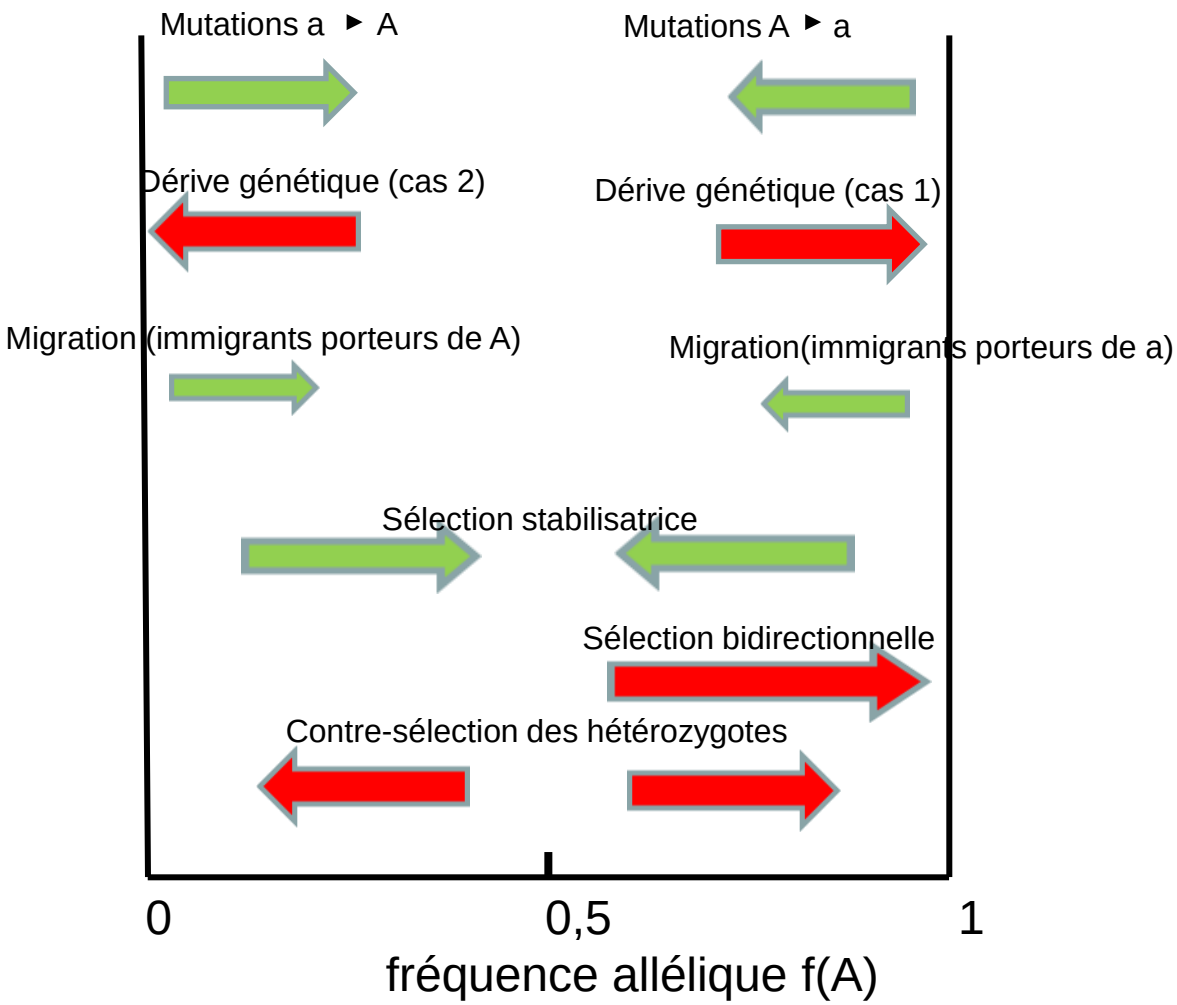
Lors des 15 derniers Ma du Crétacé
Diminution de la diversité des Dinosaures grands herbivores

Triceratops

Edmontosaurus

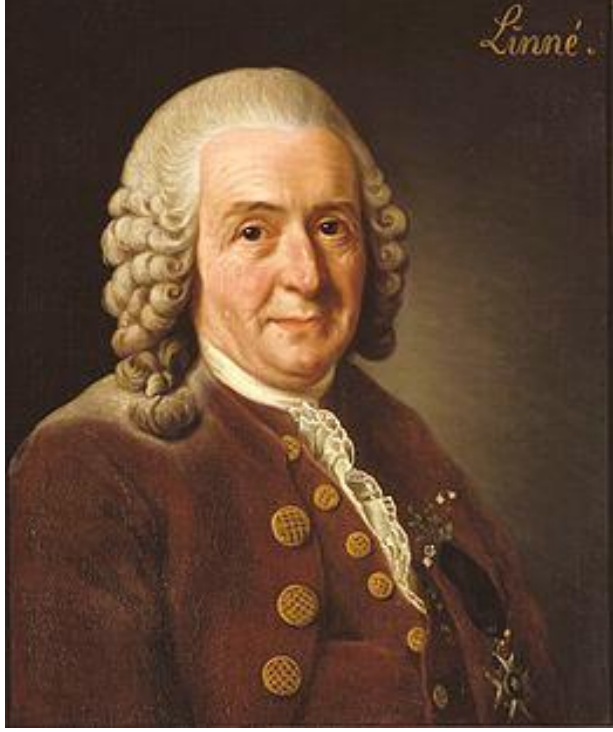


Bilan : Effet des forces évolutives sur les fréquences alléliques d'une population (cas d'un couple d'allèles A et a)



Tend à augmenter la diversité allélique

Tend à diminuer la diversité allélique



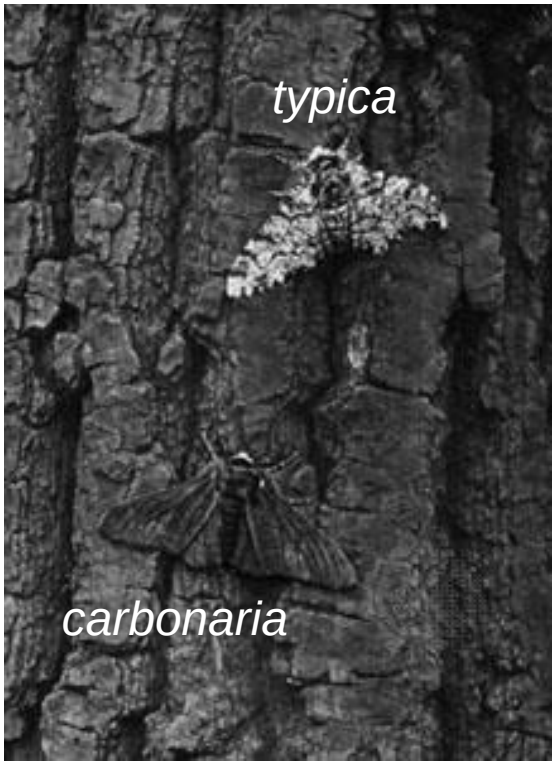
Carl von Linné (1707-1778)

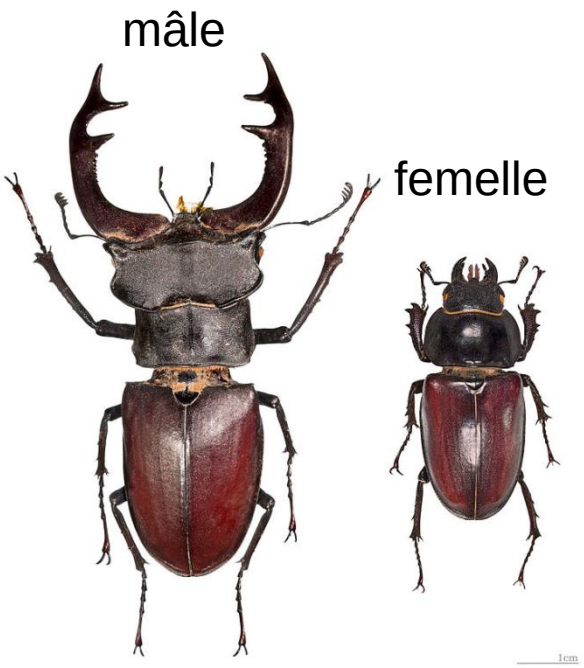
Père du concept de biodiversité par son identification de près de 6 000 espèces végétales et 4 400 animales

C’est une définition basée sur la morphologie, l’espèce est définie par comparaison avec un individu de référence conservé en muséum et qui a servi à décrire l’espèce, c’est le type d’où le nom d’espèce typologique.

Difficultés d’application du critère de ressemblance

Polymorphisme au sein d’une espèce





Phalène du bouleau

Lucane cerf-volant

Difficultés d'application du critère de ressemblance

Ressemblances entre deux espèces

Monarque (*Danaus plexippus*)

Vice-roi (*Limenitis archippus*)

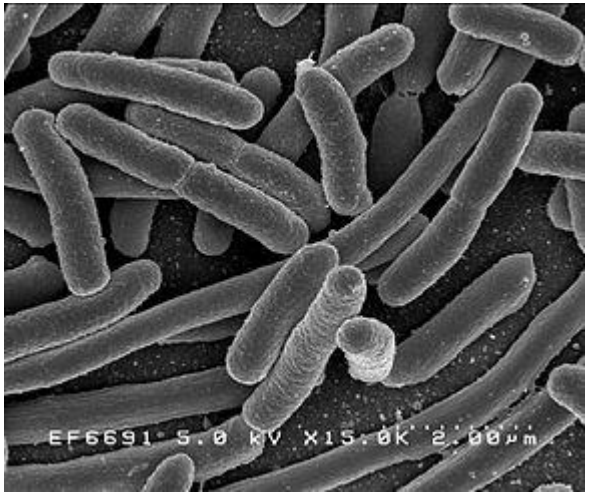
http://www.butterfliesandmoths.org

Apparentées : espèces jumelles

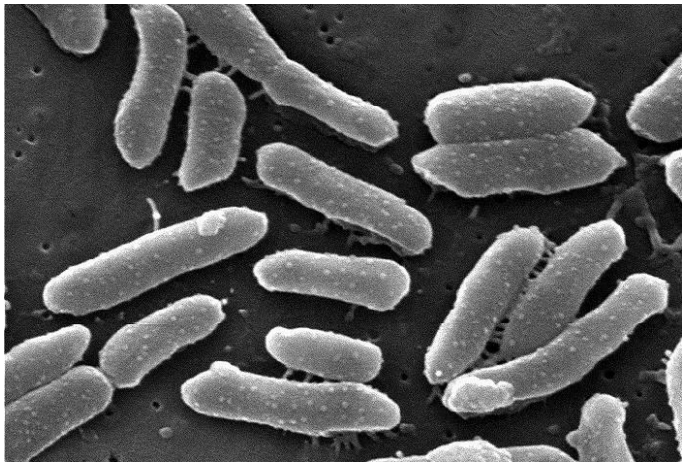
Non apparentées : convergence

Difficultés d'application du critère de ressemblance

Les bactéries



Colibacilles



Pseudomonas

Mais possibilité de comparer des séquences d'ADN

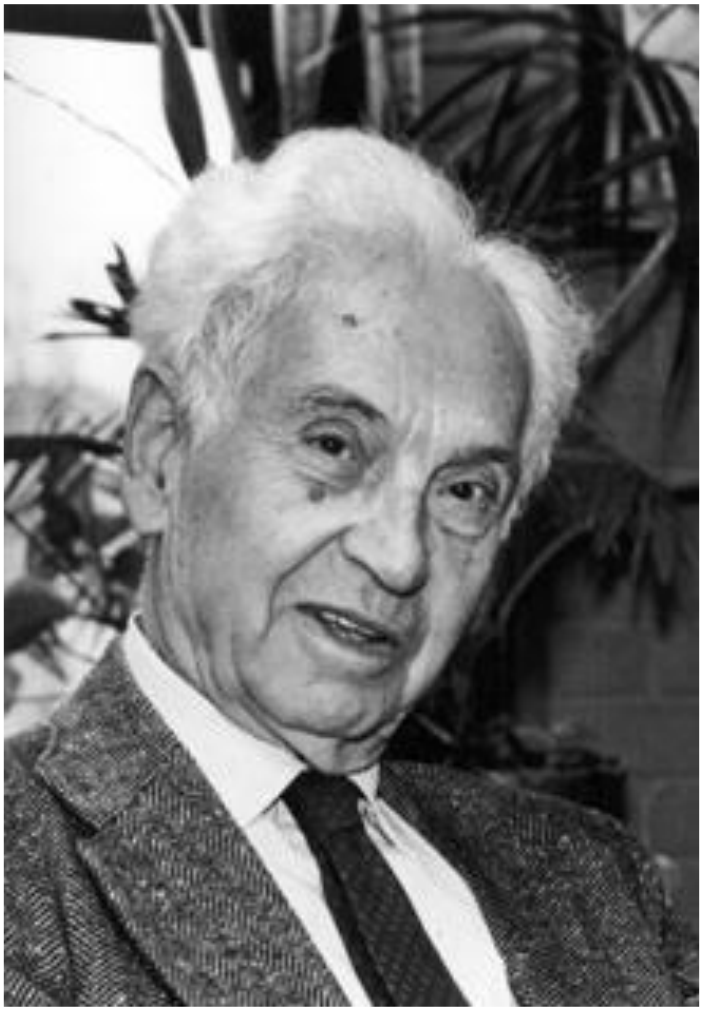
Définition biologique de l’espèce

Mayr (1904-2005), définition de **1942** : « Les espèces sont des groupes de populations dont les membres peuvent se croiser entre eux et qui sont reproductivement isolés d'autres groupes ».

Chat sauvage

Chat domestique

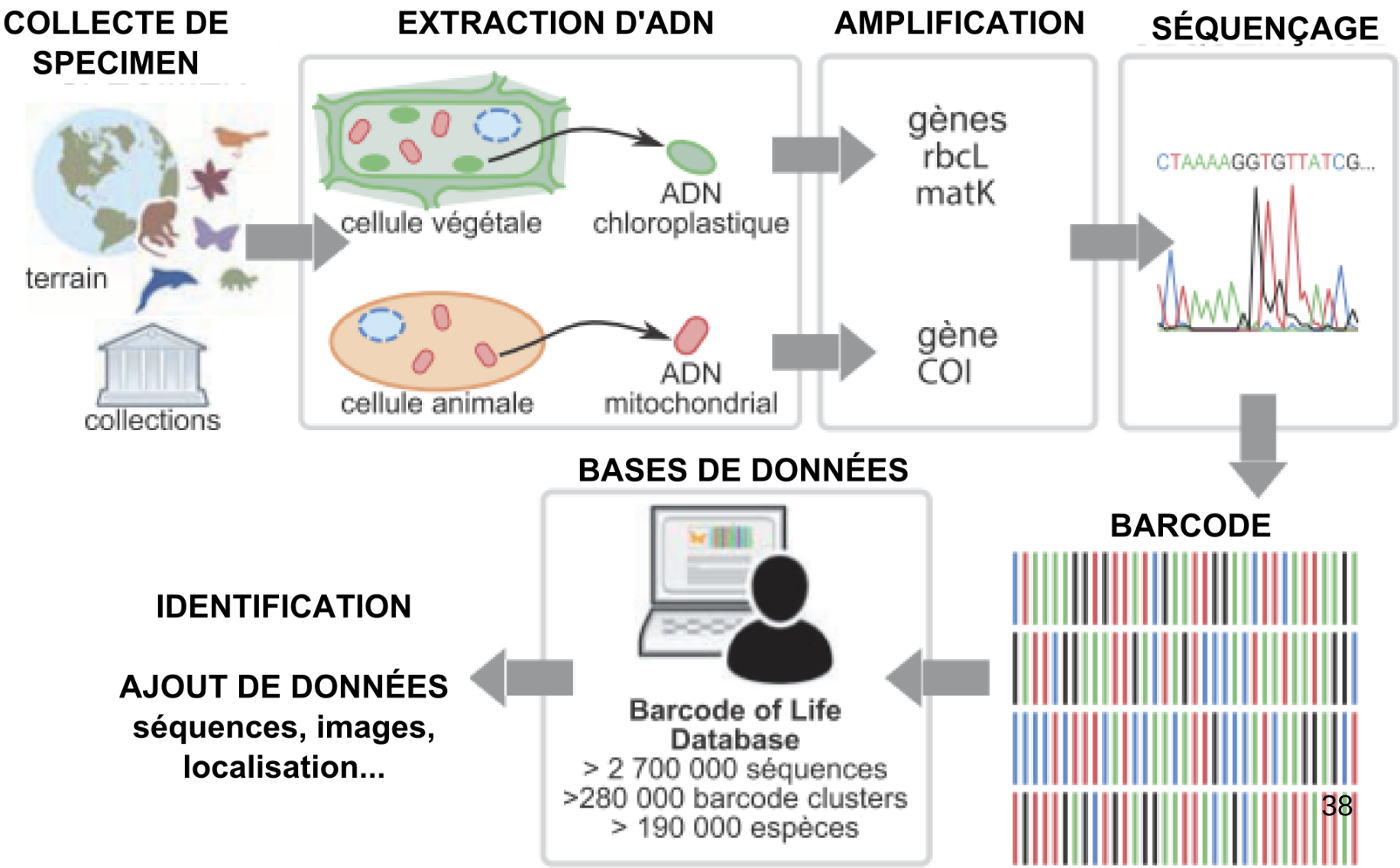
Définition écologique de l’espèce

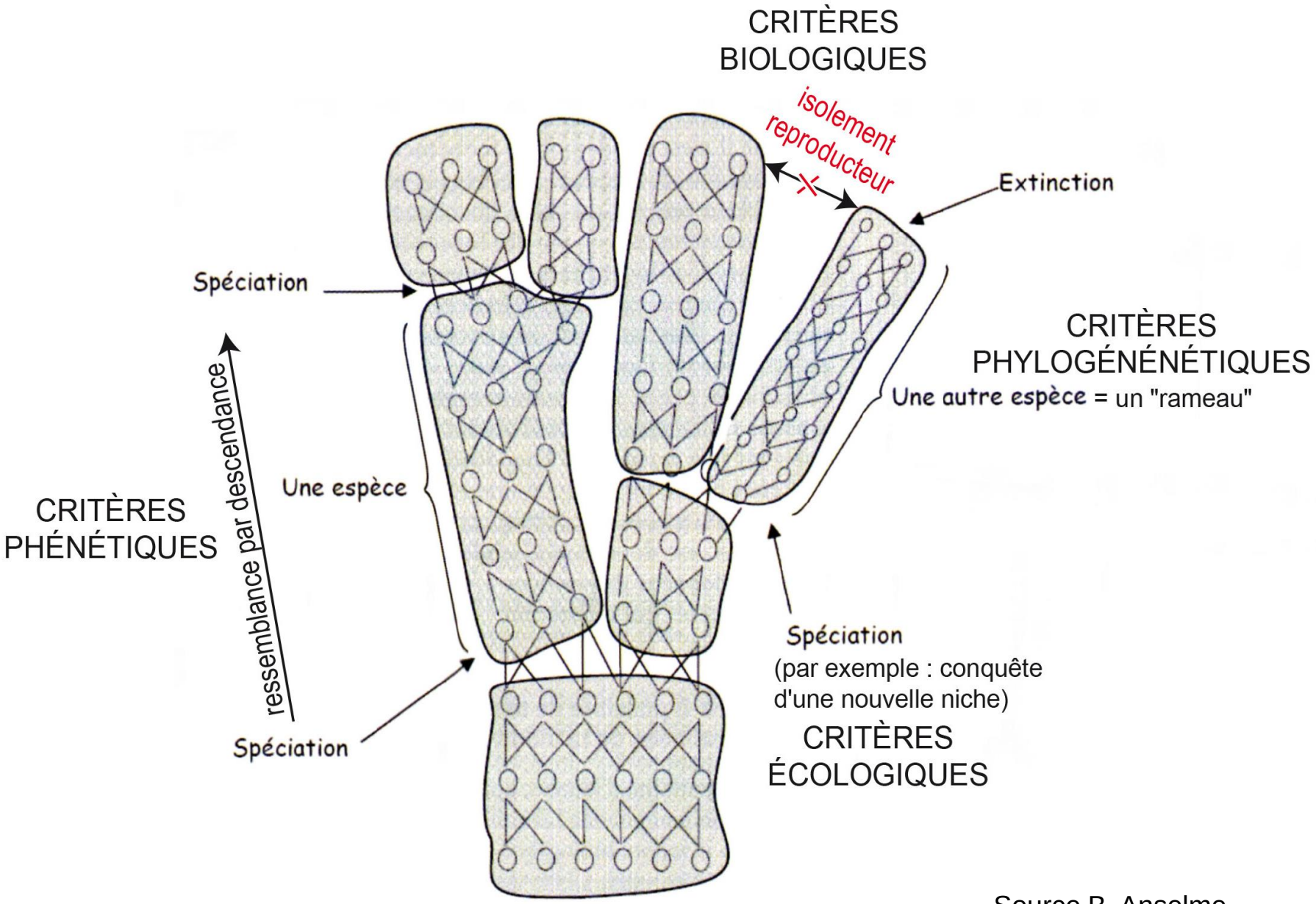


Définition de Mayr de **1982**:
Une espèce est une communauté reproductive de populations, reproductivement isolée d'autres communautés, et qui occupe une niche particulière dans la nature.

La procédure du barcodage

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014





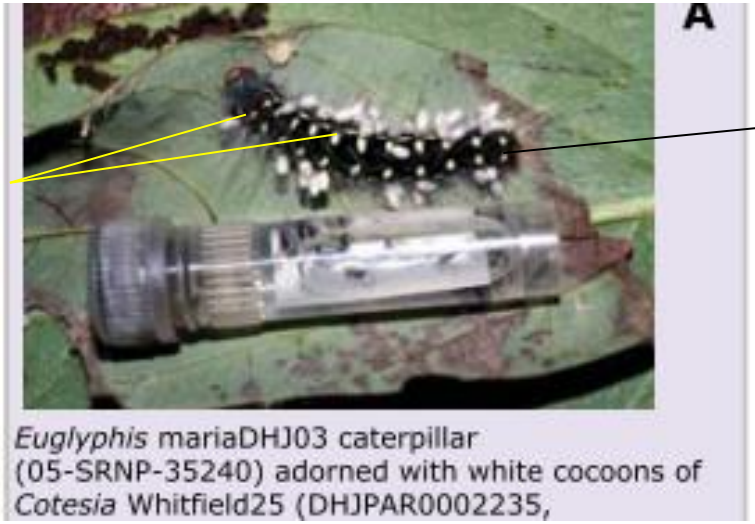
Approche intégrative de la notion d'espèce

Source B. Anselme
Professeur BCPST 2 Fénelon

Étude de 2597 guêpes parasitoïdes d'une forêt du Costa Rica.

M.A. Smith & al (PNAS 2008)

Cocons des parasitoïdes



Chenille = hôte

Étude de plus de 2500 specimens

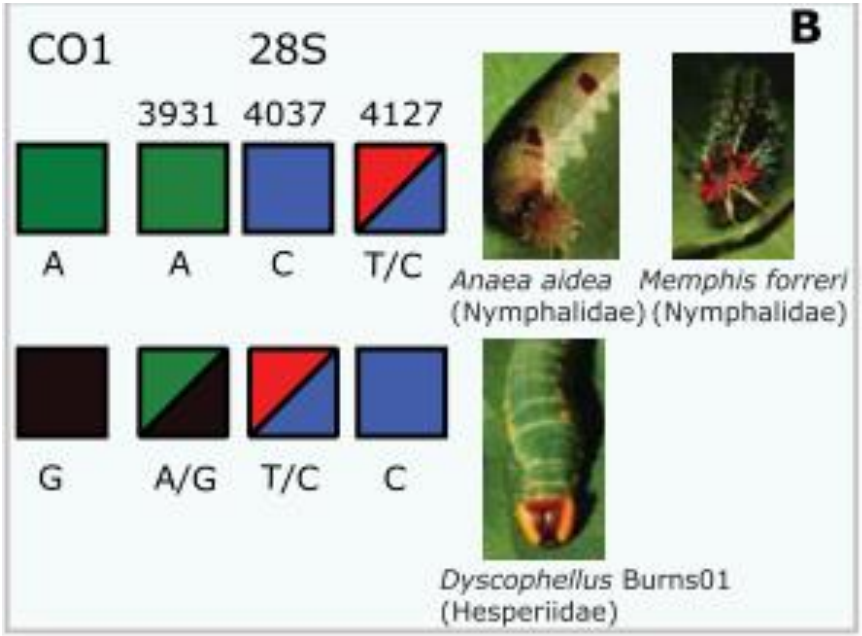
- Données morphologiques → 171 « espèces »
- Données phylogénétiques : le barcode → 142 espèces de plus
- Données écologiques : spécificité d'hôte très importante : environ 90 % des guêpes n'attaquent qu'une ou deux espèces hôtes.

Étude de 2597 guêpes parasitoïdes d'une forêt du Costa Rica.

M.A. Smith & al (PNAS 2008)

Exemple de différences entre deux espèces

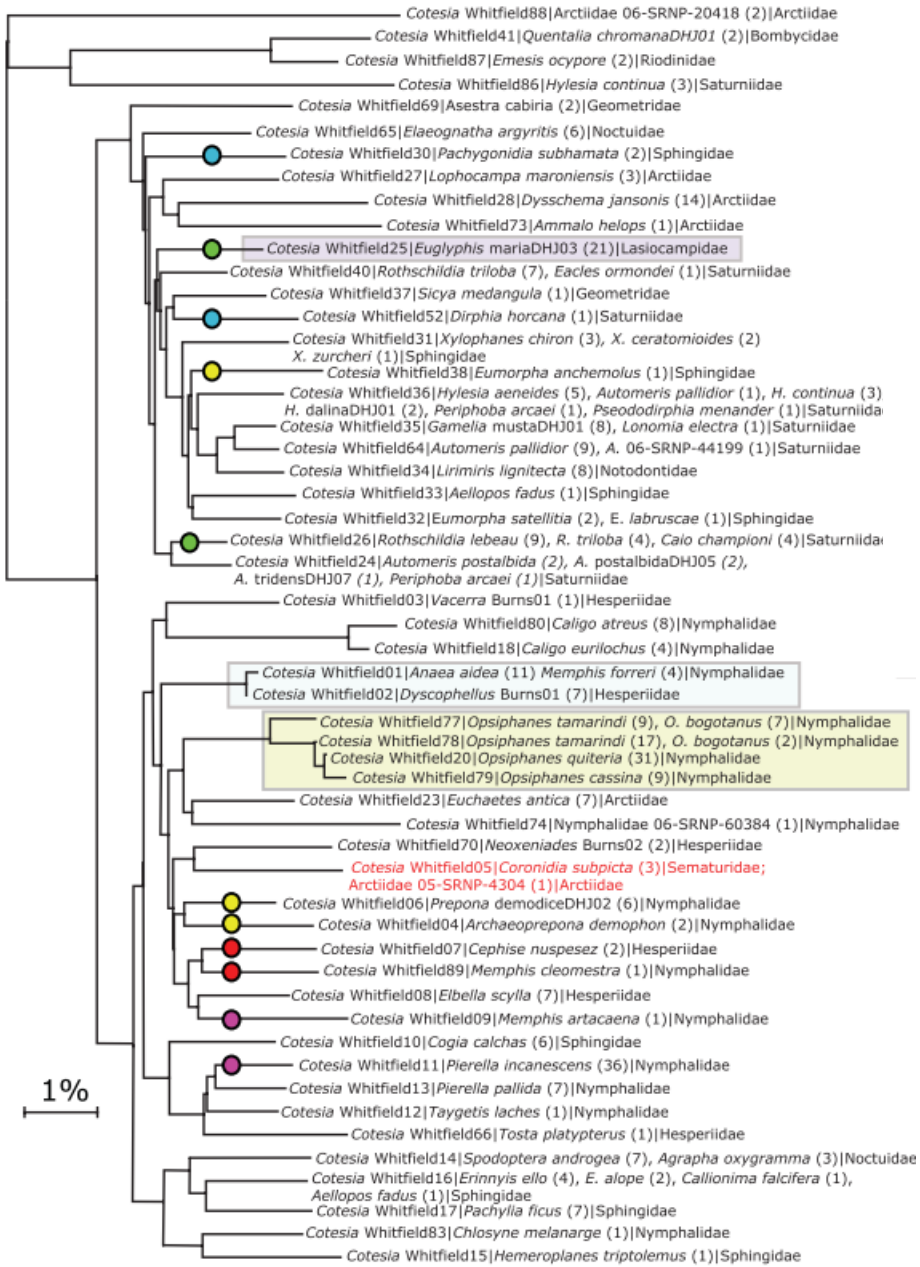
Séquences différentes



Hôtes différents

Étude de 2597 guêpes parasitoïdes d'une forêt du Costa Rica.

M.A. Smith & al (PNAS 2008)



Disques de couleur : espèces qui n'auraient pas été différenciées par l'étude morphologique.

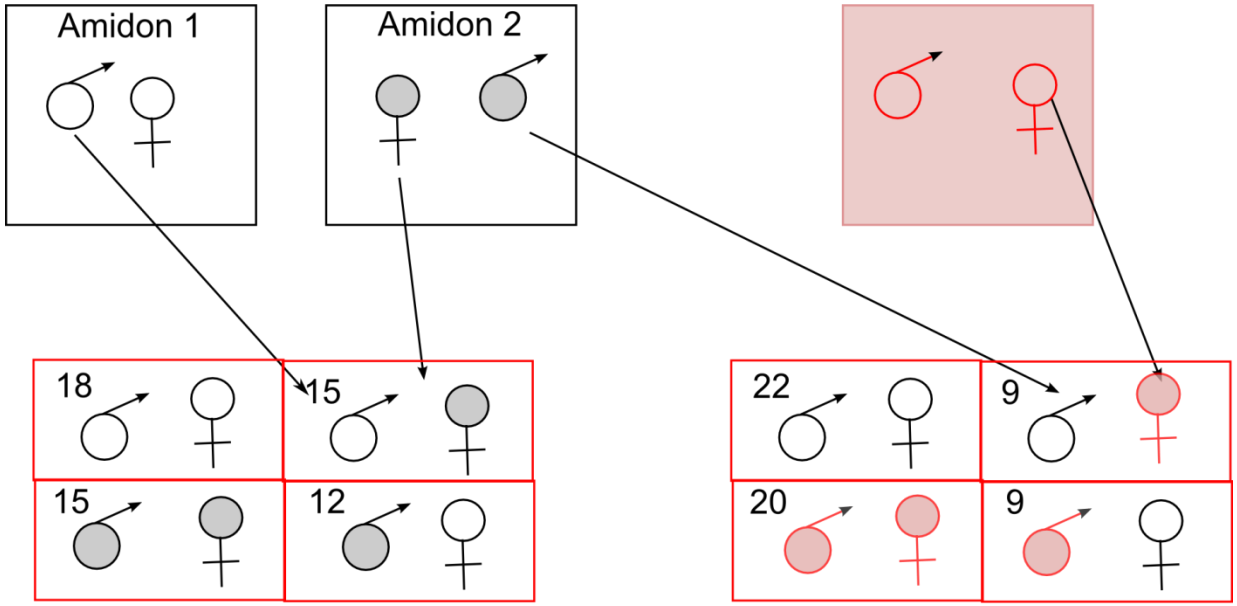
Texte en rouge : espèce dont la spécificité d'hôte est large, ce qui laisse penser qu'elle est formée de plusieurs espèces non détectées au barcodage.

Doc 12 - Résultats de l'expérience de Dodd et coll. (1989) sur *Drosophila pseudoobscura*

Populations élevées séparément sur des milieux différents				Populations élevées séparément sur un même milieu			
		Femelles				Femelles	
		Amidon	Maltose			Amidon 1	Amidon 2
Mâles	Amidon	22	9	Mâles	Amidon 1	18	15
	Maltose	8	20		Amidon 2	12	15
Indice d'isolement		(42-17)/59 = 0,42		Indice d'isolement		(33-27)/60 = 0,1	

Amidon

Maltose



accouplements
témoins : mêmes milieux

accouplements
milieux différents

Isolement prézygotique

Barrières précopulatoires	**Isolement comportemental ou éthologique** : les individus des deux espèces ne se reconnaissent pas	
	Isolement écologique	**Par l'habitat** : espèces dans des habitats distincts
		Dans le temps : période de reproduction non synchrones
		Par le vecteur du pollen : vecteurs du pollen différents
Barrières postcopulatoires, prézygotiques : pas de fécondation	**Isolement comportemental** : le comportement lors de la copulation empêche la réalisation de la fécondation	
	Isolement gamétique : les gamètes ne réalisent pas la fécondation pour des problèmes de stockage, de transport (avortement de tubes pollinique ou mort des spermatozoïdes dans les voies génitales) ou de non reconnaissance membranaire	
Barrières postcopulatoires postzygotiques : fécondation possible	**Extrinsèques**	**Non viabilité écologique de l'hybride** qui n'est adapté à aucune niche
		Stérilité comportementale de l'hybride incapable d'attirer un partenaire sexuel
	Intrinsèques	**Hybrides non viables**
		Hybrides stériles

Isolement post zygotique

Source : *Faits et mécanismes de l'évolution biologique*, Allano & Clamens, 2010

Isolement prézygotique écologique

http://www.lepinet.fr

Colias hyale

Prairies grasses

Colias australis

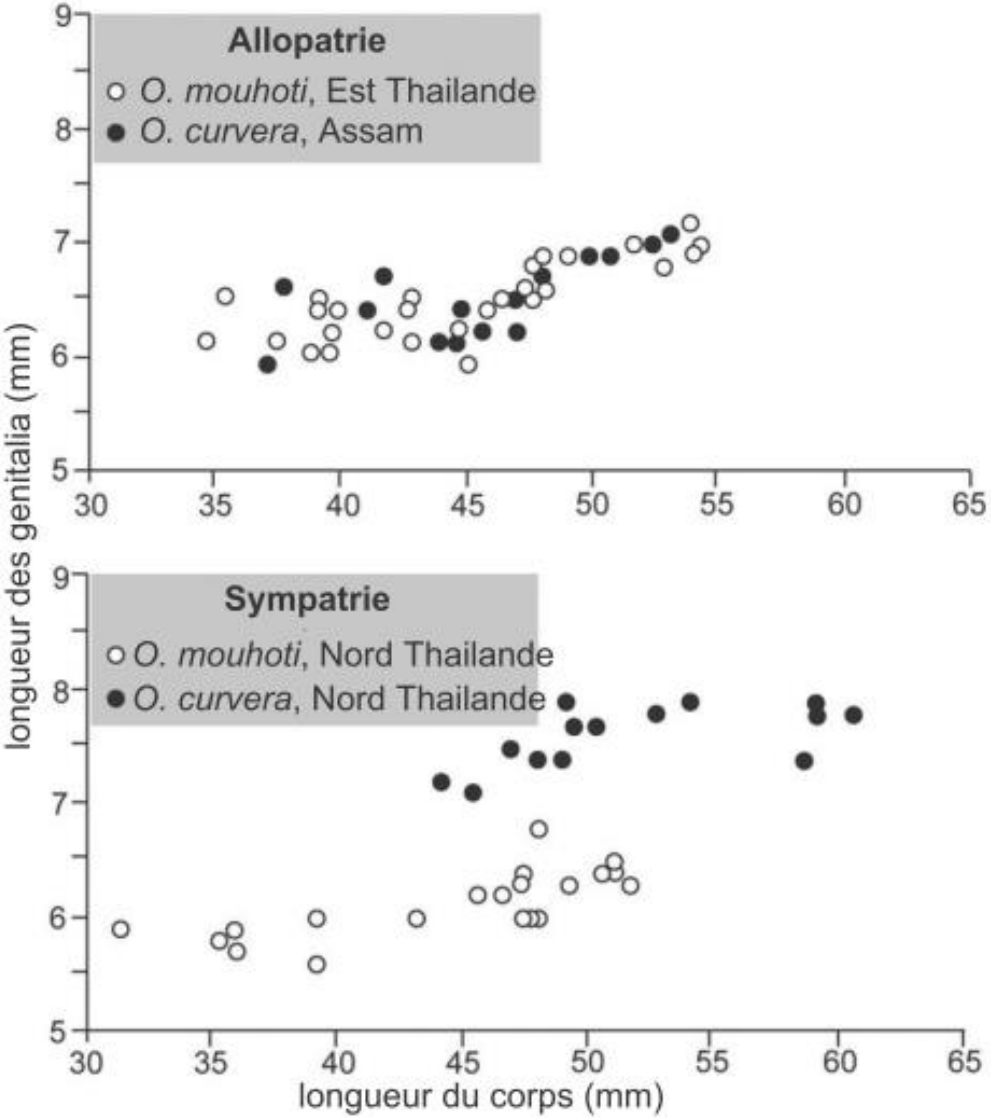
Pelouses sèches

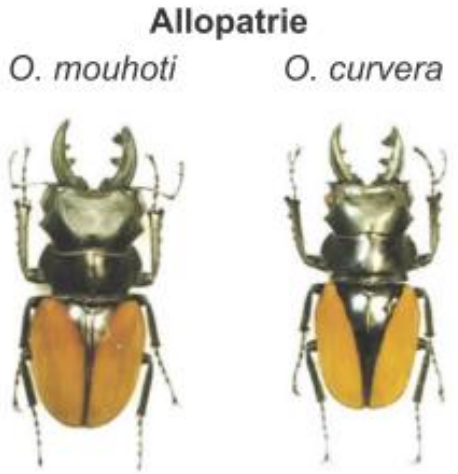
Isolement prézygotique mécanique

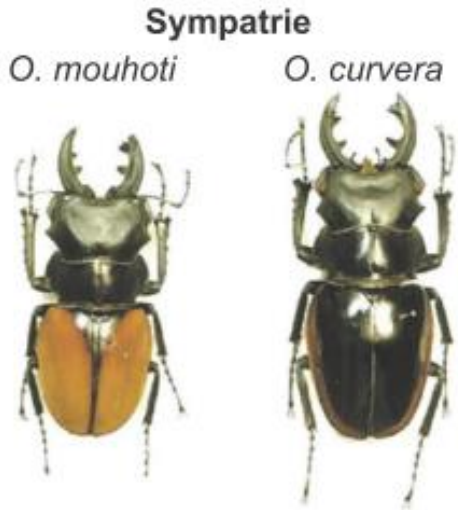
http://www.tela-botanica.org

Ophrys

Renforcement de l'isolement reproducteur chez deux espèces de Lucanes cerfs-volants.





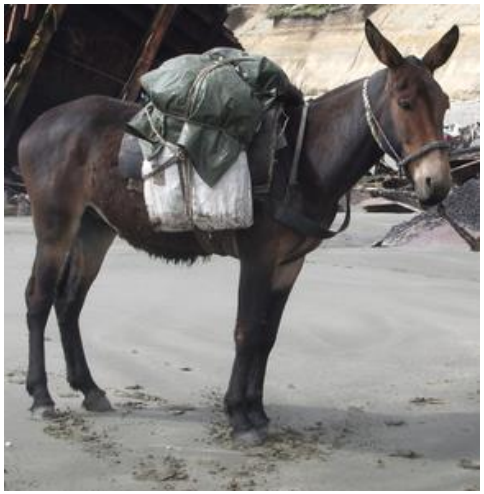


Isolement postzygotique

Stérilité des hybrides

bardot

étalon x ânesse



mulet

âne x jument

Isolement postzygotique

Dépression hybride

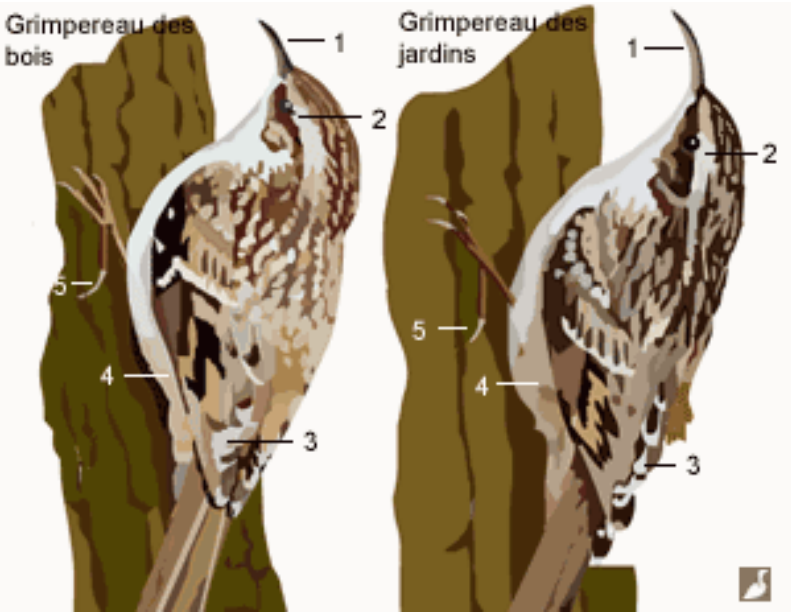
Gossypium hirsutum

Gossypium tomentosum

F1 = hybrides normaux
F2 très peu fertiles

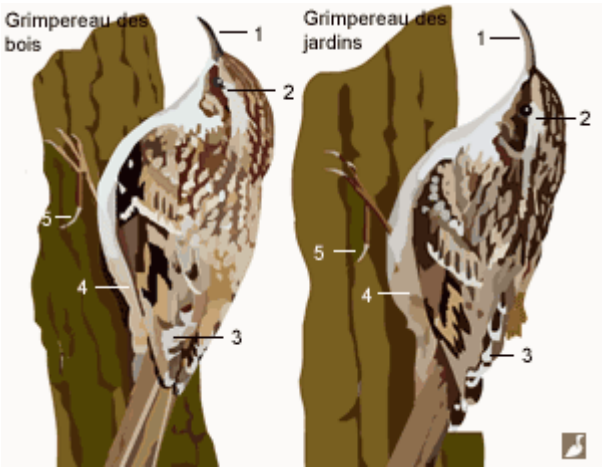
Isolement prézygotique éthologique

Chants différents



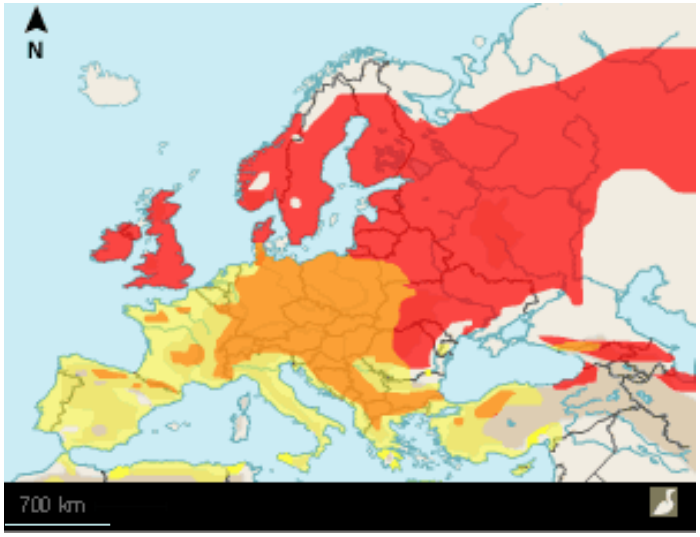
Grimpereaux des bois ou des jardins

http://www.ornithomedia.com/pratique/identification/distinguer-grimpereaux-bois-jardins-01297.html



Certhia brachydactyla *Certhia familiaris*

Aires de répartition des Grimpereaux

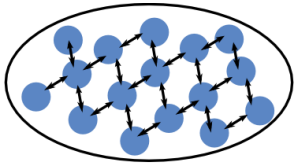


1 - bec plus court du Grimpereau des bois,
2 - sourcils très similaires chez les deux oiseaux
3 - extrémités pâles des ailes plus "individualisées" chez le Grimpereau des jardins et plus diffuses chez le Grimpereau des bois
4 - flancs légèrement teintés de chamois chez le Grimpereau des bois (pour la sous-espèce *C. f. macrodactyla*)
5 - ongle postérieur plus court chez le Grimpereau des jardins
6 – **le chant**

G. des jardins (en jaune)
G; des bois (en rouge).
En orange, la zone de chevauchement.

Modèle de spéciation allopatrique

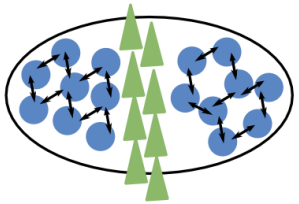
Population initiale



Population sympatrique

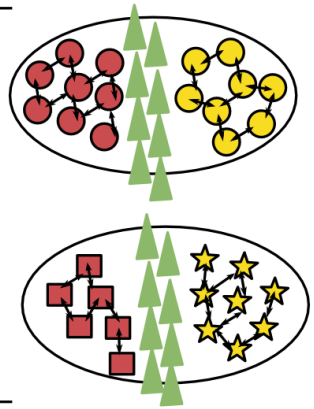
⟷ flux génique

1 - Apparition d'une barrière géographique



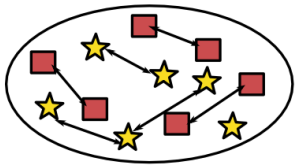
2 populations allopatriques

2 - Différenciation progressive (dérive génétique, sélection naturelle)



2 populations allopatriques

3 - Disparition de la barrière géographique => 2 populations sympatriques

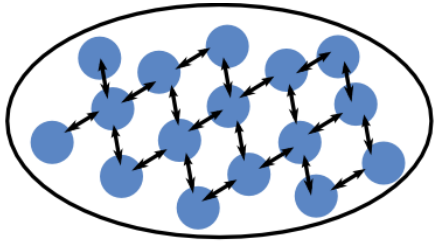


Cas 1 : pas d'hybridation entre les populations
SPÉCIATION

Cas 2 : hybridation entre les populations
PAS DE SPÉCIATION

. Modèle de spéciation sympatrique

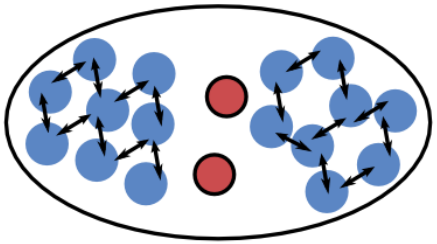
Population initiale



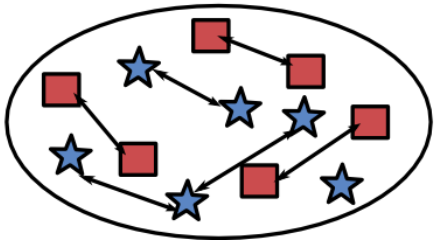
Population sympatrique

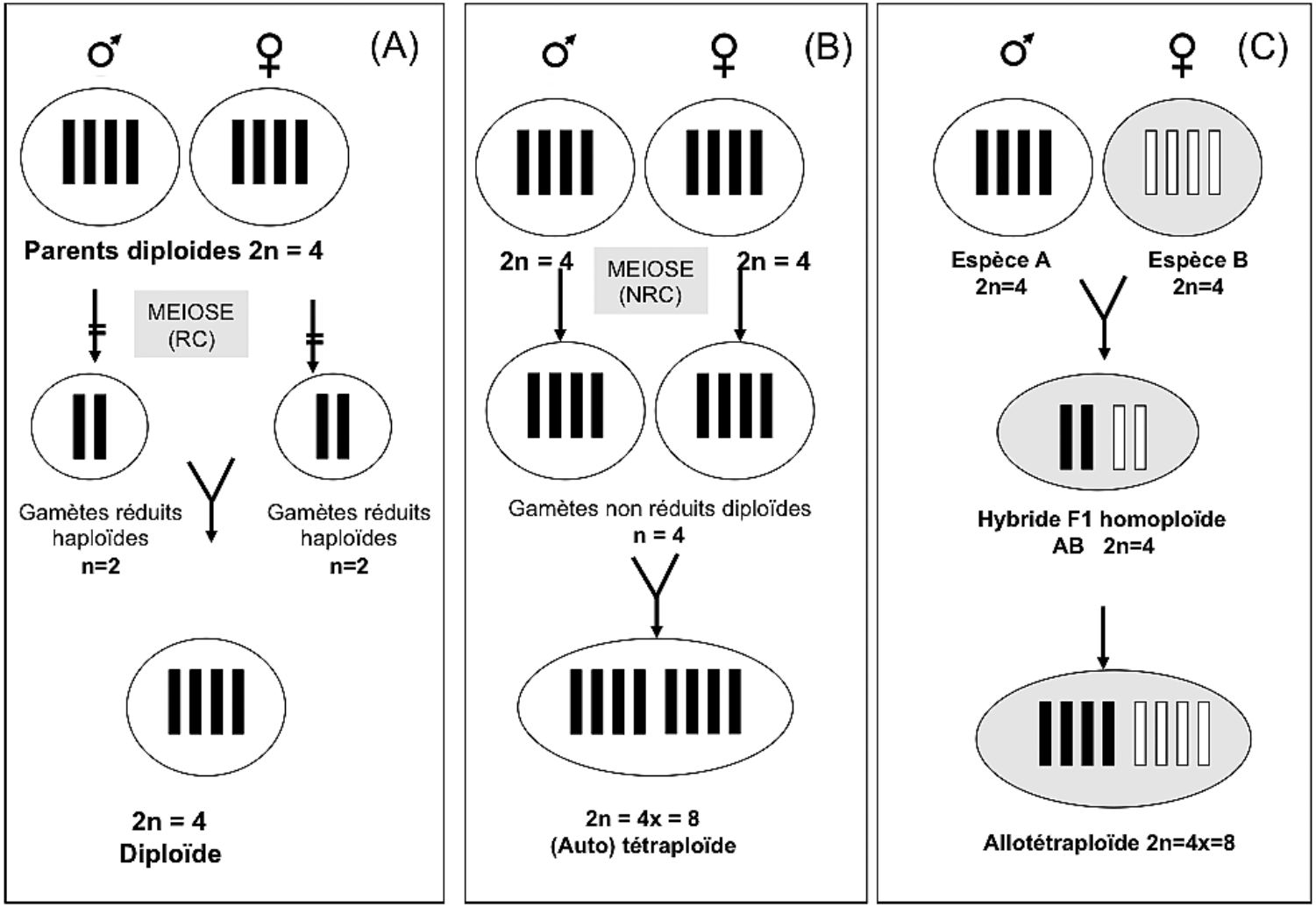
⟷ flux génique

Isolement reproductif entre certains individus



Evolution divergente conduisant à la SPÉCIATION

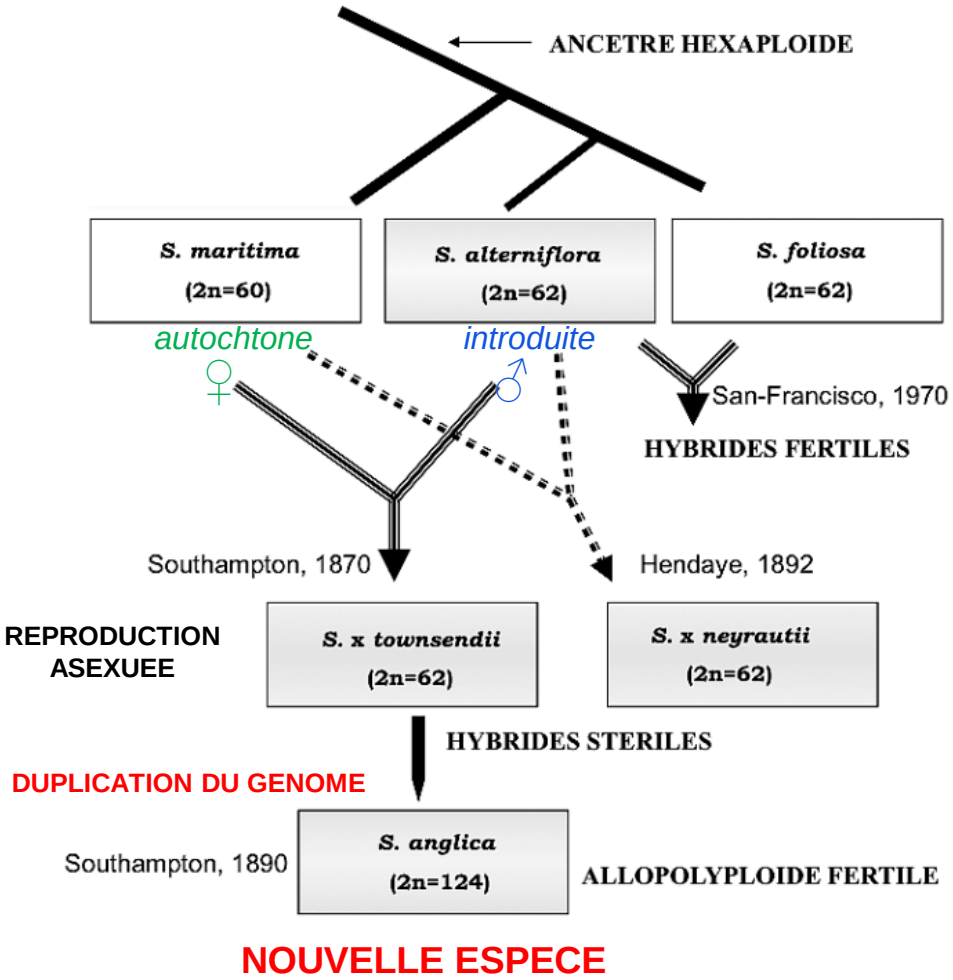


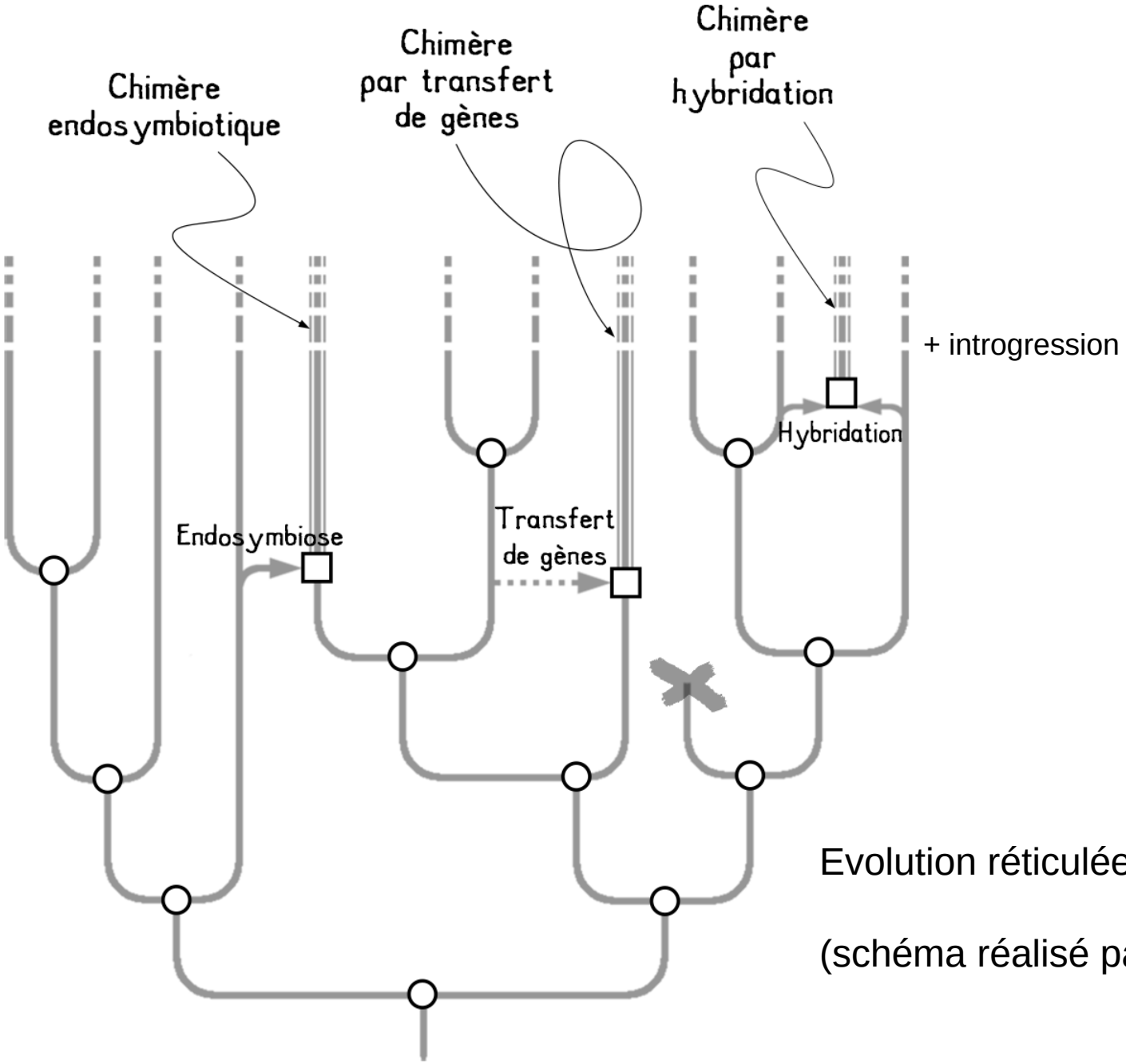


A. Méiose normale avec réduction de moitié du nombre de chromosomes (RC). L'union de gamètes réduits haploïdes redonne un oeuf diploïde.
B. Formation et union de gamètes non réduits (NRC) diploïdes de la même espèce et formation d'un autotétraploïde
C. Formation d'un hybride interspécifique de même nombre chromosomique que ses parents (homoploïde) et duplication du génome de l'hybride formant un allotétraploïde qui contient deux lots de chromosomes (noirs et blancs) homéologues (provenant de deux espèces différentes). Le fond gris indique le parent maternel (espèce B). (Hainouche Malika, Évolution réticulée et spéciation allopolyploïde chez les plantes : les enseignements des spartines)

B10 - 10. Hybridations interspécifiques chez les spartines et origine de la nouvelle espèce allopolyploïde *Spartina anglica*

Ainouche M. Atalia 2012, n°15





Evolution réticulée

(schéma réalisé par Bruno Anselme)

La génération diploïde suivante s’obtient de la façon suivante

Gamètes mâles / Gamètes femelles	**A** fréquence p	a fréquence q
A fréquence p	**AA** **p^2**	**A**a **pq**
a fréquence q	**A**a **pq**	aa **q^2**

La structure génotypique de la nouvelle génération est donc : les individus AA avec une **fréquence p^2**
les individus Aa avec une **fréquence 2pq**
les individus aa avec une **fréquence q^2**

Les nouveaux gamètes produits par cette génération seront de fréquence :
gamète A : p2 + ½ (2pq) = p2 + pq = p(p+q) = p
gamète a : q2 + ½ (2pq) = q2 + pq = q(p+q) = q

Bilan
D'après les hypothèses de Hardy-Weinberg, les fréquences de gènes et de génotypes ne varient pas d'une génération à l'autre. Aucun allèle ne va envahir la population aux dépens des autres : le polymorphisme génétique du locus considéré se maintient de façon stable.

Autrement dit :

- dans une population isolée d'effectif illimité, non soumise à la sélection, et dans laquelle il n'y a pas de mutation, les **fréquences alléliques restent constantes**.
- Si les accouplements sont panmictiques, les fréquences génotypiques se déduisent directement des fréquences alléliques et restent donc aussi constantes : **AA= p^2** **Aa = 2pq** **aa = q^2**

Gamètes mâles / Gamètes femelles	A fréquence p	a fréquence q
A fréquence p	AA p^2	Aa pq
a fréquence q	Aa pq	aa q^2

La structure génotypique de la nouvelle génération est donc : les individus AA avec une **fréquence p^2**

les individus Aa avec une **fréquence 2pq**

les individus aa avec une **fréquence q^2**