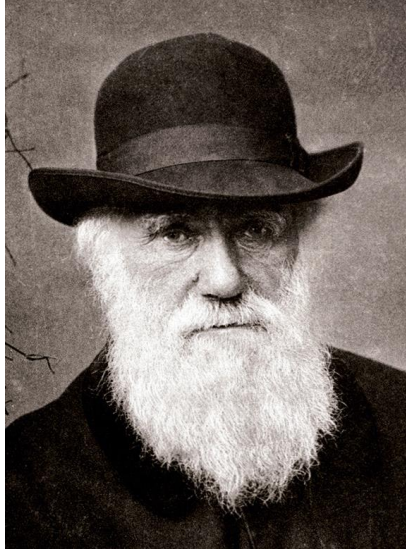
SV – K – 1

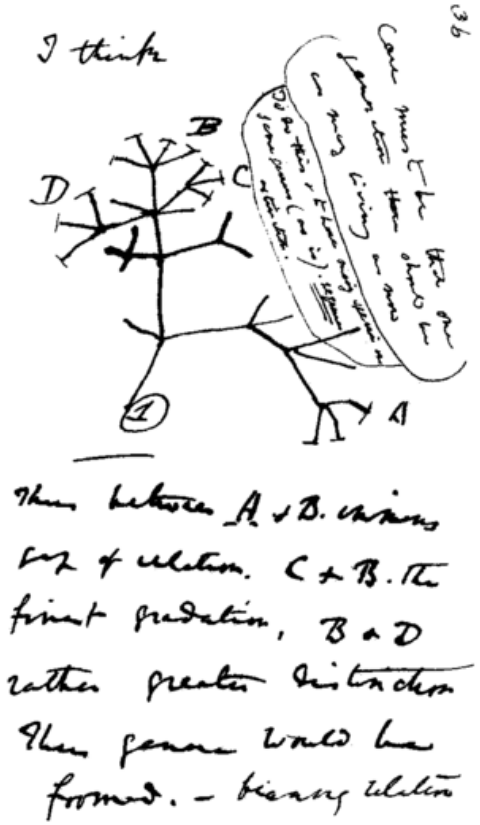
Les mécanismes de l'évolution

Atlas de la biodiversité



Charles Darwin
1809 - 1882

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



Polymorphisme de la coquille de l'escargot des haies (*Cepea nemoralis*)

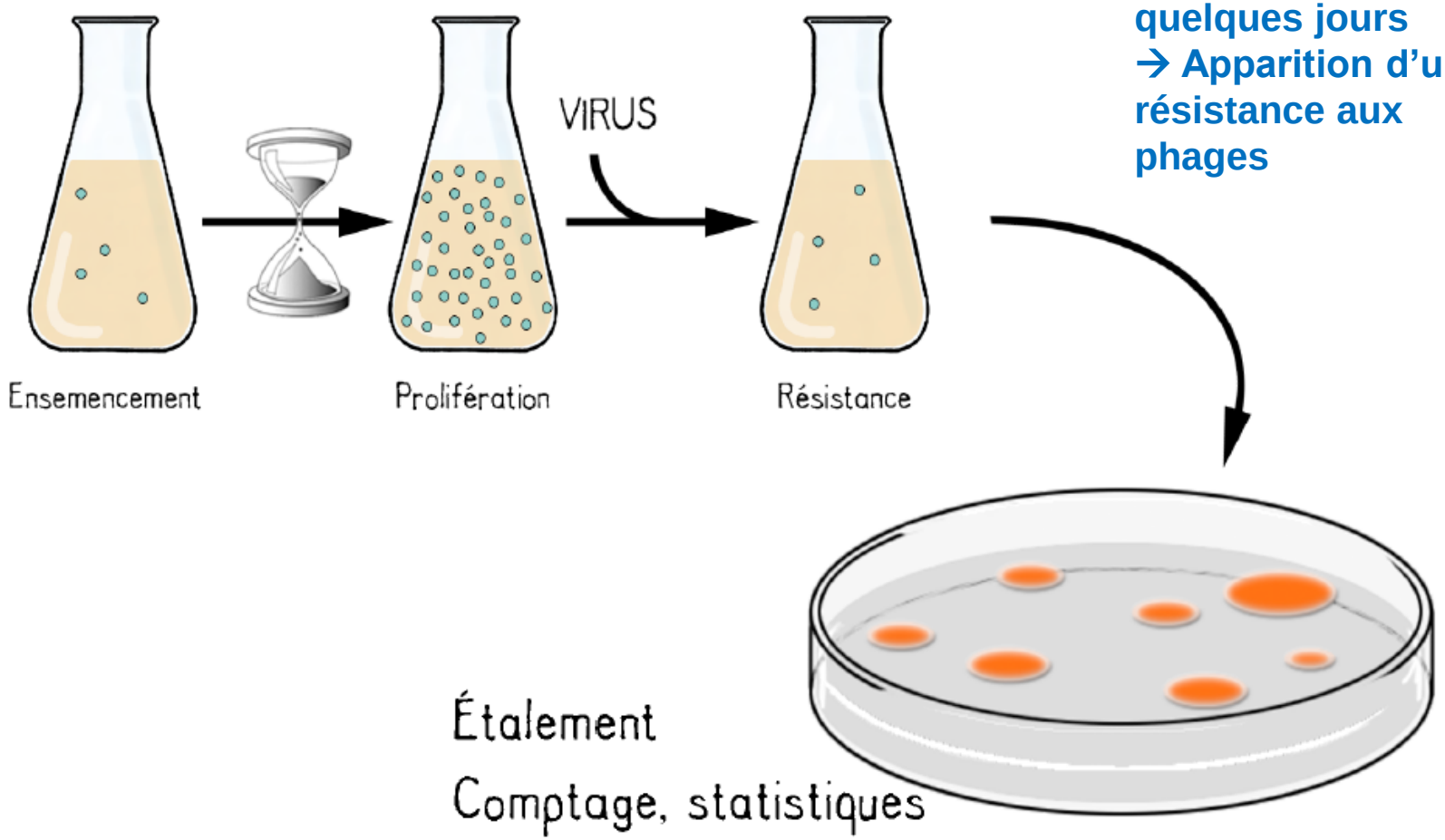
https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin

Principe de l'expérience de Luria et Delbrück (1943)

Le milieu se trouble

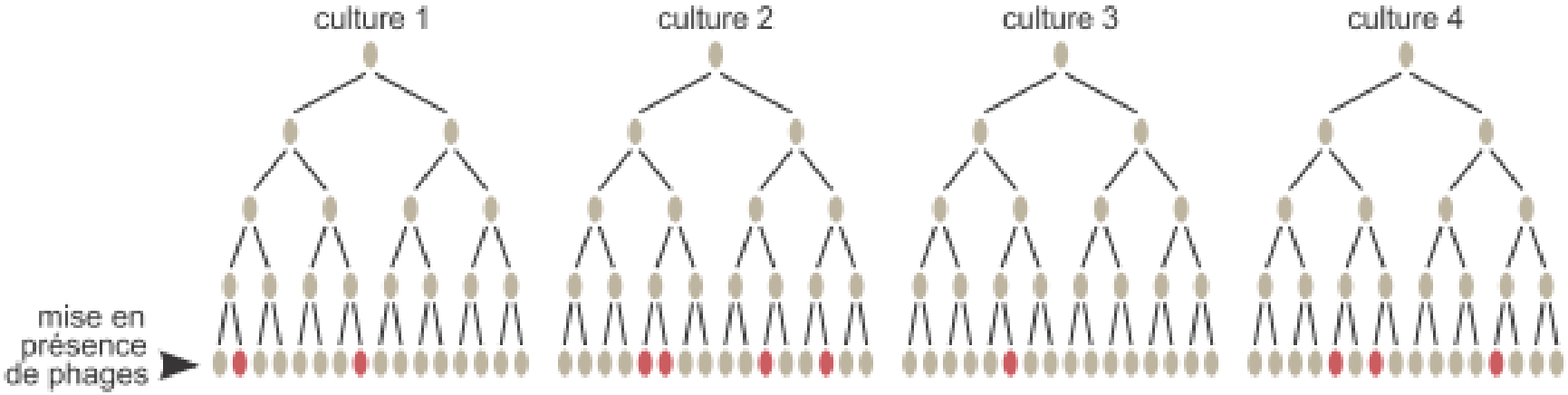
Le milieu devient progressivement translucide

Si on conserve le flacon, on constate que le milieu se trouble à nouveau en quelques jours
→ Apparition d'une résistance aux phages



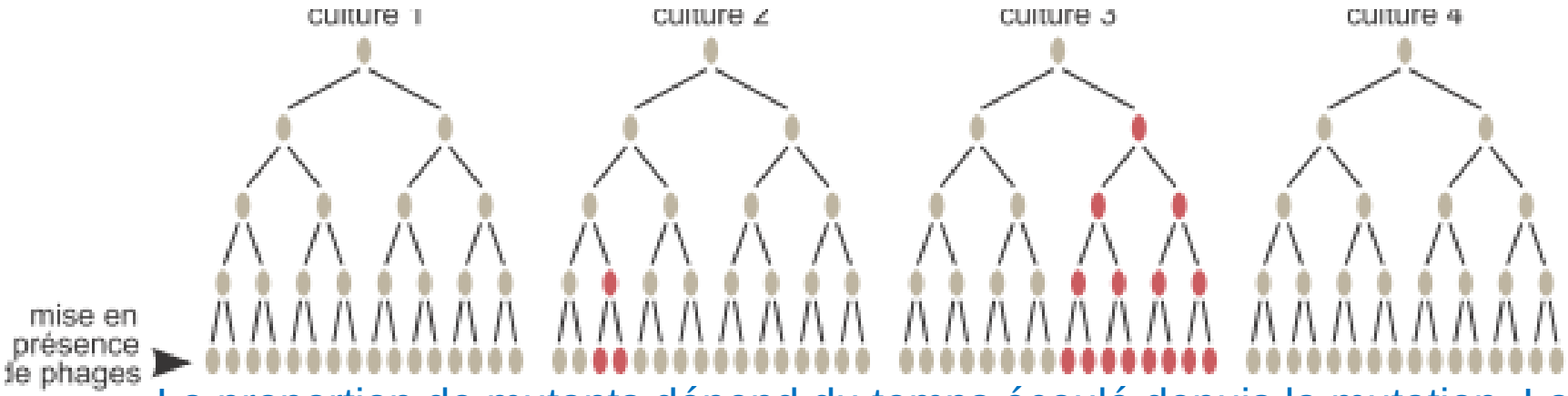
<u>Document 1</u>. Acquisition de la résistance de bactéries à des phages : hypothèses explicatives.

Hypothèse adaptative : induction des mutants par contact avec le phage



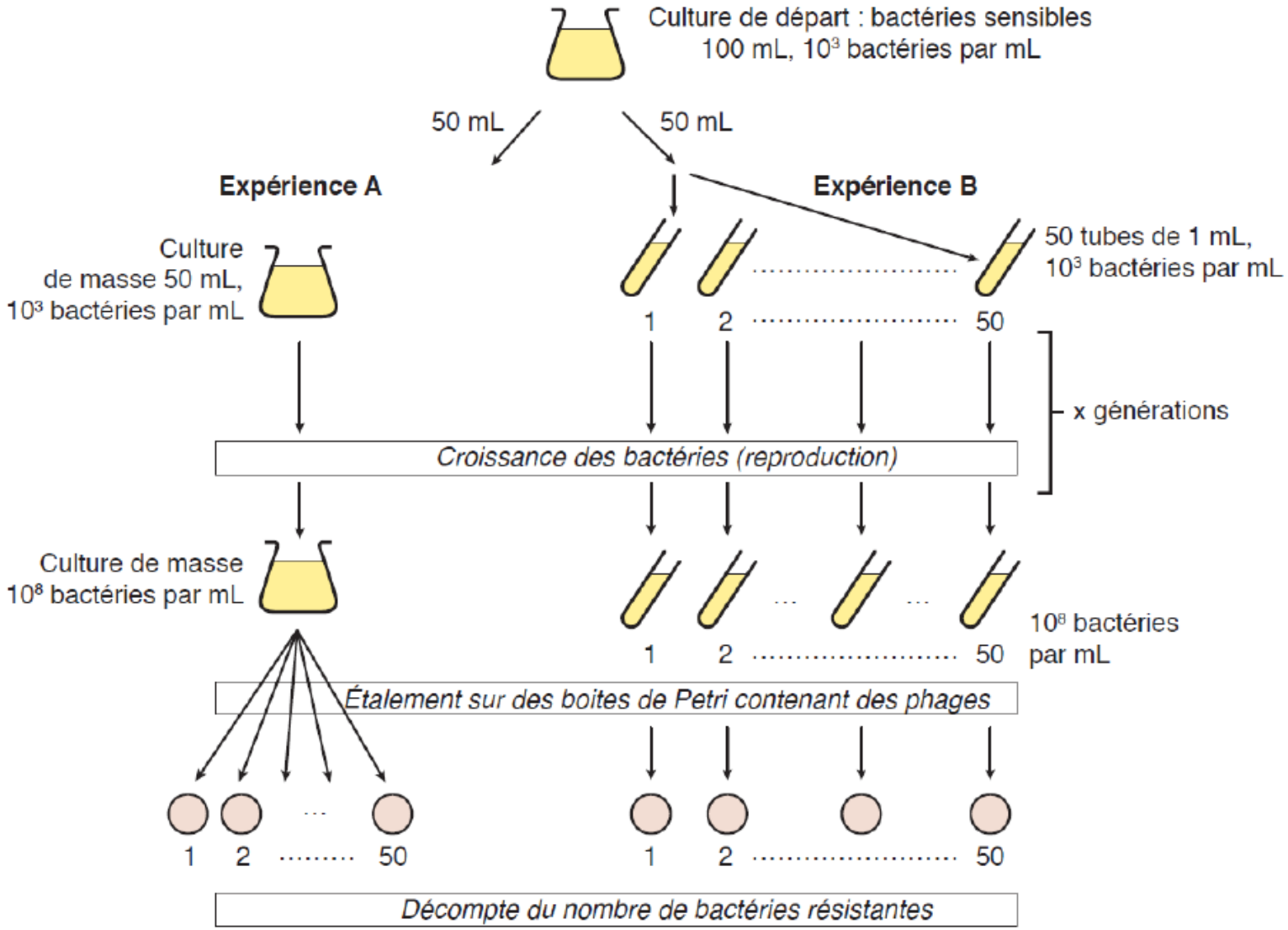
Les mutations sont induites avec une probabilité faible et la proportion de bactéries qui survivent varie peu d'une population à l'autre.

Hypothèse mutationnelle : apparition spontanée et aléatoire des mutants



La proportion de mutants dépend du temps écoulé depuis la mutation. La mutation étant aléatoire, la proportion de bactéries mutantes doit varier fortement entre les populations.

Document 2a. Le test de fluctuation de Luria et Delbrück : protocole.



Calcul de la variance $V = \sigma^2$

Biologie BCPST2. Segarra & al. Ellipses 2015

Le test de fluctuation de Luria et Delbrück : résultats

MUTATIONS OF BACTERIA FROM VIRUS SENSITIVITY TO VIRUS RESISTANCE

S. E. LURIA[3] AND M. DELBRÜCK
Indiana University, Bloomington, Indiana, and Vanderbilt University, Nashville, Tennessee

Received May 29, 1943

GENETICS 28: 491 November 1943

Extrait des résultats obtenus avec une culture unique (expérience A)

SAMPLE NO.	EXP. NO. 10a RESISTANT COLONIES
1	14
2	15
3	13
4	21
5	15
6	14
7	26
8	16
9	20
10	13
mean	16.7
variance	15

Extrait des résultats obtenus avec des cultures séparées (expérience B)

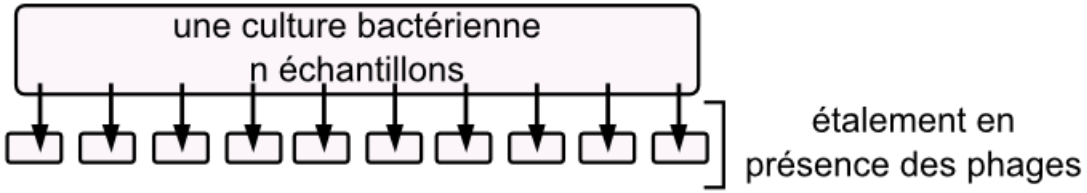
EXPERIMENT NO.	1	10	11	15	16
Number of cultures	9	8	10	10	20
Volume of cultures, cc	10.0	10.0	10.0	10.0	.2*
Volume of samples, cc	.05	.05	.05	.05	.08
Culture No.					
1	10	29	30	6	1
2	18	41	10	5	0
3	125	17	40	10	3
4	10	20	45	8	0
5	14	31	183	24	0
6	27	30	12	13	5
7	3	7	173	165	0
8	17	17	23	15	5
9	17		57	6	0
10			51	10	6
11					107
12					0
13					0
14					0
15					1
16					0
17					0
18					64
19					0
20					35
Average per sample	26.8	23.8	62	26.2	11.35
Variance (corrected for sampling)	1217	84	3498	2178	694

S E Luria, M Delbrük *Genetics*, Volume 28, Issue 6, 20 November 1943, Pages 491–511, https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.491

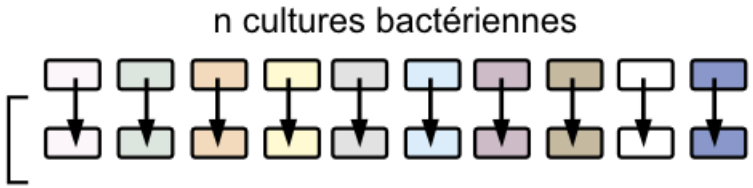
<u>Document 2</u>. Le test de fluctuation de Luria et Delbrück : hypothèses et résultats.

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

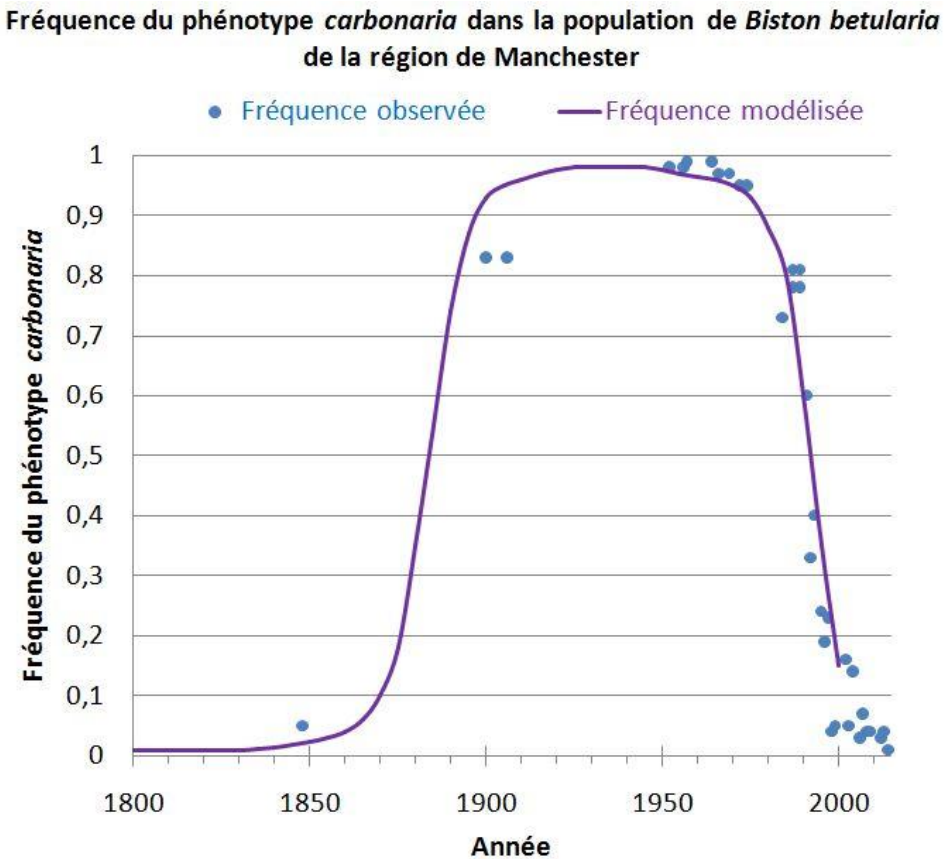
⇩

HYPOTHÈSE MUTATIONNELLE VALIDÉE

<u>Document 3</u>. Variabilité phénotypique de la Phalène du Bouleau et fréquence du phénotype *carbonaria* dans la région de Manchester de 1800 à 2000.

Morphe *typica*

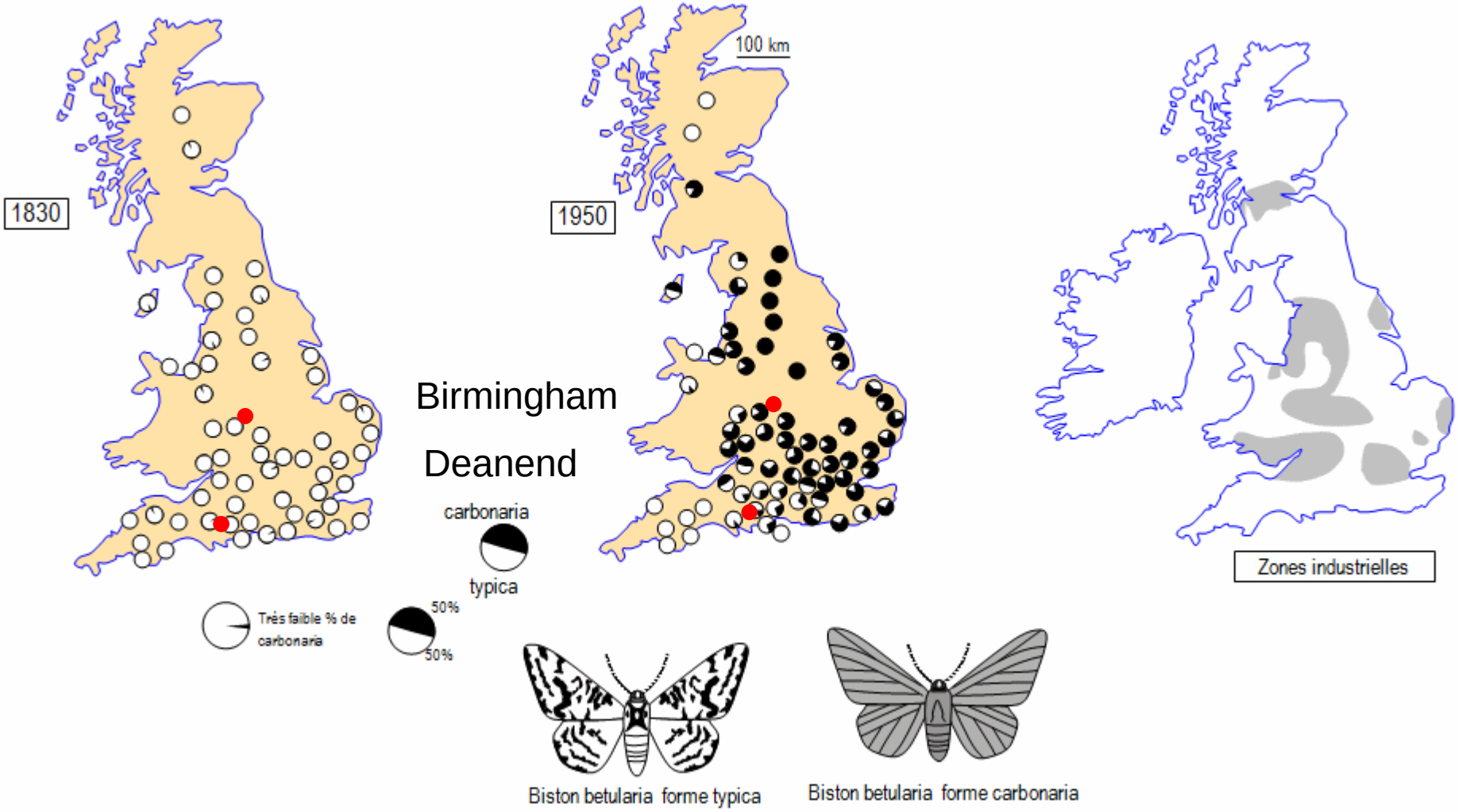
Morphe *carbonaria*



Le premier spécimen de forme *carbonaria* a été signalé en 1849 près de Manchester.

https://planet-vie.ens.fr/thematiques/genetique/mutation-reparation/la-mutation-a-l-origine-du-melanisme-industriel-de-la

Distribution des phénotypes *typica* et *carbonaria* de la Phalène du Bouleau au Royaume-Uni en 1830 et en 1950



http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article3021

<u>Document 4</u>. Etude quantitative du mélanisme dans deux régions d'Angleterre.

Expériences de (Kettlewell, 1955)

- Des individus mâles de morphes *typica* et *carbonaria* sont capturés, marqués ventralement par une tâche de peinture puis relâchés le matin au même endroit :
  - dans le secteur pollué de Birmingham,
  - dans le secteur non pollué de Deanend.

La nuit suivante, ces papillons sont capturés à l'aide d'une lampe ou de phéromones qui les attirent.

Individus de forme *carbonaria* et de forme *typica* sur un tronc noirci de suie ou sur un tronc clair de Bouleau.

https://www.salamandre.org/article/comment-lisolement-provoque-evolution-des-especes/

<u>Document 4</u>. Etude quantitative du mélanisme dans deux régions d'Angleterre.

Expériences de (Kettlewell, 1955)

Nombre relâché		Type de forêt	Pourcentages de recapturés vivants	
mélaniques	pâles		mélaniques	pâles
473	296	Troncs clairs	0,3	12,5
447	137	Couleur suie	24,5	13

Quantification des morphes *typica* et *carbonaria* recapturés vivants

(on ne tient compte que des individus marqués).

	région de Birmingham	**Deanend (Dorset)**
% *carbonaria*	85-87 %	2-3 %

Fréquence du morphe *carbonaria* dans la population capturée

MAIS…

- Les papillons relâchés le matin se posent sur le premier support venu.
- Les papillons noirs relâchés dans la région non polluée ont été prélevés dans la région polluée puis transportés et inversement pour les papillons blancs
- Les densités réalisées par les lâchers sont sans rapport avec les densités réelles (10 à 20 adultes / km² chaque jour)
- Certains papillons utilisés étaient issus d'élevages

….

http://www.evolution-biologique.org/mecanismes/selection-naturelle-2/melanisme-industriel.html

<u>Document 4</u>. Etude quantitative du mélanisme dans deux régions d'Angleterre.

Expériences de (Kettlewell, 1955)

- Des individus de morphe *typica* et *carbonaria* sont déposés en nombre égal sur des troncs d'arbre, de jour. Des observations à la jumelle montrent qu'ils sont capturés pendant le jour par des oiseaux tels les rouges-gorges.

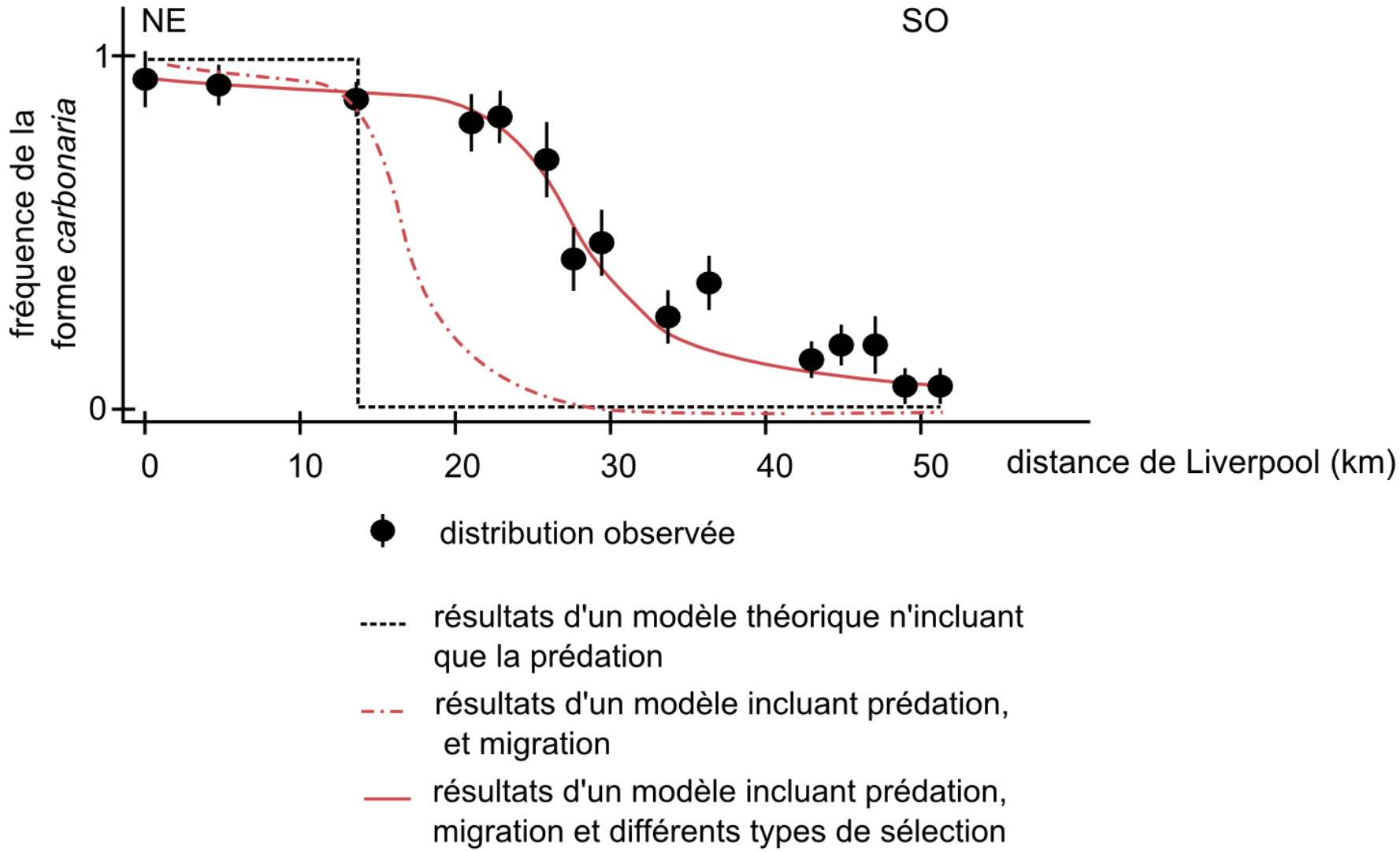
Nombre relâché		Type de forêt	Nombre de sujets dévorés par les oiseaux	
mélaniques	pâles		mélaniques	pâles
égal		Troncs clairs	164	26
égal		Couleur suie	15	43

Quantification des morphes *typica* et *carbonaria* capturés par les oiseaux.

→ la diversité des populations résulte d'une sélection naturelle qui s'exerce par l'intermédiaire de la prédation par les oiseaux : dans un environnement donné, la forme la plus cryptique est sélectionnée

http://www.evolution-biologique.org/mecanismes/selection-naturelle-2/melanisme-industriel.html

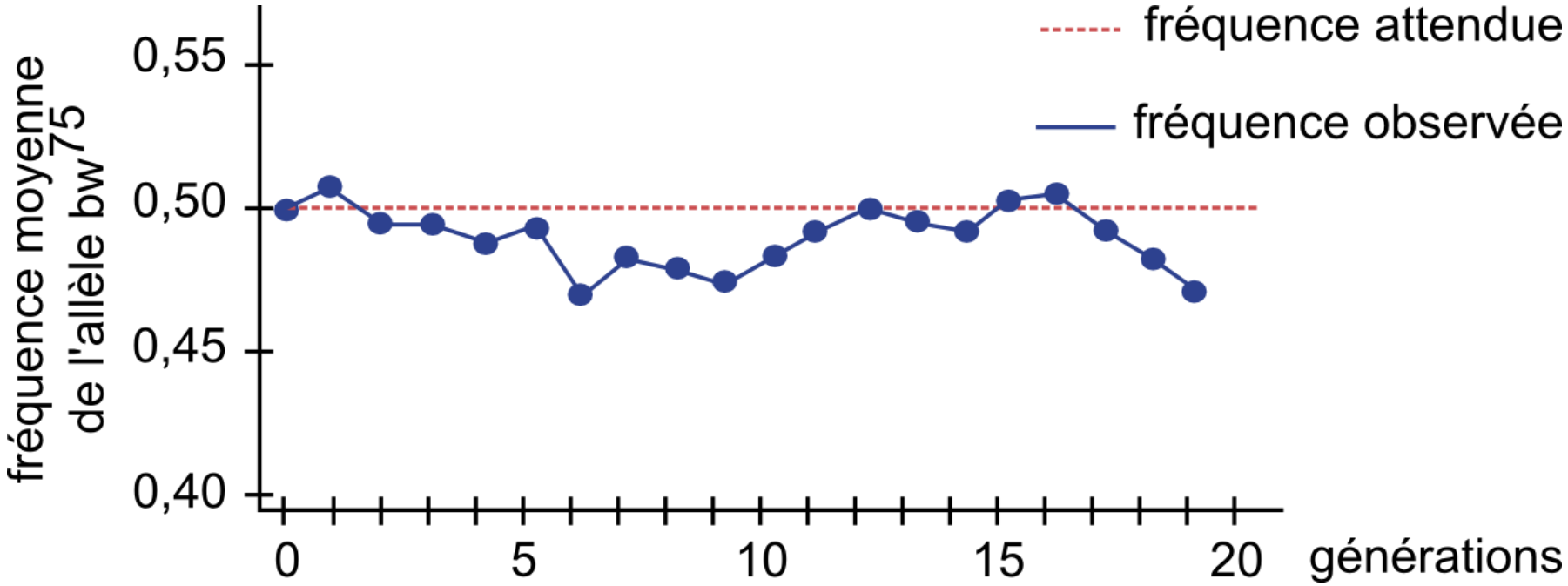
<u>Document 5</u>. Évolution de la fréquence des Phalènes *carbonaria* le long d'un transect entre Liverpool (zone industrielle) et le nord du pays de Galles (zone rurale).



Tout-en-un BCPST2. Perrier & al. Dunod 2022

<u>Document 6</u>. Évolution de la fréquence allélique dans une population d'effectif fini illustrée par l'expérience de Buri (1956).

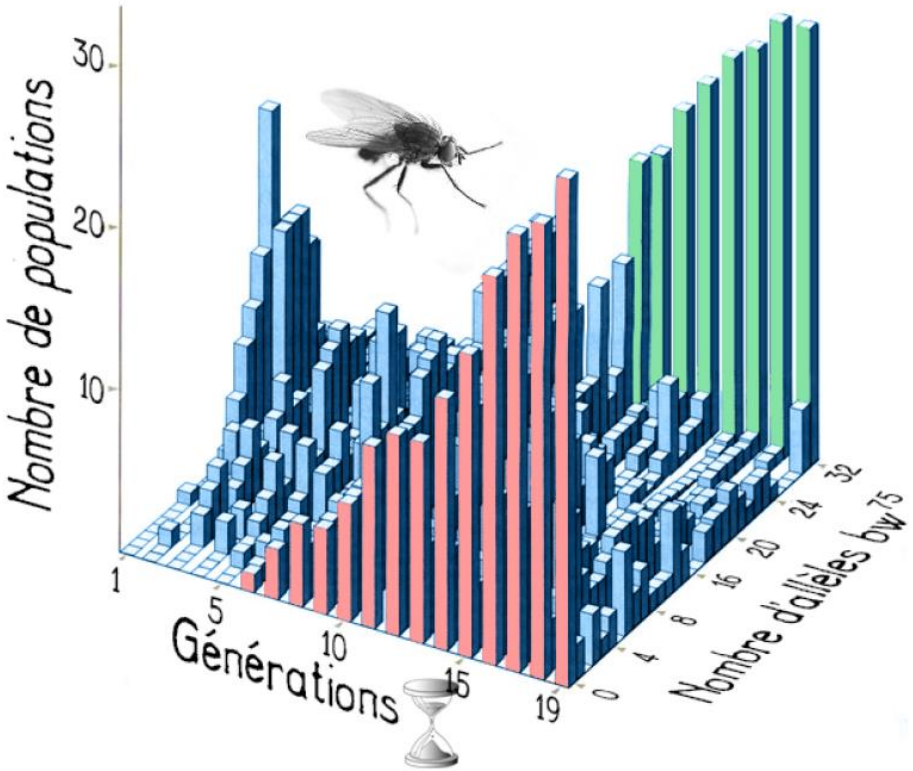
La fréquence de deux allèles bw et bw^{75} du locus *brown* qui spécifie la couleur des yeux des Drosophiles est étudiée dans différentes populations constituées puis maintenues à 16 individus : 8 mâles et 8 femelles, durant 107 générations.



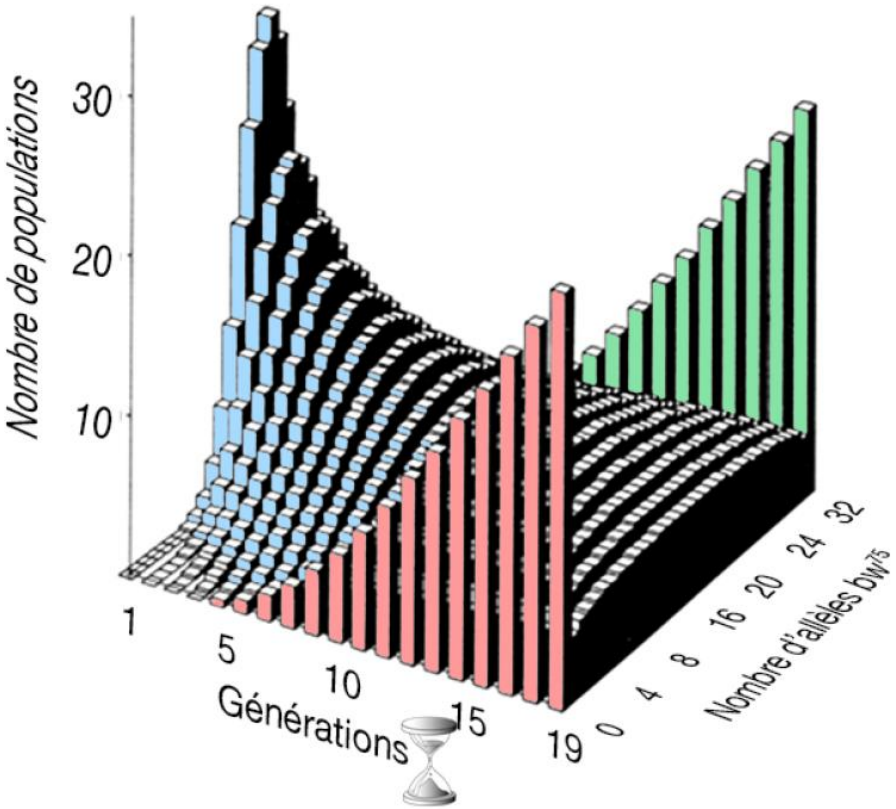
Résultats pour l'ensemble des populations

L'expérience de Buri :
Résultats pour l'ensemble des populations étudiées et résultats théoriques

Résultats de l'expérience au bout de 19 générations :

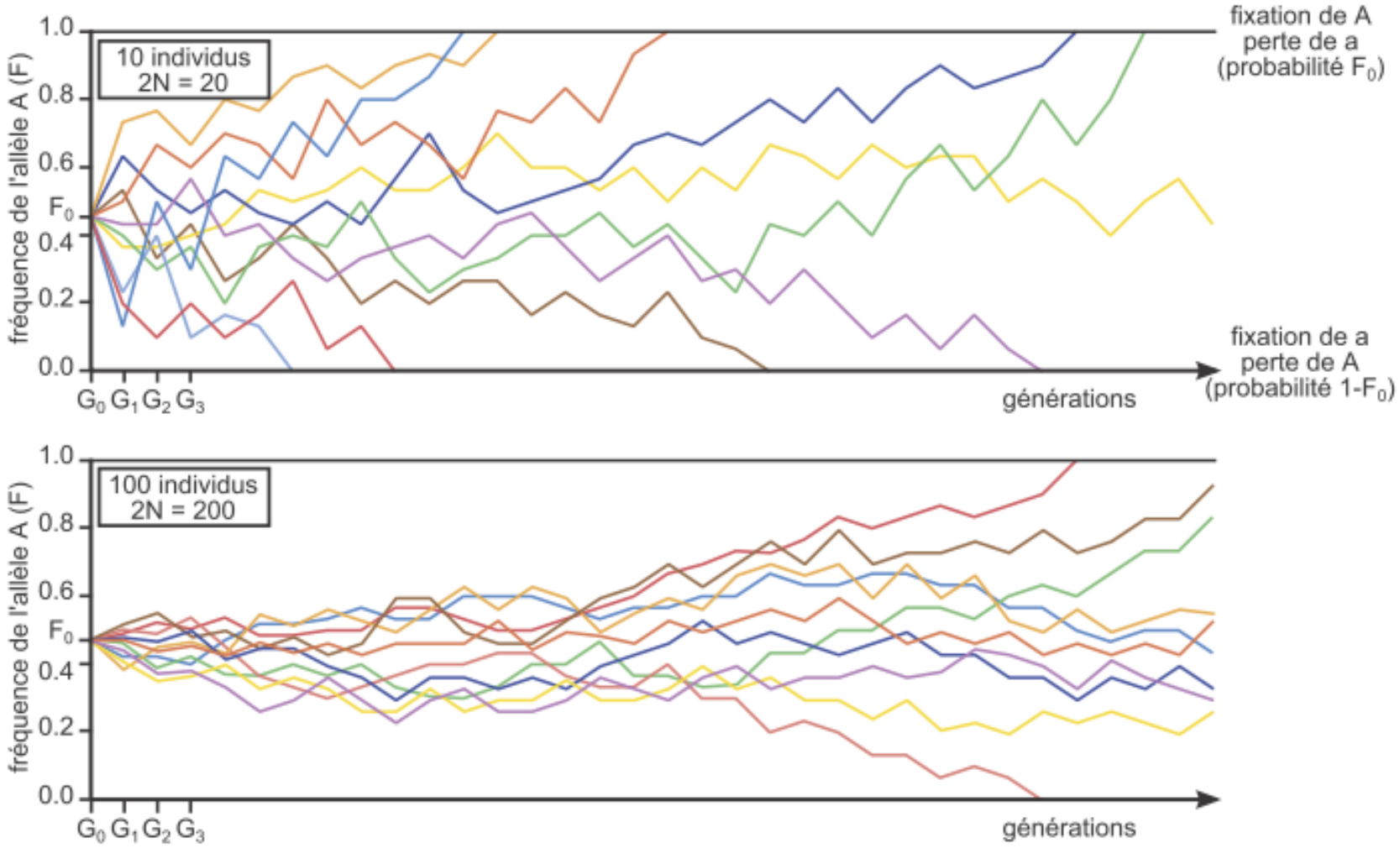


Résultat théorique obtenu par modélisation numérique :

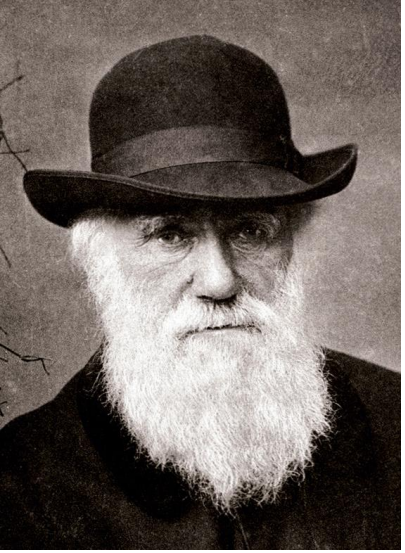


B. Anselme, Biomathématiques, Dunod 2015

Simulations avec PopG:
Effet de la dérive génétique sur la fréquence des allèles d'un même locus



Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

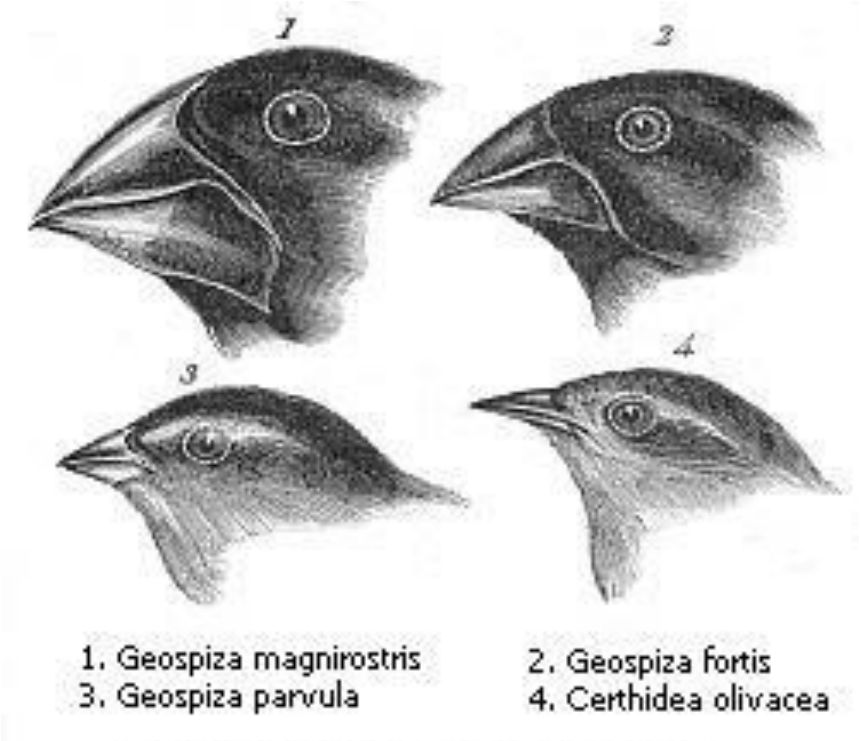


Charles Darwin
1809 - 1882

C’est la conservation de variations favorables et le rejet des variations nuisibles, que j’appelle « Sélection naturelle ».

Charles Darwin, 1859

Selon les principes de la sélection naturelle de Darwin, les pinsons des Galápagos sont issus d'une espèce souche venue du continent. La sélection s'est traduite par une spécialisation de la taille de leur bec en liaison avec leur régime alimentaire (seconde édition de son Journal of Researches publiée en 1845).



Finches from Galapagos Archipelago

https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin

Valeur sélective ou fitness

Décrit la capacité d'un individu d'un certain génotype à se reproduire.
→ *Concerne des traits héritables*
→ *Concerne des traits qui influencent le succès reproducteur*

La **valeur sélective d'un génotype (ou d'un trait) notée w :**

- traduit la contribution des individus de ce génotype aux pools d'allèles des générations suivantes,

- se mesure par le nombre moyen de descendants laissés par les individus porteurs de ce génotype.

Elle dépend de **deux paramètres** :

- la viabilité v

- la fertilité f

$$w = v.f$$

<u>Document 7</u>. Valeur sélective et modélisation de l'évolution d'une population soumise à la sélection.

➢ Application du modèle de Hardy et Weinberg à une population supposée panmictique soumise à la sélection

Soit une population di-allélique (A, a) avec :
Fréquence de l'allèle A = p
Fréquence de l'allèle a = q

- **En l'absence de différence de viabilité ou de fertilité entre les différents génotypes possibles AA, Aa et aa :**

Génotypes	AA	Aa	aa
Fréquence	p^2	$2pq$	q^2

- **Si ces différents génotypes présentent des différences de viabilité absolue indépendantes notées w_1, w_2 et w_3 alors :**

Génotypes	AA	Aa	aa
Fréquence	w_1p^2	$w_2 2pq$	w_3q^2

<u>Document 7</u>. Valeur sélective et modélisation de l'évolution d'une population soumise à la sélection.

➢ Application à l'exemple de la phalène du bouleau

w = v.f représente la **valeur sélective absolue**

En pratique, c'est le rapport entre les valeurs sélectives des différents génotypes qui importe pour l'évolution des fréquences alléliques :

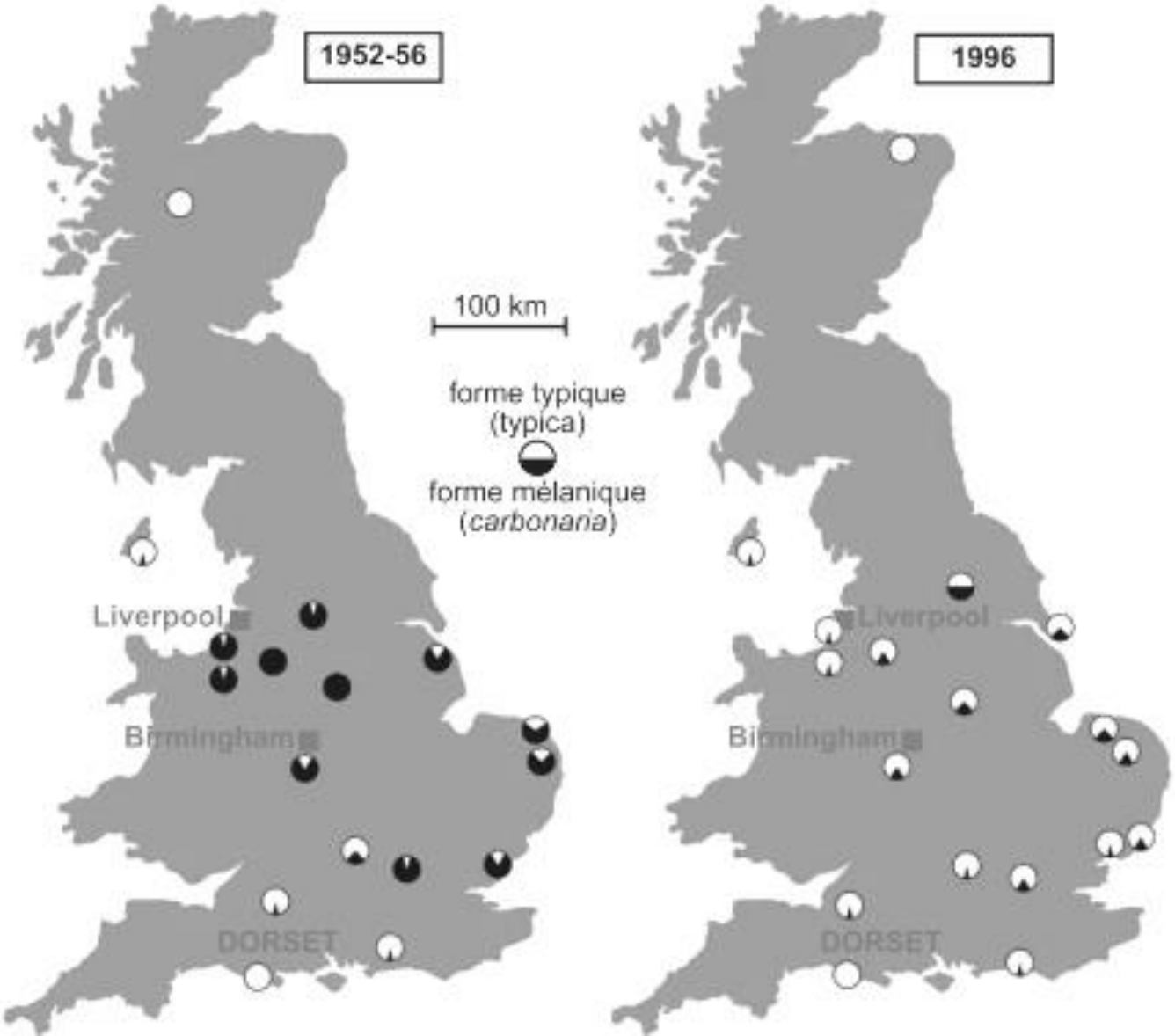
→ **Valeur sélective relative ω**

Par convention, sa valeur est de 1 pour le trait / le génotype qui a la plus grande valeur sélective.

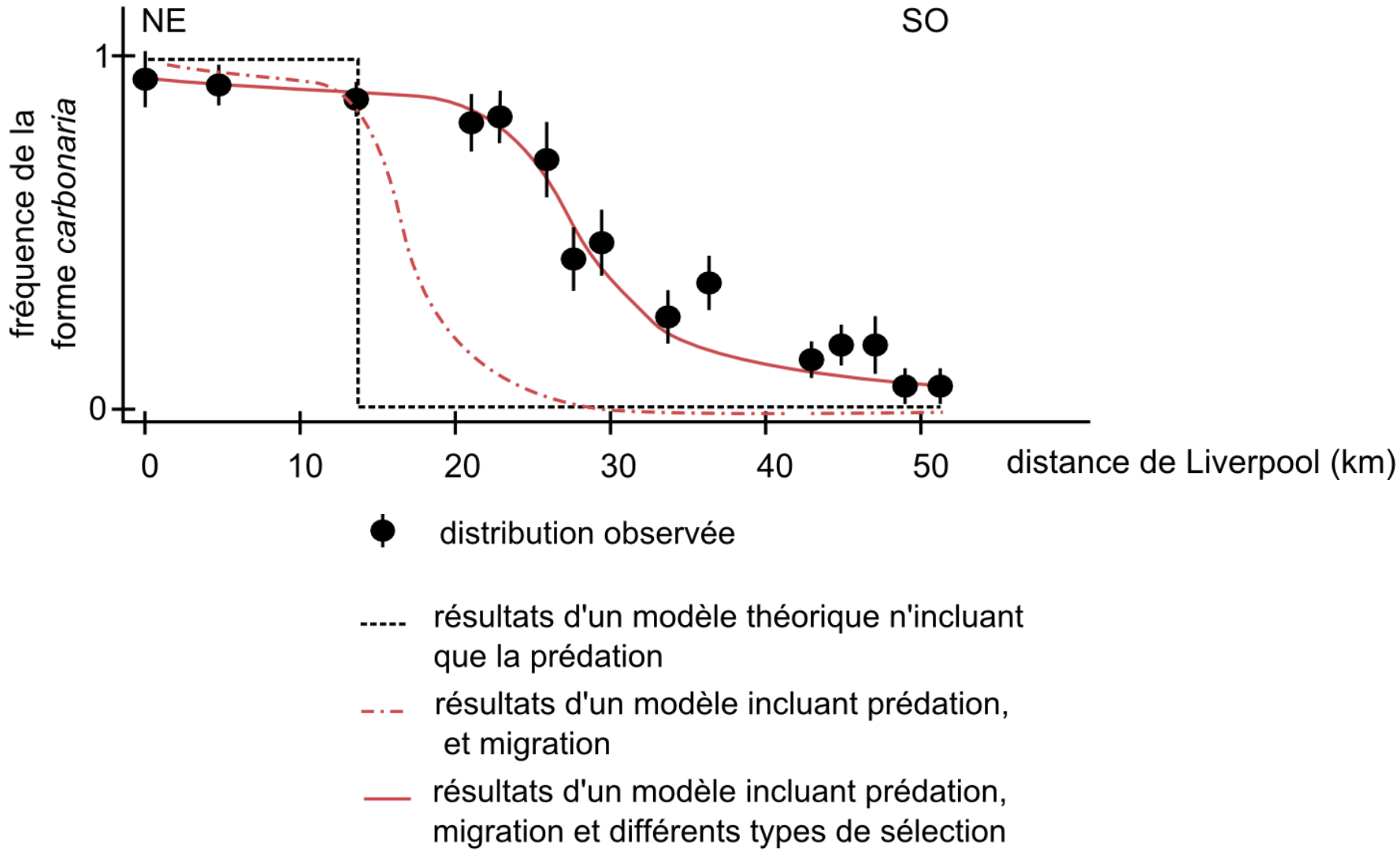
- les formes *typica sont* homozygotes récessifs (notés aa),
- les formes *carbonaria* sont soit hétérozygotes (Aa) soit homozygotes (AA),
- la fréquence de l'allèle A est p, celle de l'allèle a est q

Génotypes	AA	Aa	aa
Valeur sélective relative	$\omega_{AA} = 1$	$\omega_{Aa} = 1$	$\omega_{aa} = 0,4$
Fréquence	p^2	$2pq$	$0,4q^2$

Évolution de la distribution géographique des phénotypes de phalènes au Royaume-Uni entre 1952 – 1956 et 1996



<u>Document 5</u>. Évolution de la fréquence des Phalènes *carbonaria* le long d'un transect entre Liverpool (zone industrielle) et le nord du pays de Galles (zone rurale).

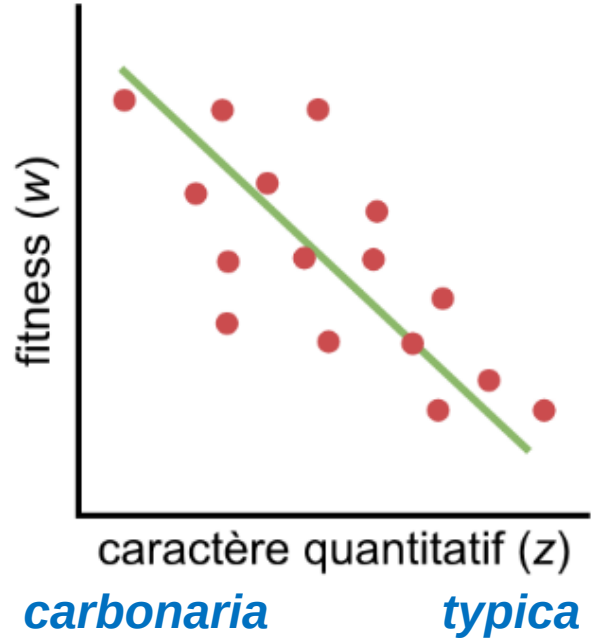


Tout-en-un BCPST2. Perrier & al. Dunod 2022

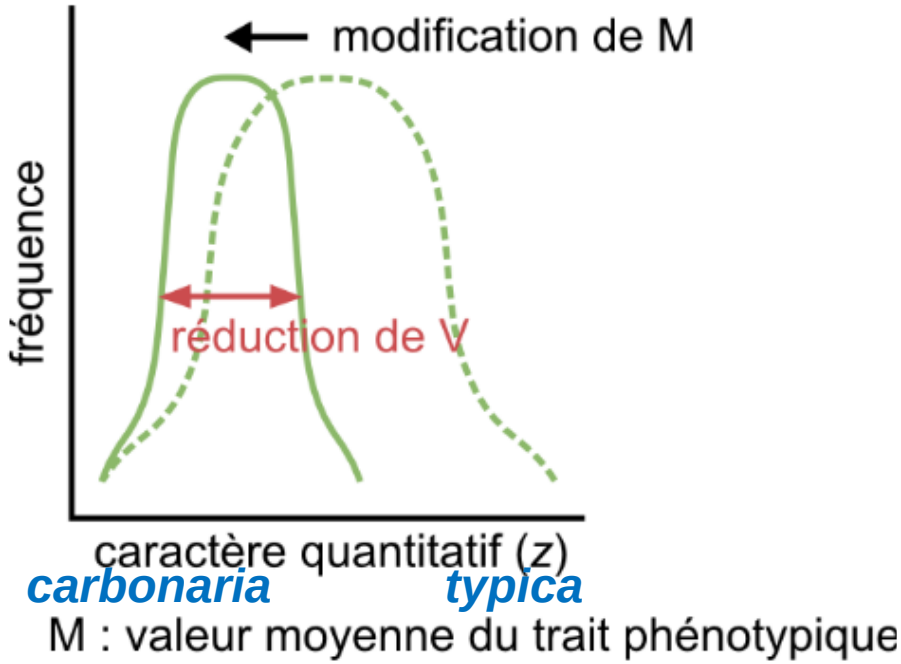
Document 8. Différents effets de la sélection sur la distribution de traits quantitatifs.

Sélection directionnelle

a - Fonctions de fitness



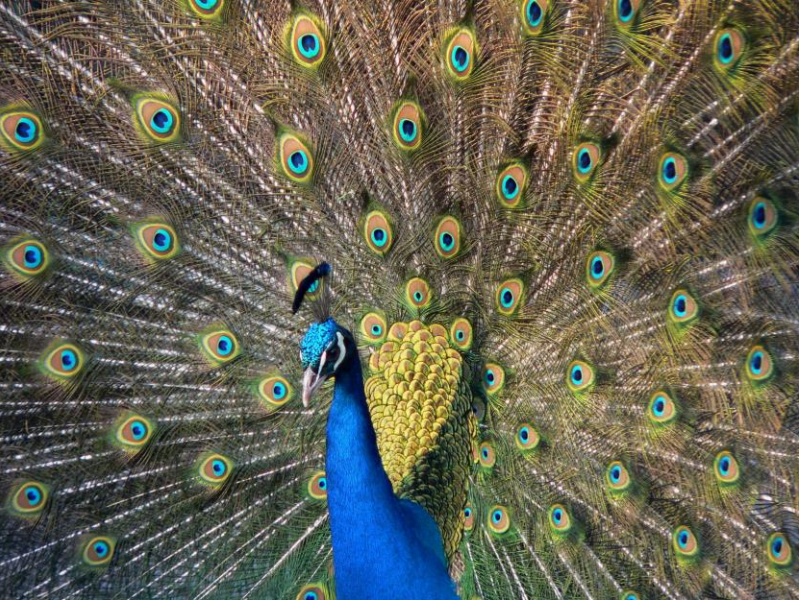
b- Évolution de la fréquence des phénotypes



Ex de la Phalène du Bouleau en milieu pollué

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

La sélection sexuelle



Parade nuptiale chez le Paon

Parade nuptiale chez les Tétras des armoises

Dimorphisme sexuel chez le Lucane Cerf-voland

https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9lection_sexuelle
mons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42087592

La sélection artificielle

Du Téosinte au Maïs moderne

Vache et taureau de race limousine, race allaitante

Vache et taureau de race montbéliarde, race laitière

https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9lection_artificielle
https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/campagne-vache-limousine-race-exception-271/

La sélection balancée (= stabilisatrice)

➢ **Le maintien de la sex-ratio**

$$\text{Sex ratio} = \frac{\text{nombre de mâles}}{\text{nombre de femelles}}$$

Document 9. Principe de Fisher.

Hypothèses :
- l'aptitude à avoir des descendants mâles ou femelles est un trait héritable.
- le « coût de production » est identique pour produire un mâle ou une femelle.

- Si les naissances mâles sont moins fréquentes que les naissances femelles, la population comprend moins de mâles que de femelles : **$N_M < N_F$, la sex-ratio < 1**
- Alors un individu mâle a des chances d'accouplement plus élevées qu'un individu femelle, il peut s'attendre à avoir plus de descendants (qu'une femelle) :

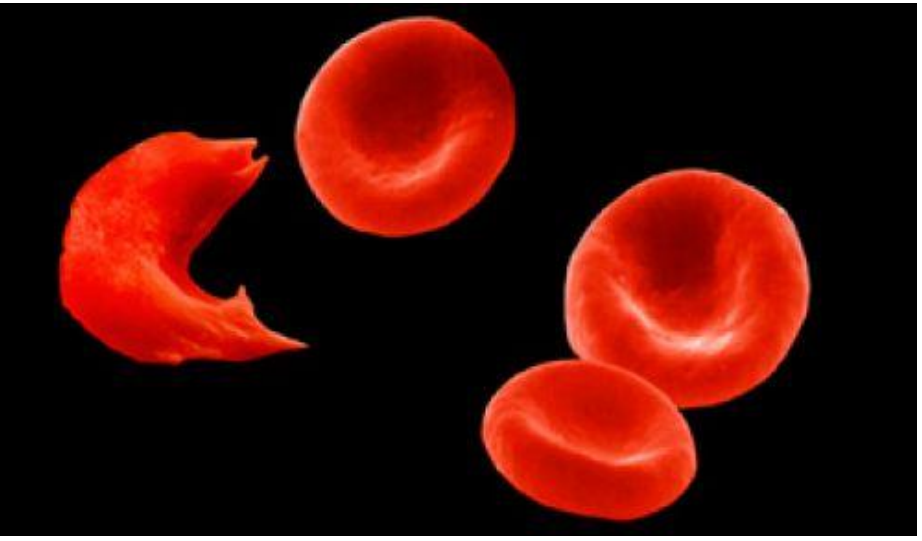
  fertilité M > fertilité F.
- Alors la fréquence du trait « aptitude à avoir un mâle » augmente dans la population et la fréquence des naissances de mâles augmente : **N_M augmente.**
- Alors **la sex-ratio s'approche de 1:1**, et l'avantage sélectif donné à la production de mâles diminue jusqu'à disparaître complètement.

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

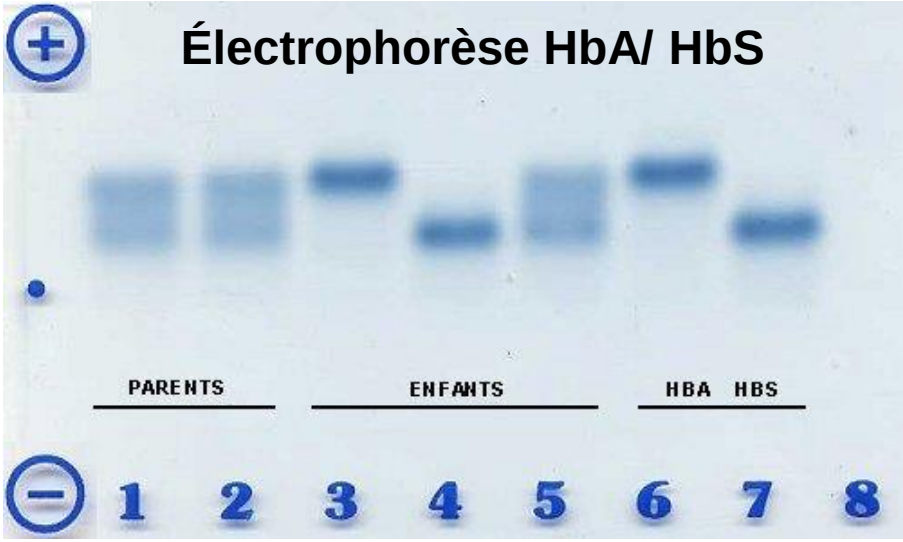
1:1 est donc la valeur d'équilibre de la sex-ratio.

La sélection balancée (= stabilisatrice)

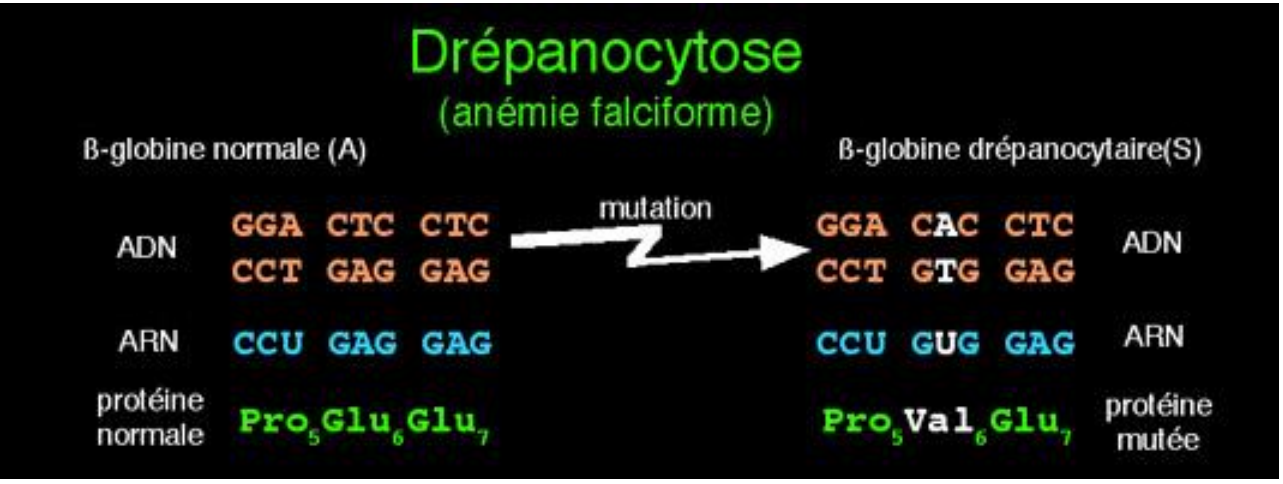
➢ L'anémie falciforme



Une hématie en faucille et trois hématies de forme normale en MEB



HbA : hémoglobine normale
HbS : hémoglobine drépanocytaire



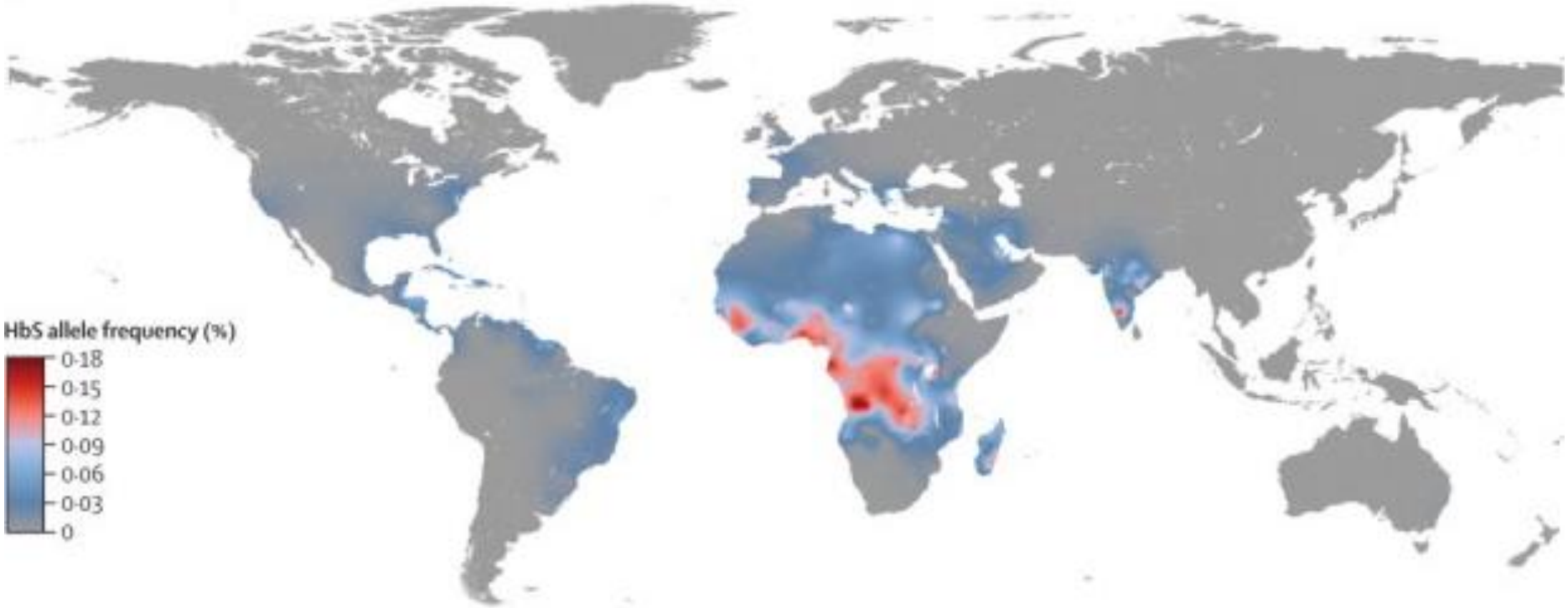
HbS//HbS : espérance de vie diminuée

HbA//HbS : peu de symptômes

HbA//HBA : sains

La sélection balancée (= stabilisatrice)

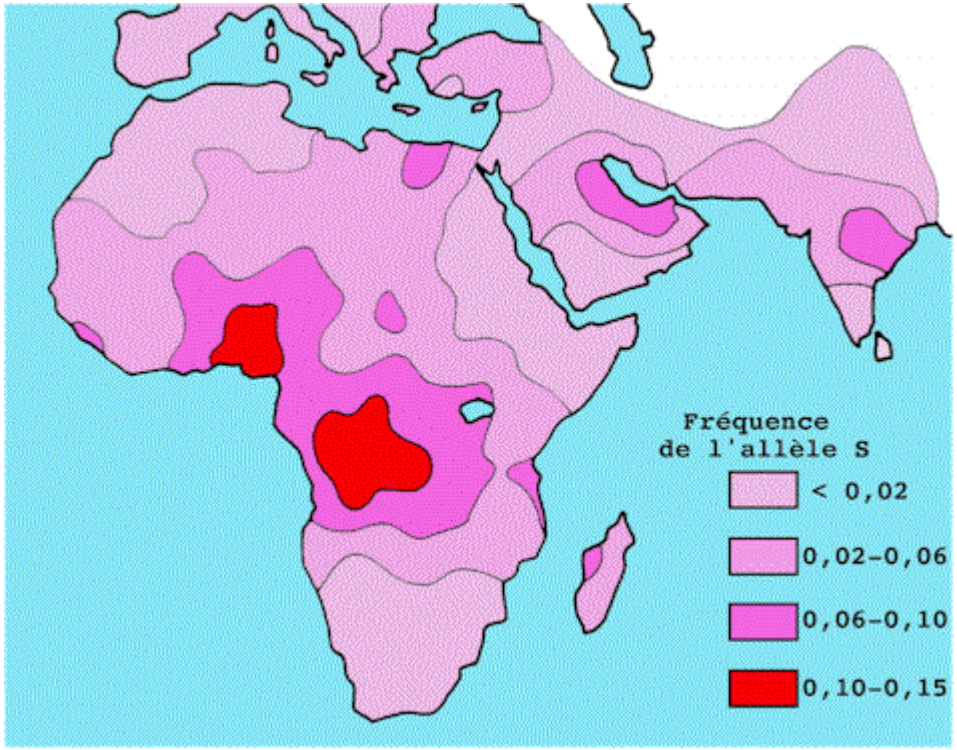
➢ L'anémie falciforme



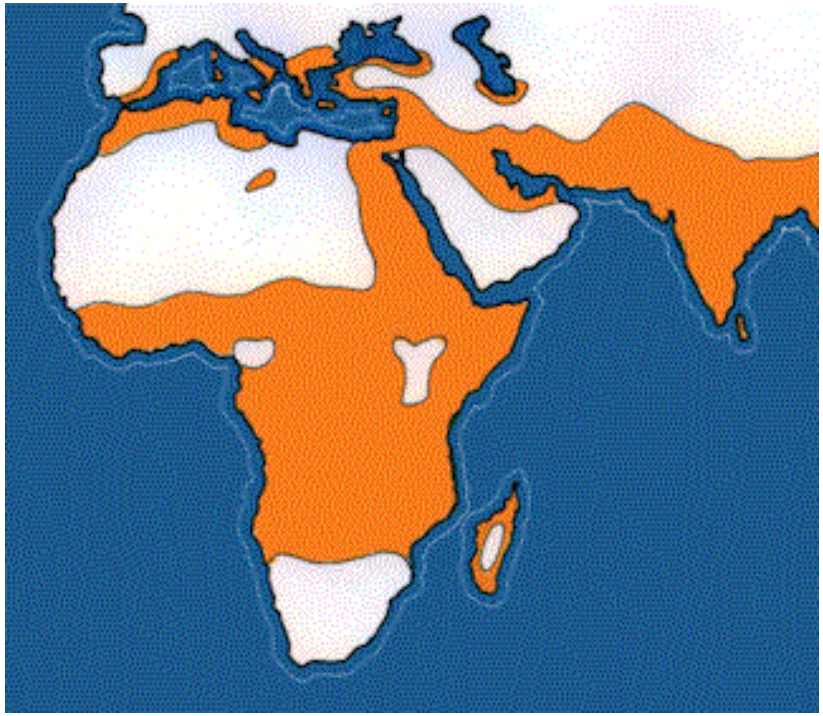
Carte mondiale de la fréquence de l'allèle HbS
(déduite de la distribution des cas observés d'anémie falciforme).

PIEL F. et al. "Global epidemiology of sickle haemoglobin in neonates: a contemporary geostatistical model-based map and population estimates" Lancet. 2013 Jan 12; 381(9861): 142–151. https://doi.org/10.1016%2FS0140-6736(12)61229-X

Comparaison de la répartition géographique de l’allèle HbS et du paludisme



Fréquence de l’allèle HbS

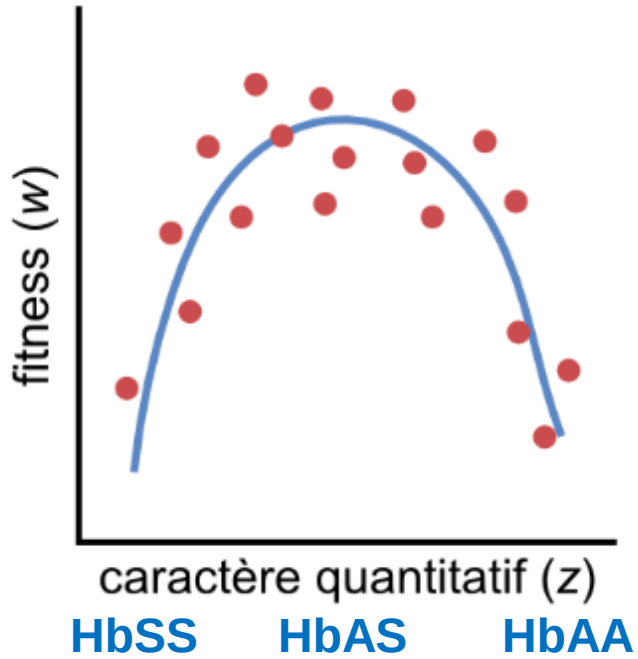


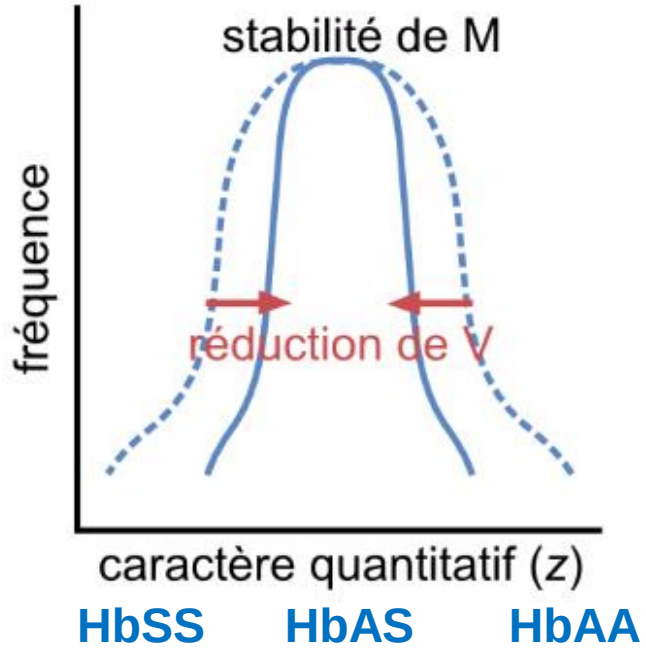
Répartition du paludisme

<u>Document 8</u>. Différents effets de la sélection sur la distribution de traits quantitatifs.

Sélection stabilisatrice

M valeur moyenne du trait phénotypique





Ex de l'anémie falciforme en zone impaludée

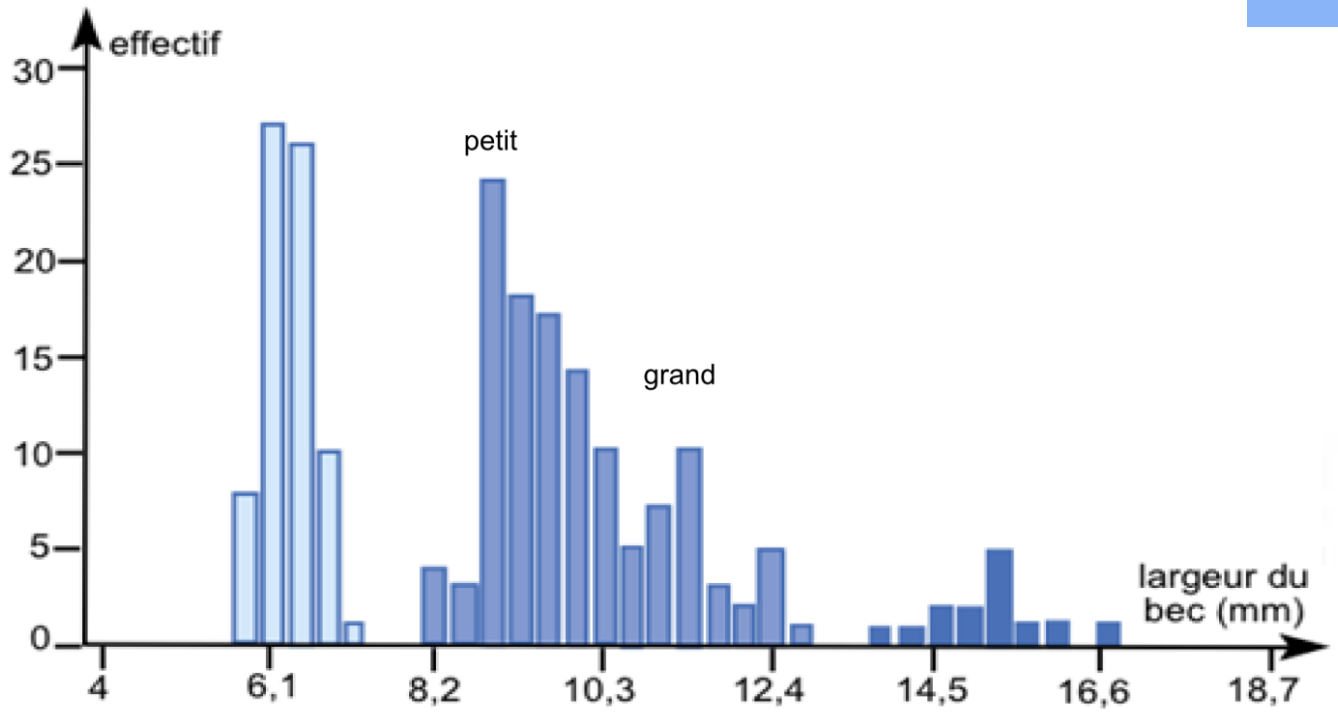
Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

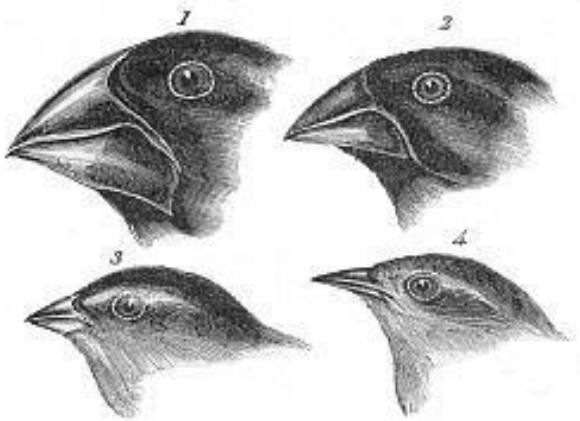
<u>Document 10</u>. Distribution des fréquences de la taille du bec chez trois espèces de Pinsons des Galápagos.

G. fuliginosa

G. fortis

G. magnirostris





1. Geospiza magnirostris
2. Geospiza fortis
3. Geospiza parvula
4. Certhidea olivacea

Finches from Galapagos Archipelago

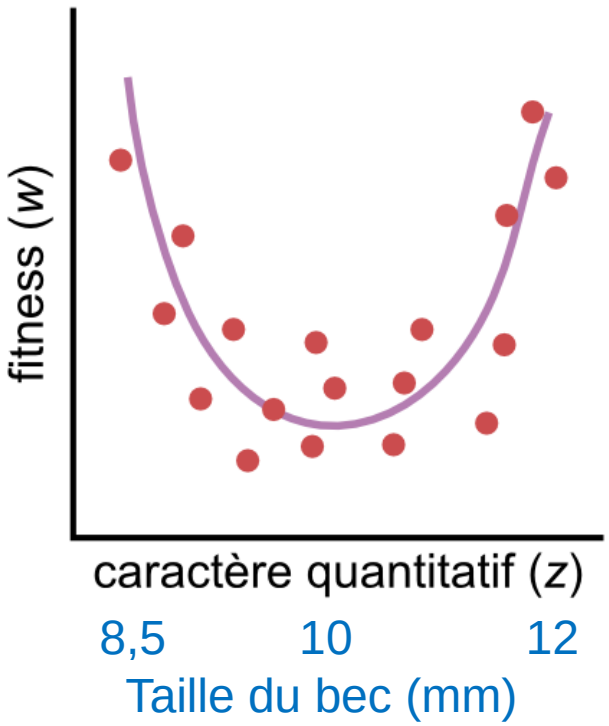
Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

<u>Document 8</u>. Différents effets de la sélection sur la distribution de traits quantitatifs.

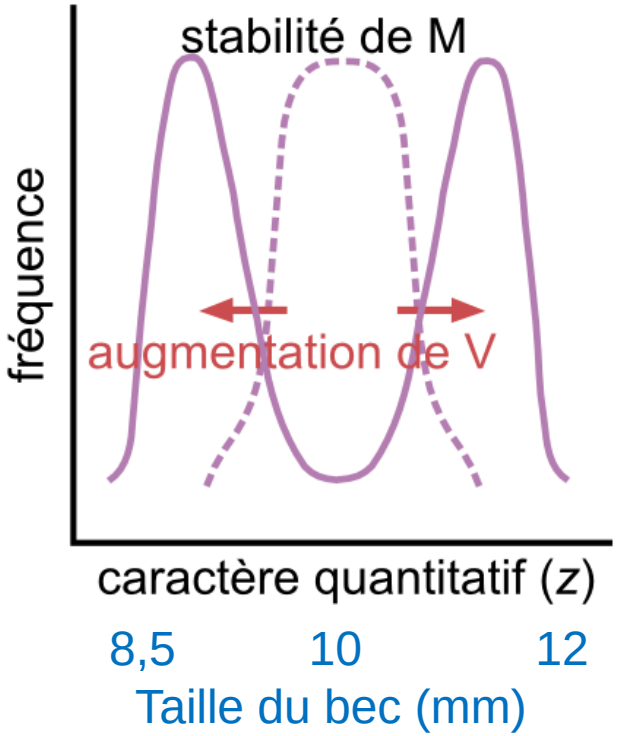
M valeur moyenne du trait phénotypique

Sélection divergente

a - Fonction de fitness



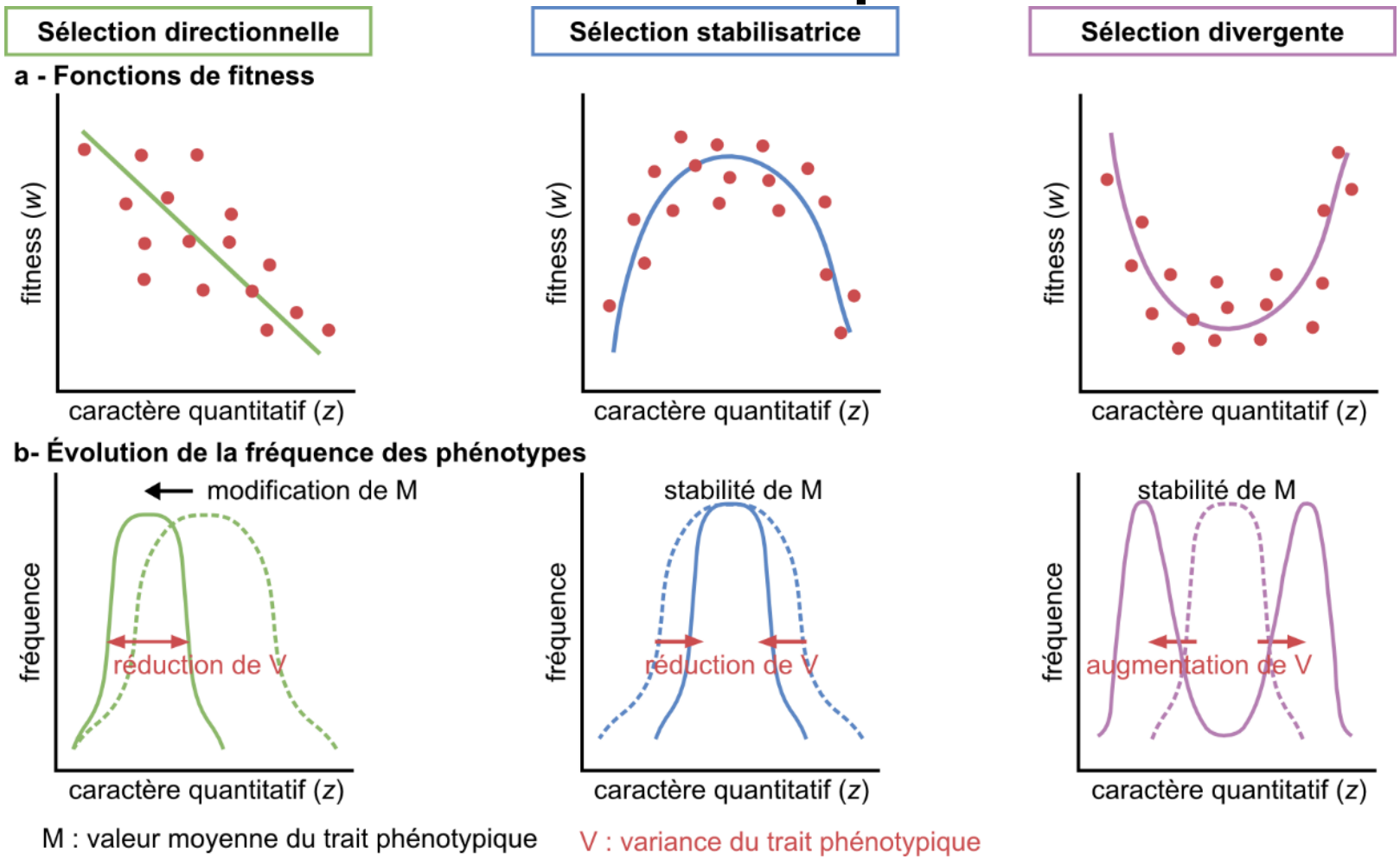
b – Evolution de la fréquence des phénotypes



Ex taille des becs des Pinsons des Galápagos *G. fortis*

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

Document 8. Différents effets de la sélection sur la distribution de traits quantitatifs.

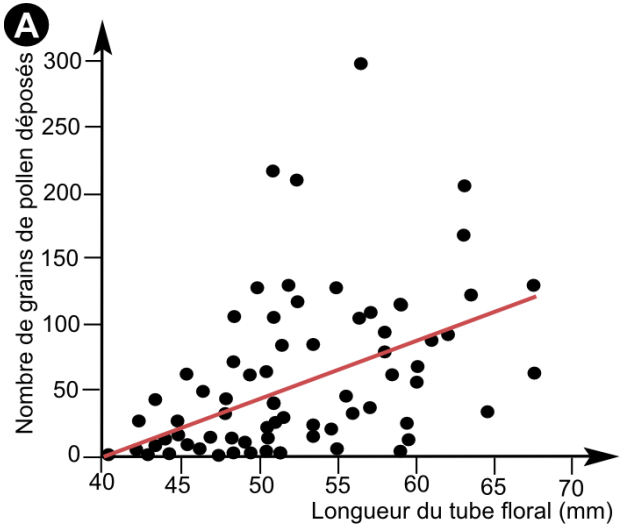


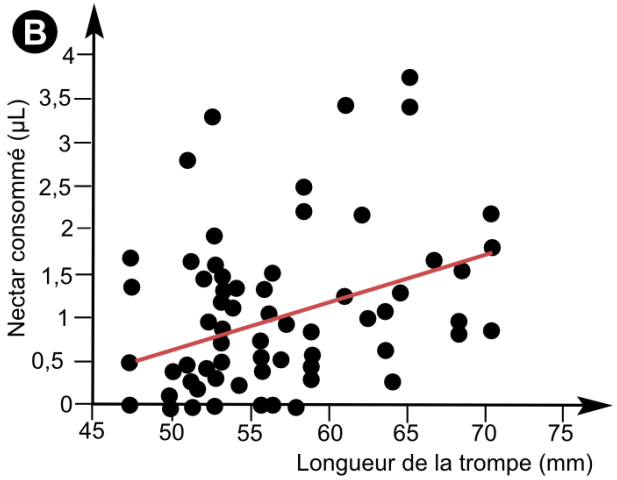
a, b, c : relation entre fonction de fitness et variations du caractère phénotypique (sa distribution discrète est matérialisée par des pointillés).
d, e, f : évolution (sens indiqué par des flèches) de la distribution d'un caractère phénotypique quantitatif).

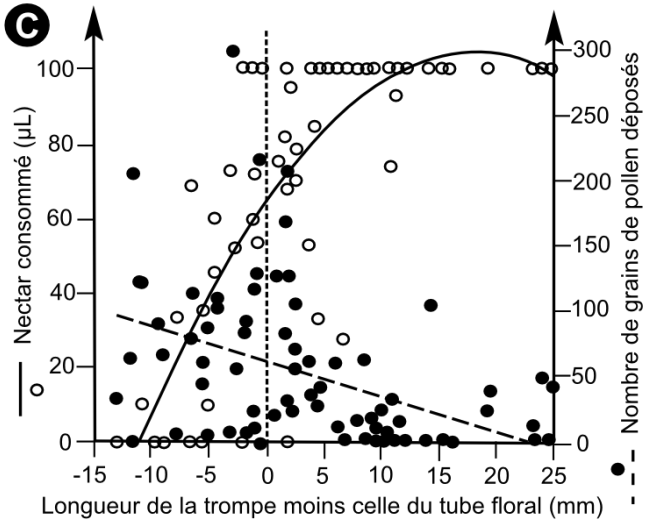
Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

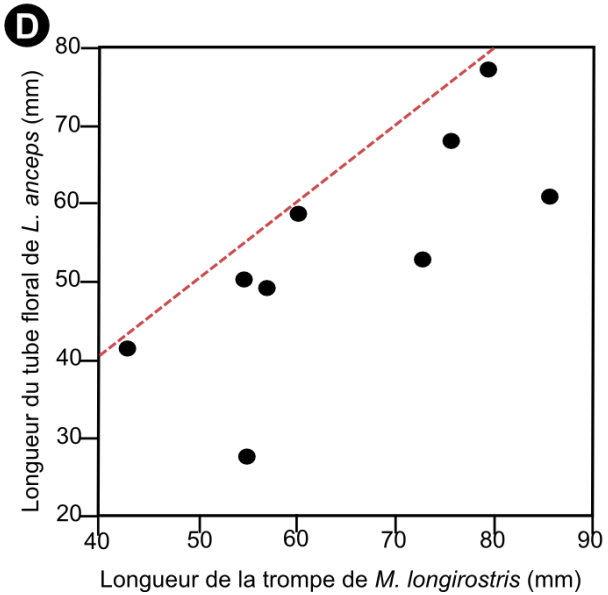
Sélection et coévolution

Exemple : l'Iris *Lapeirousia anceps* et la mouche *Moegistorhynchus longirostris*



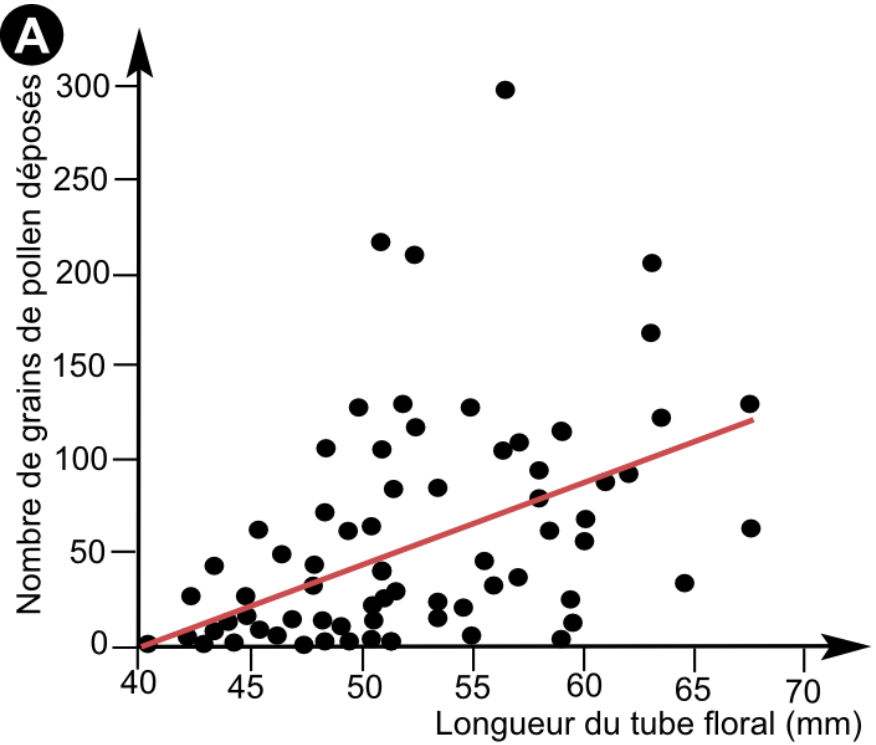


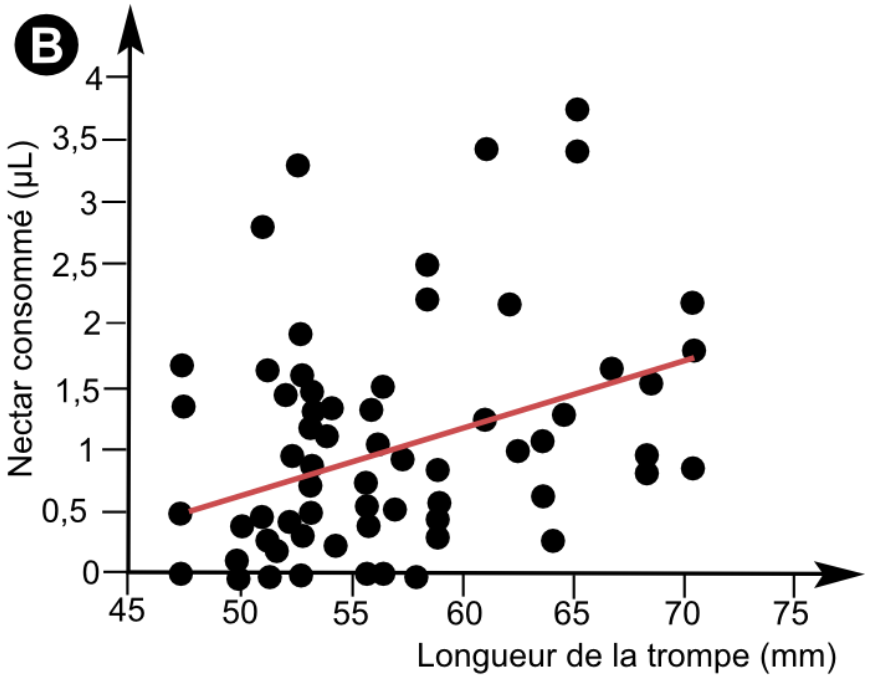




Biologie BCPST2.
Peycru & al. Dunod 2014
https://pza.sanbi.org/lapeirousia-anceps

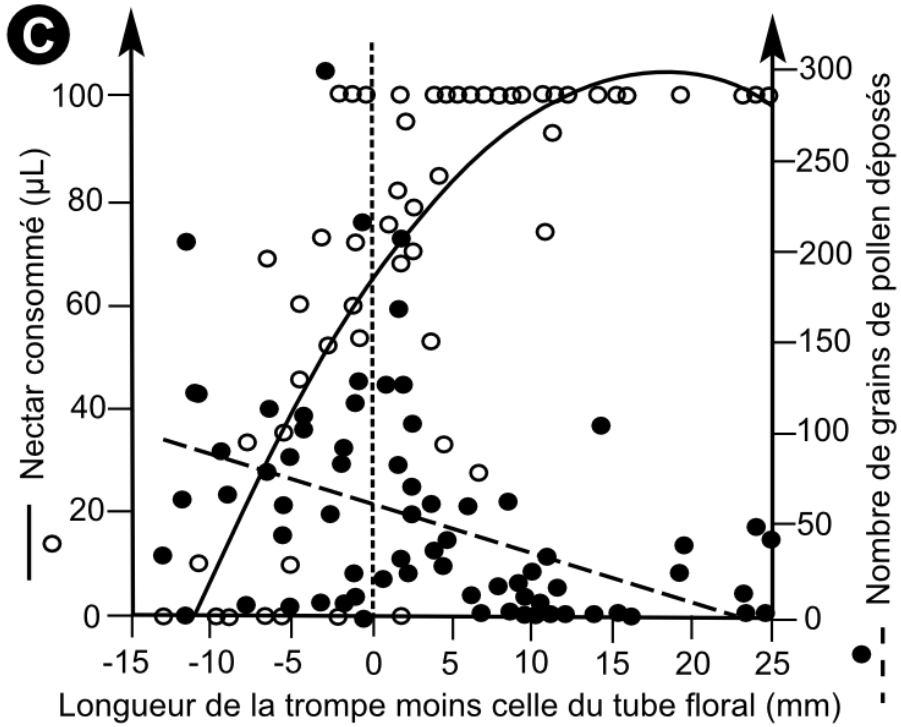
Document 11. Sélection et coévolution : exemple de l'Iris *Lapeirousia anceps* et la mouche *Moegistorhynchus longirostris.*



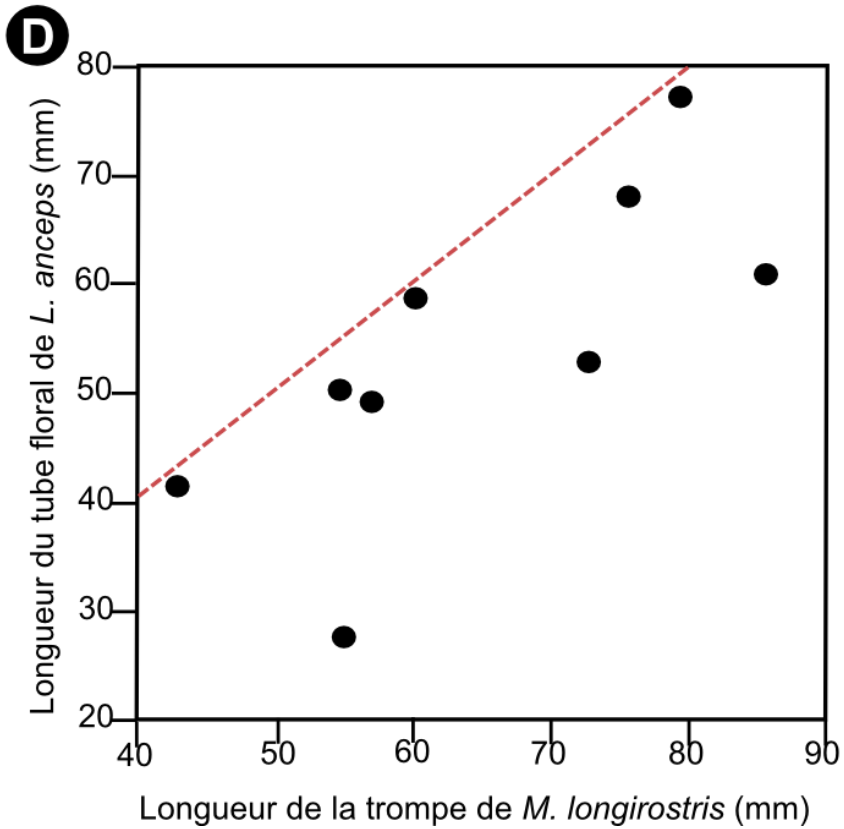


Les lignes pleines montrent les droites de régression linéaire

Document 11. Sélection et coévolution : exemple de l'Iris *Lapeirousia anceps* et la mouche *Moegistorhynchus longirostris.*

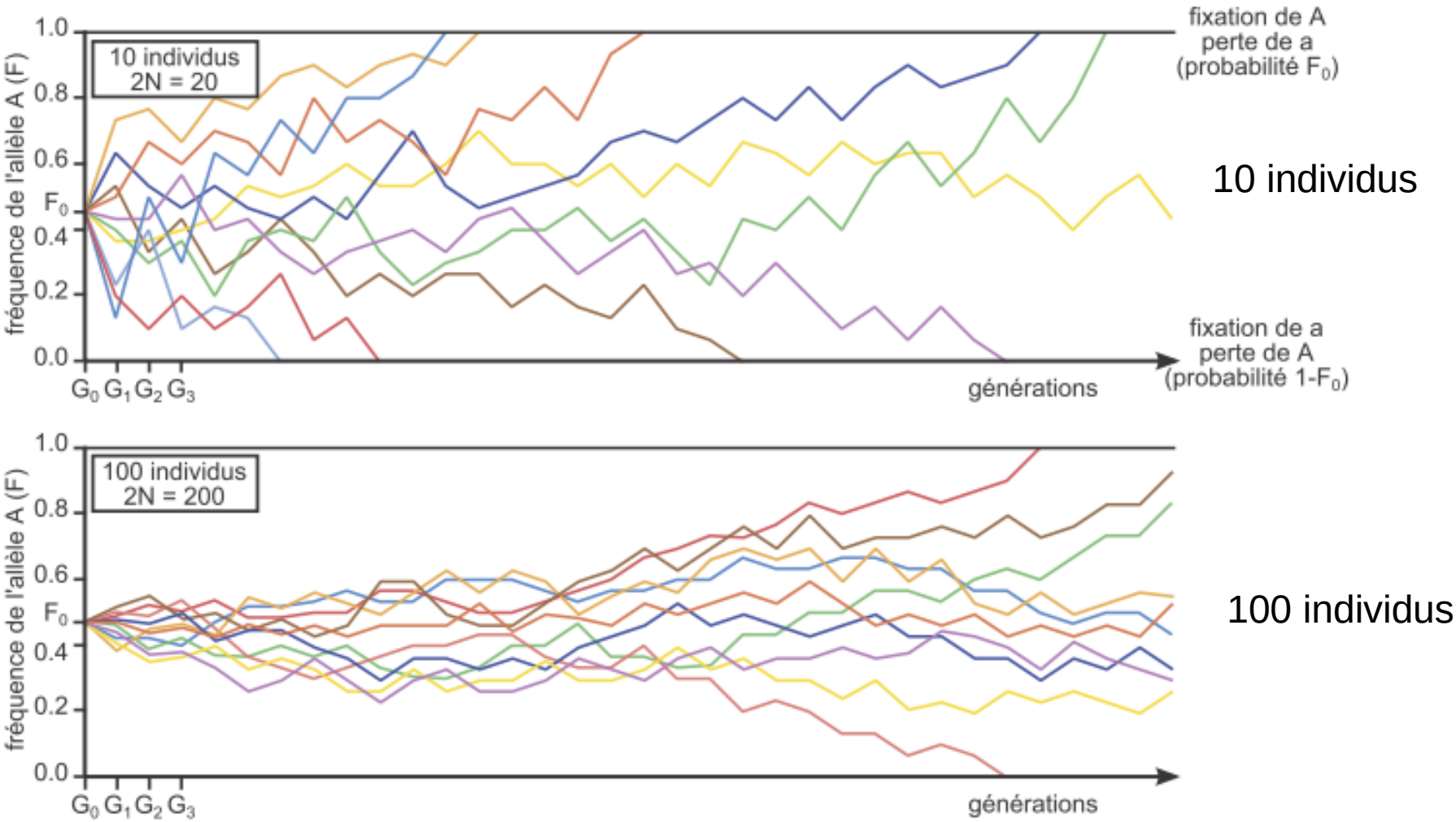


Les cercles vides correspondent au pourcentage de nectar consommé et la ligne pleine à la régression correspondante.
Les cercles pleins correspondent au nombre de grains de pollen et la ligne en tirets larges à la régression correspondante.



Chaque point correspond à la moyenne des mesures dans une population.
La ligne pointillés indique une taille identique pour les tubes floraux et les trompes.

<u>Document 12</u>. Effet des fluctuations aléatoires de la fréquence d'un locus bi-allélique (A, a).



Séries de populations ayant au départ une même fréquence initiale (F_0).

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

<u>Document 13</u>. Influence de la sex – ratio sur l'effectif efficace d'une population d'effectif constant.

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

avec :
Nm = effectif des mâles
Nf = effectif des femelles

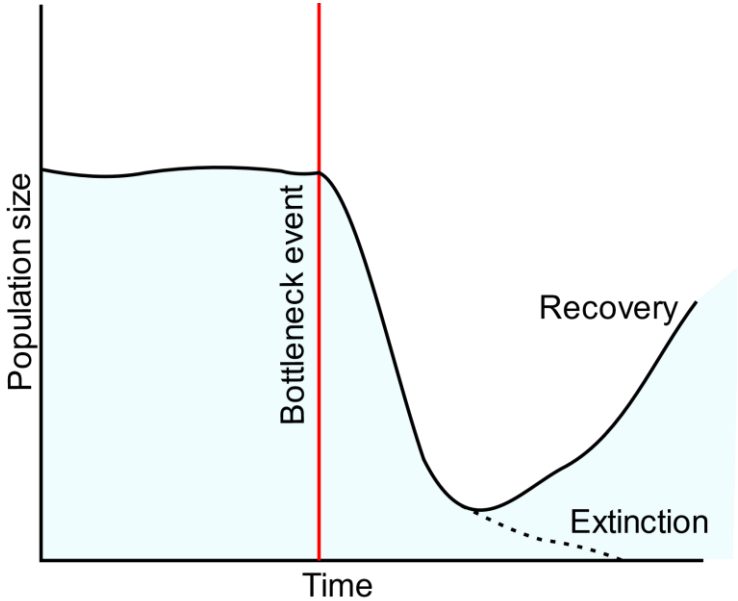
Effectif des mâles Nm	Effectif des femelles Nf	Effectif total N	Effectif efficace Ne
500	500	1000	1000
400	600	1000	960
200	800	1000	640
100	900	1000	360
10	990	1000	40
1	999	1000	4

Variations de l'effectif efficace Ne dans des populations théoriques en fonction de la sex-ratio.

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

L'éléphant de mer, un exemple de goulot d'étranglement

Les éléphants de mer ont été activement chassés à partir du XVIIIe notamment pour leur graisse, entraînant une diminution drastique de la population : il restait seulement 20 individus dans le Pacifique Nord au début du XXe siècle, lorsque des mesures de protection ont été mises en place.
Depuis, les effectifs ont augmenté jusqu'à atteindre 30 000 individus de nos jours.
La fréquence de certains allèles neutres d'individus actuels ont été comparées à celles de représentants du XIXe siècle à partir de prélèvements d'ADN dans des crânes.



Variations d'effectifs de la population

	Allèle a	Allèle b	Allèle c	Allèle d	Allèle e
Population du XIXe siècle	43,75	31,25	12,5	6,25	6,25
Population actuelle	27,03	0	0	72,97	0

Comparaison des fréquences alléliques

https://fr.wikipedia.org/wiki/Goulet_d%27%C3%A9tranglement_de_population

Un exemple d'effet de la dérive à l'échelle d'une population : cas de la colonisation par l'Homme de l'île Tristan da Cunha

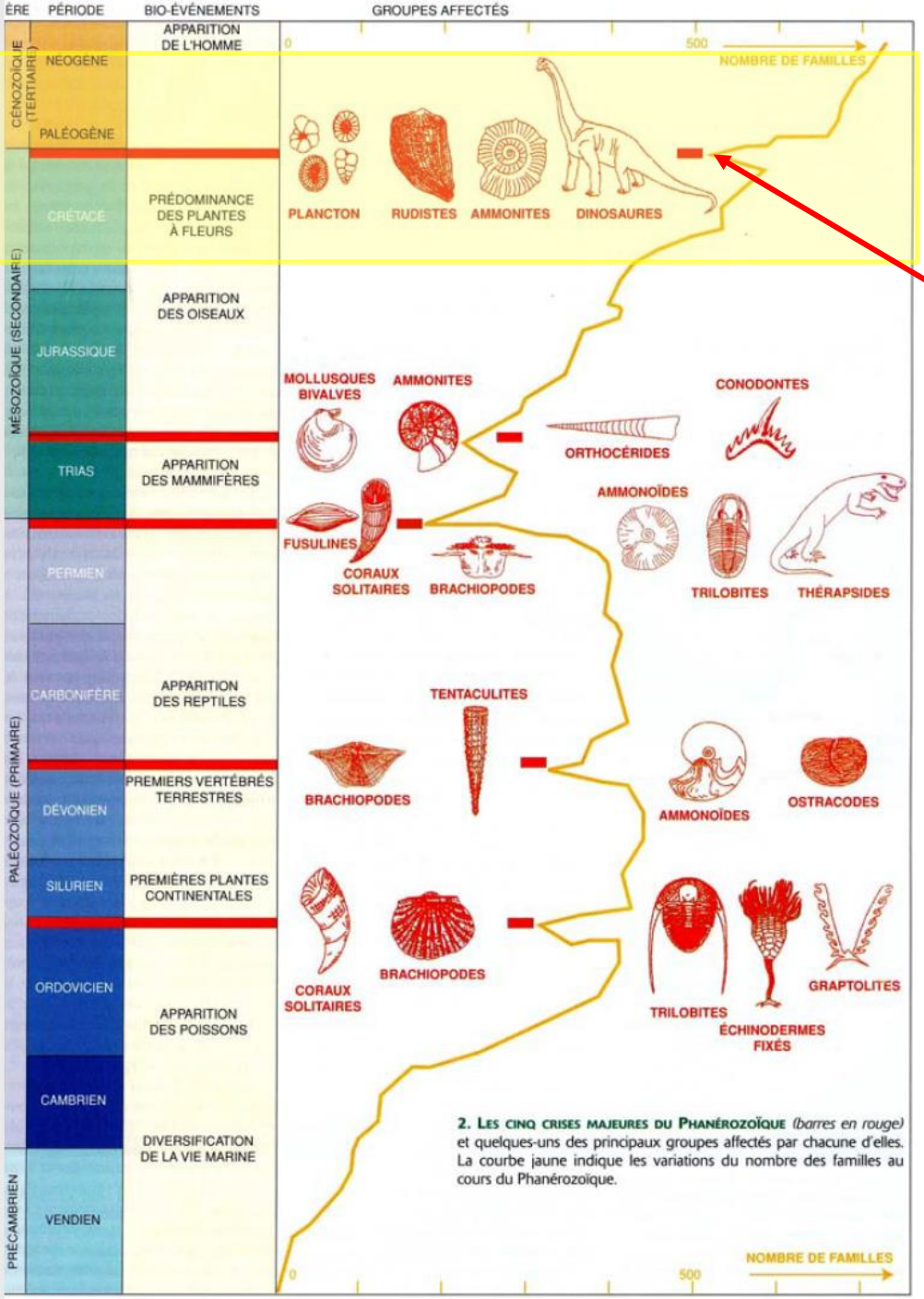
- Archipel découvert en 1506
- L'île de Tristan da Cunha est peuplée à partir de 1817
- 27 habitants en 1827
- 261 membres en 1961, tous issus de 19 ancêtres

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

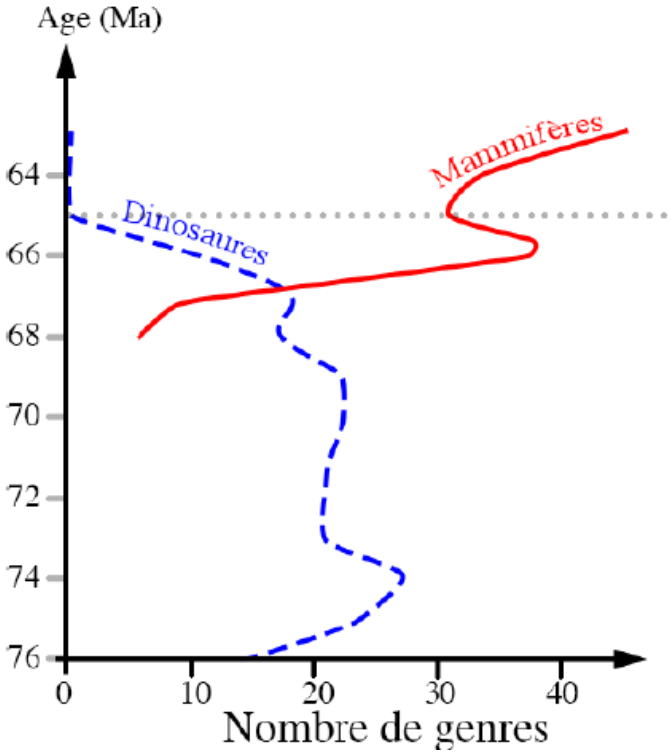
Le pool d'allèles présents dans cette population humaine isolée provient principalement d'une famille écossaise établie sur l'île en 1817

→ **Faible diversité génétique**

Un exemple d'effet de la dérive à l'échelle d'un taxon : cas de la perte de diversité des Dinosaures



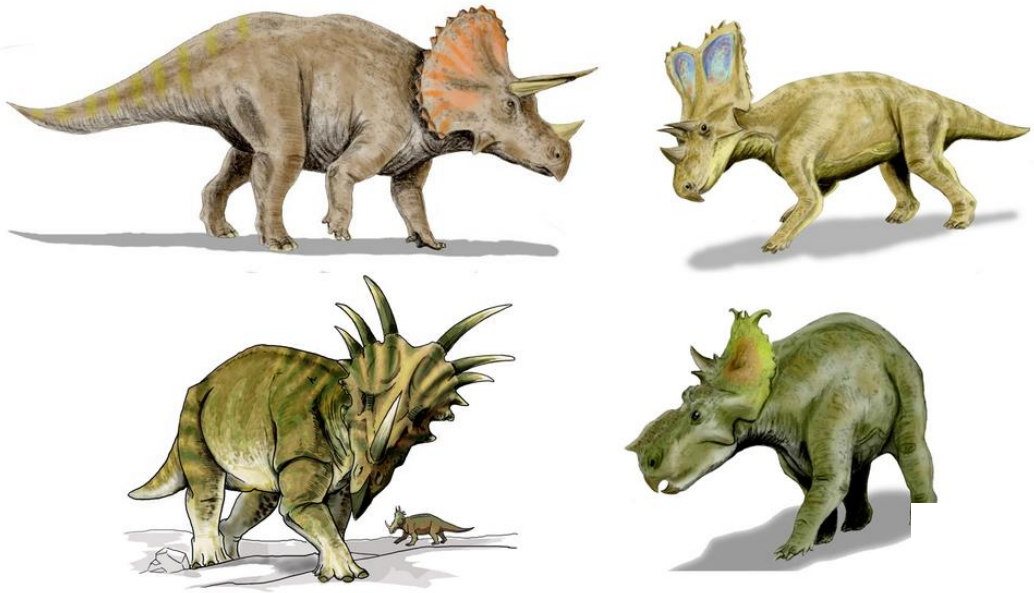
crise Crétacé – Tertiaire



Les crises biologiques au cours du Phanérozoïque

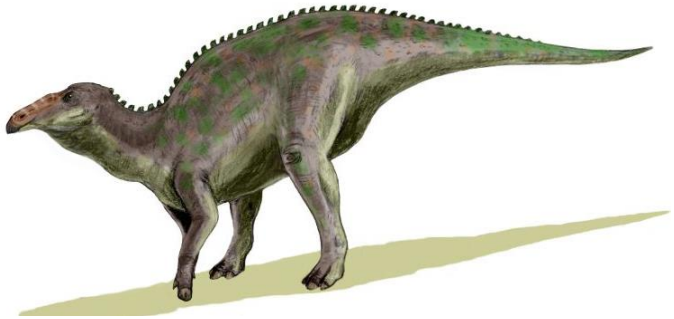
http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/limite-cretace-tertiaire.xml 2000 La valse des espèces - Dossier Pour la Science

Lors des 15 derniers Ma du Crétacé, une diminution de la diversité des Dinosaures grands herbivores



Reconstitution de Cératopsidés

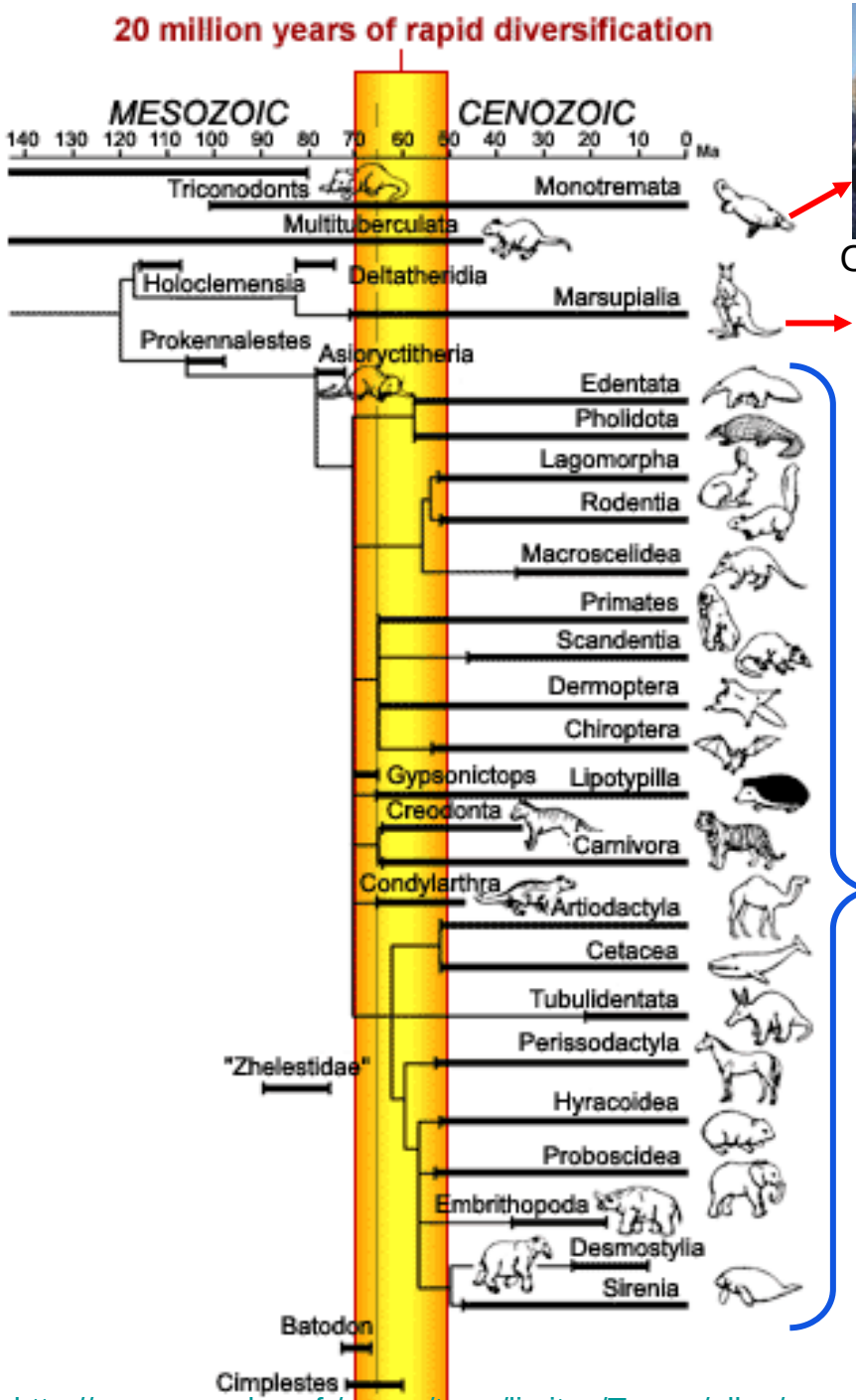
Triceratops



Edmontosaurus

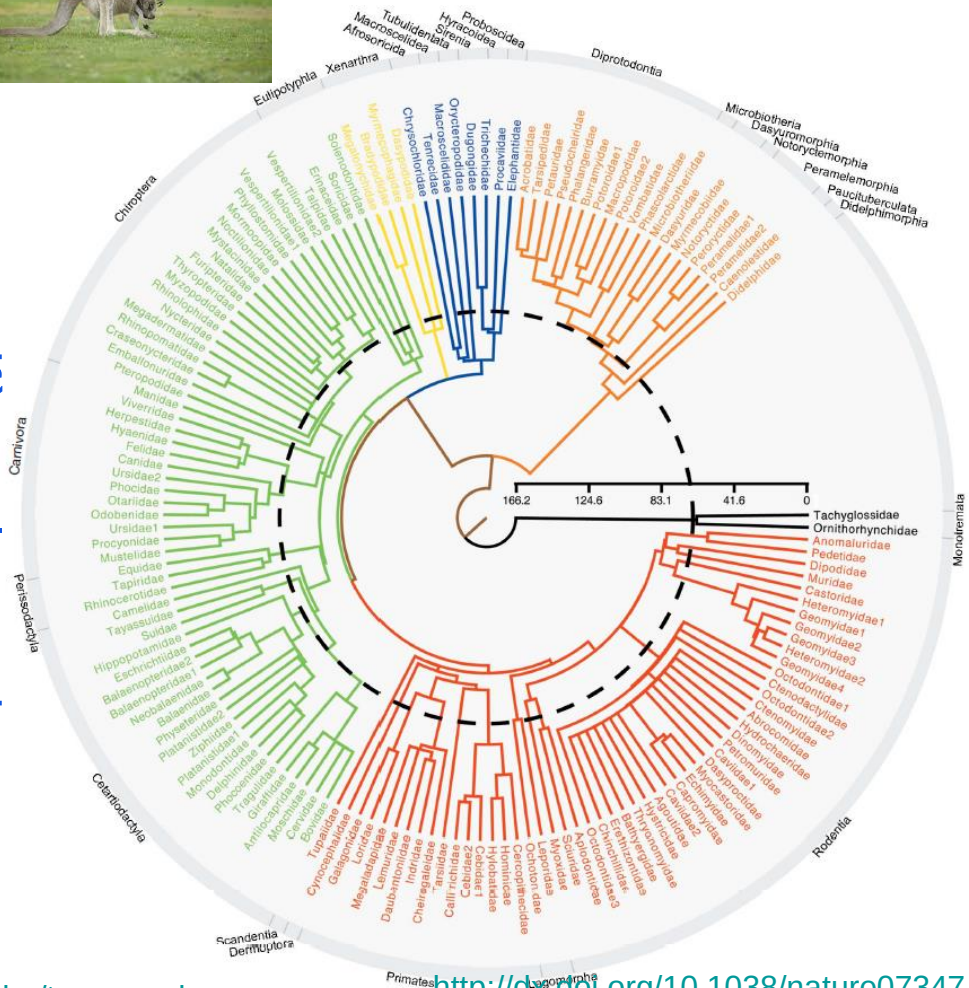
https://fr.wikipedia.org/wiki/Ceratopsidae

La radiation des Mammifères



Ornithorhynque

Mammifères placentaires

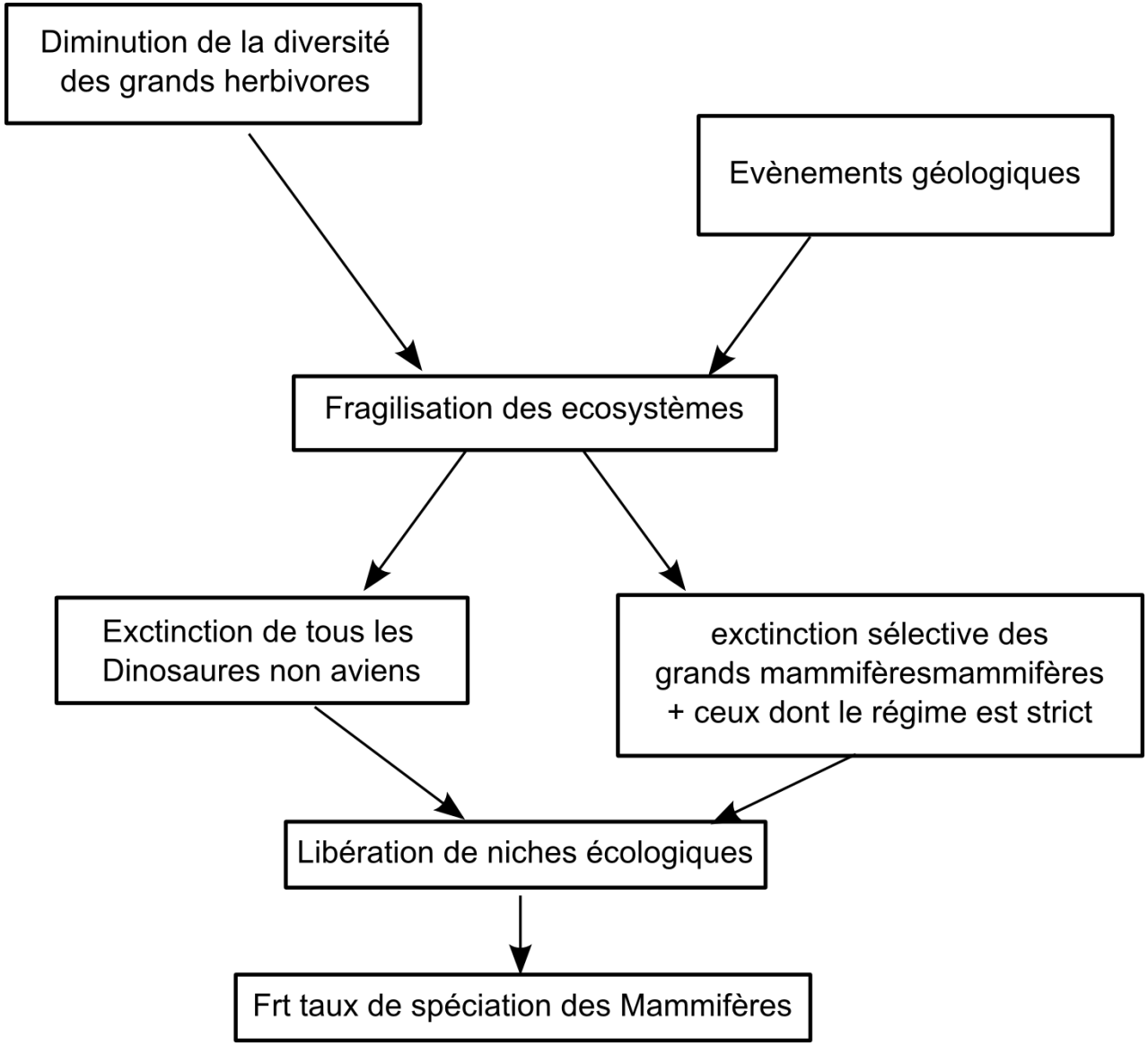


http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/limites/Temps/allee/comprendre/terre-moderne

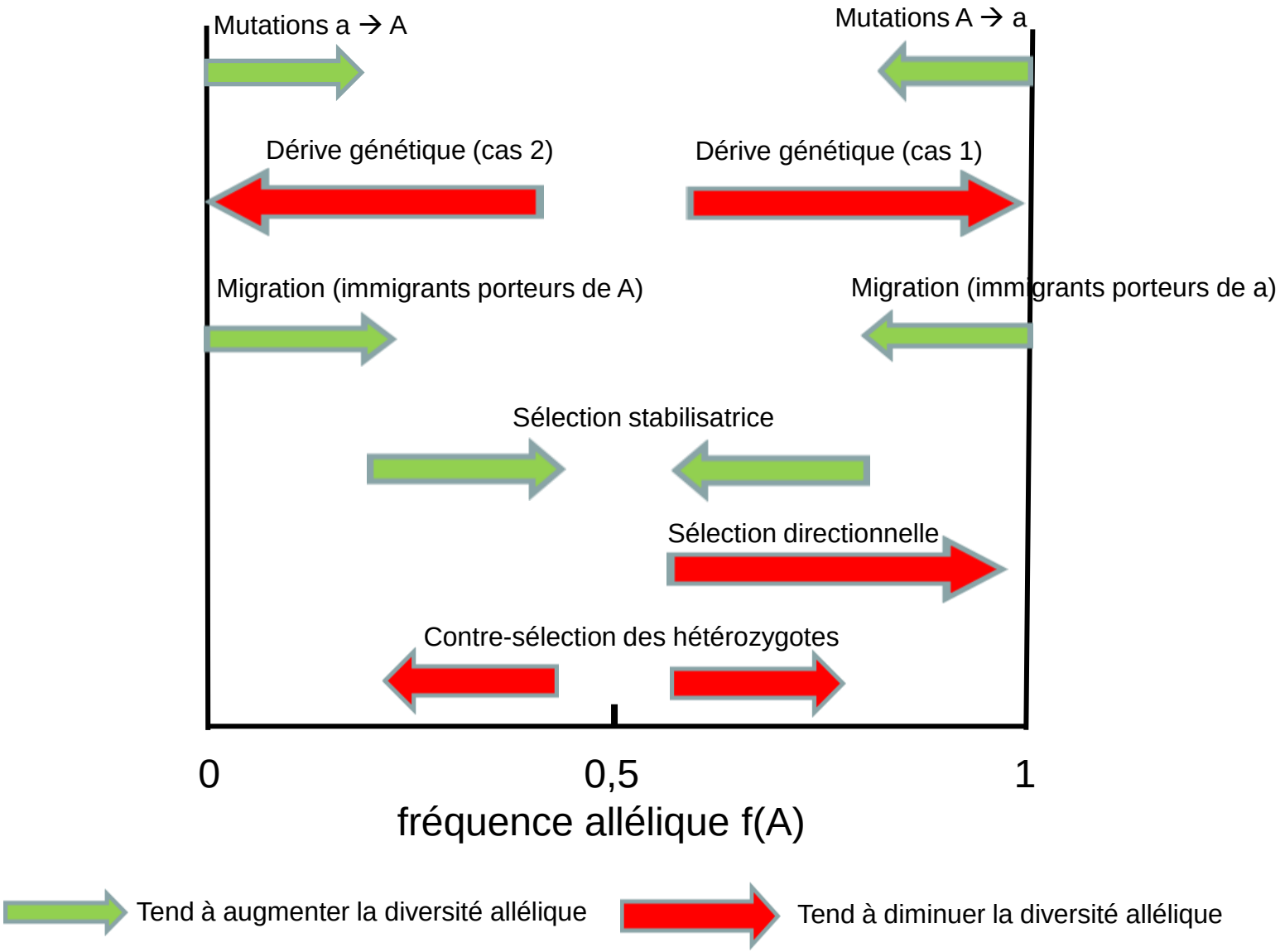
http://dx.doi.org/10.1038/nature07347

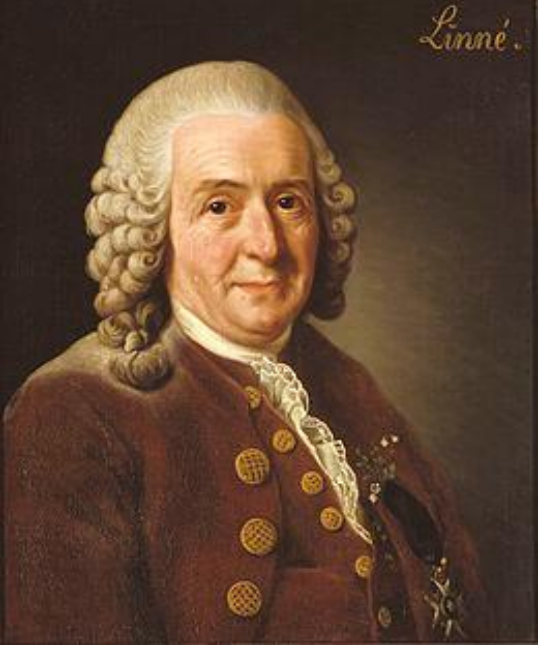
<u>Document 14.</u> Effets de la diminution de la diversité des Dinosaures à la fin du Crétacé.

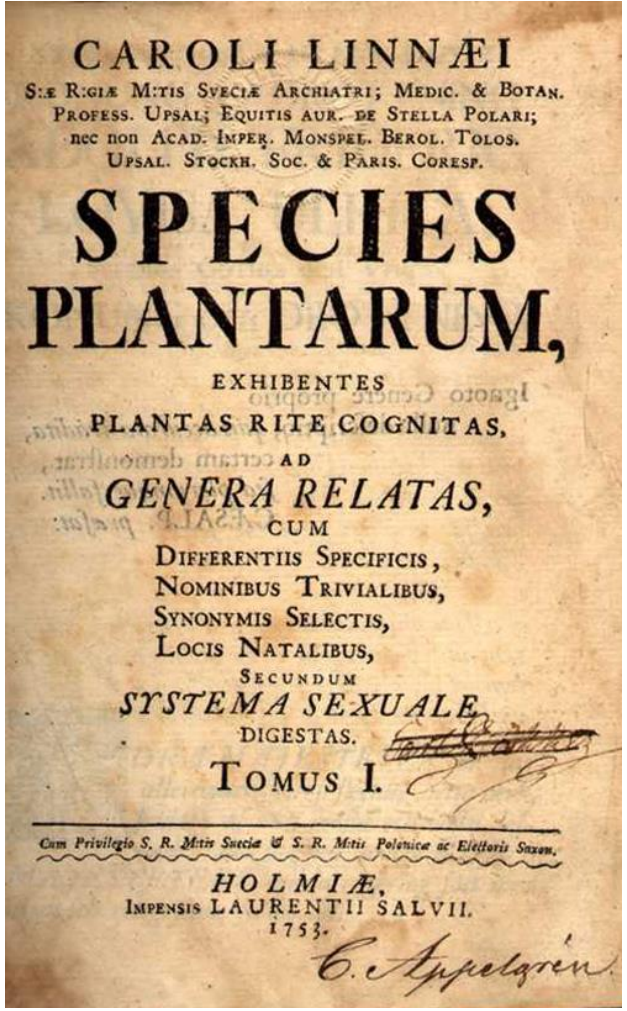
Perte de diversité génétique (dérive génétique)



<u>Document 15</u>. Bilan des effets des forces évolutives sur les fréquences alléliques d'une population (cas d'un couple d'allèles A et a).







CAROLI LINNÆI
S:æ R:giæ M:tis Sveciæ Archiatri; Medic. & Botan.
Profess. Upsal; Equitis aur. de Stella Polari;
nec non Acad. Imper. Monspel. Berol. Tolos.
Upsal. Stockh. Soc. & Paris. Coresp.

SPECIES PLANTARUM,

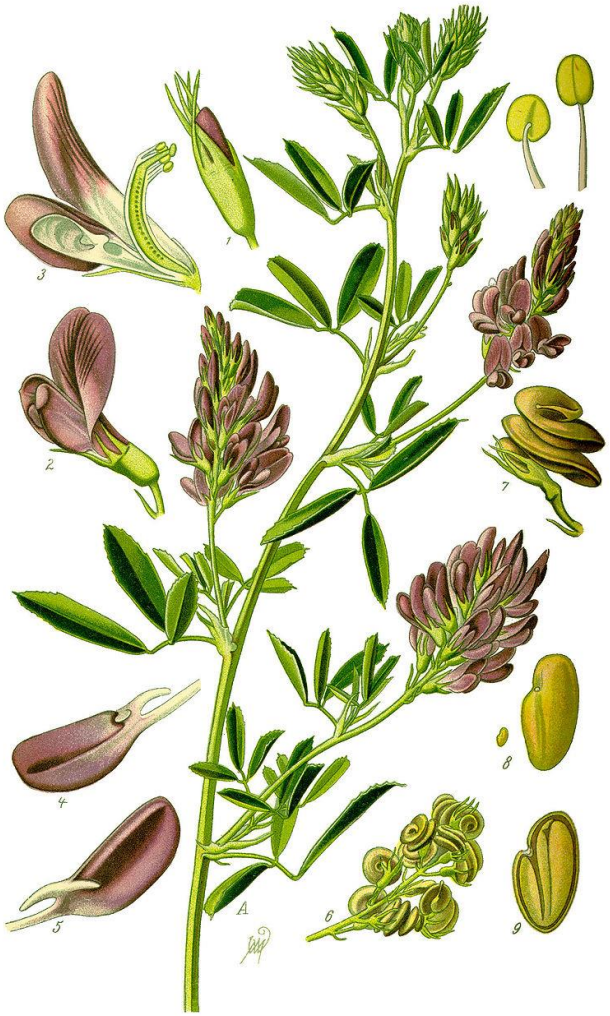
EXHIBENTES
PLANTAS RITE COGNITAS,
AD
GENERA RELATAS,
CUM
Differentiis Specificis,
Nominibus Trivialibus,
Synonymis Selectis,
Locis Natalibus,
Secundum
SYSTEMA SEXUALE
DIGESTAS.

Tomus I.

Cum Privilegio S. R. M:tis Sueciæ & S. R. M:tis Polonicæ ac Electoris Saxon.

HOLMIÆ,
Impensis LAURENTII SALVII.
1753.

C. Appelgren



Medicago sativa, L. 1753

Carl von Linné (1707-1778)

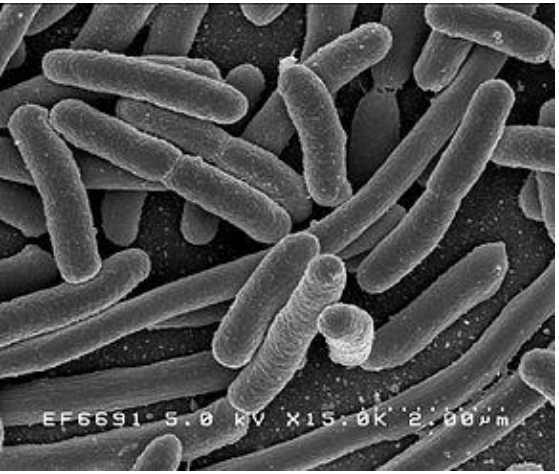
Père du concept de biodiversité par son identification de près de 6 000 espèces végétales et 4 400 animales

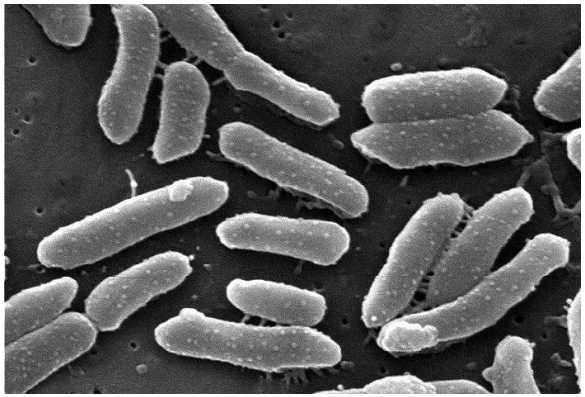
Une définition de l'espèce basée sur la morphologie : l'espèce est définie par comparaison avec un individu de référence conservé en muséum et qui a servi à décrire l'espèce, c'est le type d'où le nom d'**espèce typologique.**

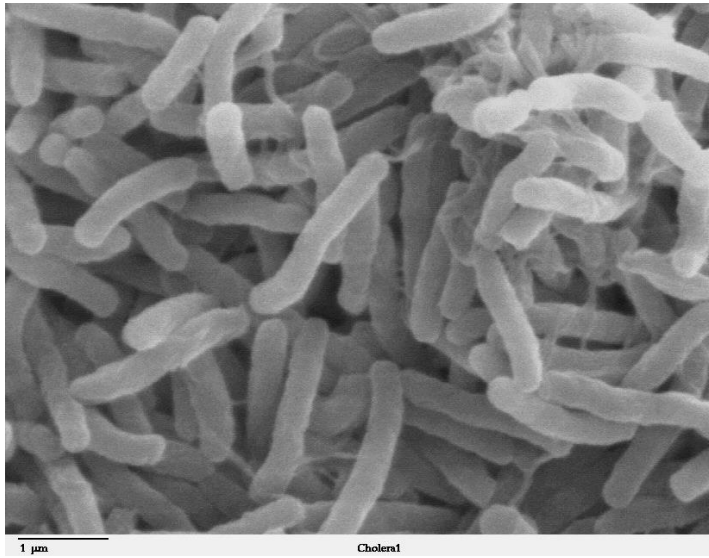
https://www.herodote.net/Un_Suedois_fait_le_menage_dans_la_Nature-synthese-212.php /

Des difficultés d'application du critère de ressemblance

Les bactéries : impossibles à distinguer morphologiquement…







Escherichia coli *Pseudomonas* *Vibrio cholerae*

Trois bacilles gram –

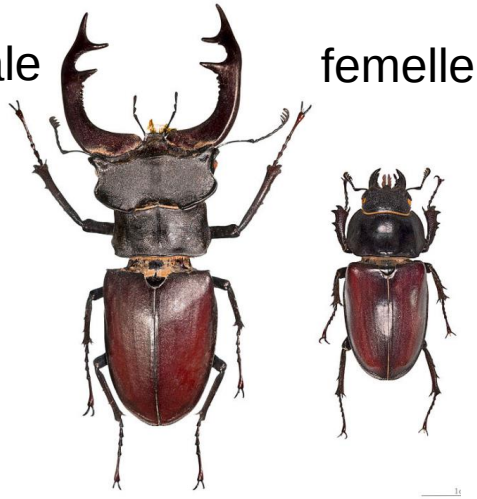
…Mais possibilité de comparer des séquences d'ADN :

Même espèce si plus de 70 % de similarité

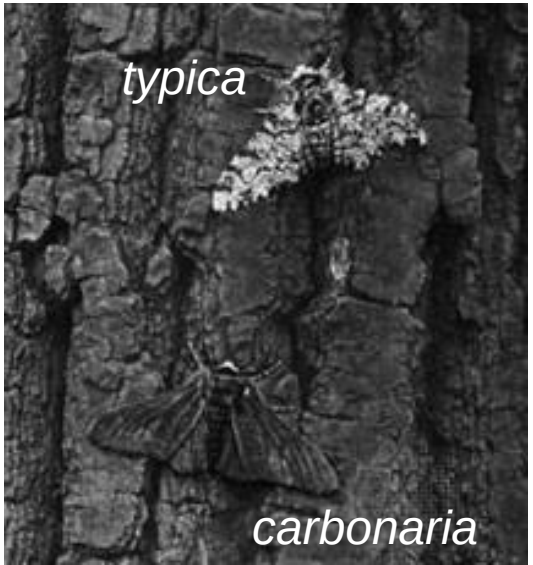
Des difficultés d'application du critère de ressemblance

Polymorphisme au sein d'une espèce

mâle femelle



Lucane cerf-volant



Phalène du bouleau

Ressemblances entre deux espèces

Apparentées : espèces jumelles

Monarque (*Danaus plexippus*)

Vice-roi (*Limenitis archippus*)

Non apparentées : convergence

http://www.butterfliesandmoths.org

Une définition biologique de l’espèce

« **Une espèce est un groupe de populations naturelles au sein duquel les individus peuvent, réellement ou potentiellement, échanger du matériel génétique** ; toute espèce est séparée des autres par des mécanismes d'isolement reproductif ». E. Mayr, **1942**

Ernst Mayr (1904-2005)

Des hybridations naturelles entre espèces sympatriques

Milan royal
Milvus milvus

Milan noir
Milvus migrans

https://www.pairidaiza.eu/fr

La définition écologique de l’espèce

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

E. Mayr, **1982**

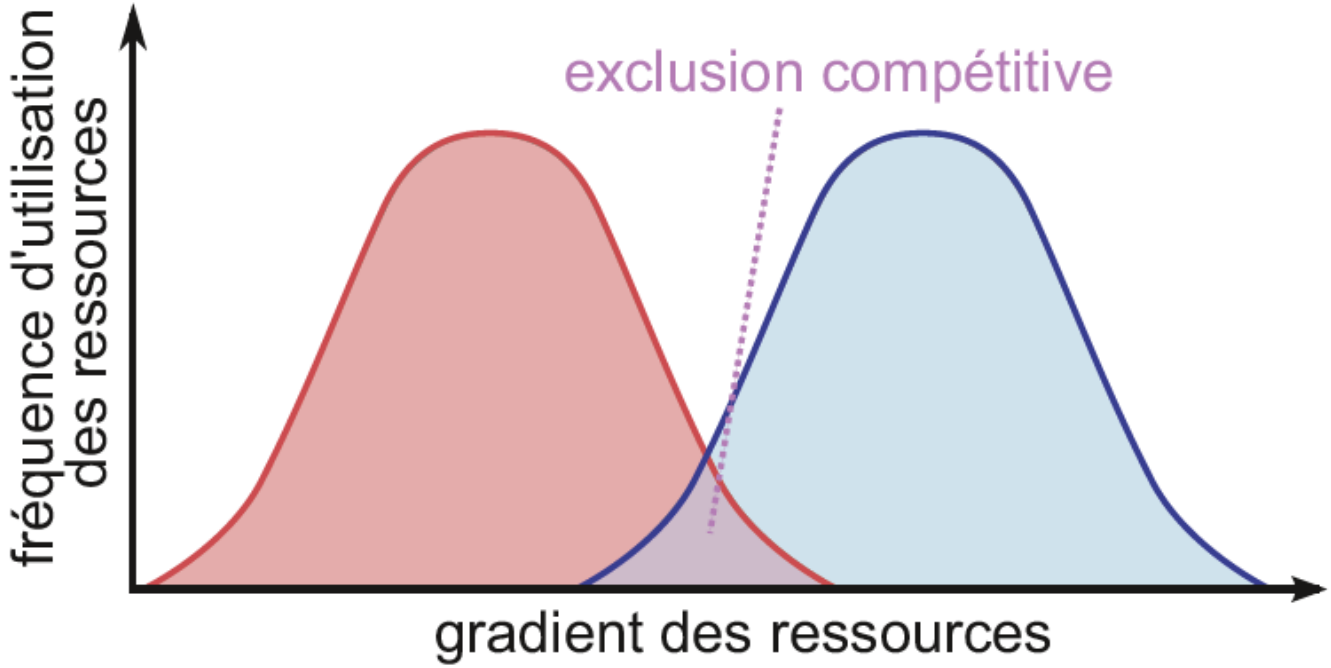
Ernst Mayr (1904-2005)

Chat sauvage
Felis sylvestris

Chat domestique
Felis catus

https://fr.wikipedia.org/wiki/Felis_silvestris
https://www.lespetitsdebrouillardsgrandouest.org/participe-a-chat-domestique-biodiversite/

Sélection pour le partage des ressources

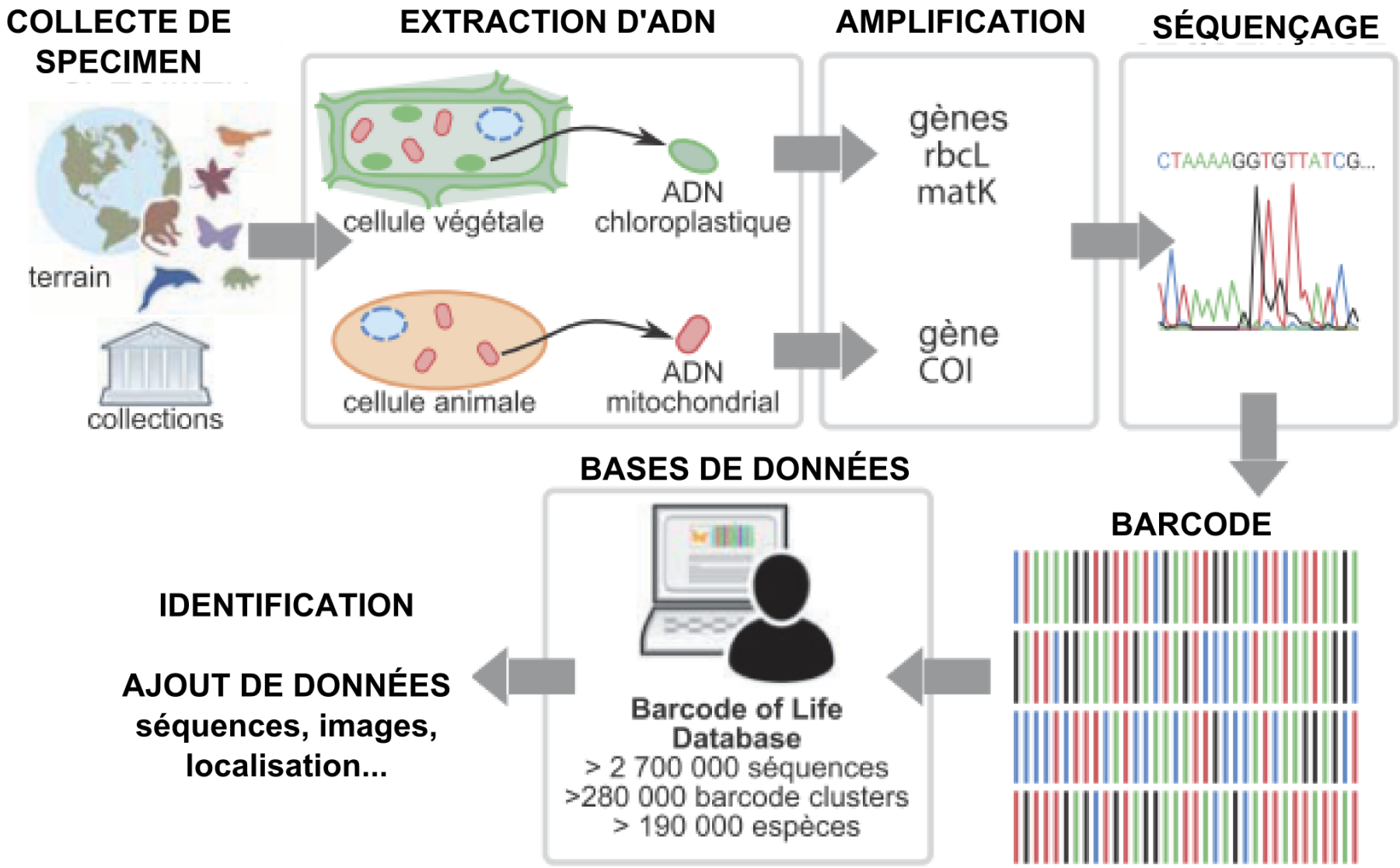


Exclusion compétitive → sélection divergente

- - - - > deux espèces à deux niches écologiques différentes

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

Document 16. La procédure du barcodage.



Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

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

Euglyphis mariaDHJ03 caterpillar (05-SRNP-35240) adorned with white cocoons of *Cotesia* Whitfield25 (DHJPAR0002235, ASBAC746-06) next to tube (5 cm) containing

Chenille = hôte

Cocons des parasitoïdes

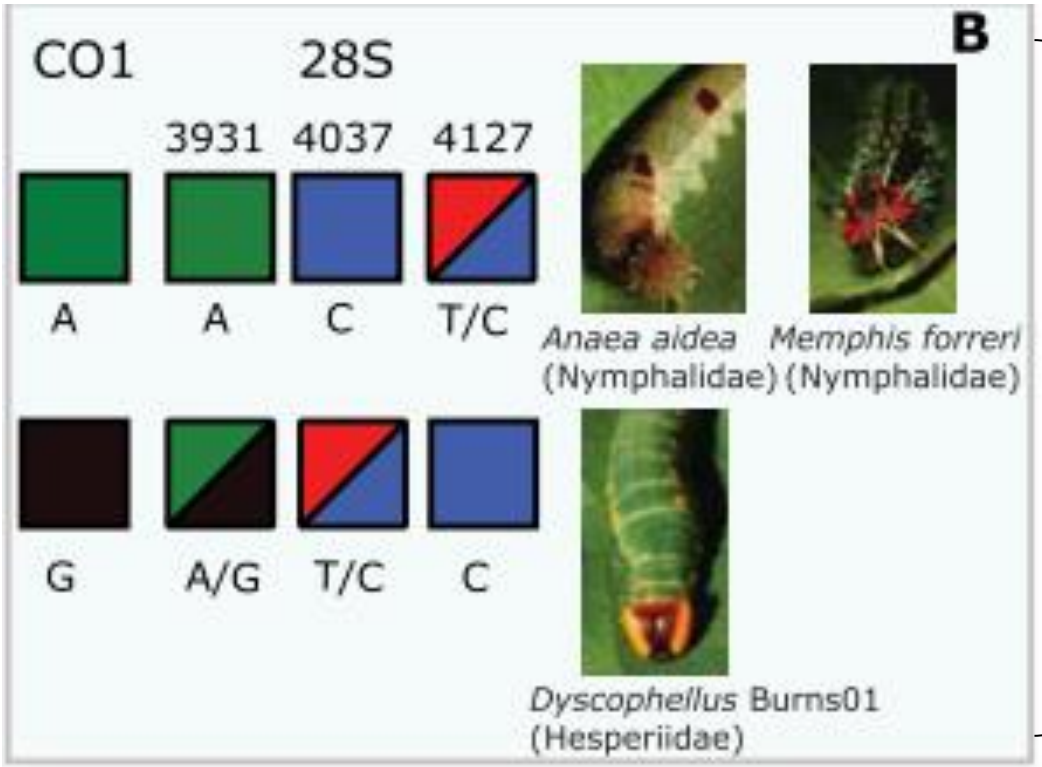
Étude de plus de 2500 spécimens :
- Données morphologiques
- Données phylogénétiques
- Données écologiques

M.A. Smith & al (PNAS 2008 105(34):12359-64 https://doi.org/10.1073/pnas.0805319105

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

Exemple de différences entre deux espèces

Séquences différentes



Hôtes différents

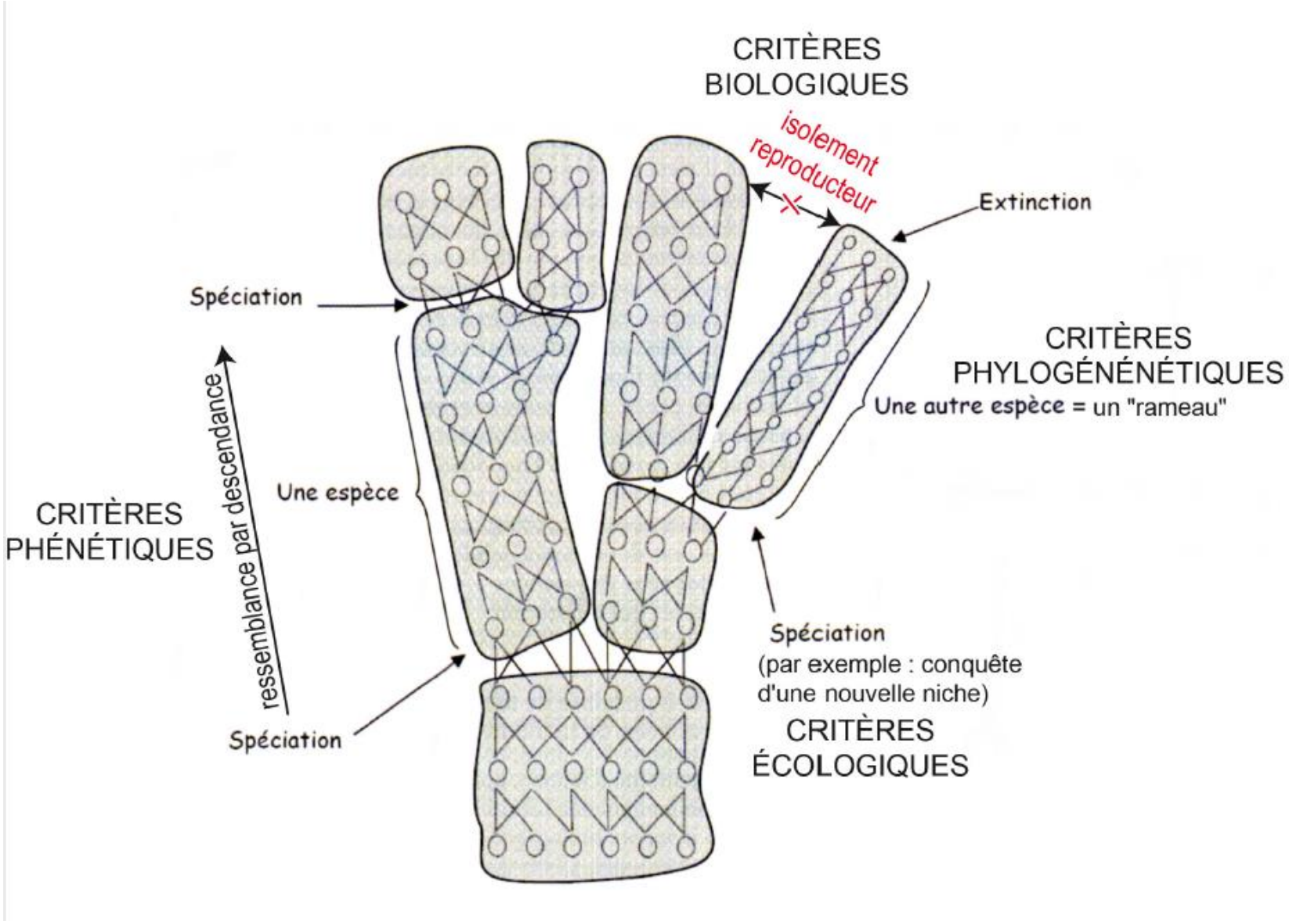
Étude de plus de 2500 spécimens :
- Données morphologiques → 171 « espèces »
- Données phylogénétiques : le barcode → 142 espèces de plus

} **313 espèces**

- Données écologiques : spécificité d'hôte très importante : plus de 90 % des guêpes n'attaquent qu'une ou deux espèces hôtes.

M.A. Smith & al (PNAS 2008 105(34):12359-64 https://doi.org/10.1073/pnas.0805319105

<u>Document 17</u>. Approche intégrative de la notion d'espèce.

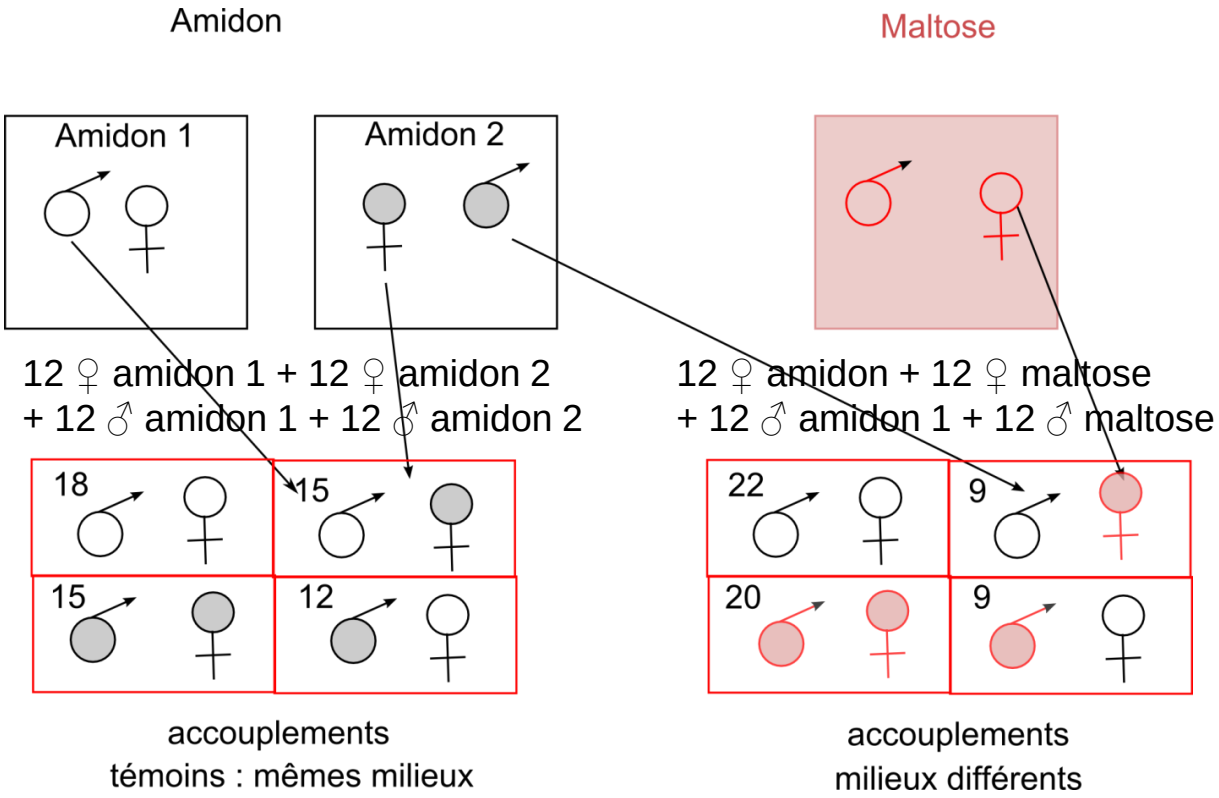


Source B. Anselme Professeur BCPST 2 Lycée Fénelon, Paris.

<u>Document 18.</u> Résultats de l'expérience de Dodd et coll. (1989) sur *Drosophila pseudoobscura.*

Douze femelles et douze mâles isolés de deux milieux sont placés dans une même cage à population.

Les quatre types possibles d'accouplements sont alors dénombrés.



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

<u>Document 19.</u> Les différentes formes d'isolement reproducteur.

Isolement prézygotique	Barrières précopulatoires	**Isolement éthologique** : les individus des deux espèces ne se reconnaissent pas	
		Isolement écologique	**Dans le temps** : périodes de reproduction non synchrones
			Par l'habitat : espèces dans des habitats distincts
			Mécanique : lié à l'organisation de l'appareil copulateur
	Barrières postcopulatoires : pas de fécondation	**Isolement comportemental** : le comportement lors de la copulation empêche la réalisation de la fécondation	
		Isolement génétique : les gamètes ne réalisent pas la fécondation pour des problèmes de stockage, de transport (avortement des tubes polliniques ou mort des spermatozoïdes dans les voies génitales) ou de non reconnaissance membranaire	
Isolement postzygotique	Barrières postcopulatoires, 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

Allano et Clamens, 2010 « Faits et mécanismes de l'évolution biologique »

Les différentes formes d'isolement reproducteur :
Isolement prézygotique temporel

Rana aurora

Rana boylii

Reproduction de janvier à mars

Reproduction de mars à mai

Les différentes formes d'isolement reproducteur :
Isolement prézygotique par l'habitat

Colias hyale

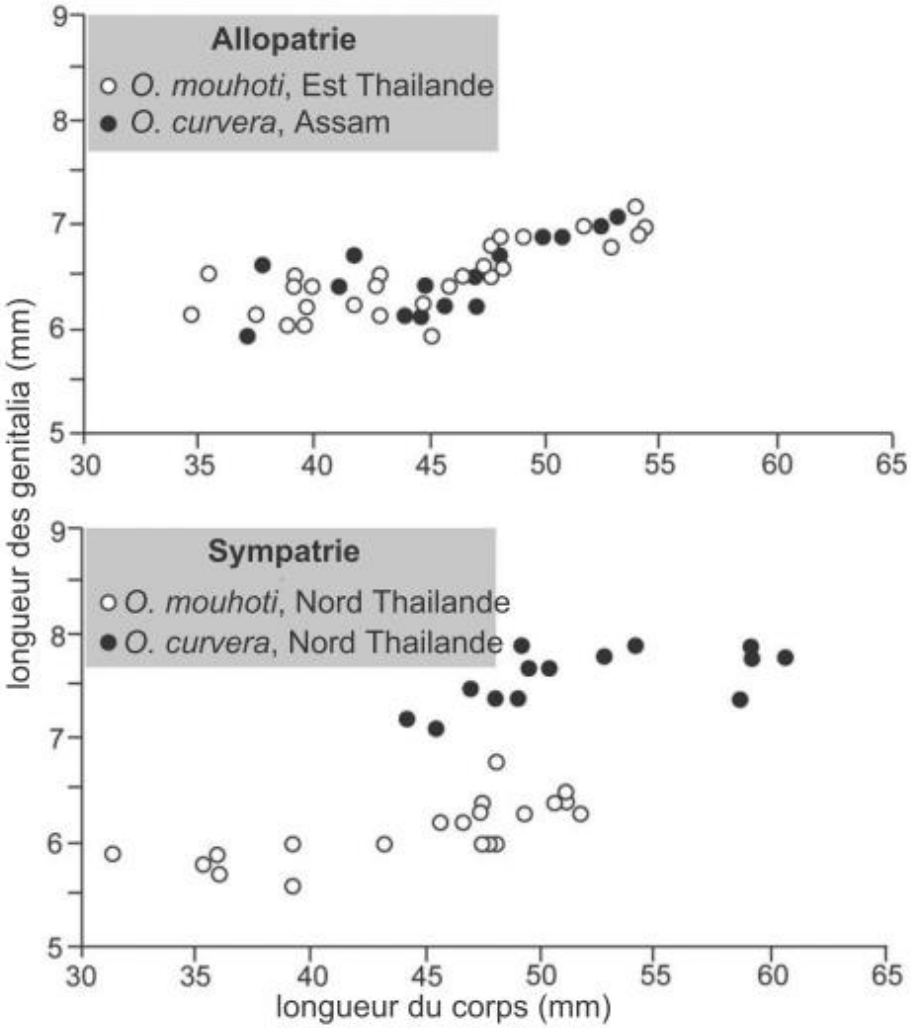
Prairies grasses

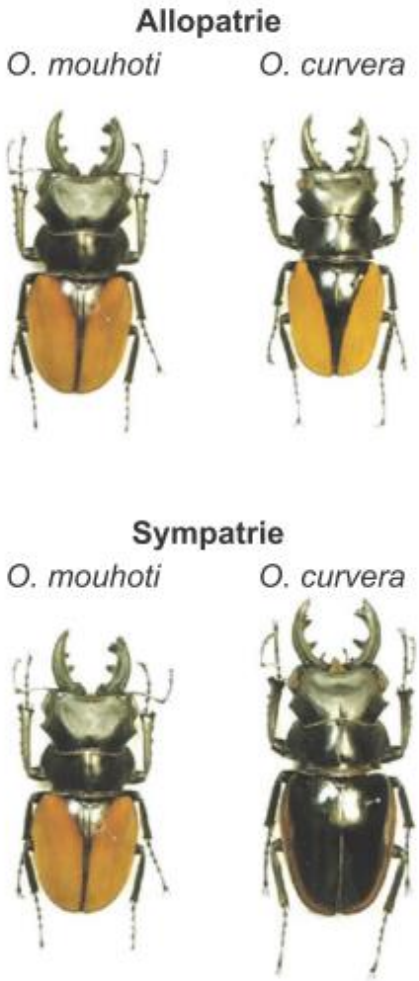
Colias australis

Pelouses sèches

http://www.lepinet.fr

Les différentes formes d'isolement reproducteur :
Isolement prézygotique mécanique





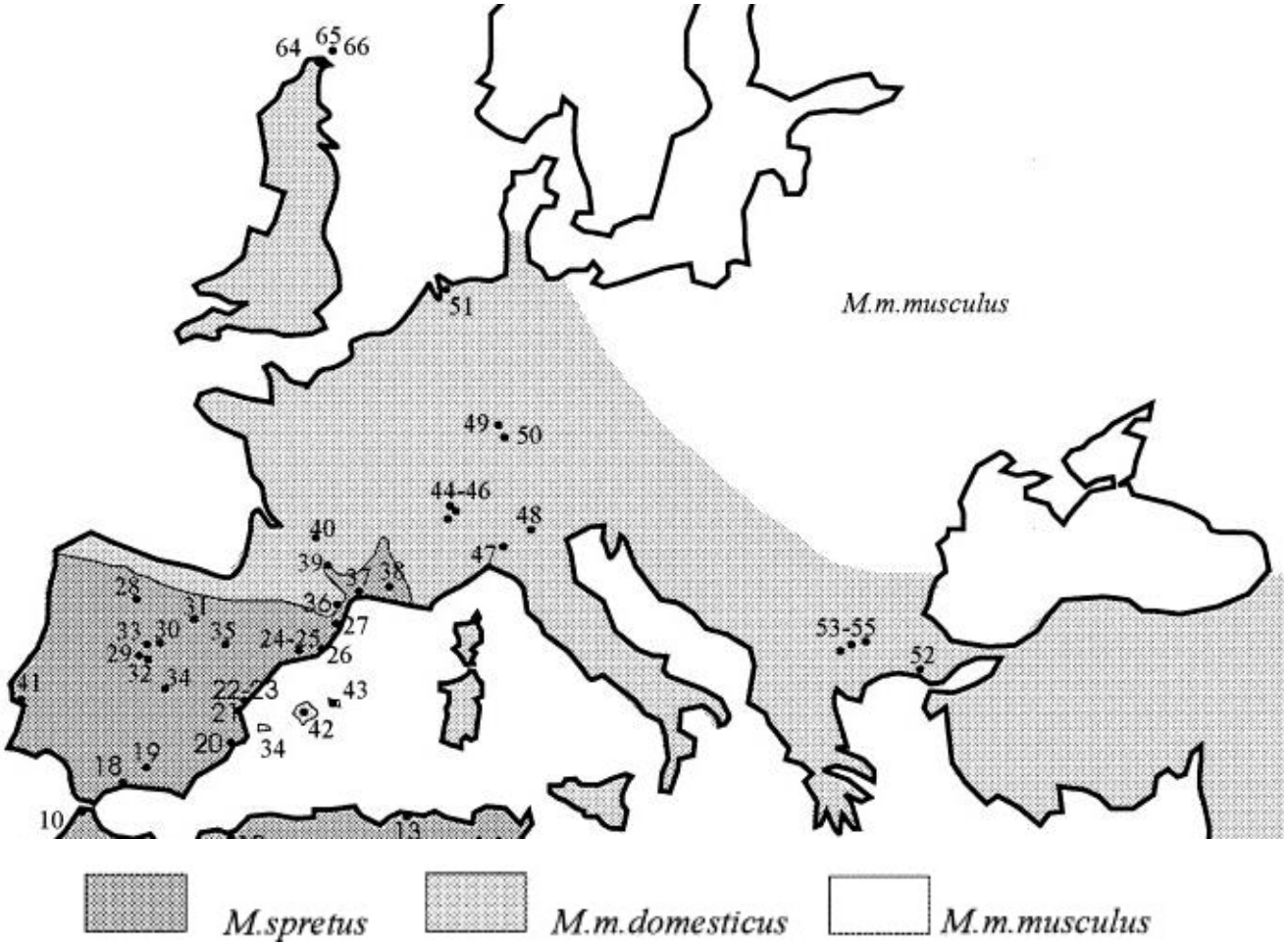
Deux espèces très proches de Lucanes cerfs-volants

Biologie BCPST2. Peycru & al. Dunod 2014

Les différentes formes d'isolement reproducteur :

Isolement postzygotique : diminution de la viabilité des hybrides

Aire de répartition des sous-espèces de Souris
***Mus musculus domesticus* et *M. m. musculus* en Europe**



Orth A. et al. Hybridation naturelle entre deux espèces sympatriques de souris *Mus musculus domesticus* L. et *Mus spretus* Lataste
Comptes Rendus Biologies Volume 325, Issue 2, February 2002, Pages 89-97 https://doi.org/10.1016/S1631-0691(02)01413-0

Les différentes formes d'isolement reproducteur :
Isolement postzygotique : stérilité des hybrides

bardot

étalon x ânesse

mulet

âne x jument

Les différentes formes d'isolement reproducteur :
Isolement postzygotique : dépression hybride

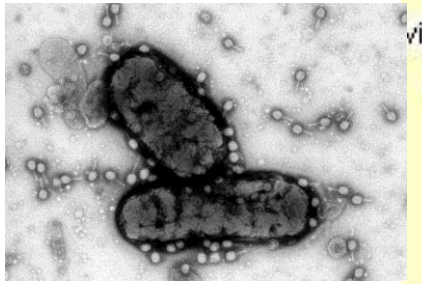
Gossypium hirsutum

Gossypium tomentosum

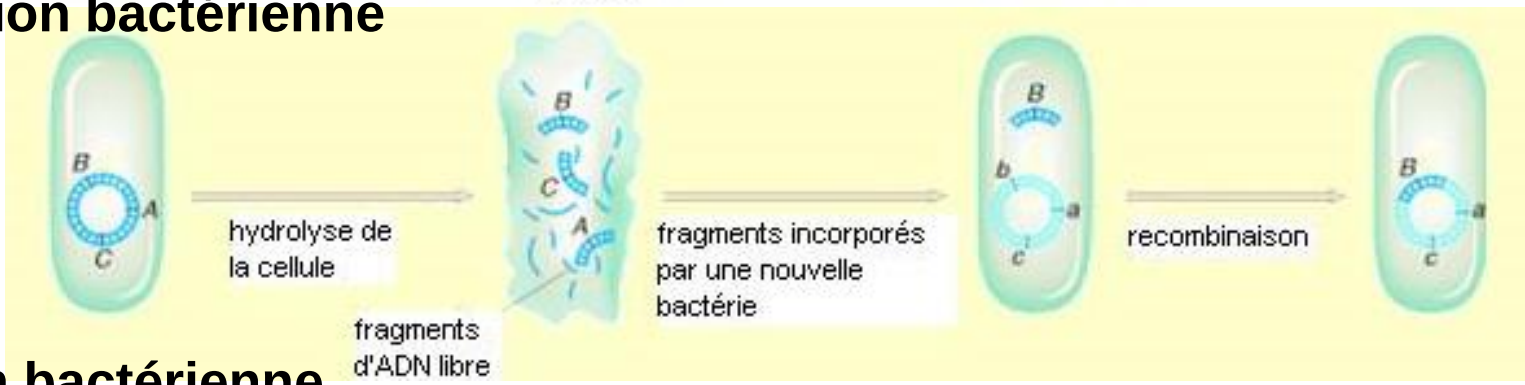
F1 = hybrides normaux
F2 très peu fertiles

Des mécanismes qui s'opposent à l'isolement génétique chez les Eubactéries (et les Archées)

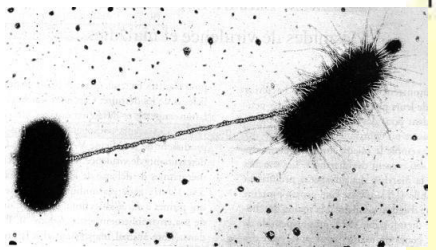
La transduction virale

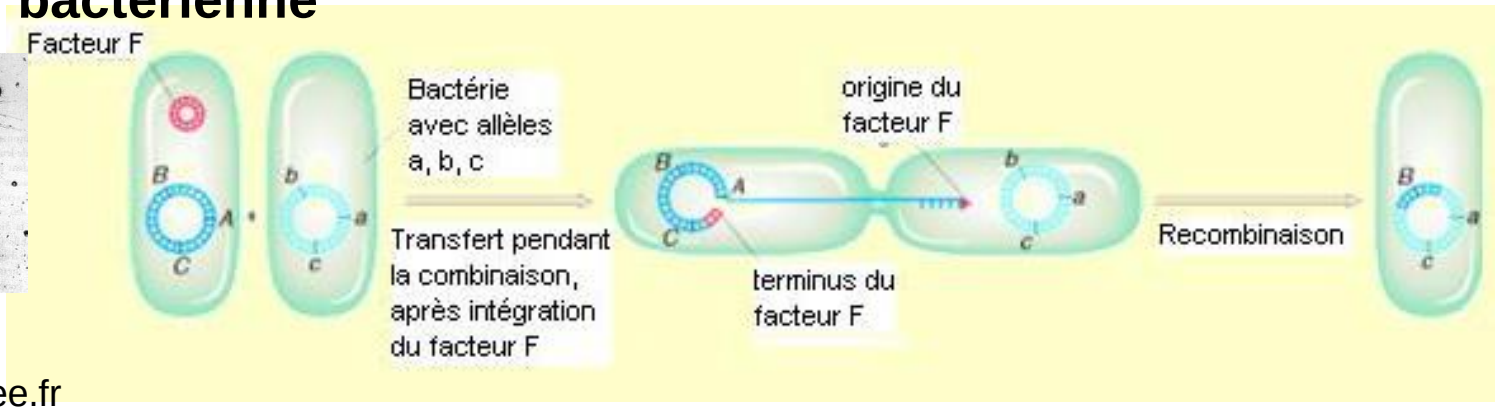


La transformation bactérienne



La conjugaison bactérienne





http://mas.stephanie.free.fr

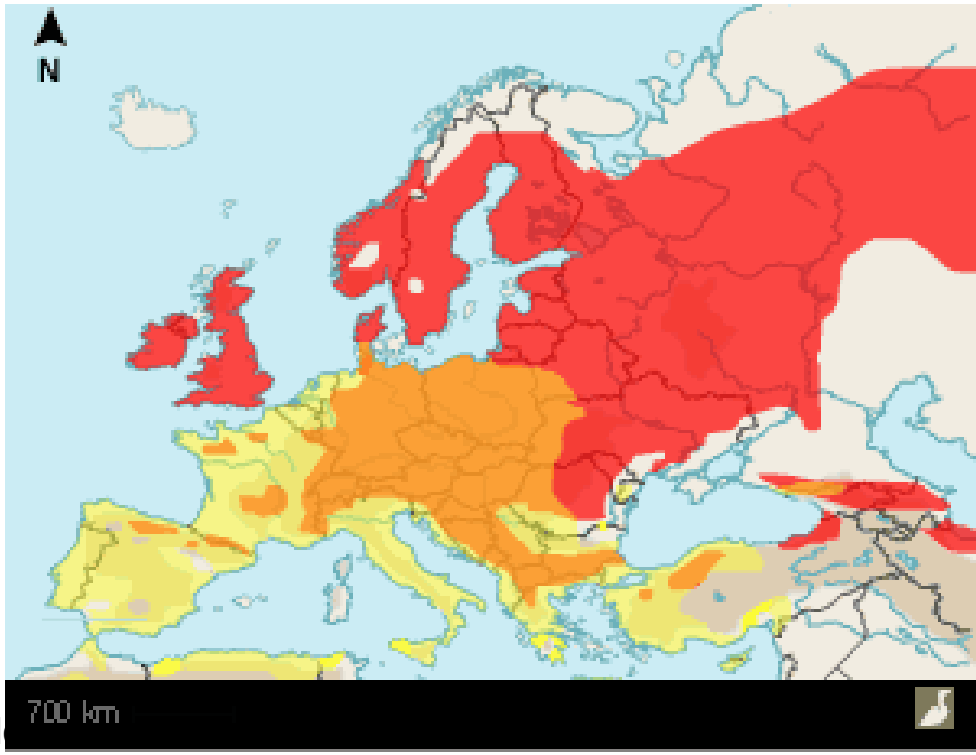
La spéciation allopatrique

Conséquence d'une barrière géographique

Grimpereau des Bois
Certhia brachydactyla

Grimpereau des Jardins
Certhia familiaris

Aires de répartition des Grimpereaux



- bec plus court du Grimpereau des bois,
- extrémités pâles des ailes plus "individualisées" chez l Grimpereau des jardins et plus diffuses chez le Grimpereau des bois
- flancs légèrement teintés de chamois chez le Grimpereau des bois (pour la sous-espèce *C. f. macrodactyla*)
- ongle postérieur plus court chez le Grimpereau des jardins

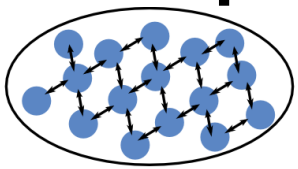
– **le chant**

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

https://louernos-nature.fr/differencier-grimpereau-jardins-grimpereau-bois/
http://www.ornithomedia.com/pratique/identification/distinguer-grimpereaux-bois-jardins-01297.html

Document 20. Modèle de spéciation allopatrique.

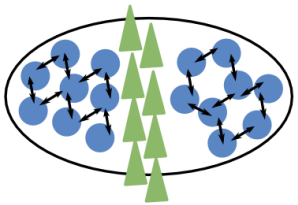
Population initiale



Population sympatrique

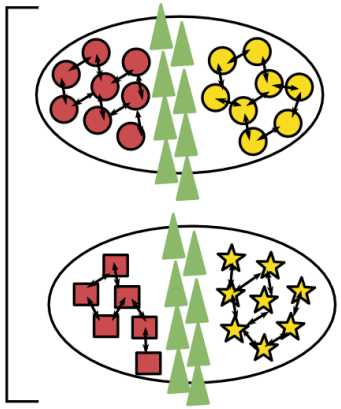
⟷ flux génique

1 - Apparition d'une barrière géographique



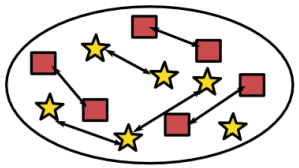
2 populations allopatriques

2 - Différenciation progressive (dérive génétique, sélection naturelle)



2 populations allopatriques

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

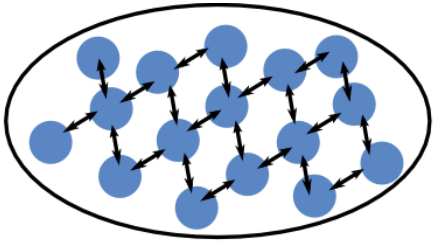


Cas 1 : pas d'hybridation entre les populations
SPÉCIATION

Cas 2 : hybridation entre les populations
PAS DE SPÉCIATION

<u>Document 21</u>. Modèle de spéciation sympatrique.

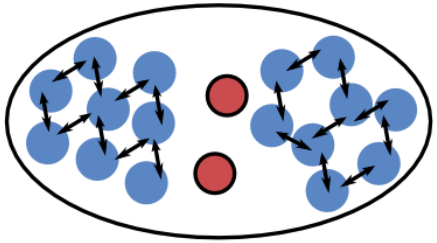
Population initiale



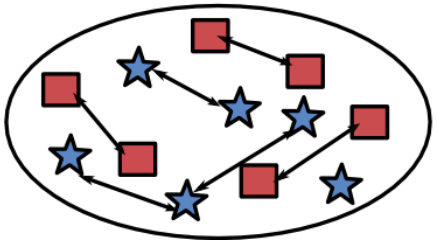
Population sympatrique

⟷ flux génique

Isolement reproductif entre certains individus



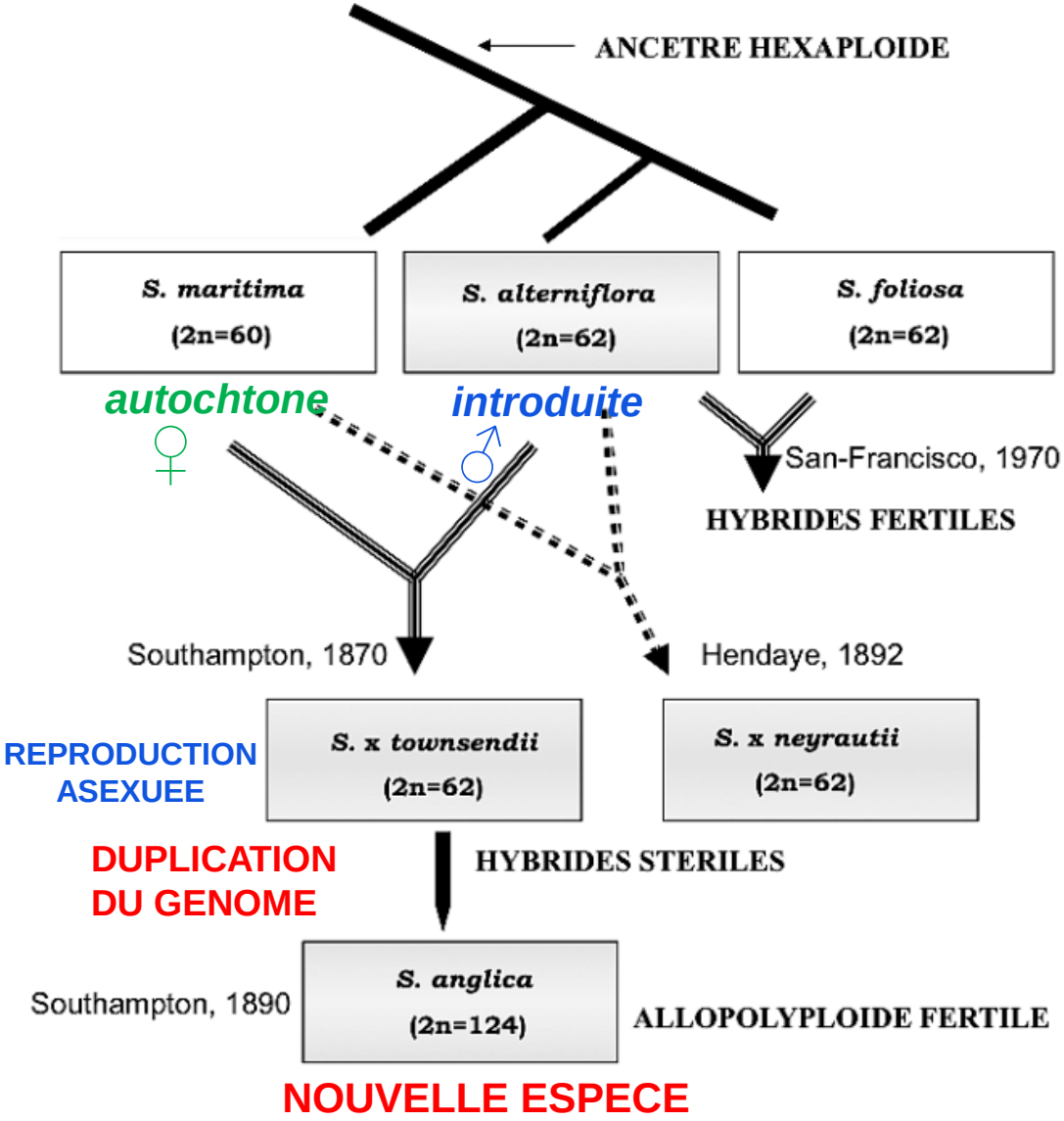
Evolution divergente conduisant à la SPÉCIATION



<u>Document 22</u>. Hybridations interspécifiques chez les spartines et origine de la nouvelle espèce allopolyploïde *Spartina anglica.*

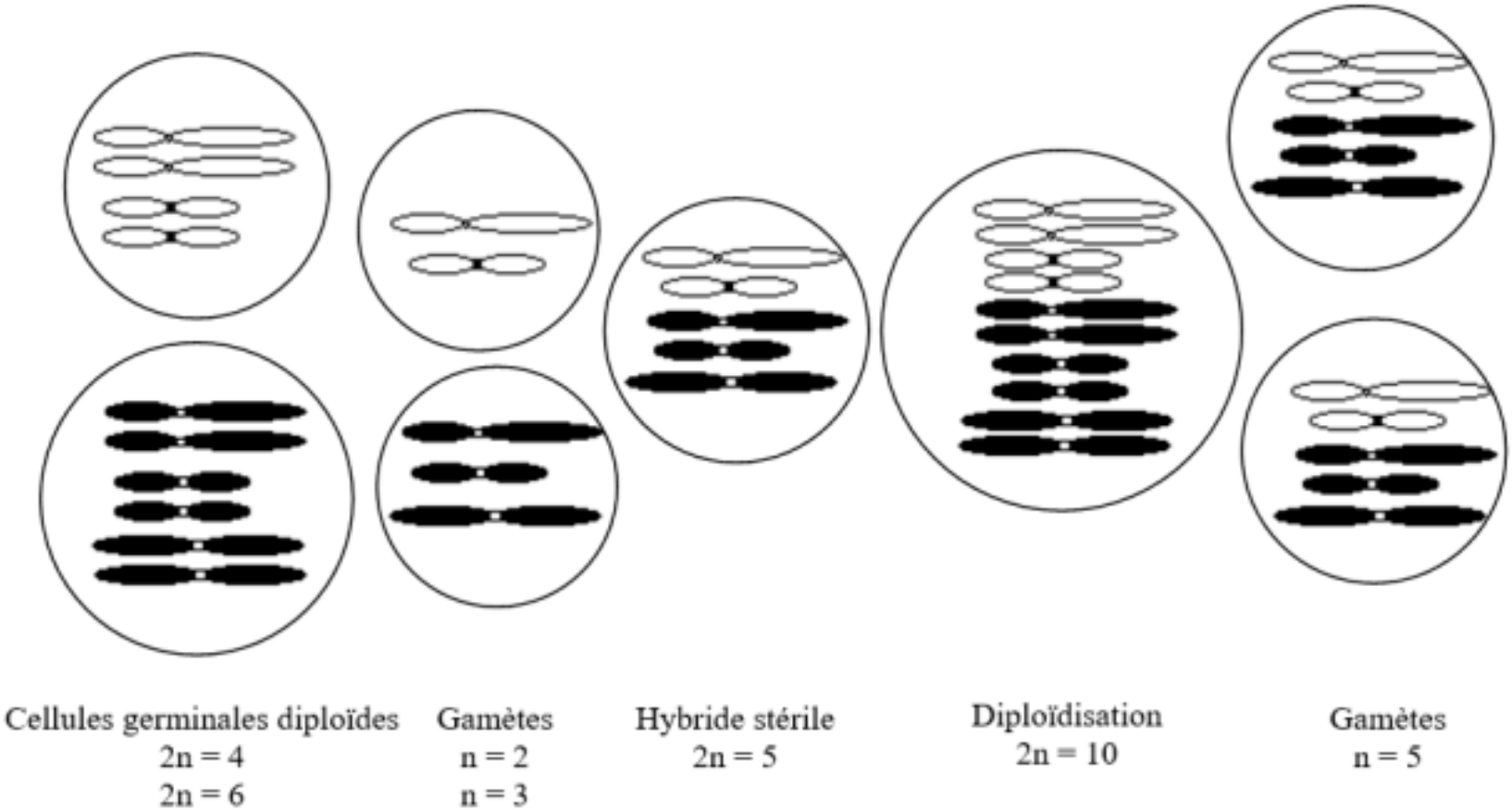
Spartina maritima

Spartina anglica



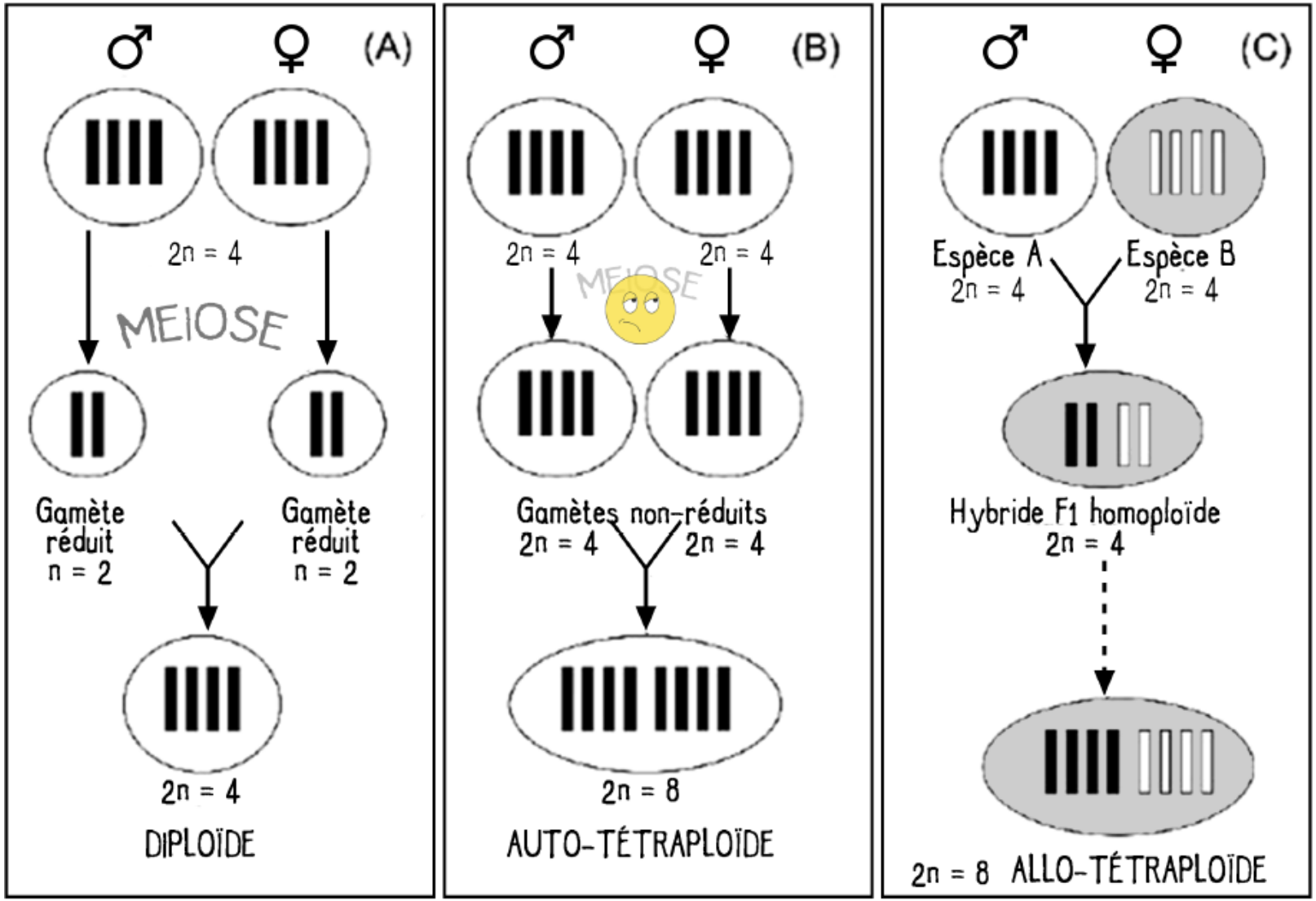
Ainouche M. Atalia 2012, n°15

<u>Document 23</u>. Spéciation par polyploïdisation des hybrides : allopolyploïdisation.



https://ressources.unisciel.fr/intro_biologie_evolution/co/grain2_2_4.html

Document 24. Reproduction sexuée et polyploïdisation.



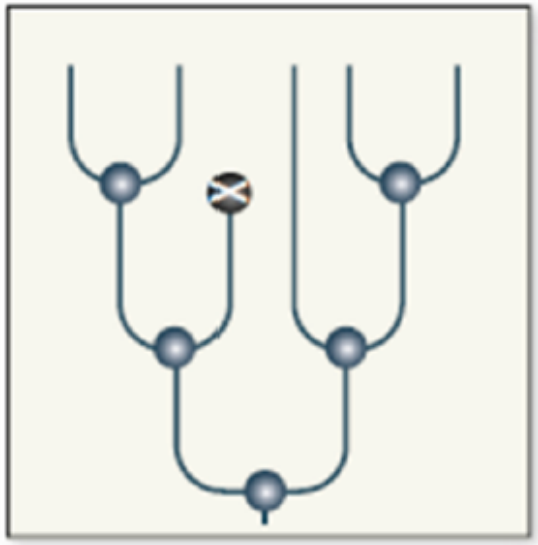
Cas d'une méiose normale

Non disjonction des homologues lors de la méiose

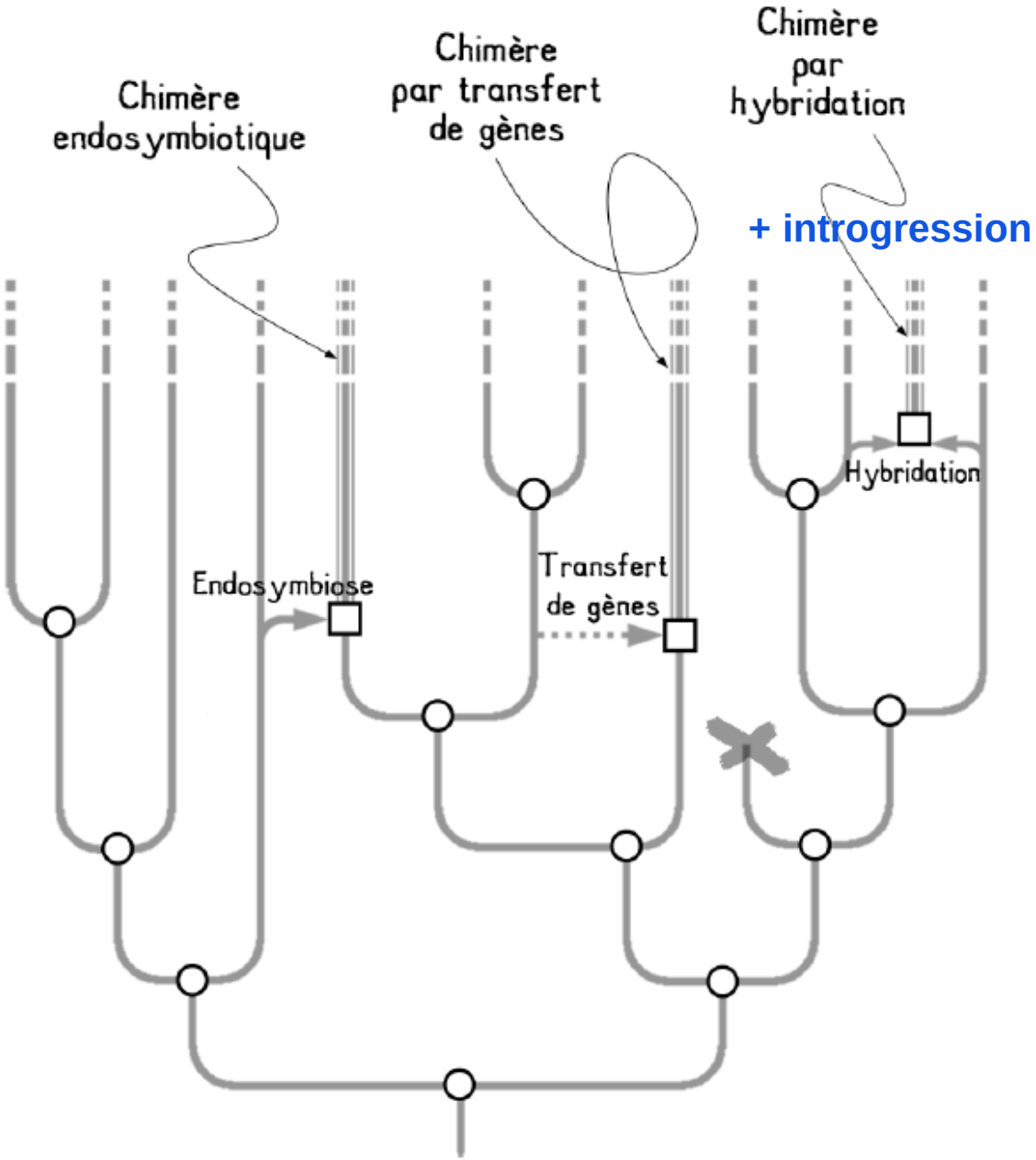
Hybridation → pas de disjonction possible chez l'hybride avant duplication donnant un allotétraploïde

Ainouche M. Atalia 2012, n°15

Document 25. Evolution réticulée.



L'arbre du vivant de l'évolution darwinienne classique (encadré) comporte des phénomènes de spéciation par divergence et des extinctions. Il faut y ajouter des phénomènes d'évolution par fusion qui créent un réseau : l'endosymbiose, le transfert de gènes et l'hybridation.



Source B. Anselme Professeur BCPST 2 Lycée Fénelon, Paris.

<u>Document 26</u>. Le modèle de Hardy et Weinberg.

« Dans une population isolée d'effectif infini en l'absence de mutations, de sélections, les fréquences alléliques restent constantes au cours du temps. »

Soit une population di-allélique (A, a) avec :
Fréquence de l'allèle A = p
Fréquence de l'allèle a = q

Tableau de croisement des gamètes des individus de cette population :

	A	**a**
A	A//A de fréquence p^2	Aa de fréquence pq
a	A//a de fréquence pq	a//a de fréquence 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**

<u>Document 26</u>. Le modèle de Hardy et Weinberg.

La structure génotypique de la nouvelle génération étant :

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 : $p^2 + ½ (2pq) = p^2 + pq = p(p+q) = p$
gamète a : $q^2 + ½ (2pq) = q^2 + pq = q(p+q) = q$

Bilan
D'après les hypothèses de Hardy-Weinberg, les fréquences d'allèles 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 :

$AA = p^2$ $Aa = 2pq$ $aa = q^2$

Régimes de reproduction et vitesse d'évolution

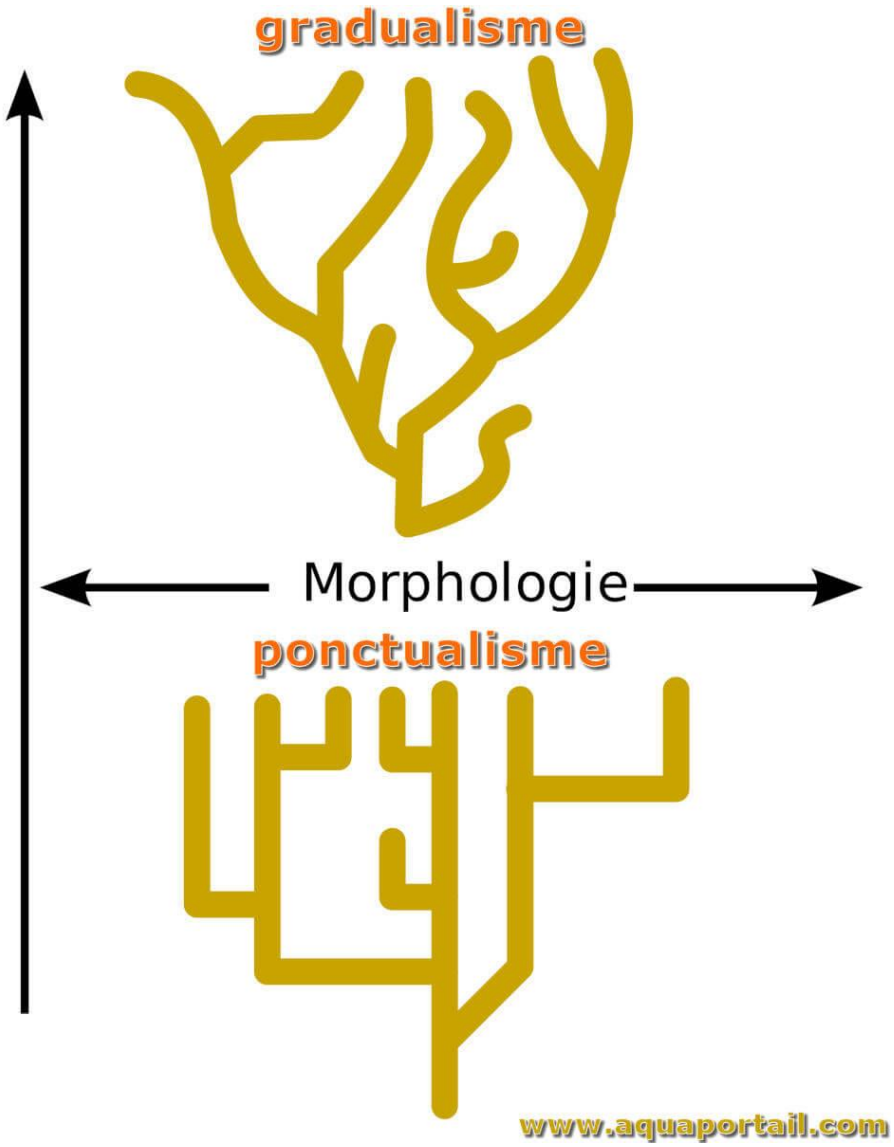
- **Régimes de reproduction fermés et perte de la diversité**
  - **Homogamie (entre individus qui se ressemblent pour un caractère) :**
    Ex : appariement en fonction de la taille
    →seule une partie du génome est affectée
    →pour les gènes concernés : diminution de l'hétérozygotie

  - **Autogamie et consanguinité (entre individus apparentés) :**
    Ex d'autogamie : riz, ténia
    →l'ensemble du génome est affecté
    →l'hétérozygotie diminue de moitié à chaque génération

Régimes de reproduction et vitesse d'évolution

- **Régimes de reproduction fermés et perte de la diversité**
  - **Homogamie (entre individus qui se ressemblent pour un caractère) :**
    Ex : appariement en fonction de la taille
    →seule une partie du génome est affectée
    →pour les gènes concernés : diminution de l'hétérozygotie

  - **Autogamie et consanguinité (entre individus apparentés) :**
    Ex d'autogamie : riz, ténia
    →l'ensemble du génome est affecté
    →l'hétérozygotie diminue de moitié à chaque génération

- **Régimes de reproduction ouverts et gain de potentiel évolutif**
  - **Hétérogamie (entre individus qui diffèrent pour un caractère) :**
    →seule une partie du génome est affectée
    →l'hétérozygotie augmente
  - **Exogamie (entre individus non apparentés) :**
    →l'ensemble du génome est affecté
    →l'hétérozygotie augmente

<u>Document 27</u>. Gradualisme évolutif et théorie des équilibres ponctués.