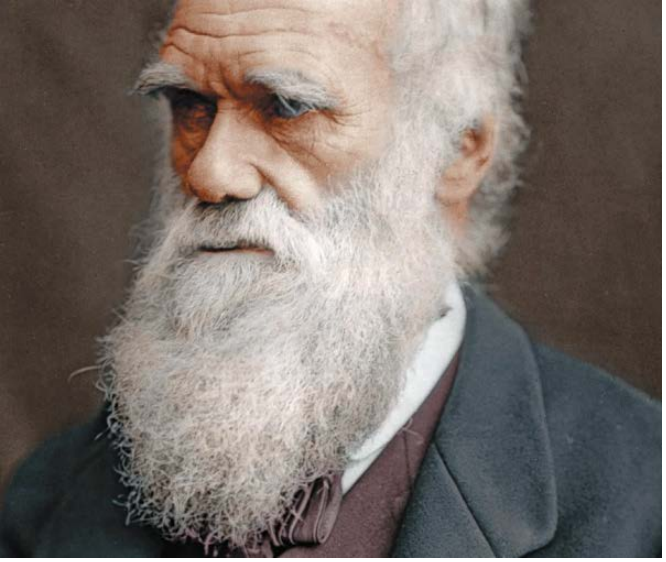
Enseigner l'Évolution au collège



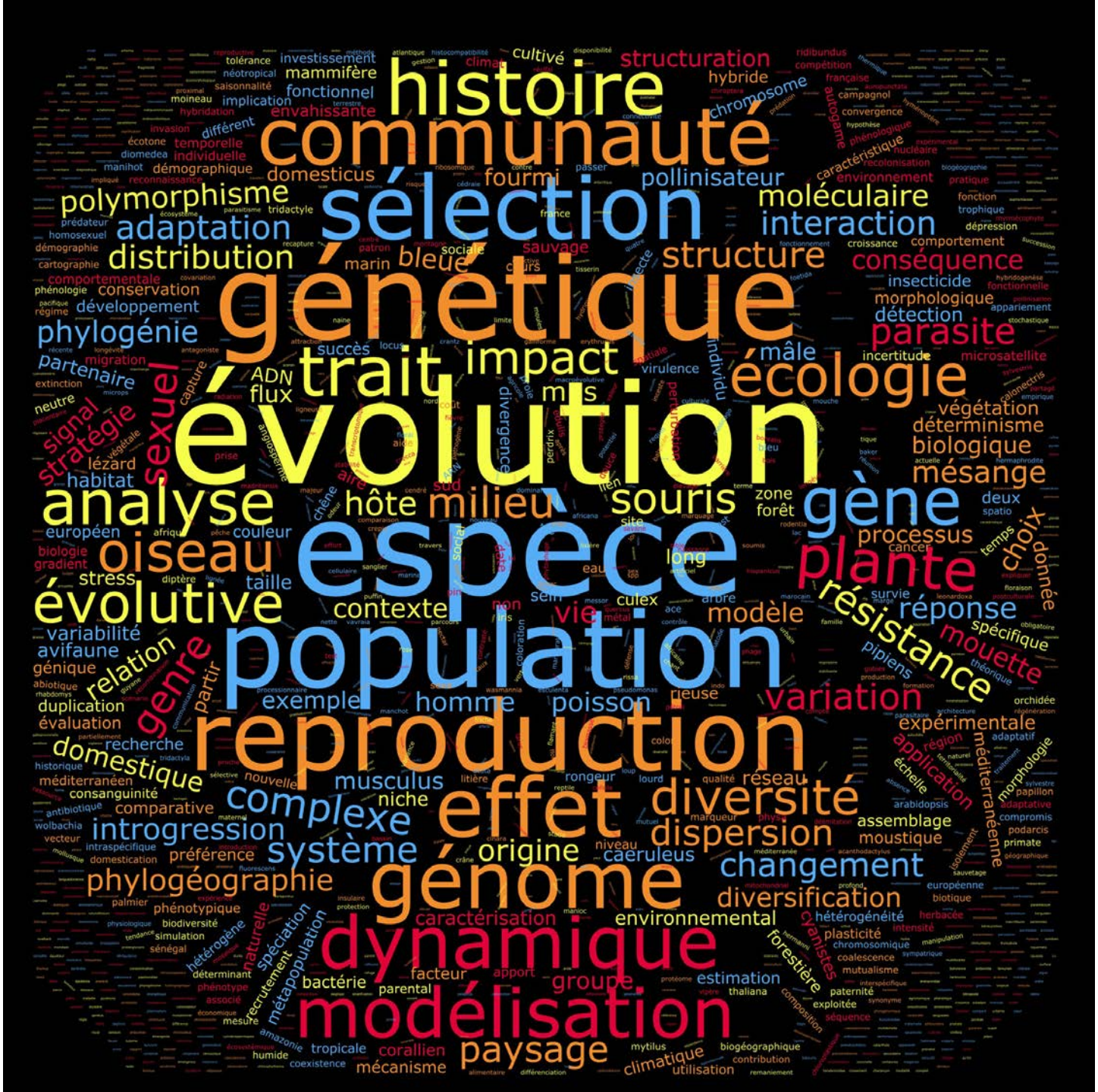
Stephen Jay Gould, paléontologue américain, a contribué à montrer que les caractères des organismes ne sont ni parfaits, ni toujours le résultat de la sélection naturelle.

▶ **Comment expliquer les caractères « imparfaits » des organismes actuels ?**

UNITÉ 2

Enseignement scientifique, terminale, Editions Nathan 2020

> **Rien n'a de sens, en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution.**
>
> **Dobzhansky**


histoire
communauté
génétique
sélection
évolution
espèce
population
reproduction
génome
dynamique
modélisation
effet
diversité
écologie
gène
plante
résistance
variation
paysage
structuration
polymorphisme
adaptation
distribution
interaction
moléculaire
pollinisateur
fourmi
domesticus
parasite
phylogénie
développement
conservation
trait
impact
ADN
flux
analyse
oiseau
évolutive
habitat
milieu
souris
hôte
contexte
variabilité
avifaune
génique
relation
genre
duplication
évaluation
recherche
domestique
exemple
homme
poisson
musculus
complexe
introgression
système
origine
phylogéographie
caeruleus
changement
dispersion
assemblage
moustique
diversification
environnemental
caractérisation
plasticité
hétérogénéité
facteur
groupe
bactérie
estimation
parental
corallien
tropicale
mécanisme
climatique
utilisation
biogéographique
contribution
mytilus
humide
coexistence
amazonie
mésange
végétation
déterminisme
biologique
processus
choix
réponse
spécifique
mouette
pipiens
expérimentale
application
méditerranéenne
morphologie
papillon
adaptative
compromis
podarcis
primate
européenne
biotique
herbacée
intensité
chromosomique
coalescence
mutualisme
paternité
exploitée
séquence
forestière
cyanistes
naturelle
spéciation
métapopulation
recrutement
hétérogène
déterminant
phénotype
associé
mesure
phénotypique
biodiversité
simulation
sénégal
palmier
méditerranéen
consanguinité
comparative
préférence
domestication
intraspécifique
wolbachia
antibiotique
vecteur
abiotique
rhabdomys
historique
partir
nouvelle
niche
litière
rongeur
lourd
qualité
réseau
arabidopsis
orchidée
architecture
régénération
adaptatif
sylvestre
région
échelle
isolement
sauvetage
mitochondrial
profond
insulaire
protection
manioc
thaliana
protéome
synonyme
interspécifique
composition
mutuel
marqueur
physa
méditerranée
acanthodactylus
géographique
fluorescens
crâne
production
pseudomonas
wasmannia
indo
formation
théorique
obligatoire
spécifique
floraison
leonardoxa
marocain
famille
survie
métal
parcours
contrôle
urbain
coloration
social
état
aire
chêne
sud
lien
zone
forêt
deux
spatio
temps
donnée
cancer
long
eau
sein
non
vie
culex
arbre
modèle
taille
stress
diptère
lézard
européen
afriqu
couleur
biologie
gradient
sexuel
signal
stratégie
partenaire
migration
extinction
neutre
capture
végétale
angiosperme
divergence
perturbation
individu
virulence
mâle
incertitude
microsatellite
morphologique
détection
appariement
stochastique
insecticide
conséquence
comportement
croissance
dépression
trophique
fonction
environnement
caractéristique
autogame
chromosome
convergence
hybride
française
campagnol
compétition
ridibundus
cultivé
disponibilité
histocompatibilité
atlantique
gestion
climat
tolérance
investissement
mammifère
néotropical
saisonnalité
fonctionnel
implication
envahissante
différent
temporelle
individuelle
écotone
diomedea
manihot
démographique
reconnaissance
domesticus
fourmi
pollinisateur
moléculaire
interaction
structure
sauvage
sociale
marin
bleue
cours
tisserin
conséquence
insecticide
morphologique
détection
parasite
mâle
incertitude
microsatellite
écologie
végétation
déterminisme
biologique
mésange
processus
choix
réponse
résistance
mouette
spécifique
pipiens
expérimentale
application
méditerranéenne
morphologie
papillon
adaptative
compromis
podarcis
primate
européenne
biotique
herbacée
intensité
chromosomique
coalescence
mutualisme
paternité
exploitée
séquence
forestière
cyanistes
naturelle
spéciation
métapopulation
recrutement
hétérogène
déterminant
phénotype
associé
mesure
phénotypique
biodiversité
simulation
sénégal
palmier
méditerranéen
consanguinité
comparative
préférence
domestication
intraspécifique
wolbachia
antibiotique
vecteur
abiotique
rhabdomys
historique
partir
nouvelle
niche
litière
rongeur
lourd
qualité
réseau
arabidopsis
orchidée
architecture
régénération
adaptatif
sylvestre
région
échelle
isolement
sauvetage
mitochondrial
profond
insulaire
protection
manioc
thaliana
protéome
synonyme
interspécifique
composition
mutuel
marqueur
physa
méditerranée
acanthodactylus
géographique
fluorescens
crâne
production
pseudomonas
wasmannia
indo
formation
théorique
obligatoire
spécifique
floraison
leonardoxa
marocain
famille
survie
métal
parcours
contrôle
urbain
coloration
social
état
aire
chêne
sud
lien
zone
forêt
deux
spatio
temps
donnée
cancer
long
eau
sein
non
vie
culex
arbre
modèle
taille
stress
diptère
lézard
européen
afriqu
couleur
biologie
gradient
sexuel
signal
stratégie
partenaire
migration
extinction
neutre
capture
végétale
angiosperme
divergence
perturbation
individu
virulence
mâle
incertitude
microsatellite
morphologique
détection
appariement
stochastique
insecticide
conséquence
comportement
croissance
dépression
trophique
fonction
environnement
caractéristique
autogame
chromosome
convergence
hybride
française
campagnol
compétition
ridibundus
cultivé
disponibilité
histocompatibilité
atlantique
gestion
climat
tolérance
investissement
mammifère
néotropical
saisonnalité
fonctionnel
implication
envahissante
différent
temporelle
individuelle
écotone
diomedea
manihot
démographique
reconnaissance
domesticus
fourmi
pollinisateur
moléculaire
interaction
structure
sauvage
sociale
marin
bleue
cours
tisserin
conséquence
insecticide
morphologique
détection
appariement
stochastique
parasite
mâle
incertitude
microsatellite
écologie
végétation
déterminisme
biologique
mésange
processus
choix
réponse
résistance
mouette
spécifique
pipiens
expérimentale
application
méditerranéenne
morphologie
papillon
adaptative
compromis
podarcis
primate
européenne
biotique
herbacée
intensité
chromosomique
coalescence
mutualisme
paternité
exploitée
séquence
forestière
cyanistes
naturelle
spéciation
métapopulation
recrutement
hétérogène
déterminant
phénotype
associé
mesure
phénotypique
biodiversité
simulation
sénégal
palmier
méditerranéen
consanguinité
comparative
préférence
domestication
intraspécifique
wolbachia
antibiotique
vecteur
abiotique
rhabdomys
historique
partir
nouvelle
niche
litière
rongeur
lourd
qualité
réseau
arabidopsis
orchidée
architecture
régénération
adaptatif
sylvestre
région
échelle
isolement
sauvetage
mitochondrial
profond
insulaire
protection
manioc
thaliana
protéome
synonyme
interspécifique
composition
mutuel
marqueur
physa
méditerranée
acanthodactylus
géographique
fluorescens
crâne
production
pseudomonas
wasmannia
indo
formation
théorique
obligatoire
spécifique
floraison
leonardoxa
marocain
famille
survie
métal
parcours
contrôle
urbain
coloration
social
état
aire
chêne
sud
lien
zone
forêt
deux
spatio
temps
donnée
cancer
long
eau
sein
non
vie
culex
arbre
modèle
taille
stress
diptère
lézard
européen
afriqu
couleur
biologie
gradient
sexuel
signal
stratégie
partenaire
migration
extinction
neutre
capture
végétale
angiosperme
divergence
perturbation
individu
virulence
mâle
incertitude
microsatellite
morphologique
détection
appariement
stochastique
insecticide
conséquence
comportement
croissance
dépression
trophique
fonction
environnement
caractéristique
autogame
chromosome
convergence
hybride
française
campagnol
compétition
ridibundus
cultivé
disponibilité
histocompatibilité
atlantique
gestion
climat
tolérance
investissement
mammifère
néotropical
saisonnalité
fonctionnel
implication
envahissante
différent
temporelle
individuelle
écotone
diomedea
manihot
démographique
reconnaissance
domesticus
fourmi
pollinisateur
moléculaire
interaction
structure
sauvage
sociale
marin
bleue
cours
tisserin

Le problème de la théorie de l'évolution, c'est qu'elle interroge sur l'origine des espèces et particulièrement l'Homme.
Or d'autres systèmes de pensées répondent aussi à cette question

Version 2015

Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent

Attendus de fin de cycle

» Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes.
» Expliquer les besoins variables en aliments de l'être humain ; l'origine et les techniques mises en œuvre pour transformer et conserver les aliments.
» Décrire comment les êtres vivants se développent et deviennent aptes à se reproduire.
» Expliquer l'origine de la matière organique des êtres vivants et son devenir.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève
Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes	
Unité, diversité des organismes vivants Reconnaitre une cellule » La cellule, unité structurelle du vivant Utiliser différents critères pour classer les êtres vivants ; identifier des liens de parenté entre des organismes. Identifier les changements des peuplements de la Terre au cours du temps. » Diversités actuelle et passée des espèces. » Évolution des espèces vivantes.	Les élèves poursuivent la construction du concept du vivant déjà abordé en cycle 2. Ils appuient leurs recherches sur des préparations et des explorations à l'échelle cellulaire, en utilisant le microscope. Ils exploitent l'observation des êtres vivants de leur environnement proche. Ils font le lien entre l'aspect d'un animal et son milieu. Ils appréhendent la notion de temps long (à l'échelle des temps géologiques) et la distinguent de celle de l'histoire de l'être humains récemment apparu sur Terre. Ils découvrent quelques modes de classification permettant de rendre compte des degrés de parenté entre les espèces et donc de comprendre leur histoire évolutive.

La notion d'espèce
Biodiversité actuelle et passée
Idée d'hérédité
Classification

Version 2020

Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent

Attendus de fin de cycle
- Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes.
- Expliquer les besoins variables en aliments de l'être humain ; l'origine et les techniques mises en œuvre pour transformer et conserver les aliments.
- Décrire comment les êtres vivants se développent et deviennent aptes à se reproduire.
- ~~Expliquer l'origine~~Mettre en évidence la place et l'interdépendance de ~~la matière organique des~~différents êtres vivants ~~et son devenir~~dans un réseau trophique.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève
Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes	
Unité, diversité des organismes vivants Reconnaître une cellule - La cellule, ~~unité structurelle du vivant~~ une structure commune aux êtres vivants. Utiliser différents critères pour classer les êtres vivants ; identifier des liens de parenté entre des organismes. - Caractère commun, hérédité et relation de parenté. Identifier les changements des peuplements de la Terre au cours du temps. - Biodiversité : diversités actuelle et passée des espèces. - Évolution à l'échelle des espèces ~~vivantes~~ ou des populations. - Appréhender les différentes échelles de temps : l'échelle des temps géologiques (notion de temps long) et celle de l'histoire de l'être humain récemment apparu sur Terre.	Les élèves poursuivent la construction du concept du vivant déjà abordé en cycle 2. Ils appuient leurs recherches sur des préparations et des explorations à l'échelle cellulaire, en utilisant le microscope. Ils exploitent l'observation des êtres vivants de leur environnement proche. Ils font le lien entre l'aspect d'un animal ou d'un végétal et son milieu. ~~Ils appréhendent la notion de temps long (à l'échelle des temps géologiques) et la distinguent de celle de l'histoire de l'être humain récemment apparu sur Terre.~~ Ils découvrent quelques modes de classification ~~permettant de rendre compte des~~ adaptés à différents objectifs (écologique, phylogénétique…). Pour la classification phylogénétique, ils interprètent les groupes emboîtés en termes de degrés de parenté entre les espèces ~~et donc de comprendre leur histoire évolutive~~. Les élèves constatent les modifications à différentes échelles de temps dans les peuplements des milieux : les peuplements changent au cours des saisons, l'association des espèces change à l'échelle des temps géologiques.

Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent

Panorama du monde vivant

L'enjeu est de donner aux élèves des clés de compréhension du monde vivant par une approche scientifique et sensible de sa diversité et de son unité. Ce thème permet de comprendre l'importance, en sciences, de l'observation et des différents modes de représentation graphique (croquis, dessins, schémas) et d'engager les élèves dans ces pratiques.

La classification des êtres vivants permet d'ordonner la grande diversité des formes de vie sur Terre à partir d'un raisonnement scientifique. Elle offre l'occasion d'introduire la notion de parenté entre les êtres vivants qui sera mise en relation au cycle 4 avec les mécanismes d'évolution biologique. Pour cela, un petit nombre d'exemples sont étudiés au cours moyen, puis le champ d'études s'élargit en classe de sixième. La classification est clairement distinguée des activités d'identification effectuées à l'aide de clés de détermination. L'étude de la biodiversité peut, avec profit, s'appuyer sur la participation à des projets de sciences citoyennes ou participatives (comme Vigie-Nature École) qui conduit à mieux connaître des partenaires de l'école tout en contribuant à la recherche scientifique.

La biodiversité observée dans le passé, évoquée au travers de groupes emblématiques (comme les dinosaures par exemple), permet d'appréhender le temps long et de poser les premiers jalons pour dépasser une conception fixiste du vivant. Elle est également l'occasion de distinguer les savoirs scientifiques des croyances.

Attendus de fin de cycle

- Caractériser la richesse, l'unité et la diversité actuelle et passée du vivant.
- Classer les organismes et établir les liens de parenté.

Classification du vivant • Réaliser une classification en groupes emboités pour mettre en évidence des liens de parenté à partir d'un petit nombre d'espèces possédant des attributs identifiés.	**Classification du vivant** • Mettre en relation différents types de classification des êtres vivants (utilitaire, écologique, phylogénétique, etc.) et les objectifs de chacun. • Classer et établir des parentés à partir de collections d'espèces appartenant à différentes branches de l'arbre du vivant, en utilisant notamment des bases de données numériques. • Lire et interpréter des arbres de parenté simples.

Biodiversité actuelle et passée • Déterminer des espèces biologiques de l'environnement proche en utilisant une clé de détermination. • Caractériser le changement de la biodiversité au cours de l'histoire de la Terre par l'exploitation de fossiles. • Distinguer différentes échelles de temps : l'échelle des temps géologiques (notion de temps long) et celle de l'histoire de l'être humain. • Placer plusieurs espèces actuelles et fossiles sur une échelle des temps.	**Biodiversité actuelle et passée** • Caractériser la diversité intraspécifique et discuter des attributs utilisés pour regrouper les individus au sein d'une espèce. • Déterminer des espèces biologiques-actuelles ou fossiles, en utilisant une clé de détermination. • Exploiter la reconstitution d'un paléoenvironnement en un lieu donné afin de comparer la biodiversité actuelle et passée. • Exploiter des documents pour mettre en évidence l'existence de grandes crises biologiques à placer sur une échelle des temps.

Version 2015 et 2020

Le vivant et son évolution

La biodiversité est abordée dans ses différentes dimensions : diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation ; dynamique des populations ; diversité génétique ; diversité des relations interspécifiques, apparition et disparition d'espèces au cours du temps ; maintien des formes aptes à se reproduire par effet du hasard et de la sélection naturelle. On rappelle que les végétaux verts se nourrissent du CO_2 rejeté par la respiration des organismes (animaux et végétaux) et par la combustion de matière organique actuelle (en particulier par les décomposeurs dans le sol) ou fossile. Des relations entre changement climatique et modification de la biodiversité peuvent être explorées.

Attendus de fin de cycle

- Expliquer l'organisation et le fonctionnement du monde vivant, sa dynamique à différentes échelles d'espace et de temps.
- Établir des relations de causalité entre différents faits pour expliquer :
  - la nutrition des organismes ;
  - la dynamique des populations ;
  - la classification du vivant ;
  - la biodiversité (diversité des espèces) ;
  - la diversité génétique des individus ;
  - l'évolution des êtres vivants.

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève
Relier les besoins en nutriments et dioxygène des cellules animales et le rôle des systèmes de transport dans l'organisme. - Nutrition et organisation fonctionnelle à l'échelle de l'organisme, des organes, des tissus et des cellules. - Nutrition et interactions avec des micro-organismes. Relier les besoins des cellules d'une plante chlorophyllienne (CO_2, eau, sels minéraux et énergie lumineuse), les lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage et les systèmes de transport au sein de la plante.	Ce thème se prête notamment : - à l'histoire des sciences, lorsque l'élève situe dans son contexte historique et technique l'évolution des connaissances sur la nutrition, la reproduction, la génétique ou l'évolution ; - aux observations à différentes échelles pour la constitution des organismes étudiés et la diversité du vivant (dont les bactéries, les champignons, les ciliés, etc.).
Relier des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants et l'influence du milieu sur la survie des individus, à la dynamique des populations. - Reproductions sexuée et asexuée, rencontre des gamètes, milieux et modes de reproduction et de dissémination. - Gamètes et patrimoine génétique chez les Vertébrés et les plantes à fleurs.	On privilégie des observations de terrain pour recueillir des données, les organiser et les traiter à un niveau simple, ainsi que la mise en œuvre de démarches expérimentales. Cette thématique est l'occasion d'utiliser des outils de détermination et de classification.
- Dynamique des populations et paramètres d'influence.	Il est possible d'étudier les conséquences de l'augmentation de la température globale de la Terre sur la reproduction de certains organismes vivants. Ce thème se prête aussi aux applications biotechnologiques, lorsque l'élève réalise des cultures de cellules ou étudie des protocoles d'obtention d'organismes génétiquement modifiés, (OGM), de lignées de cellules (sources de cellules mères, croissance, conservation, normes éthiques) ou de clonage. Il est envisageable d'étudier l'exemple d'une sélection génétique par l'être humain sous forme d'OGM. Utiliser des connaissances pour évaluer et argumenter la possibilité et les formes de vie sur d'autres planètes. Ce thème se prête à l'étude des relations entre le changement climatique et la modification de la biodiversité. Des relations peuvent être établies entre la santé des populations humaines, les changements climatiques et les modifications de la biodiversité. Montrer que certains événements majeurs passés ou actuels (éruptions volcaniques de grande ampleur, introduction d'espèces invasives, compétitions entre organismes vivants, etc.) ont un effet sur l'évolution de la biodiversité.
Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution. - Caractères partagés et classification. - Les grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, leur parenté et leur évolution.	
Expliquer sur quoi reposent la diversité et la stabilité génétique des individus. Expliquer les mécanismes à l'origine de la diversité et de la stabilité génétique des individus. Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement. Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité. - Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation ; diversité des relations interspécifiques. - Diversité génétique au sein d'une population ; héritabilité, stabilité des groupes. - ADN, mutations, brassage, gène, méiose et fécondation.	
Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution. - Apparition et disparition d'espèces au cours du temps (traces fossiles des premiers organismes vivants sur Terre). - Maintien des formes aptes à se reproduire, hasard, sélection naturelle.	

Repères de progressivité

La nutrition des organismes : on passe progressivement de l'organisation fonctionnelle à l'échelle des organismes à des mécanismes expliqués jusqu'à l'échelle cellulaire ; le rôle des micro-organismes peut être abordé chaque année.

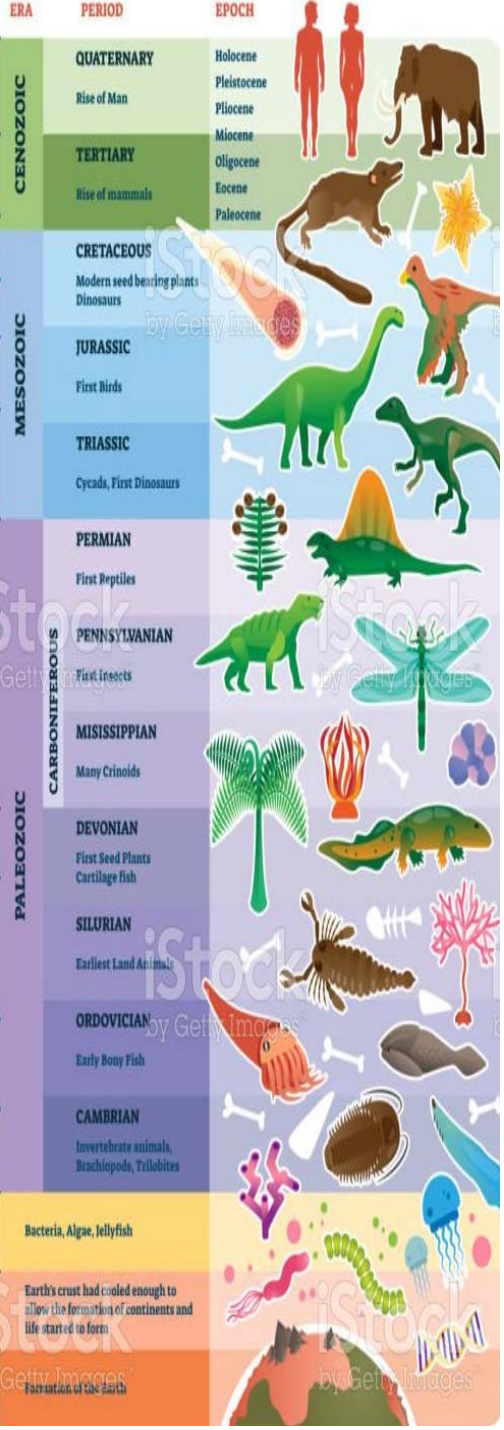
La dynamique des populations : on passe progressivement de l'étude de la diversité des modes de reproduction et des modalités de rencontre des gamètes à la transmission du patrimoine génétique, au maintien des espèces et à la dynamique des populations.

La diversité génétique des individus : on passe progressivement du constat de la diversité des êtres vivants et de leurs interactions aux mécanismes à l'origine de cette diversité.

La classification du vivant et l'évolution des êtres vivants : dans le prolongement du cycle 3 et tout au long du cycle 4, les élèves découvrent de nouvelles espèces et de nouveaux groupes, construisant ainsi tout au long du cycle l'idée que la classification évolutive est une méthode scientifique universelle pour décrire la diversité du vivant. Dès que les élèves ont les bases génétiques et paléontologiques suffisantes, on peut donner tout son sens à la signification évolutive de cette classification.

1-L’Evolution: idées et faits
2-La population: niveau effectif de l’Evolution
3- Hérédité, génome et Evolution
4- *Homo sapiens* et Evolution
5-Construire « l’idée » d’Evolution

1-L’Evolution: idées et faits



Fin XVII^{e} et XVIII^{e} :

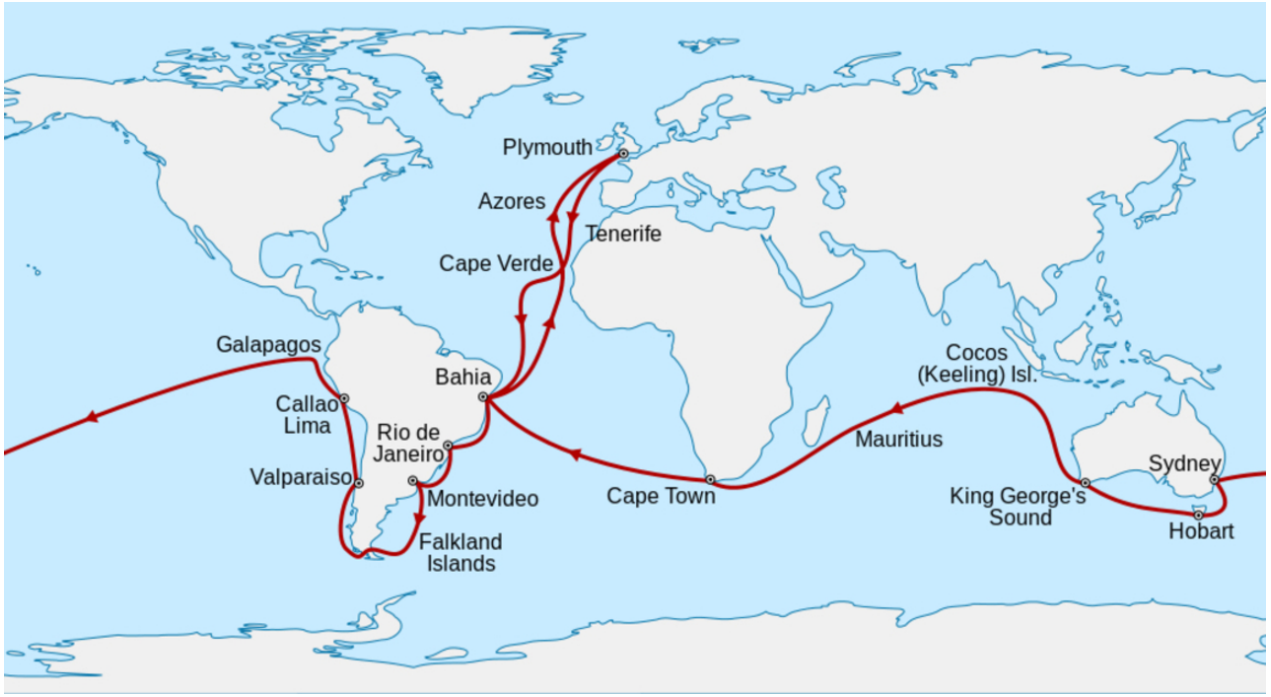
Étude des couches géologiques et des fossiles: la notion de succession temporelle apparait: biodiversités successives

- Roches sédimentaires se forment par dépôts de particules en suspensions ou par précipitation de minéraux au fond d ’un cours d’eau.
- Pression ➔ Solidification = Roche sédimentaire
- Successions marines (inondations, assèchements) ou modifications des dépôts ➔ Strates
- Archives de la biodiversités passée

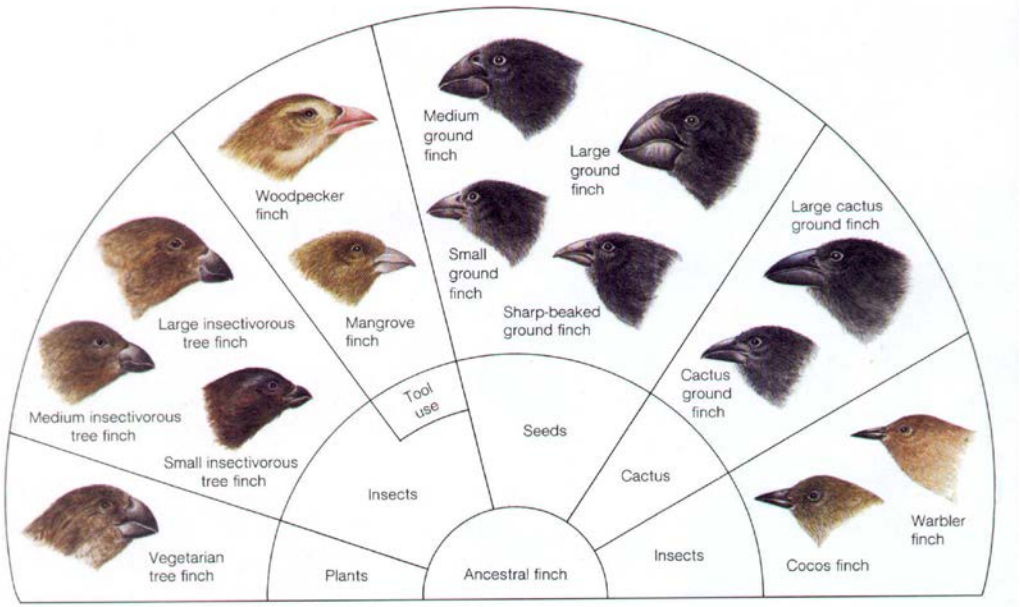
L'Évolution des espèces:

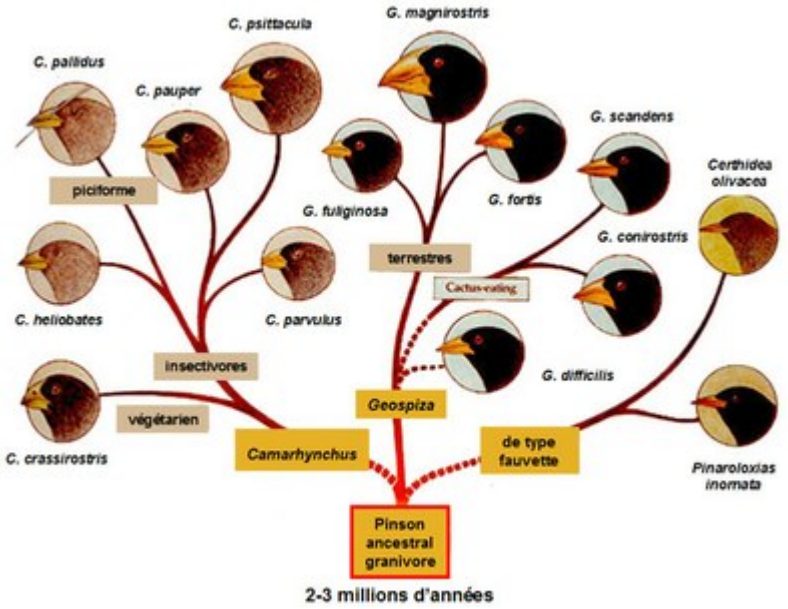
Charles DARWIN et Alfred WALLACE

- Charles Darwin (1809 - 1882)
- Études en médecine puis en théologie et sciences naturelles.
- À 22 ans (1831) s 'embarque sur le HMS Beagle.



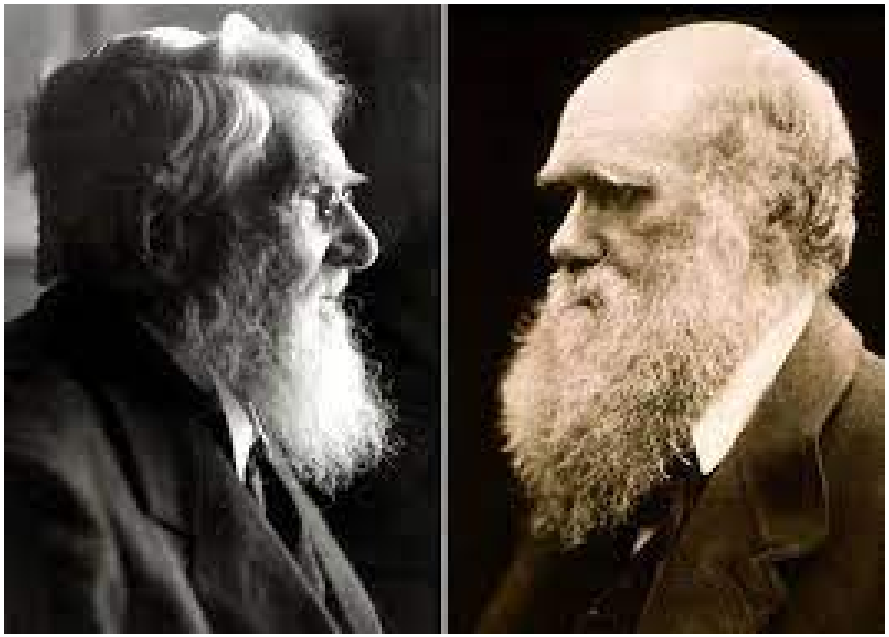
Biodiversité spécifique





Pinsons des Galapagos (Pinsons de Darwin)

Retour du voyage : 1836



- 1858 publication officielle de la théorie (cosignée Darwin-Wallace).
- 1859 : Publication de « L ’origine des espèces par sélection naturelle ».
- 10 ans plus tard, la théorie de Darwin est acceptée par la grande majorité des biologistes.

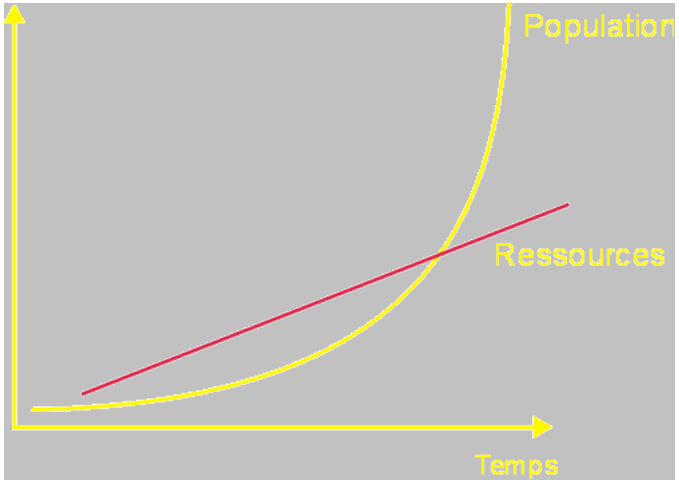
« L’idée novatrice de Darwin, plus que la sélection naturelle, c’est la descendance avec modification, le fait que les espèces ont une histoire et sont apparentées » Hervé Le Guyader.

Le contexte Malthusien

- Sans limitation, une population s ’accroît de façon exponentielle
- Années après années, les populations demeurent relativement stables.
  Des facteurs limitants empêchent l ’accroissement exponentiel.

Thomas Malthus

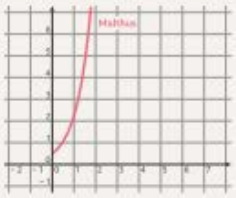
Darwin s ’était inspiré pour ce point d ’un ouvrage de l ’économiste Thomas Malthus (1766-1834):

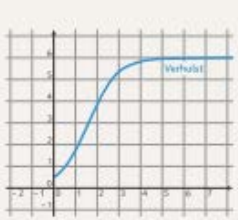


Quelles controverses les modèles d'accroissement des populations et leurs interprétations ont-ils suscitées ?

Problème de la multiplication des lapins (progression)

Population (1612)





1612
Invention du mot « population » par Sir Francis Bacon dans *Essays*, Civil and Moral : « Généralement on doit veiller que la population d'un Royaume, (spécialement si elle n'est pas fauchée par les guerres) n'excède pas les ressources du royaume nécessaires à leur entretien ». Cependant, dans les premières éditions françaises ce mot a été traduit en « peuple » ou « monde ».

1798
Thomas Malthus, pasteur et économiste anglais, publie un ouvrage où il présente un **premier modèle (dit exponentiel)** décrivant la croissance d'une population. Il met en parallèle ce modèle avec celui de la croissance des ressources alimentaires, et pose le problème de l'écart entre les deux. Il utilise cela pour argumenter des positions politiques sur la pauvreté.

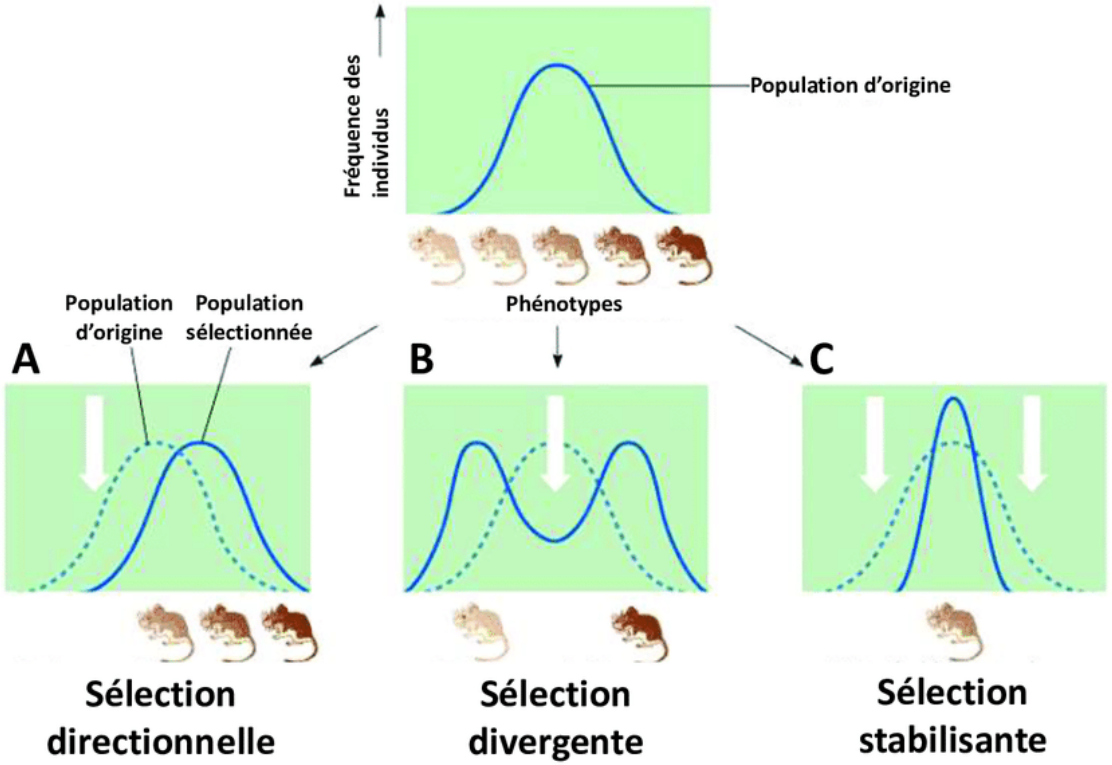
1835
Adolphe Quetelet, statisticien et physicien belge, connaissant très bien Malthus et ses travaux, nuance ceux-ci et propose la construction d'un modèle tenant compte des obstacles à la croissance d'une population en s'inspirant **des modèles des contraintes en physique**. Il commande à l'un de ses élèves, Pierre François Verhulst de travailler sur ce sujet.

1844
Pierre François Verhulst, mathématicien belge, ancien élève de Quetelet, invente la **fonction logistique**, afin de décrire plus exactement la croissance des populations soumises à des restrictions du milieu.

doc a **De Malthus à Verhulst : affiner les modèles mathématiques d'accroissement des populations**

Les théories de Malthus ont eu plusieurs influences intéressantes et une résonance dans plusieurs domaines tels que la littérature avec Aldous Huxley, ou encore les sciences naturelles avec un Charles Darwin extrêmement impressionné et influencé par les théories de Malthus, de régulation et surtout d'autorégulation de la population.

- Il y a des variations entre les individus: à chaque génération, les descendants diffèrent de leurs parents et diffèrent entre eux.
- Si une différence s ’avère avantageuse, le ou les individus qui la possèdent ont plus de chances de survivre que ceux de la population qui ne la possèdent pas. Et donc plus de chances de se reproduire et de transmettre leur caractéristique = SÉLECTION NATURELLE



=> Spéciation

Mais la théorie Darwin est partielle:

- Lois de la génétique ne sont pas connues.
- On ne sait rien de l'information génétique.
- Darwin ne peut expliquer d'où proviennent les nouveaux caractères qui seront sélectionnés.

Ce sont les découvertes en génétique au cours du XXe siècle permettent de compléter la théorie:

Théorie synthétique de l'évolution

et

Néo-darwinisme

Néodarwinisme et Théorie synthétique

- Synthèse des concepts génétiques et de la biologie moléculaire: le lien entre Mendel et Darwin
- Intégration de la génétique des populations et des processus de spéciation: Écologie et Evolution sont liées
- Intégration des données géologiques et de l'évolution moléculaire pour une dimension temporelle
- Lien entre génétique du développement et évolution: « l'évo-dévo »
- Introduction de la théorie neutraliste et des processus aléatoires

1686	**John Ray** La première définition de l'espèce par l'isolement reproducteur
1748-1789	**Buffon** (Georges-Louis Leclerc comte de Buffon) La notion d'espèce, la biogéographie et l'âge de la Terre
1800	**Lamarck** (Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet chevalier de Lamarck) Le transformisme
1812	**Georges Cuvier** L'anatomie comparée
1818	**Étienne Geoffroy Saint-Hilaire** La notion d'homologie
1859	**Charles Darwin** L'évolution des espèces par la sélection naturelle
1885	**Auguste Weismann** La réfutation de l'hérédité des caractères acquis
1894	**Georges J. Romanes** Le néodarwinisme : le darwinisme sans l'hérédité des caractères acquis
1901	**Hugo de Vries** Le mutationnisme
1930-1932	**Ronald A. Fischer, Sewal Wright, John B. S. Haldane** La génétique des populations
1947	**Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr, Georges G. Simpson, Georges L. Stebbins** La théorie synthétique de l'évolution, explication de l'origine de la biodiversité
1965-1983	**Motoo Kimura** La théorie neutraliste de l'évolution moléculaire
1972	**Nilse Eldredge et Stephen J. Gould** Le modèle des équilibres ponctués
1999	**Corey S. Goodman et Bridget C. Coughlin** L'évo-dévo

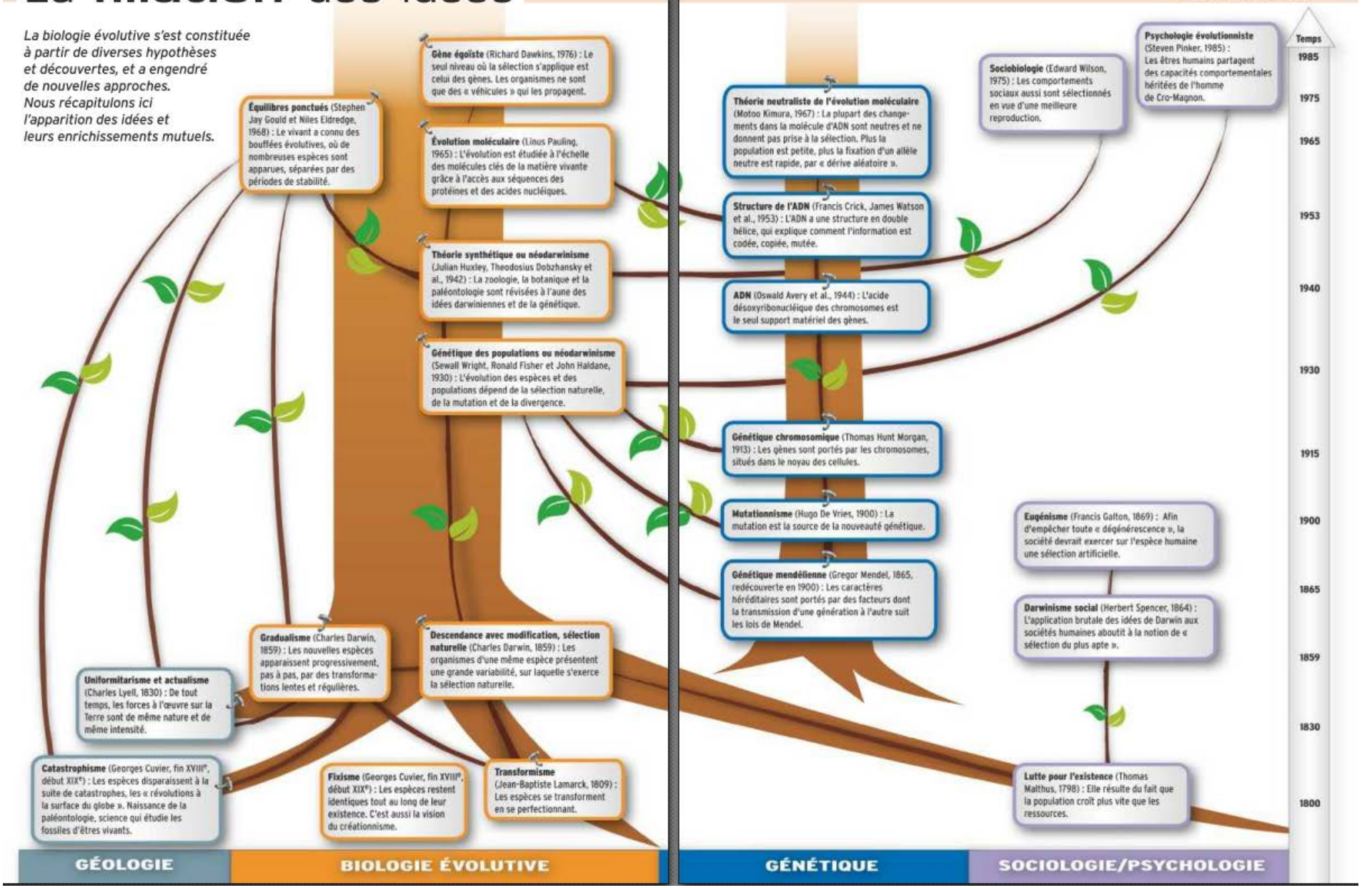
Figure de synthèse. Les grandes étapes historiques de la biologie évolutive

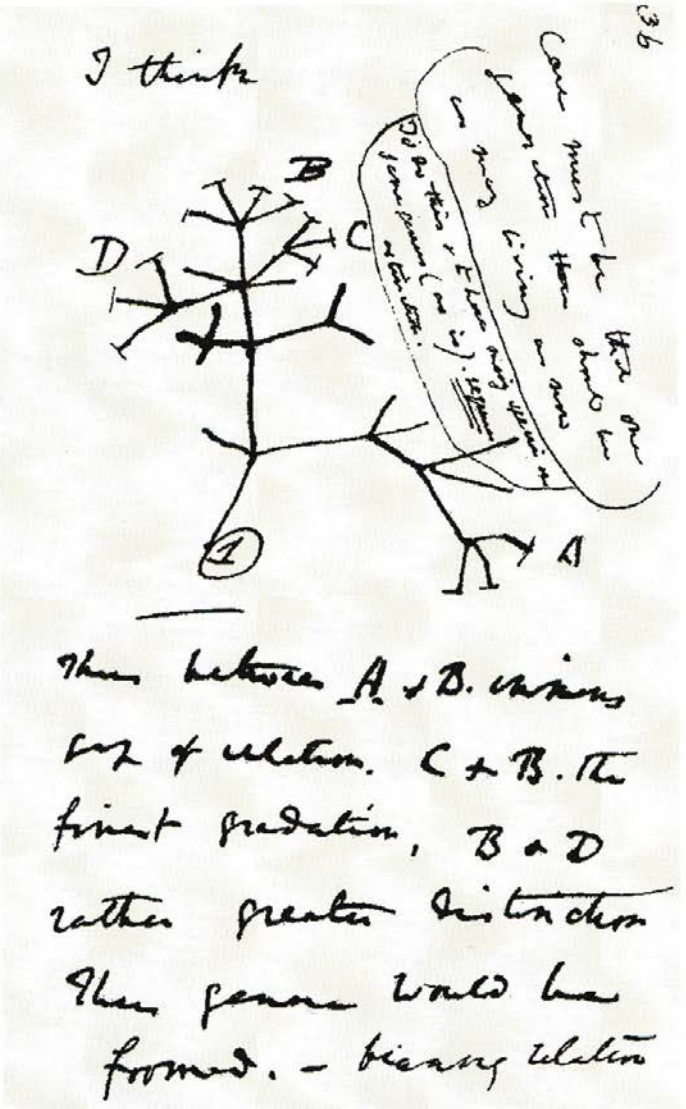
Les dates sont celles des publications.

Exercices et problèmes corrigés en biologie évolutive, Bronner, Clamens, Lachaume, Ellipses 2017

La **filiation** des idées

La biologie évolutive s'est constituée à partir de diverses hypothèses et découvertes, et a engendré de nouvelles approches. Nous récapitulons ici l'apparition des idées et leurs enrichissements mutuels.

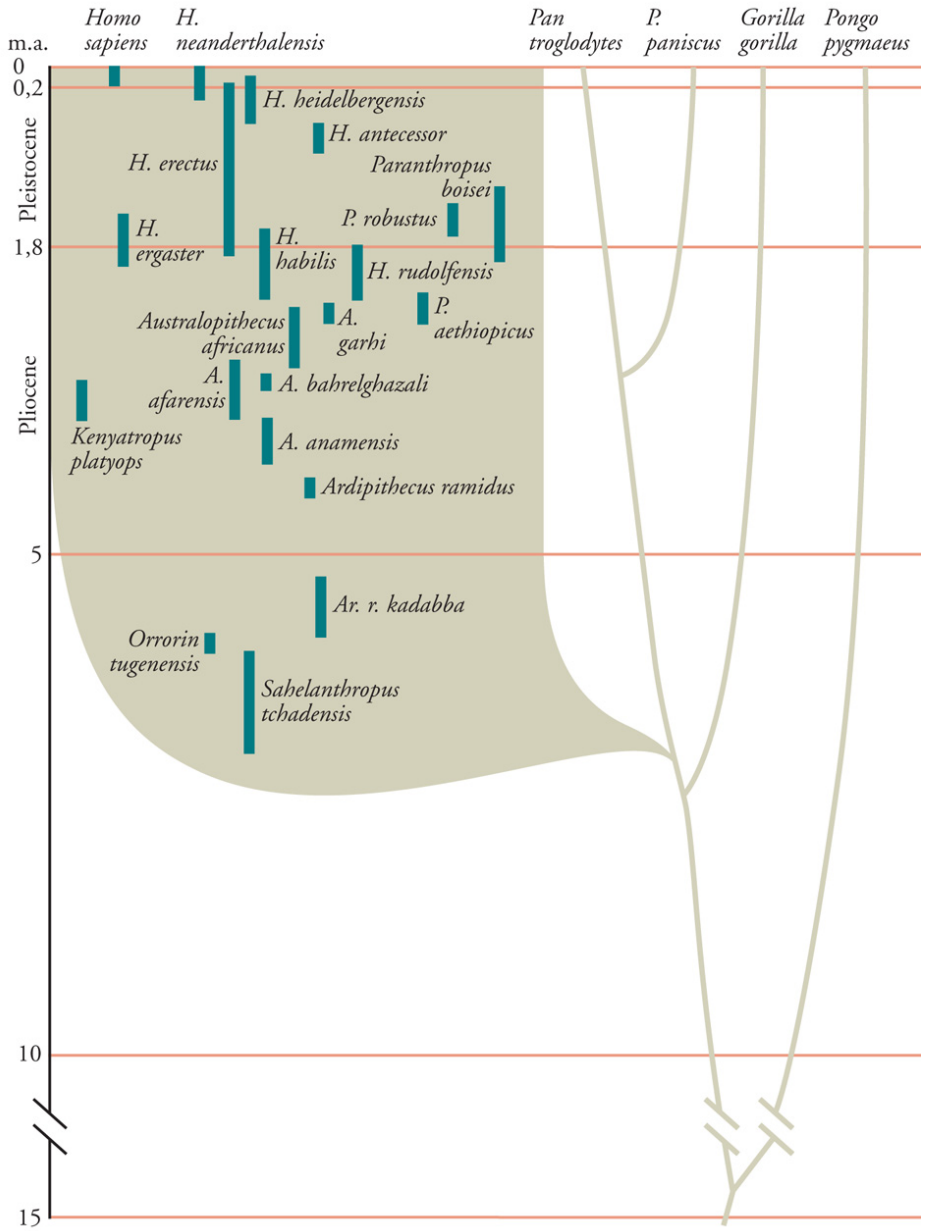




À son retour en Angleterre, Darwin commença à développer sa théorie de l'évolution dans ses carnets de notes. Le dessin ci-dessus réalisé en 1837 est un arbre illustrant comment différentes espèces évoluent à partir d'un ancêtre commun.

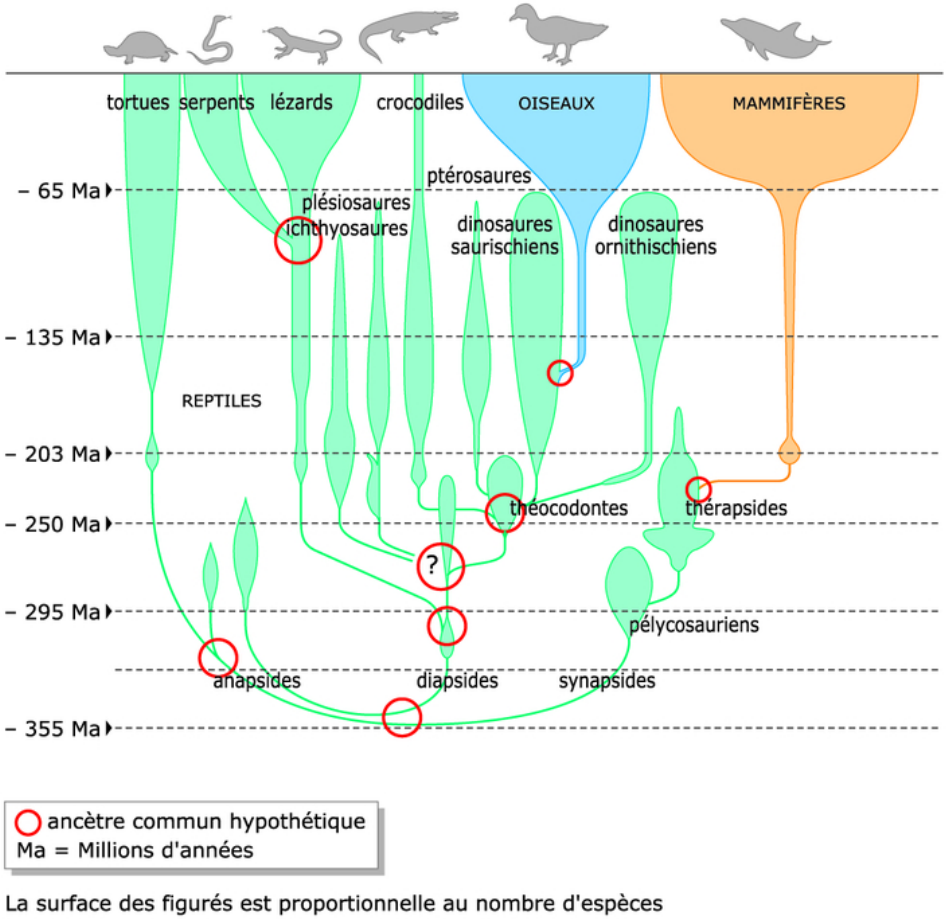
- **Les archives paléontologiques amènent une position chronologique**

- **C'est l'étude des caractères et la détermination des groupes qui fait la phylogénie**



Un arbre phylogénétique est-il une preuve de l'évolution ?

Non, un arbre phylogénétique raconte un processus évolutif, il ne prouve pas l'évolution, puisque le concept d'évolution est celui qui a permis de construire l'arbre.



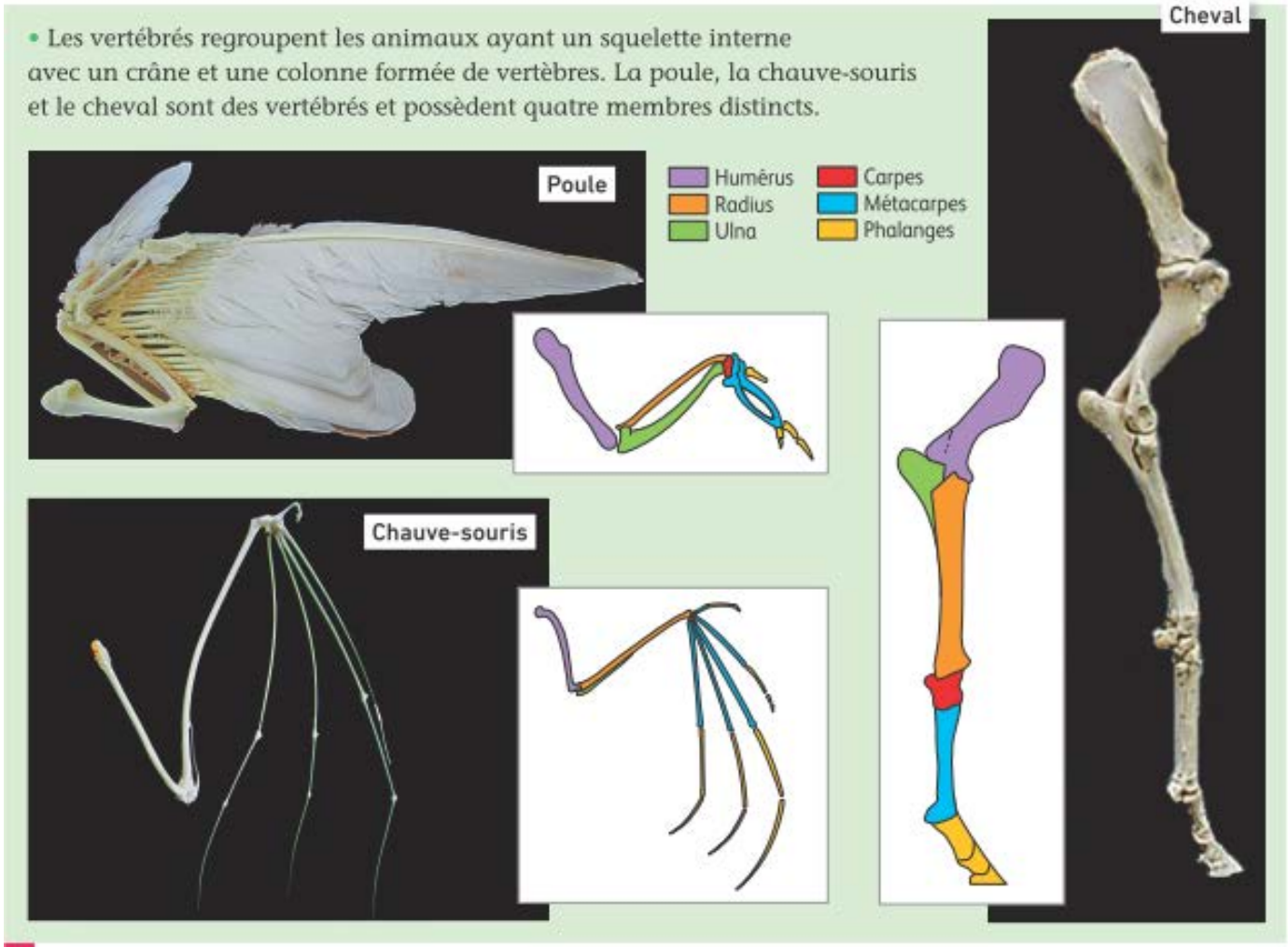
La conception phylogénétique de la classification

Elle traduit des parentés et l'évolution des êtres vivants

On parle de classification phylogénétique

- Toute la difficulté est de choisir les caractères pertinents

Comment reconnaître des caractères homologues ?



a **Une comparaison des squelettes du membre antérieur de trois vertébrés** et schémas interprétatifs.

Caractères homologues ≠
caractères analogues

- Même fonction, structure ≠
- Fonction : vol,
- Structure de la surface portante :

a Une chauve-souris en plein vol.

b **Les ailes d'une libellule** (insérées sur son thorax).

Mouche : membrane, avec trachées,

Chauve-souris : membrane alaire soutenue par une armature, les doigts.

Elles ne sont pas héritées d'un ancêtre commun

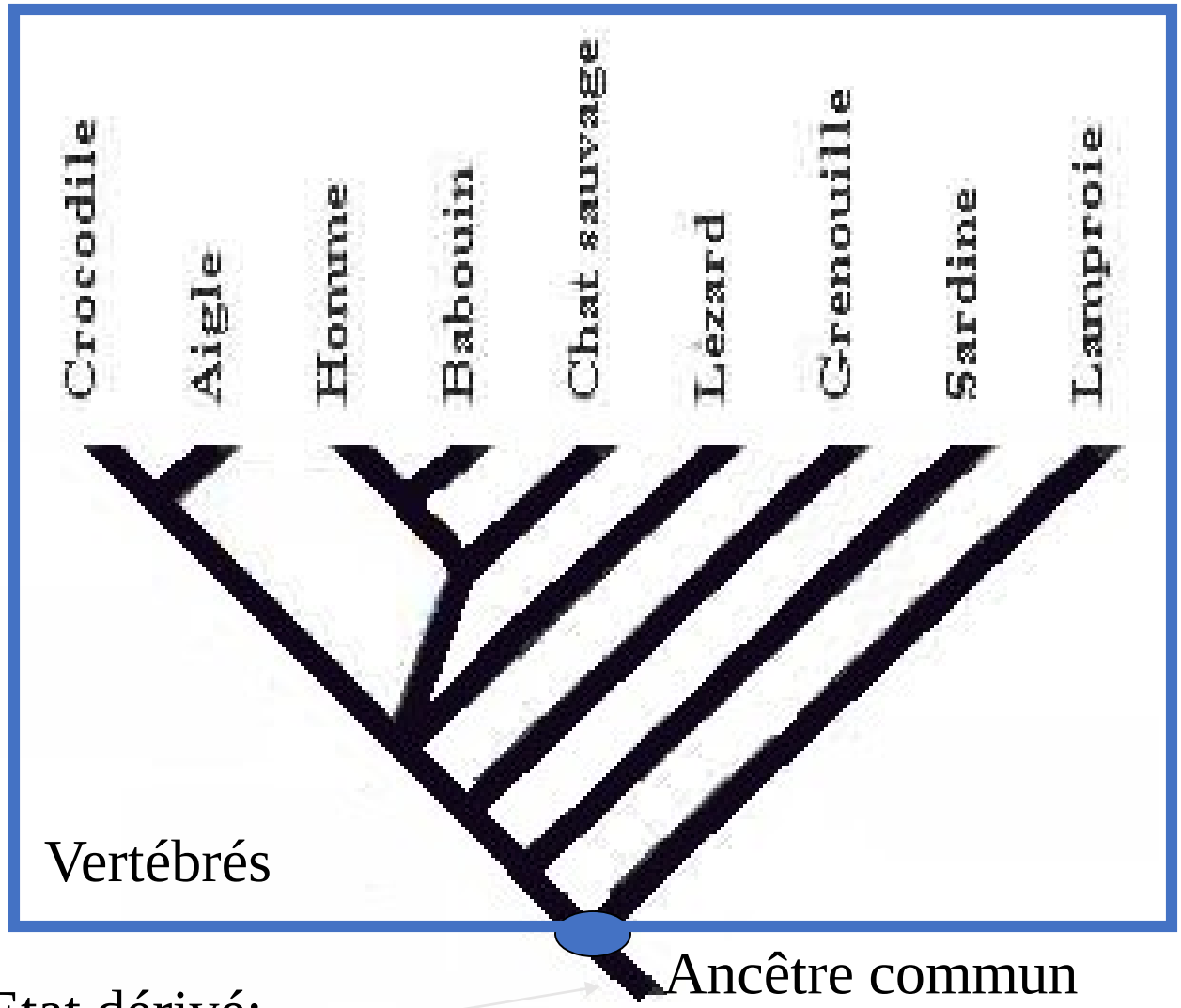
⇔ ANALOGIES

- le partage de caractères dérivés :

Seul le partage d'états dérivés des caractères témoignent d'une véritable parenté.

Si plusieurs taxons partagent un même caractère dérivé, ils l'ont hérité d'un ancêtre commun qui leur est propre et chez qui ce caractère est apparu.

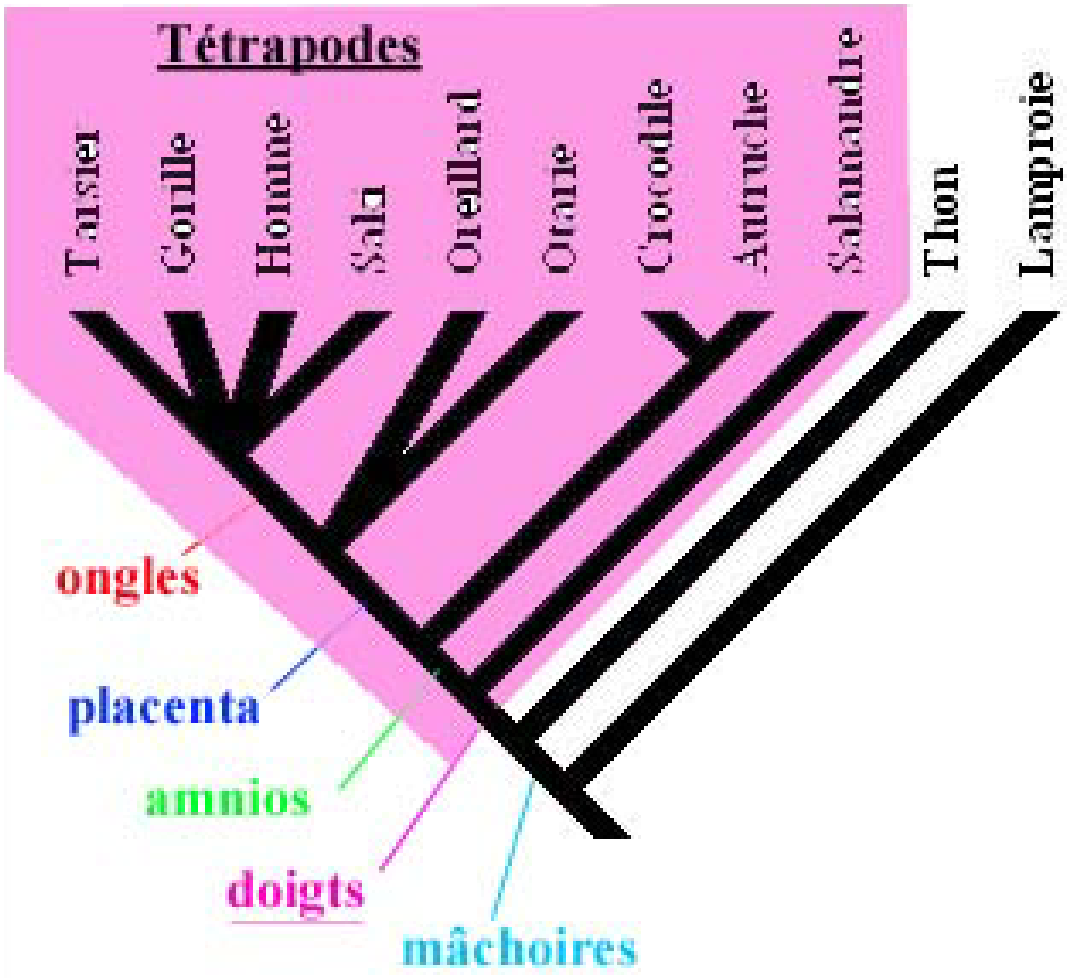
Ces caractères permettent de définir des groupes monophylétiques (= clades) : ensembles reposant un ancêtre commun et toutes les formes actuelles et fossiles qui en dérivent.



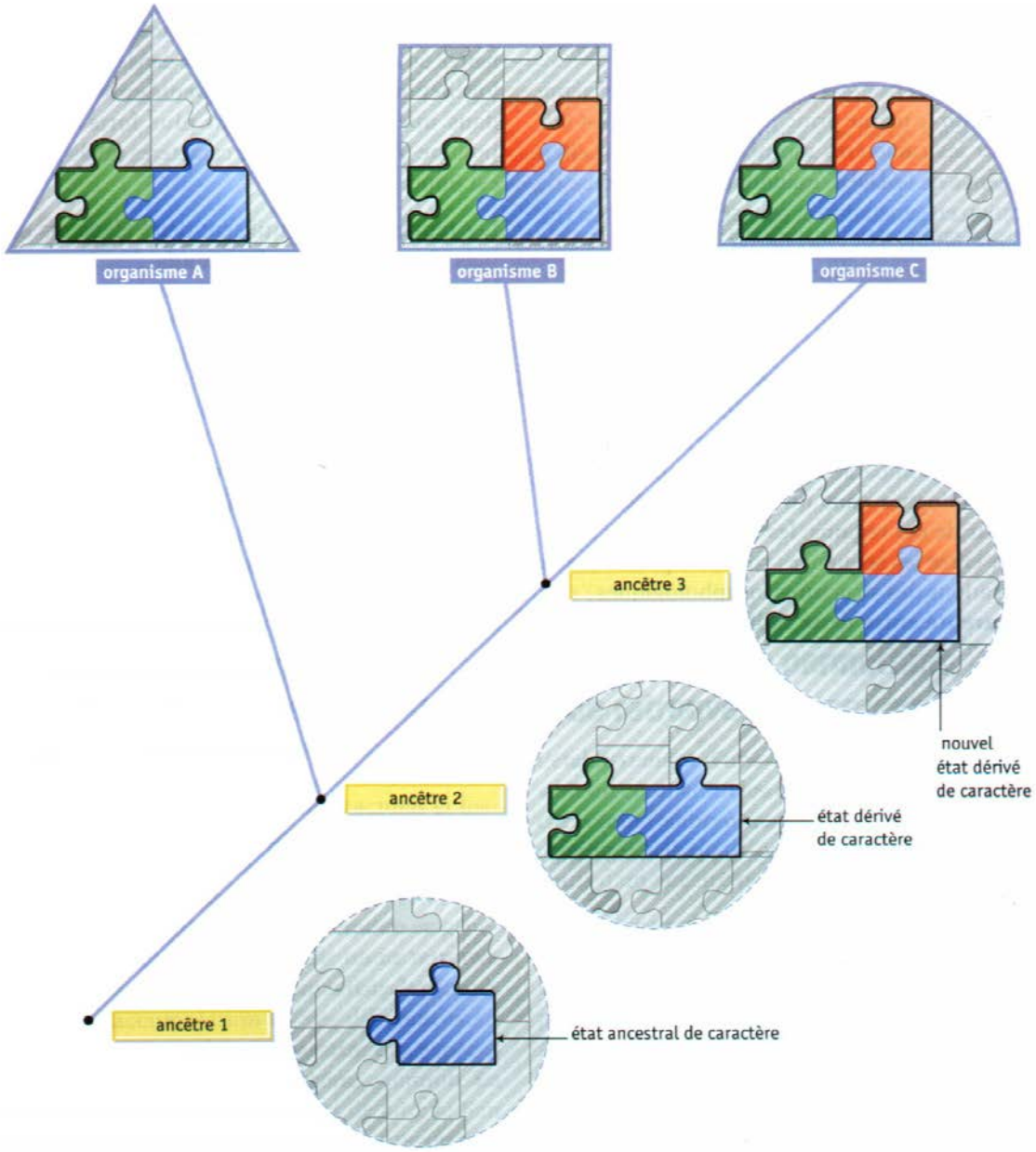
Ancêtre commun
à tous les vertébrés

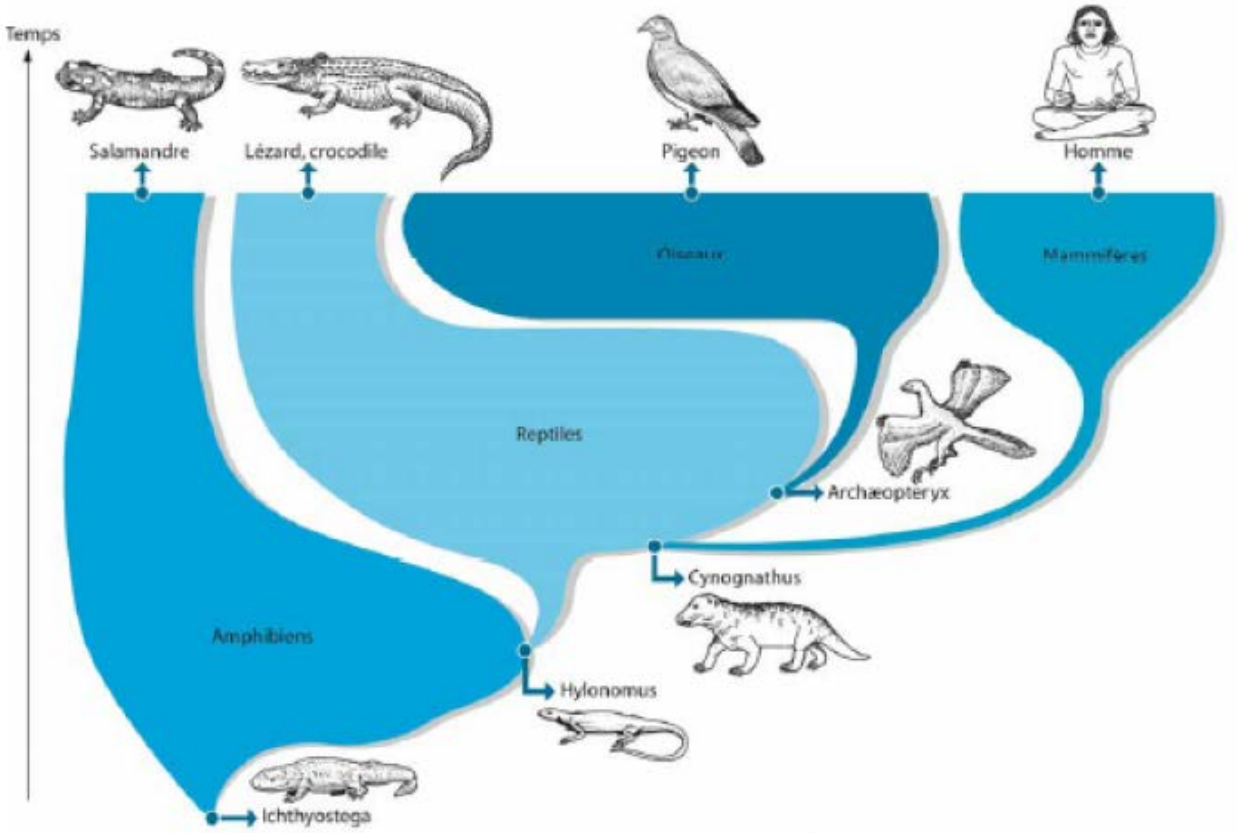
Etat dérivé:
colonne vertébrale

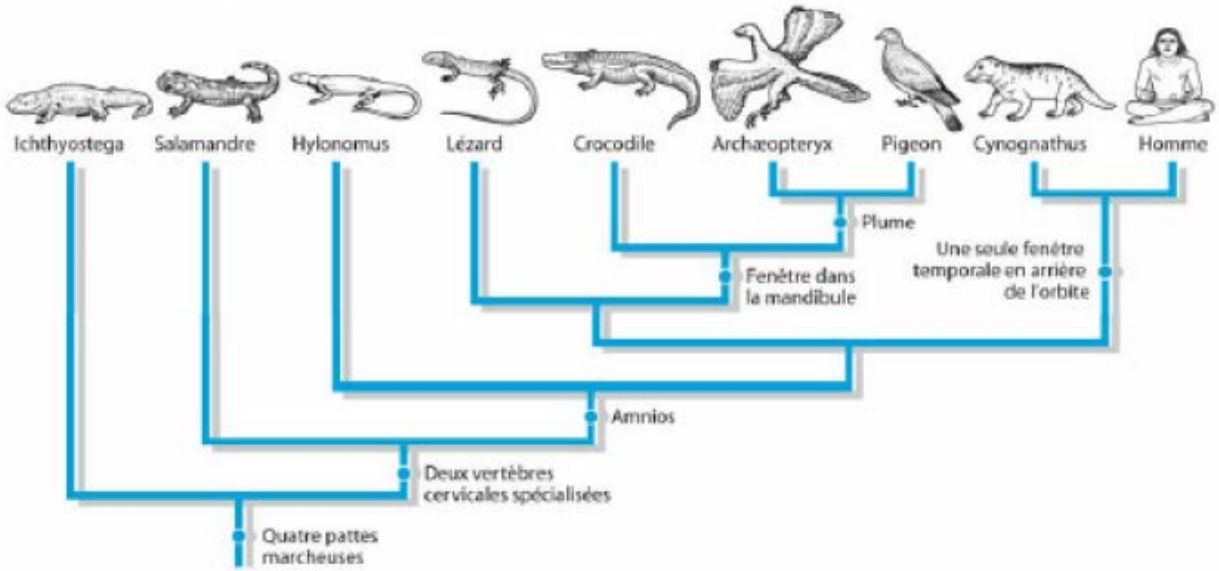
Identifier les groupes monophylétiques



Le clade des Tétrapodes réunit tous les organismes actuels et fossiles qui possèdent des doigts.


organisme A
organisme B
organisme C
ancêtre 3
nouvel
état dérivé
de caractère
ancêtre 2
état dérivé
de caractère
ancêtre 1
état ancestral de caractère





Comparaison entre une classification évolutionniste (haut) et phylogénétique (bas).

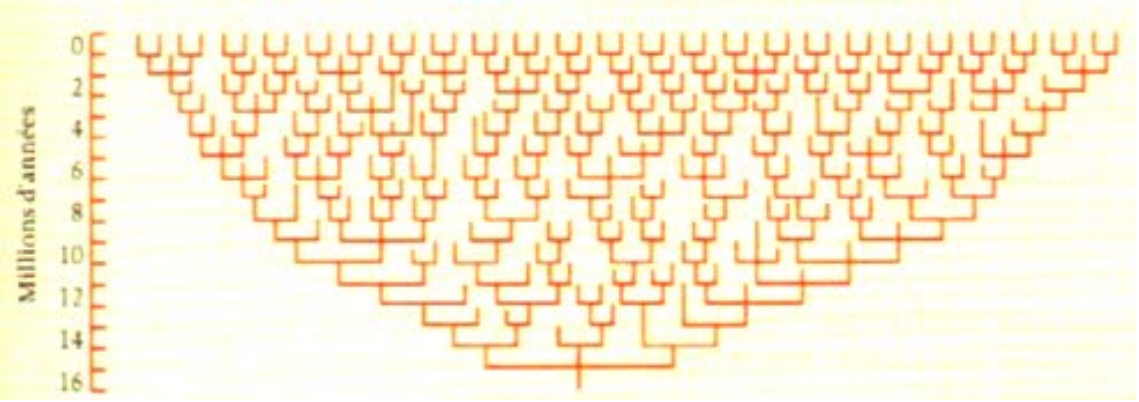
Dans la classification évolutionniste, les fossiles sont considérés comme des ancêtres communs aux groupes actuels et une grande place est accordée aux grades évolutifs. Cette conception est totalement obsolète aujourd'hui.

La classification du bas est strictement phylogénétique car les grades ne sont pas évoqués, et les fossiles sont considérés comme des membres des taxons et non en tant qu'ancêtres.

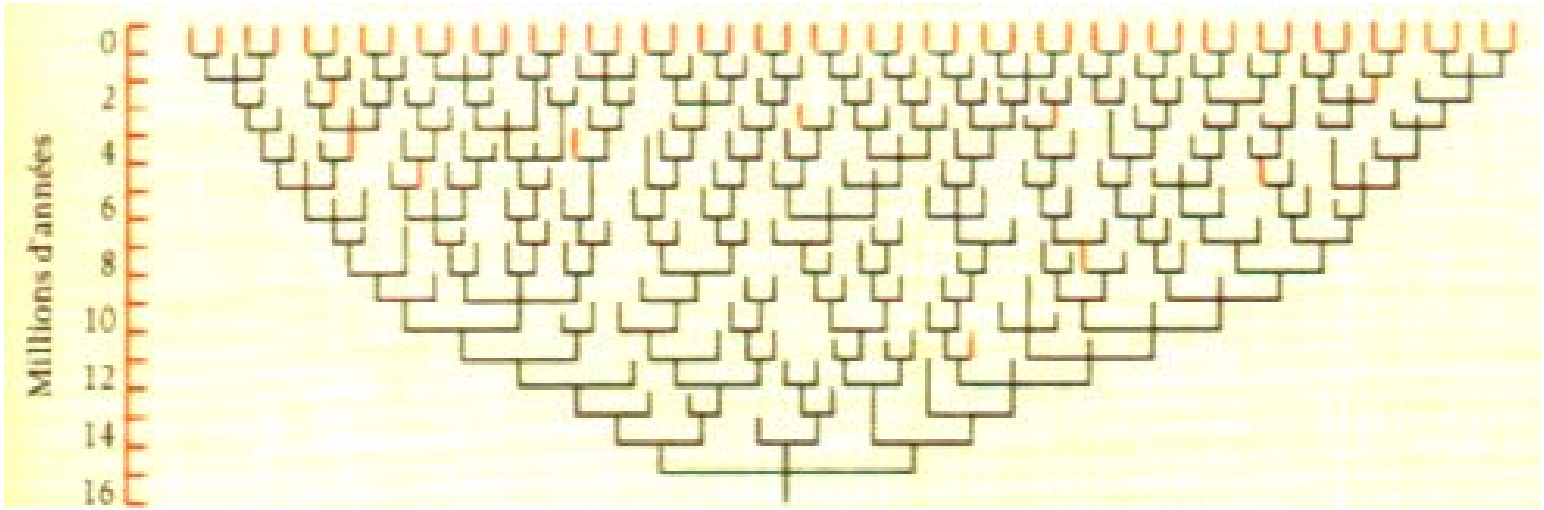
Les limites de la cladistique

En l ’absence de l ’intégralité des données, la cladistique peut aboutir à une multitude d ’arbres différents en fonction des options adoptées.

Problème de l ’équivalence qualitative des différents caractères

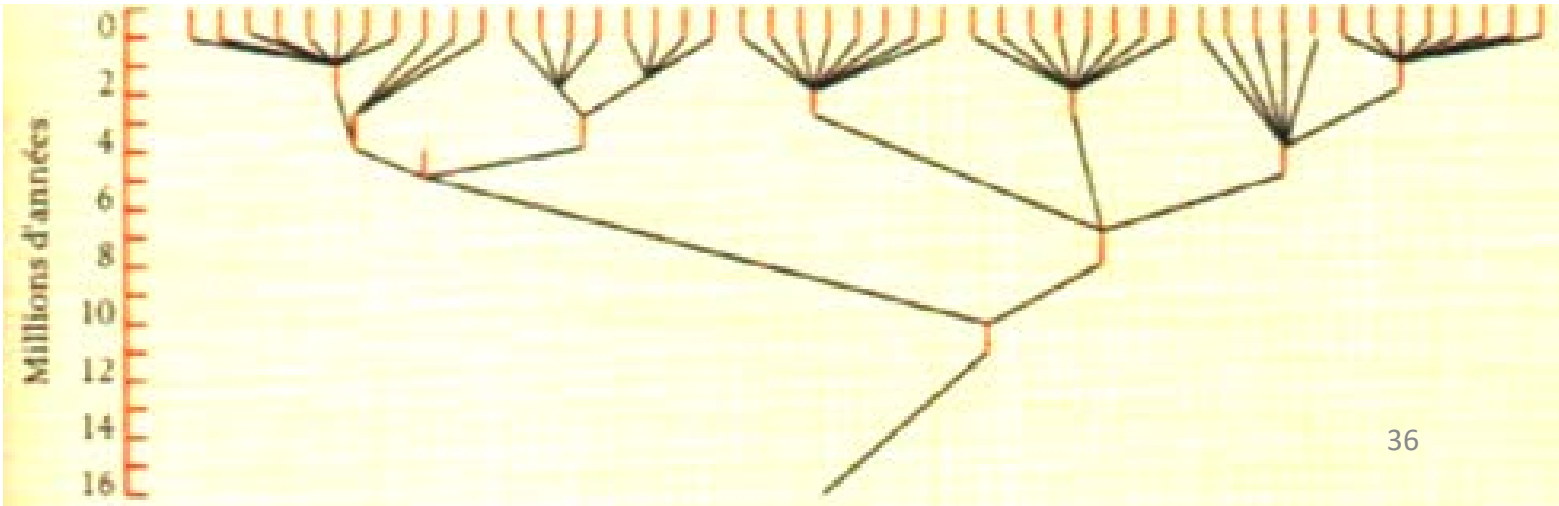


Arbre complet



3% des fossiles

Arbre déduit



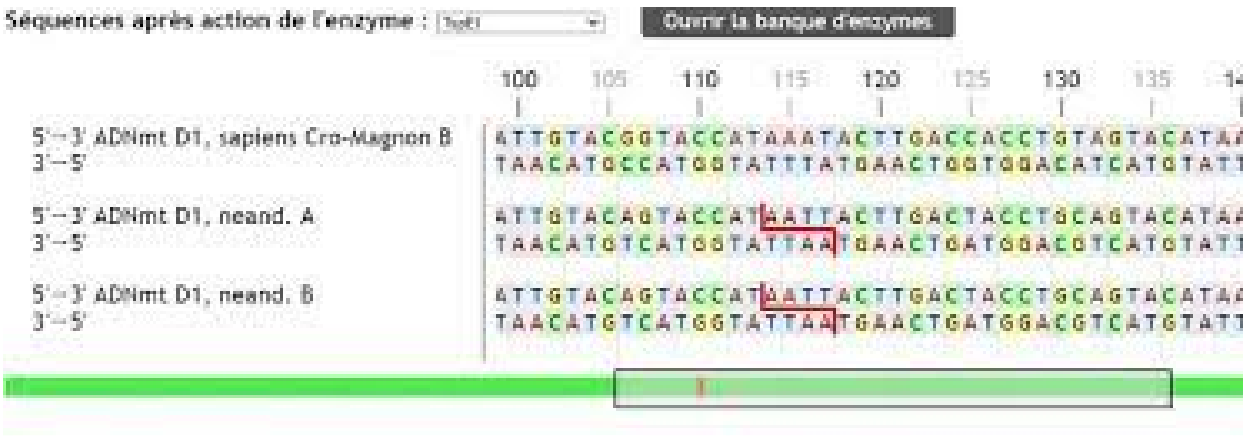
Données moléculaires

1955 : **Sanger** développe une méthode de séquençage des protéines et séquence l'insuline.
Obtention de nouvelles séquences : cytochrome c, de fibrinopeptides, d'hémoglobine ainsi de petites protéines, premières utilisations de séquences moléculaires pour l'étude de la phylogénie des Eucaryotes .

1965 : **Zuckerkandl** et **Pauling** publient leur article " **Molecules as Documents of Evolutionary History** " qui marque la transition vers l'ère des phylogénies moléculaires .

Dans les années 1970, **Carl Woese** développe une technique d'analyse phylogénétique reposant sur la **comparaison de catalogues d'oligonucléotides des ARN ribosomiques** (ARNr)

1977 : **Sanger** développe des techniques de **séquençage rapide de l'ADN**



Approche phénétique sur des données moléculaires : construction de phénogramme selon la méthode des distances génétiques

Un exemple de mise en pratique de la méthode phénétique. Les séquences d'hémoglobine α chez la carpe commune, l'homme, la roussette et le coq domestique sont alignées (**a**). Seule une portion de la séquence est représentée ici. Chaque lettre correspond à un acide aminé. Le tiret signifie que l'acide aminé chez l'espèce considérée est identique à l'acide aminé figurant à la même position sur la première ligne. L'étoile indique l'absence de l'acide aminé considéré. Avec ces séquences, on construit une matrice de distance (**b**), à partir de laquelle la méthode utilisée (UGPMA dans cet exemple) permet d'obtenir un arbre (**c**).

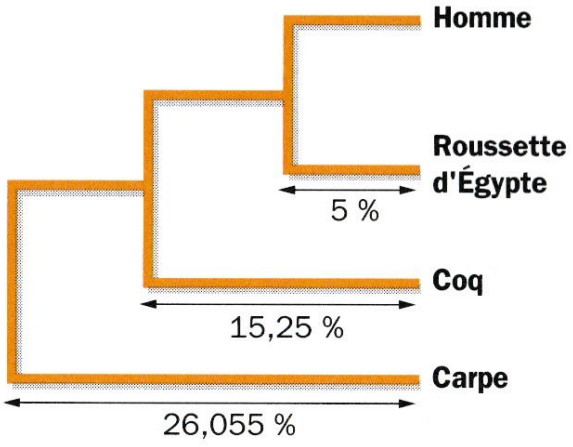
a.

```
ESPÈCES          ——————————————— Séquences alignées ———————————————→
Carpe commune    SLSDKDKAAV KIAWAKISPK ADDIGAEALG RMLTVYPQTK TYFAHWADLS PGSGPVKHGK
Homme            V--PA--TN- -A--G-VGAH -GEY-----E --FLSF-T-- ---P-F*--- H--AQ--GHG
Roussette        V--SA--TNI -A--D-VGGN -GEY-----E --FLSF-T-- ---P-F*--- H--AQ--GHG
Coq domestique   V--AA--NN- -GIFT--AGH -EEY---T-E --F-T--P-- ---P-F*--- H--AQI-GHG

                 ——————————————— Séquences alignées ———————————————→
                 KVIMGAVGDA VSKIDDLVGG LASLSELHAS KLRVDPANFK ILANHIVVGI MFYLPGDFPP
                 -KVAD-LTN- -AHV--MPNA -SA--D---H ------V--- L-SHCLL-TL AAH--AE-T-
                 -KVGD-LTN- -GHL---P-A -SA--D---Y ------V--- L-SHCLL-TL ANH--S--T-
                 -KVVA-LIE- ANH---IA-T -SK--D---H ------V--- L-GQCFL-VV AIHH-AALT-

                  — Séquences alignées —
                 EVHMSVDKFF QNLALALSEK YR
                 A--A-L---L ASVSTV-TS- --
                 A--A-L---L ASVSTV-TS- --
                 ---A-L---L CAVGTV-TA- --
```

b.

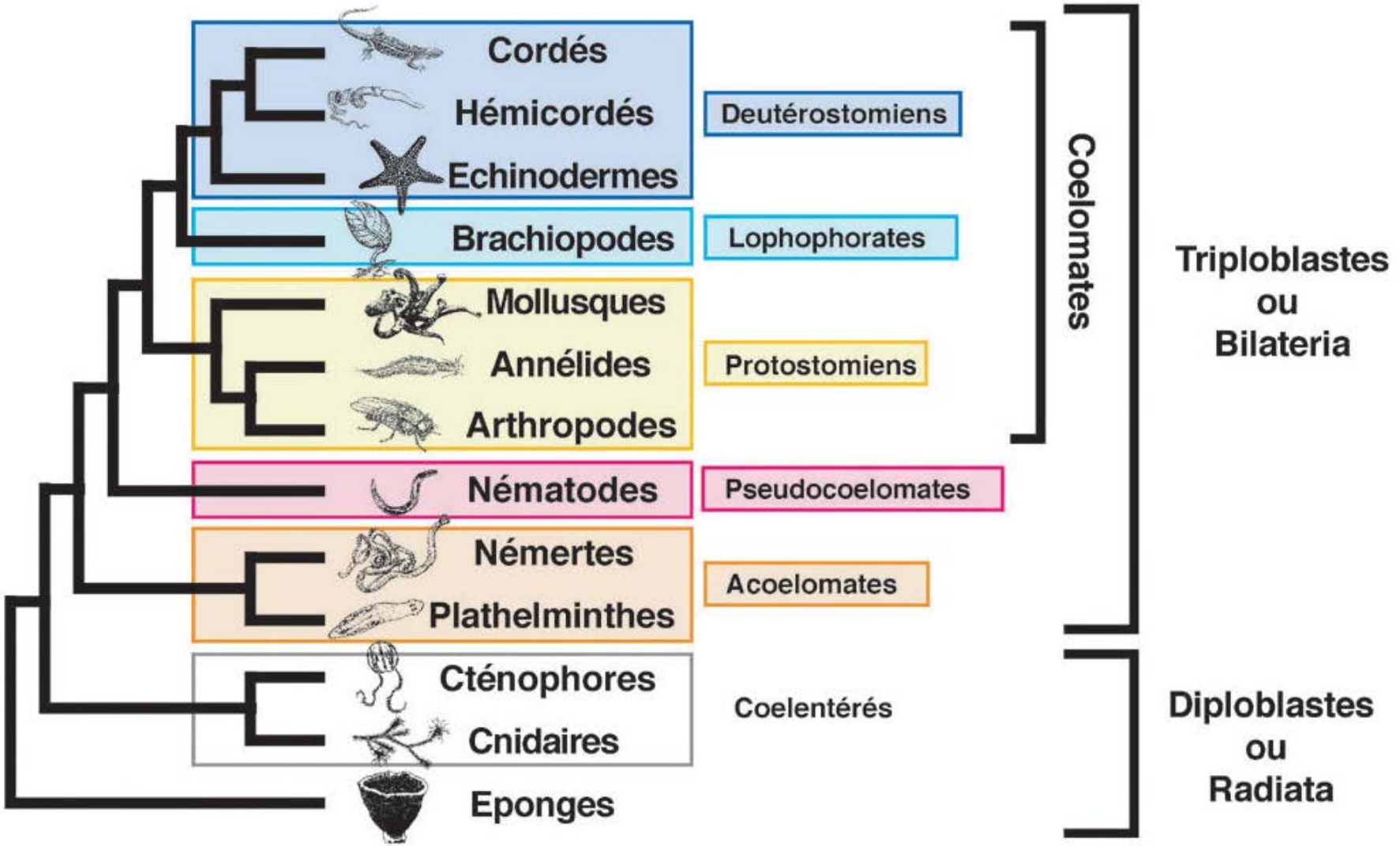
	Carpe commune	Homme	Roussette d'Égypte	Coq domestique
Carpe commune	0,00			
Homme	52,11	0,00		
Roussette d'Égypte	50,70	9,93	0,00	
Coq domestique	52,82	29,79	31,21	0,00

c.



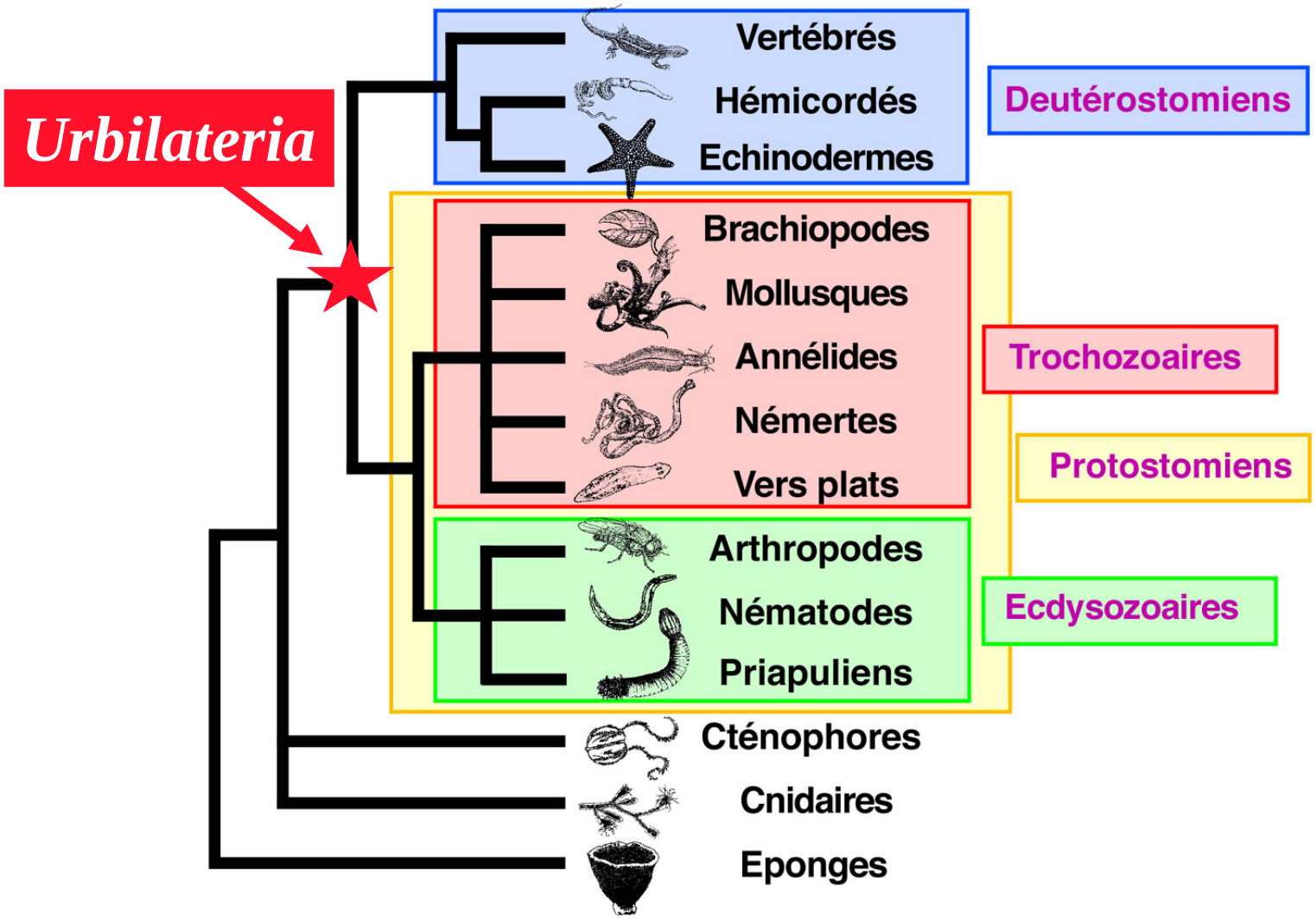
Rechercher des ancêtres communs

Une phylogénie "traditionnelle" des animaux

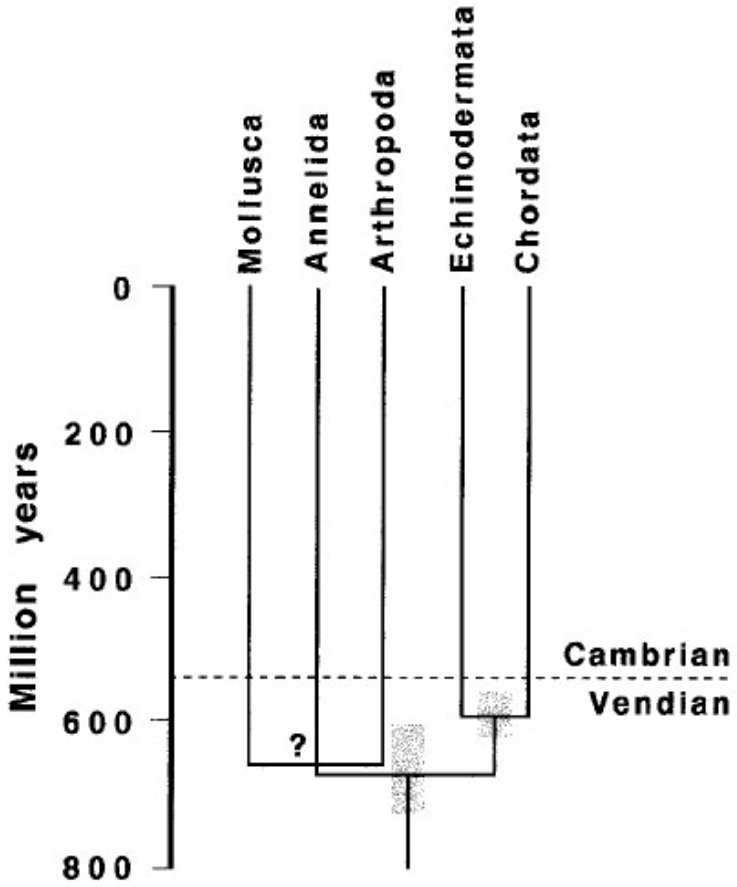


Phylogénie des animaux

Consensus des données moléculaires



Estimations de la divergence protostomiens-deutérostomiens par l'horloge moléculaire

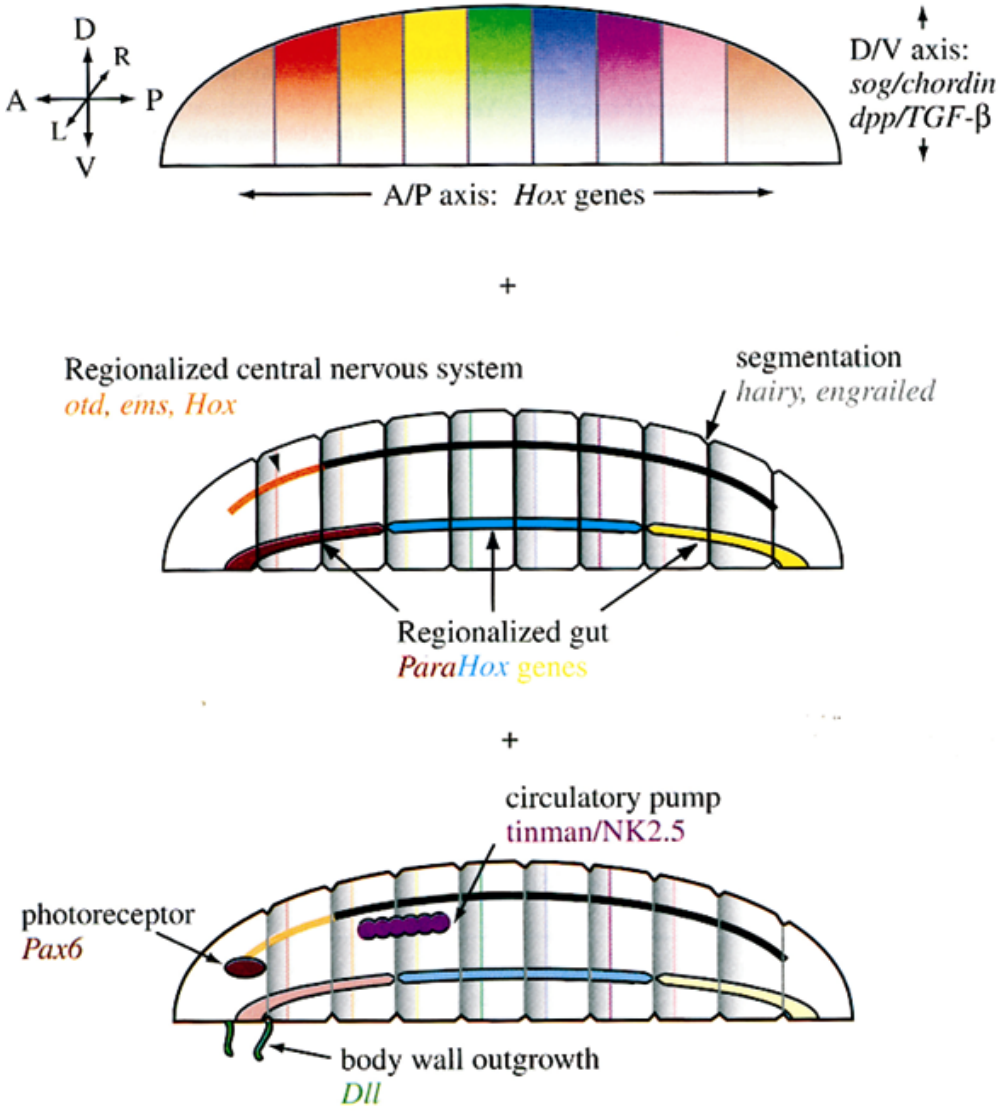


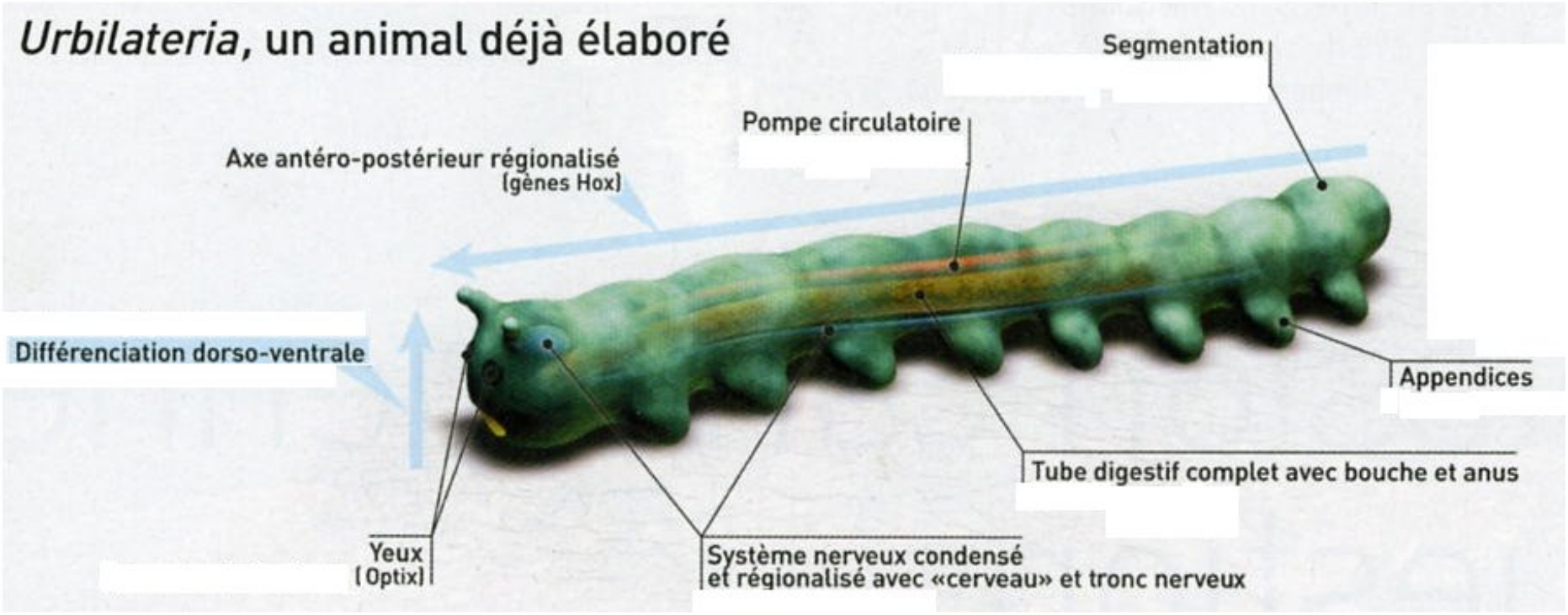
Wray, Levinton & Shapiro, 1996
-> 1200 Ma

Ayala, Rzhetsky & Ayala, 1998
-> 670 Ma

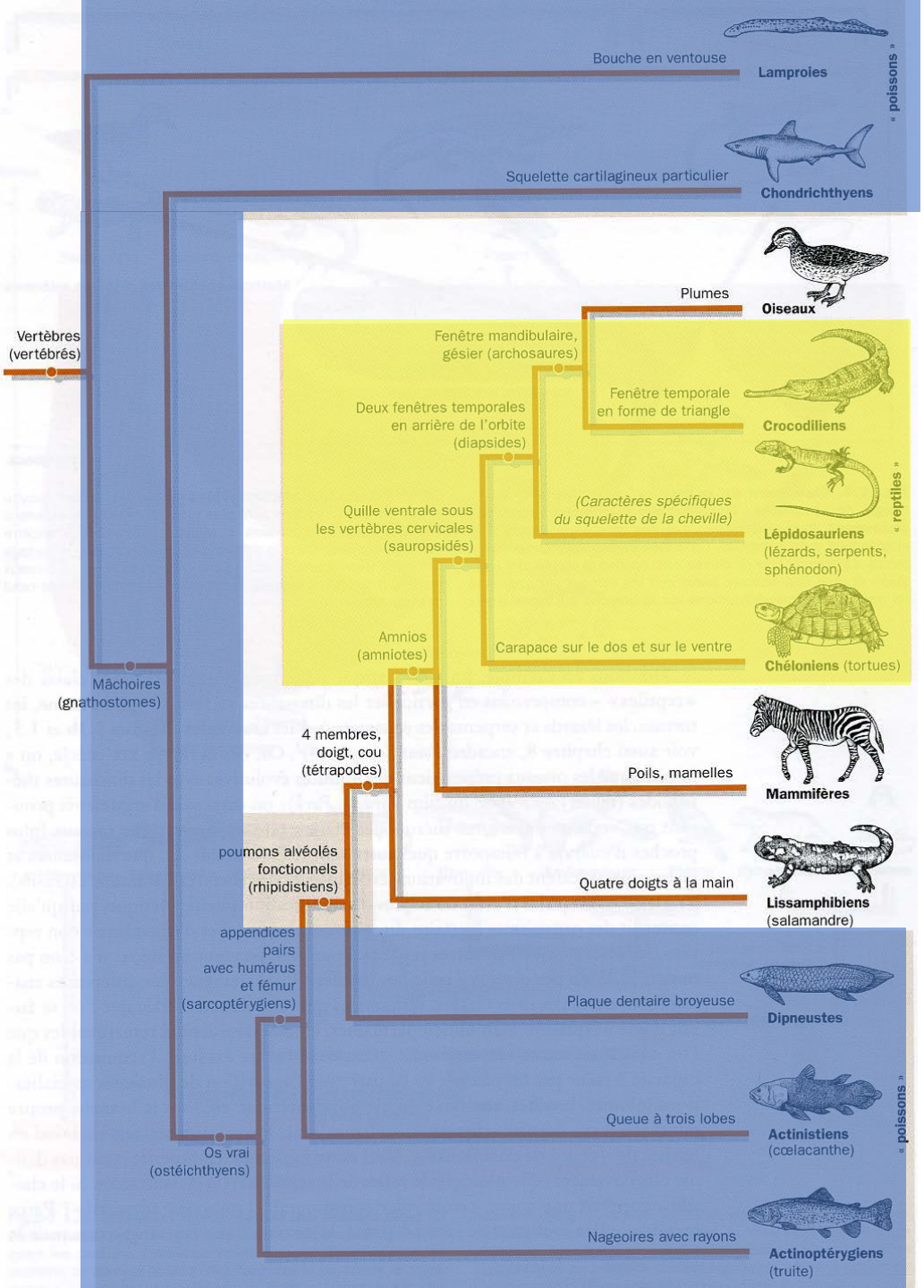
Peterson *et al.*, 2004
-> 573-656 Ma

L' hypothétique d'*Urbilateria*




Urbilateria, un animal déjà élaboré
Segmentation
Pompe circulatoire
Axe antéro-postérieur régionalisé
(gènes Hox)
Différenciation dorso-ventrale
Appendices
Tube digestif complet avec bouche et anus
Yeux
(Optix)
Système nerveux condensé
et régionalisé avec «cerveau» et tronc nerveux

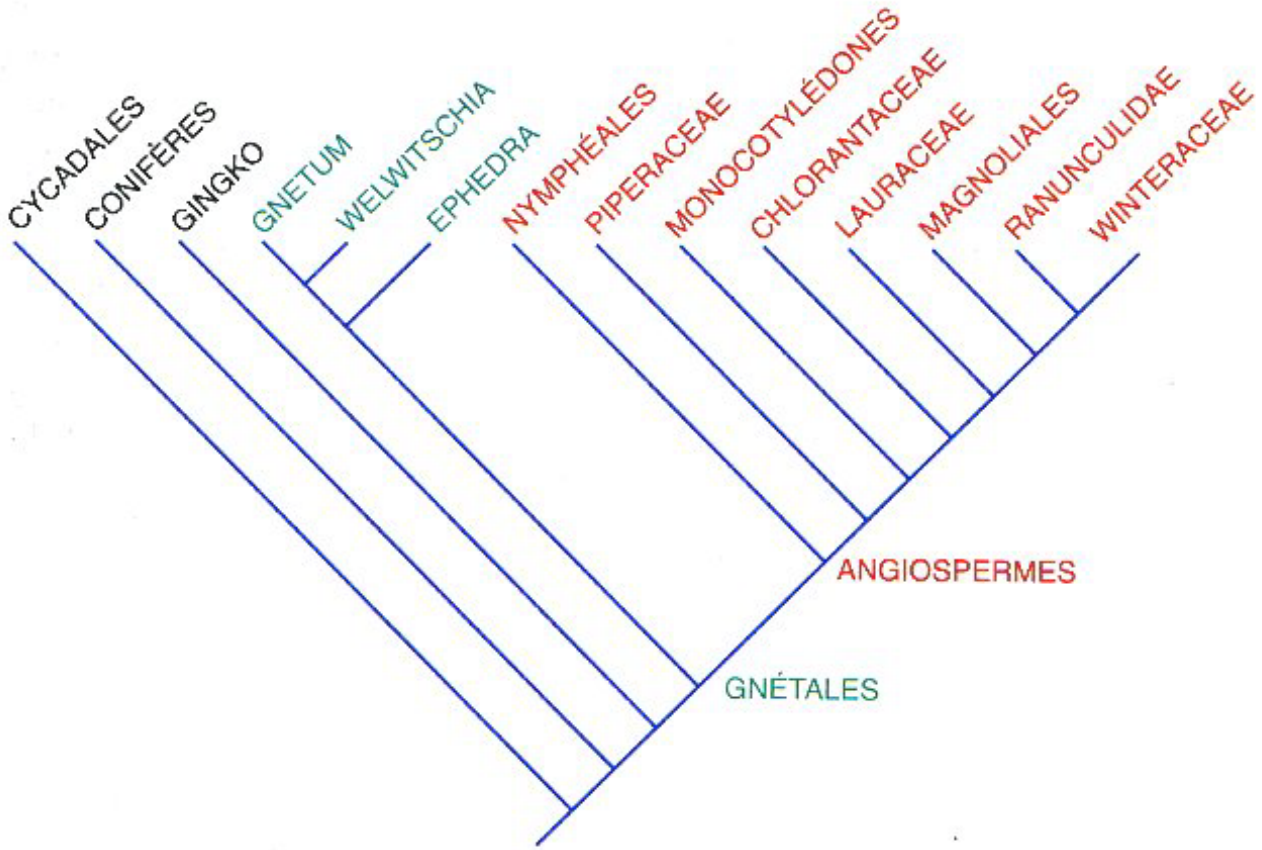
- certains regroupements « traditionnels » n’ont plus de sens



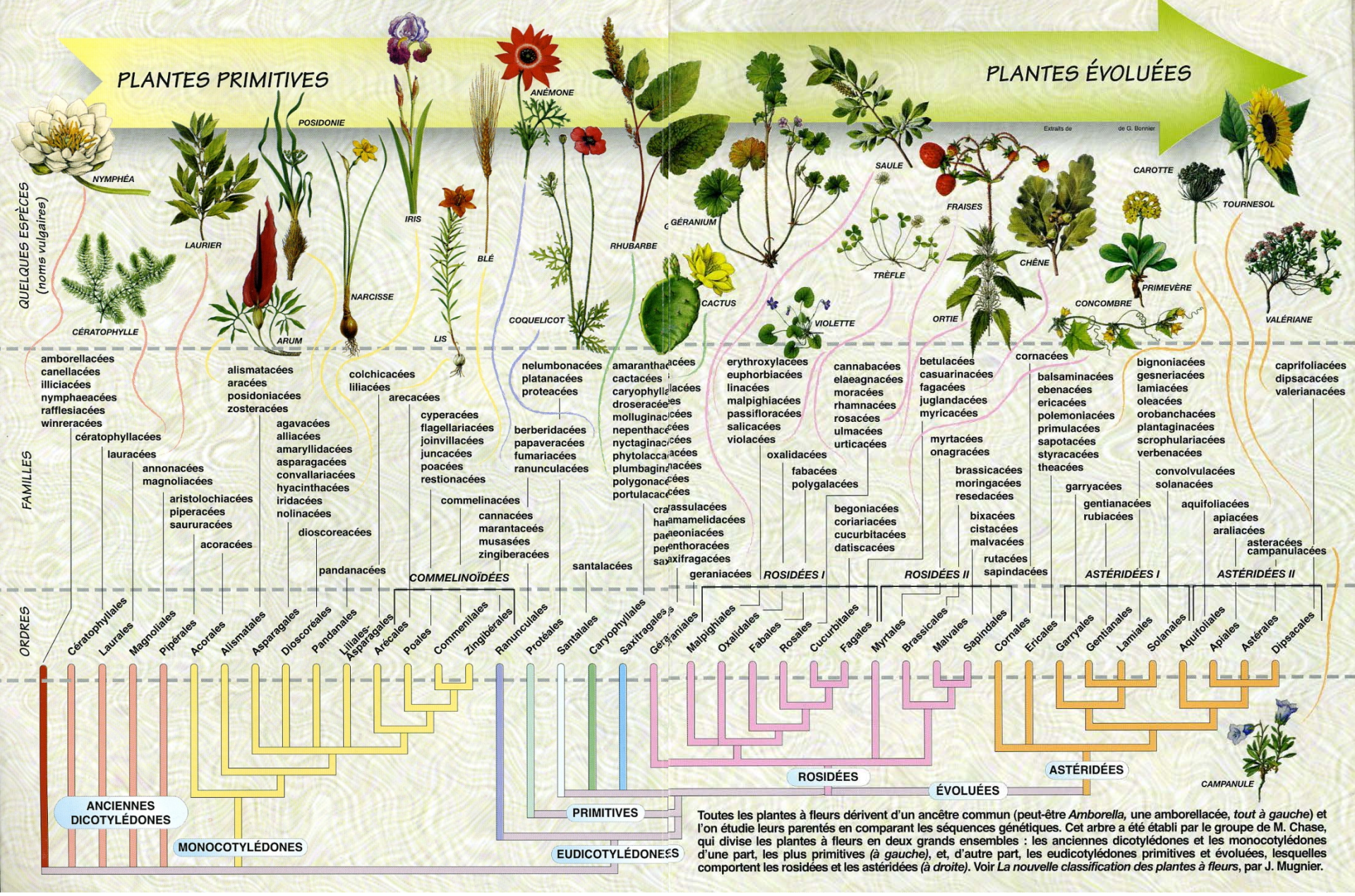
POISSONS

REPTILES

Classification phylogénétique du vivant, Lecointre et Leguyader, Belin

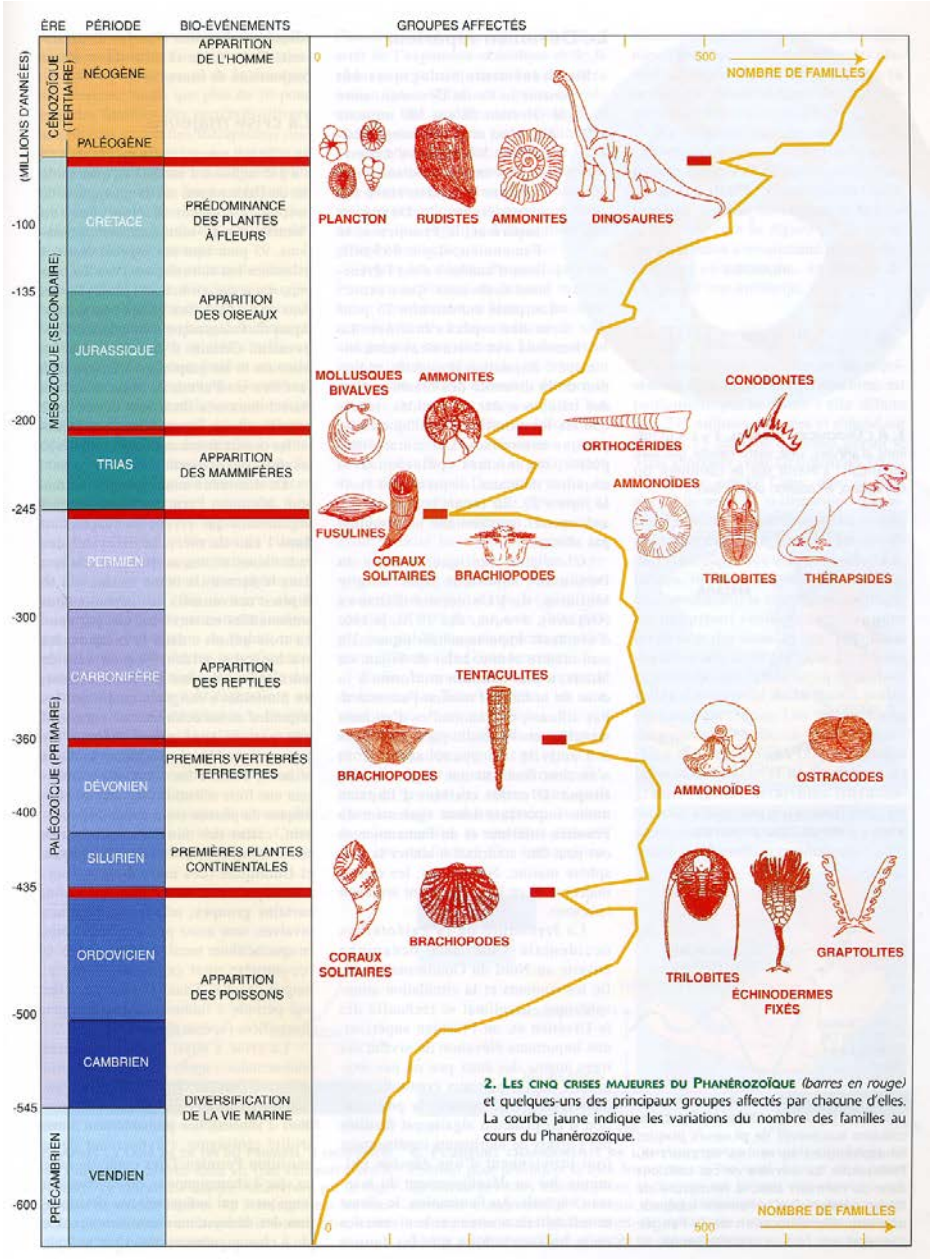


8. UN DES DEUX ARBRES LES PLUS PARCIMONIEUX des Gymnospermes et des Angiospermes, construit à partir des données moléculaires : les clades sont ordonnés en fonction du nombre de changements non ambigus dans la séquence d'un ARN ribosomique. Les clades d'angiospermes représentés sont les plus primitifs : on y trouve des paléoherbes (Nymphéales, *Piperaceae* et Monocotylédones) et des Magnoliidae ligneuses (*Chlorantaceae*, *Lauraceae*, Magnoliales et *Winteraceae*). Cet arbre indique qu'Angiospermes et Gnétales sont monophylétiques et constituent des groupes frères ; il place les Nymphéales à la base des Angiospermes.

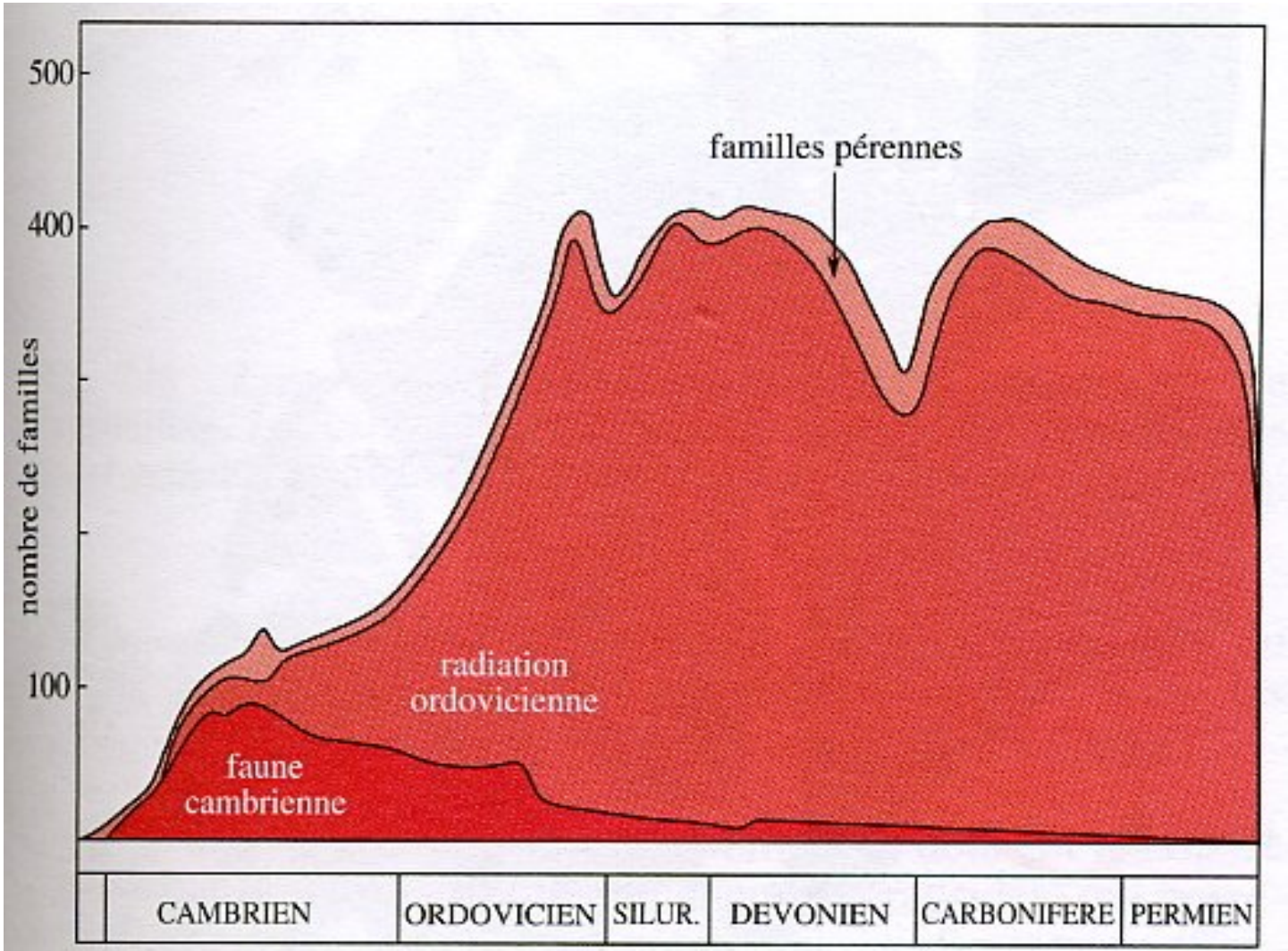


Toutes les plantes à fleurs dérivent d'un ancêtre commun (peut-être *Amborella*, une amborellacée, *tout à gauche*) et l'on étudie leurs parentés en comparant les séquences génétiques. Cet arbre a été établi par le groupe de M. Chase, qui divise les plantes à fleurs en deux grands ensembles : les anciennes dicotylédones et les monocotylédones d'une part, les plus primitives *(à gauche)*, et, d'autre part, les eudicotylédones primitives et évoluées, lesquelles comportent les rosidées et les astéridées *(à droite)*. Voir *La nouvelle classification des plantes à fleurs*, par J. Mugnier.

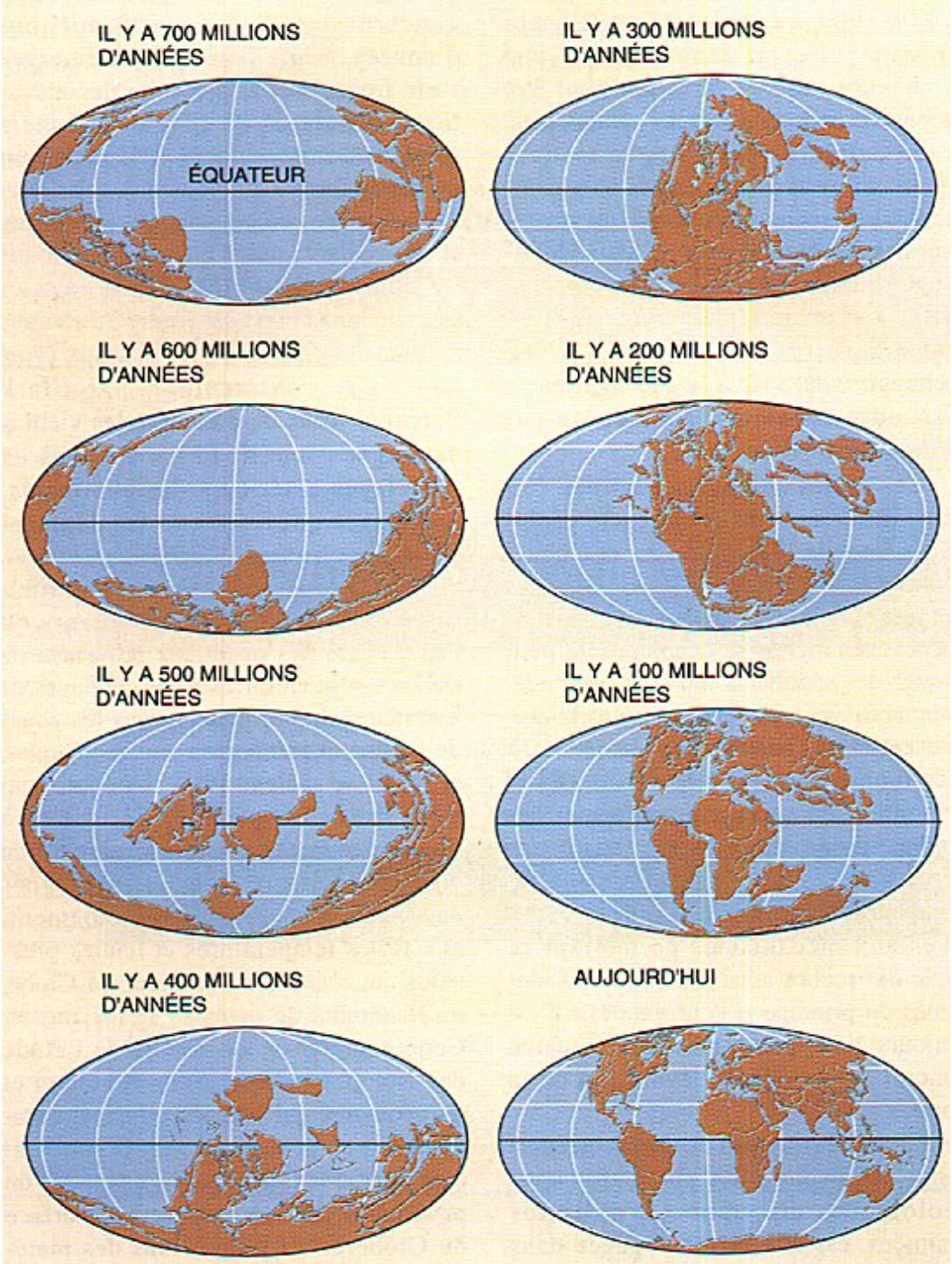
La notion de crise de la biodiversité

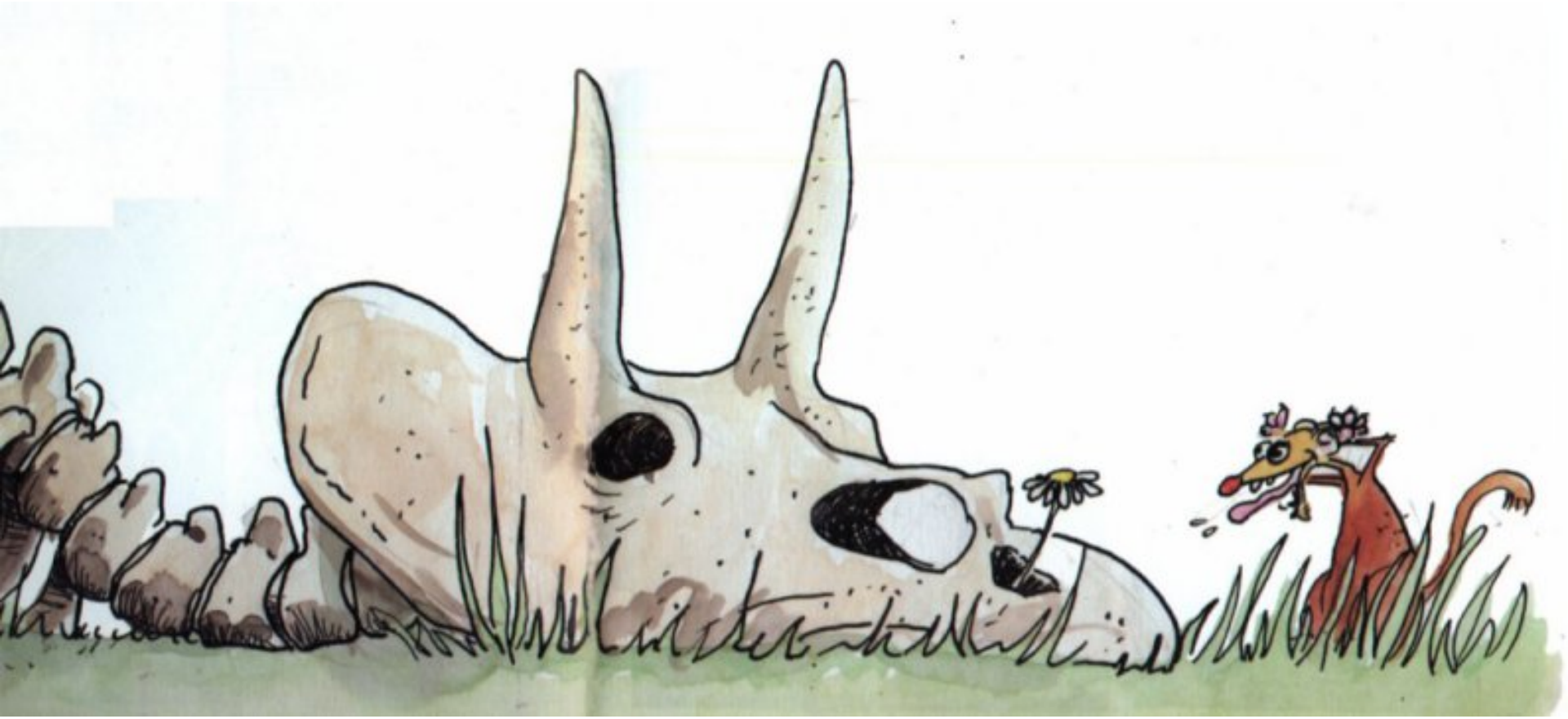


POUR LA SCIENCE



La radiation ordovicienne


IL Y A 700 MILLIONS D'ANNÉES
ÉQUATEUR
IL Y A 300 MILLIONS D'ANNÉES
IL Y A 600 MILLIONS D'ANNÉES
IL Y A 200 MILLIONS D'ANNÉES
IL Y A 500 MILLIONS D'ANNÉES
IL Y A 100 MILLIONS D'ANNÉES
IL Y A 400 MILLIONS D'ANNÉES
AUJOURD'HUI



Une histoire de la vie, Gilles Macagno Ellipses

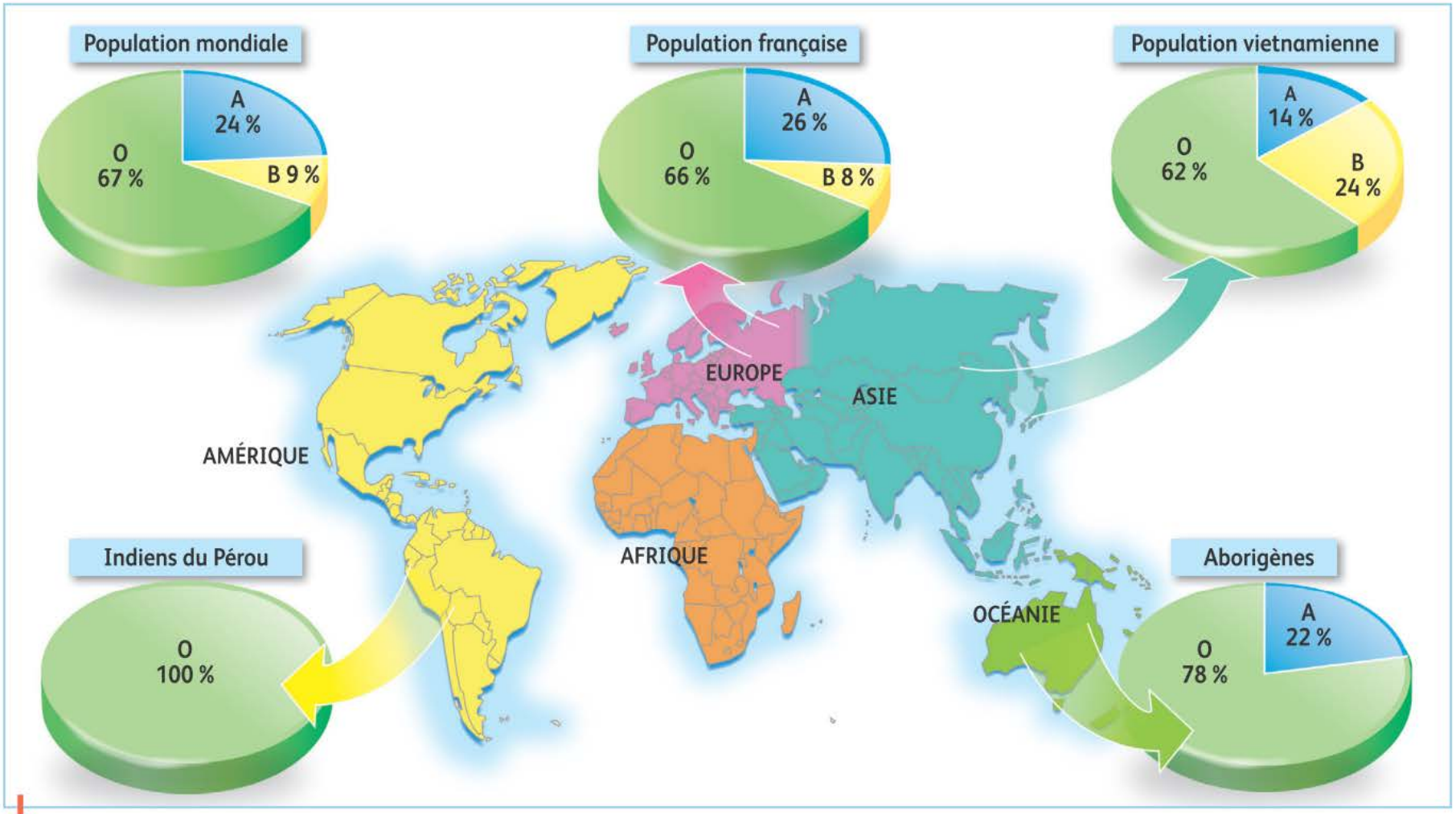
Des notions connexes:

La notion d'adaptation: une notion dangereuse car souvent utilisée de manière finaliste.

Ne pas confondre adaptation et accommodation

2-La population: niveau effectif de l'Evolution

Le polymorphisme génique n'est pas uniformément réparti dans les populations d'une espèce



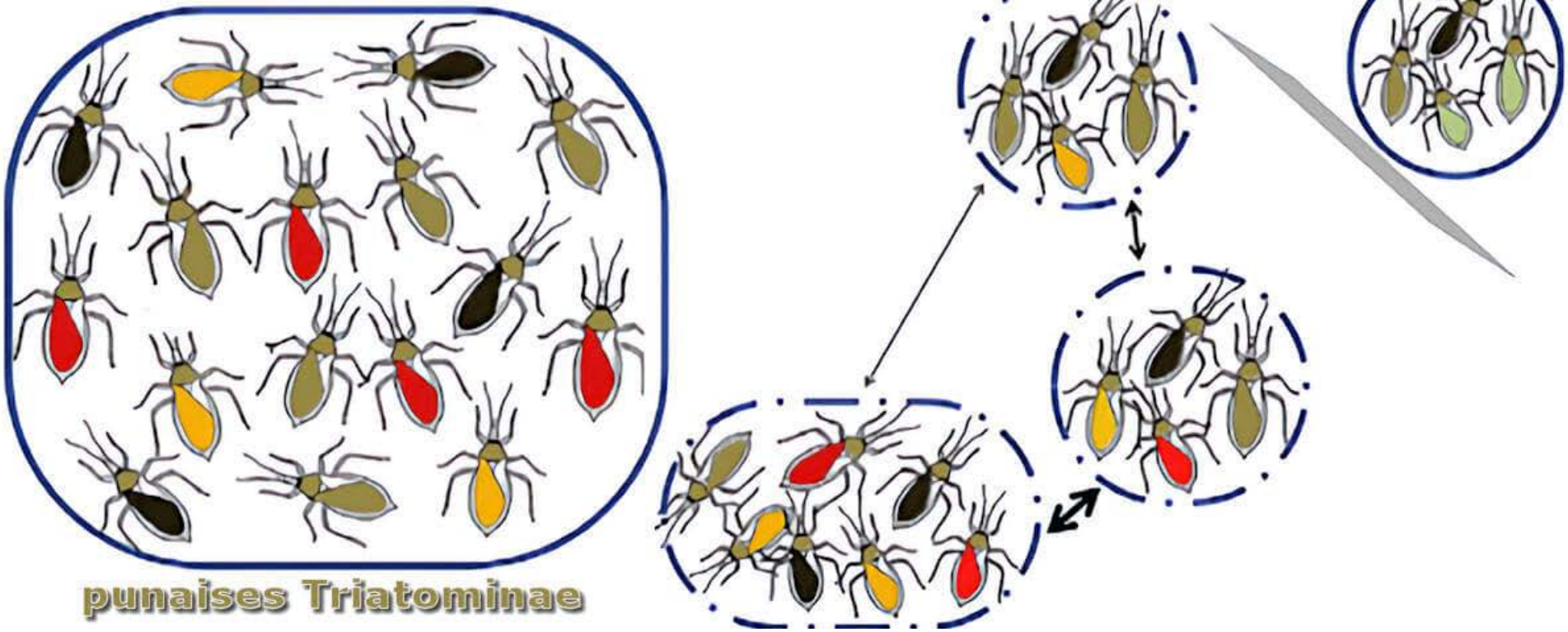
b Fréquence allélique des groupes sanguins de quelques populations et de la population mondiale.

<u>Sur quoi la sélection s'opère-t-elle ?</u>

Sur le phénotype (mais pas seulement)

Au niveau d'une population

génétique des populations



punaises Triatominae

Population : Une espèce peut être subdivisée en sous-groupes au sein desquels la possibilité d'échanges génétiques entre individus est effective ; ces sous-groupes sont appelés populations et l'ensemble des allèles qu'ils partagent, pour chacun des gènes de l'espèce, en constitue le patrimoine génétique (pool allélique).

La mesure de la diversité génétique à l'intérieur des populations mais aussi entre les populations, l'origine et le devenir de ces diversités intra- et inter-populationnelles sont un enjeu important de la génétique des populations, notamment chez l'homme.

D’un point de vue historique et épistémologique, la naissance, entre 1908 et 1918, de la génétique des populations apparaît comme le moment de la réconciliation entre la vision darwinienne de l’évolution et la vision mendélienne de l’hérédité, toute nouvelle à cette époque.

D’un point de vue scientifique et méthodologique, la génétique des populations perpétue, à la suite de la biométrie fondée par les darwiniens, l’ouverture de la biologie à la modélisation mathématique ; elle a permis d’ouvrir de nouveaux champs théoriques et appliqués grâce à ses modèles de mesure et d’évolution de la diversité génétique.

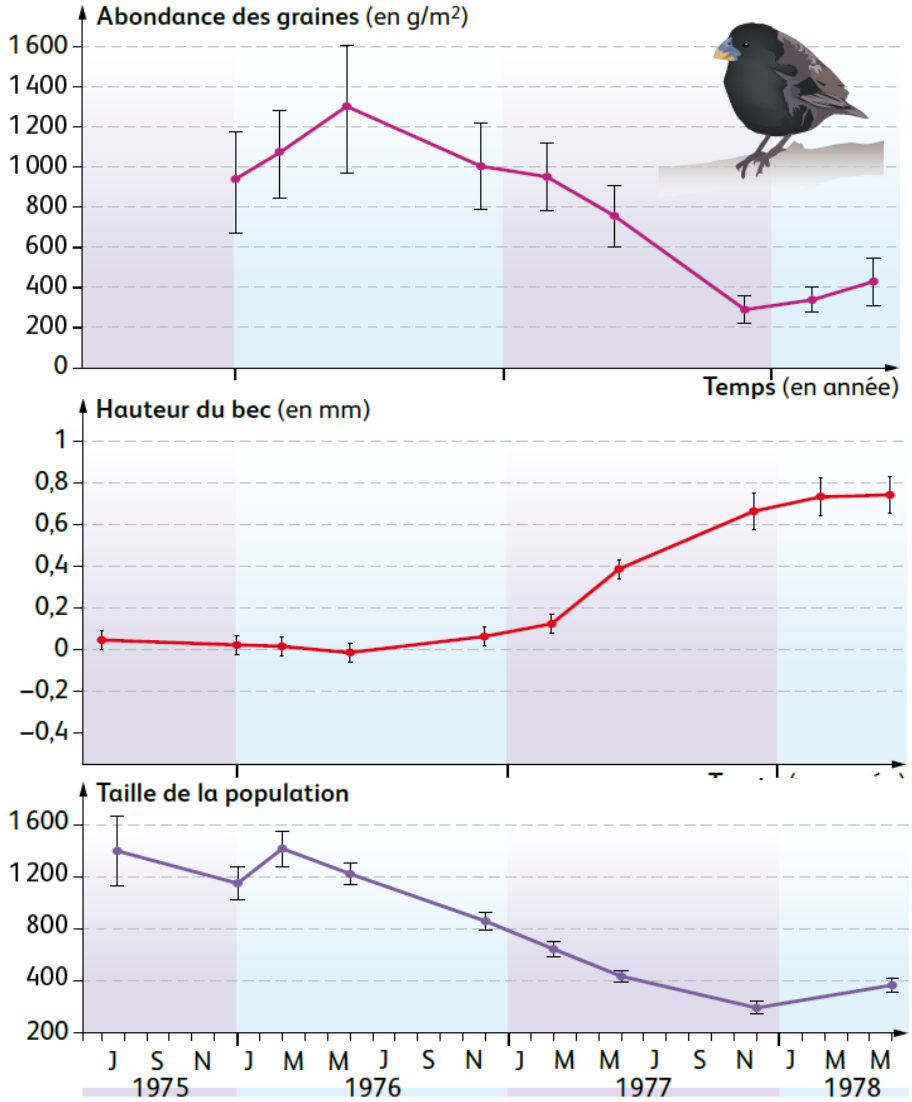
Populations et modèles d'étude

L'expérimentation génétique est essentiellement fondée sur des croisements entre souches pures. Au contraire, les populations naturelles sont composées d'organismes génétiquement différents pour un grand nombre de gènes. La génétique des populations se propose d'abord d'évaluer l'importance de cette diversité génétique.

Populations et modèles d'étude

Au-delà de cette estimation, la génétique des populations se propose aussi de dégager des lois permettant de rendre compte du maintien ou de l'évolution dans l'espace et dans le temps de cette diversité génétique. Partant du postulat que l'évolution des espèces est, en dernière analyse, celle de leur patrimoine génétique, la génétique des populations apparaît alors comme le noyau dur obligatoire de toute théorie de l'évolution.

Dynamique des populations



Variations du nombre de Pinsons à bec moyen, de l'abondance et de la dureté des graines, de la hauteur de leur bec entre 1975 et 1979.

Les populations au cours du temps

Variations dans le temps :
fréquence des phénotypes
taille des effectifs.

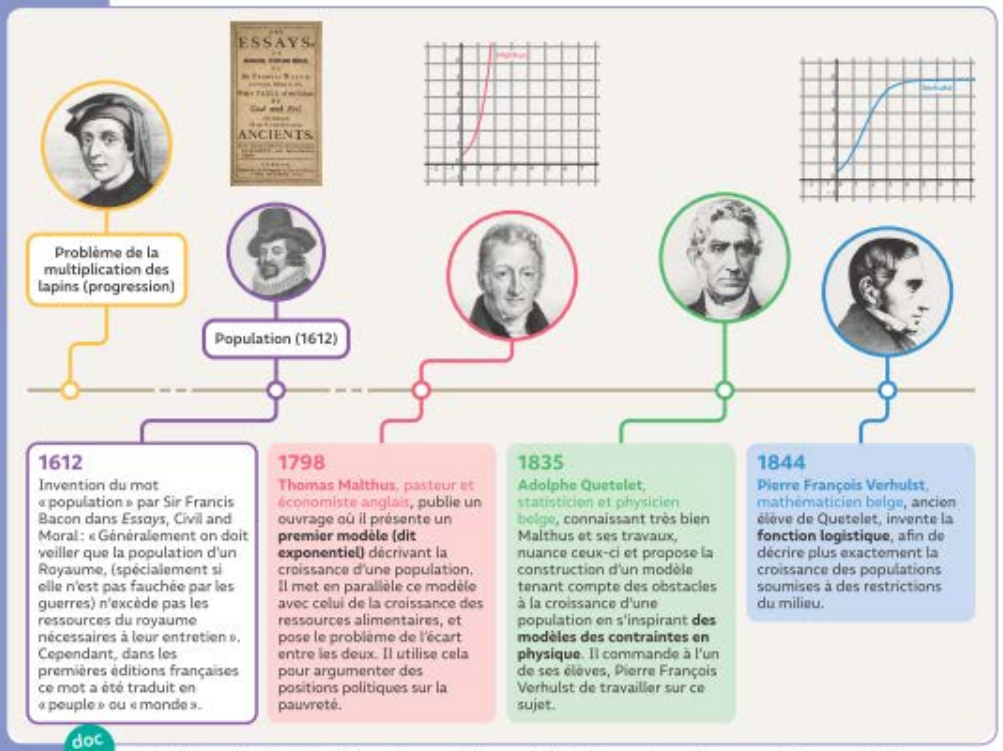
Organismes regroupés en populations dont les effectifs varient au cours du temps

HISTOIRE
ENJEUX
DÉBATS

Modèles historiques d'accroissement des populations et controverses autour du malthusianisme

Si les modèles mathématiques qui décrivent l'évolution des populations reflètent une réalité, c'est parce qu'ils prennent en compte divers facteurs ayant une influence sur la démographie, comme la mortalité, la natalité, l'accès aux ressources. Cependant, les interprétations qui en sont faites peuvent parfois susciter la polémique.

Quelles controverses les modèles d'accroissement des populations et leurs interprétations ont-ils suscitées ?



doc a **De Malthus à Verhulst : affiner les modèles mathématiques d'accroissement des populations**

RESSOURCES

- Article : *Capitalisme et population : Marx et Engels contre Malthus* www.cairn.info
- Podcast : *Théorie et politiques de la croissance des populations*, Les cours du Collège de France, www.franceculture.fr
- Vidéo en anglais : *An introduction to Thomas Malthus*, www.exploring-economics.org

VOCABULAIRE

Malthusianisme : doctrine élaborée par Malthus, préconisant la limitation des naissances.

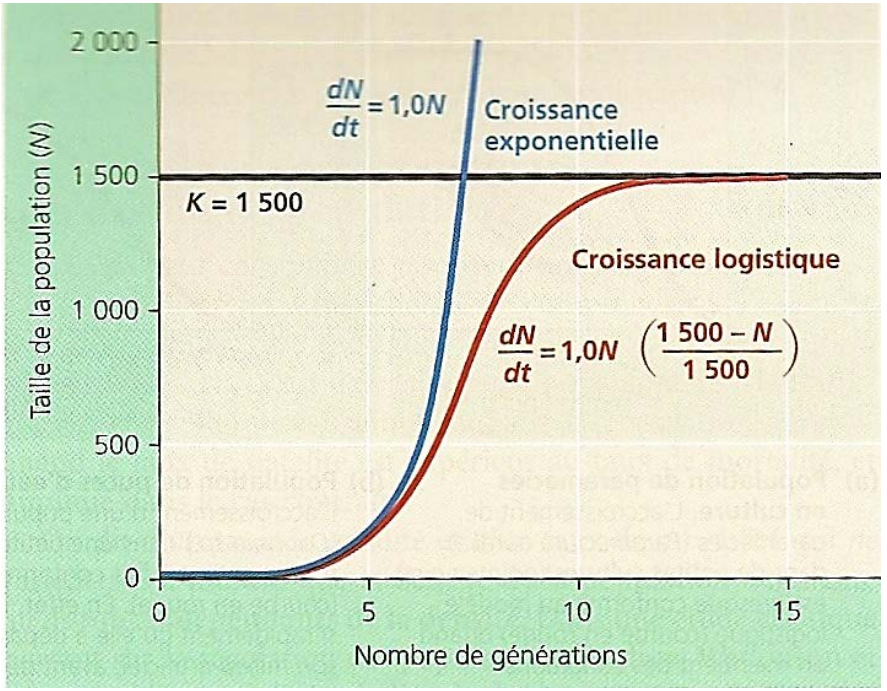
Modèle de croissance logistique (modèle de Verhulst)

K = capacité limite du milieu = nombre maximal d'individus d'une population stable qui peuvent vivre durablement dans un milieu donné

$$\frac{dN}{dt} = r_{max} N\left(\frac{K-N}{K}\right)$$

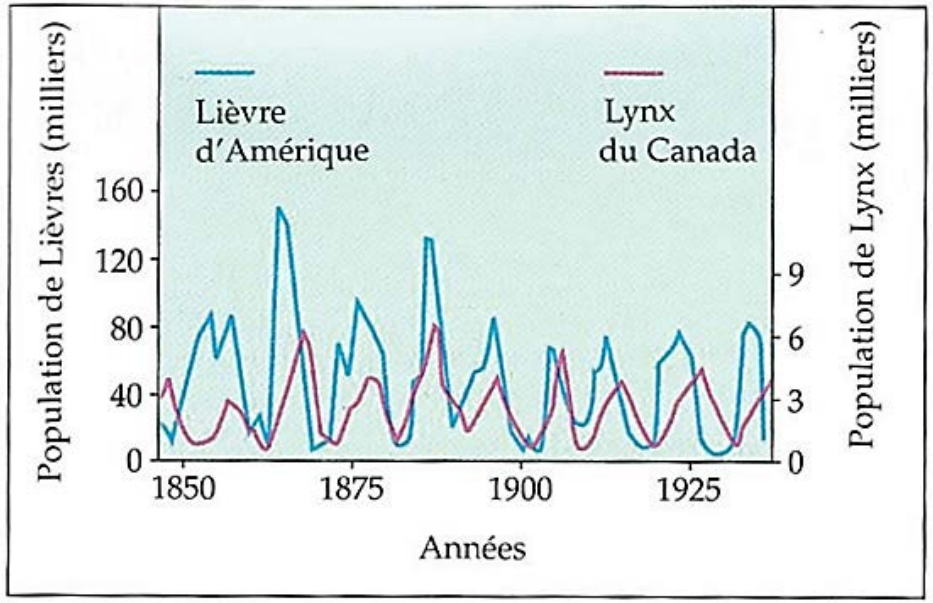
Pourcentage de K qui admet encore un accroissement démographique

Plus N est proche de K, plus la croissance est faible.



Allure sigmoïde

Les interactions proies prédateurs: exemple du lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*) et du Lynx du Canada (*Lynx canadensis*)
Quasi-exclusivité de la proie



Cycle d'environ 10 ans dans les variations d'effectifs

Hyp1: effet de la disponibilité des végétaux (mais pourquoi périodicité ?)

Hyp2: Effet de la prédation et action réciproque du nombre de proie sur le nombre de prédateurs

Approche mathématique: le modèle de Lotka-Volterra

Hypothèses du modèle:

H1: croissance exponentielle sans prédateur, **mortalité due uniquement au prédateur**

H2: mortalité vue comme une probabilité de rencontre entre proie et prédateur

Pour la proie H

$$\frac{dH}{dt} = r_H H - pHP$$

H= nombre de proie à l'instant t

r_H = taux d'accroissement intrinsèque de la proie

p = efficacité du prédateur (0 < p < 1)

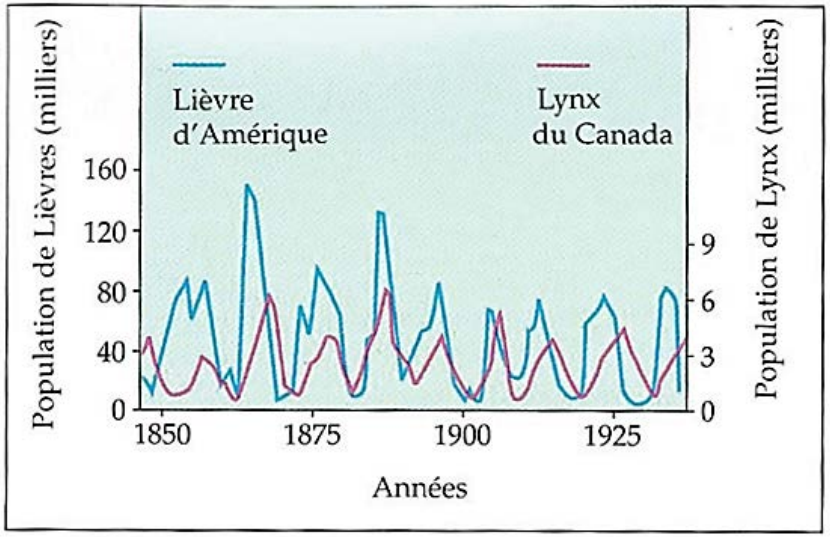
P= nombre de prédateur à l'instant t

Pour le prédateur P

$$\frac{dP}{dt} = apHP - d_p P$$

a = fraction de l'énergie convertie en « jeune » prédateur

d_P = taux de mortalité du prédateur



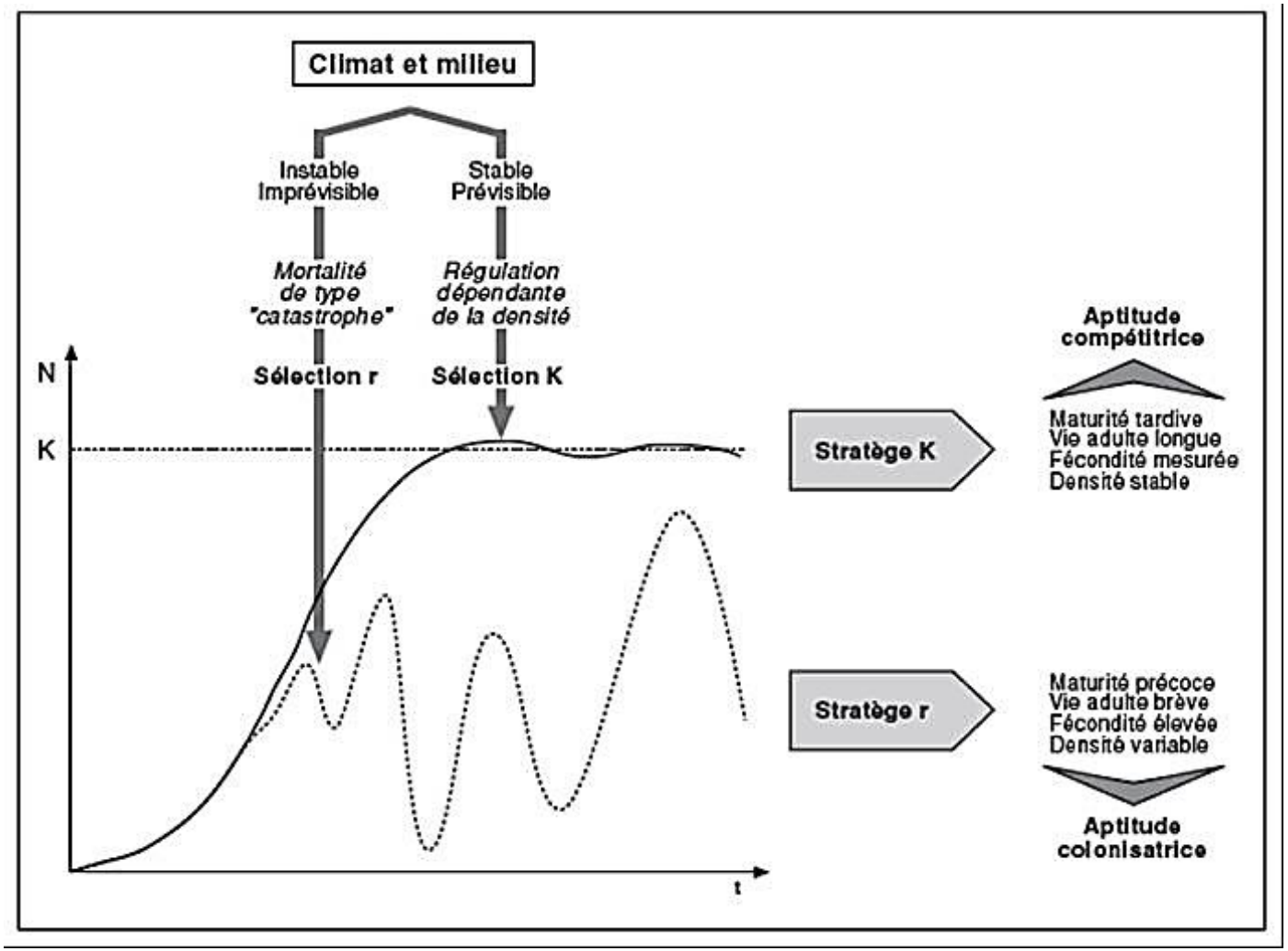
En bref

En absence de prédateurs, la croissance est déterminée par:

- **Un taux de survie** fonction des paramètres du milieu (facteurs indépendant de la densité)
- Une **fécondité** surtout limitée par la compétition intraspécifique (facteur dépendant de la densité).

Les interactions interspécifiques (prédation, parasitisme) agissent également sur la dynamique

Facteurs indépendant de la densité	Facteurs dépendant de la densité
Climat : • Lumière, Température • Humidité, Vent • Sol • Qualité de la nourriture	**Compétition intraspécifique :** • Quantité de nourriture • Surpopulation (Réduction de la fertilité) • Formation de territoires • Migrations • Cannibalisme
Ennemis non spécifiques : • Prédateurs préférant d'autres proies	**Ennemis spécifiques :** • Prédateurs • parasites
Maladies non contagieuses	**Maladies contagieuses**



Le compromis entre reproduction et croissance peut sélectionner deux stratégies extrêmes

Stratège r: forte fécondité et vie brève (taux d'accroissement fort -r-)

Stratège K: faible fécondité et vie longue (densité stable = la capacité limite du milieu -K-)

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

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

Paramètres démographiques	Mésange bleue *Cyanistes caeruleus*	Albatros hurleur *Diomeda exulans*
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

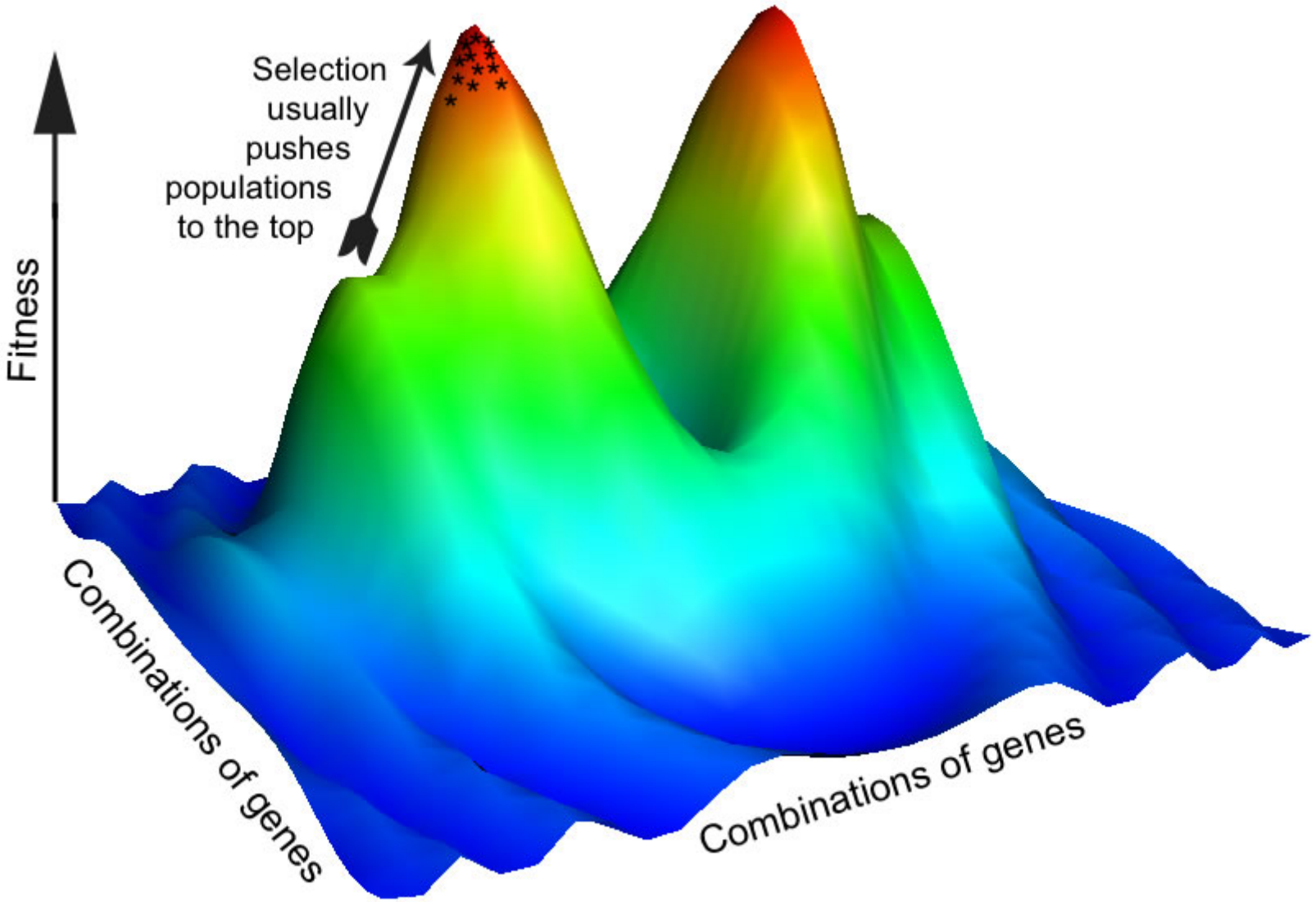
Vie brève
Forte mortalité
Forte fécondité
➔ Stratégie r

Vie longue
faible mortalité
faible fécondité
➔ Stratégie K

Quantifier la sélection naturelle

La sélection intervient lorsque des individus d'un phénotype donné génèrent un nombre de descendants qui dépasse celui qui est produit par des individus pourvus d'un autre phénotype. Les biologistes de l'évolution quantifient ce succès en matière de reproduction en comptant le nombre de descendants survivant au cours de la génération suivante, ce qu'ils appellent la valeur adaptative (fitness).
Il faut réaliser que ce concept est relatif ; le phénotype le mieux adapté est simplement celui qui produit en moyenne la progéniture la plus nombreuse.

En général la fréquence d'un phénotype
doté
d'une plus grande valeur adaptative
augmente


Selection
usually
pushes
populations
to the top
Fitness
Combinations of genes
Combinations of genes

Notion de niche écologique, contrainte et convergence
L'exemple de la convergence évolutive entre marsupiaux et euthériens

Exemple: le Loup, et le Thylacine (loup marsupial disparu en 1936)

Les facteurs sélectifs peuvent varier avec l'environnement, le cas de la drépanocytose et du paludisme

pourquoi, après de nombreuses générations, la population ne finit-elle pas par être composée uniquement d'individus dotés du phénotype dominant ?

Pour tout gène, la diversité génétique d'une population est appréhendée par sa composition génétique. Celle-ci est définie à trois niveaux, celui des phénotypes, avec les fréquences phénotypiques, celui des génotypes, avec les fréquences génotypiques, celui des allèles du gène, avec les fréquences alléliques.
Quand les phénotypes résultant de l'action d'un gène sont codominants, il est facile d'y associer les génotypes correspondants et d'en déduire directement les fréquences alléliques.

Quand des phénotypes sont récessifs et d'autres sont dominants, le calcul direct des fréquences alléliques est impossible puisqu'on ne peut pas distinguer, pour les phénotypes dominants, les individus homozygotes et les individus hétérozygotes.
Le recours au modèle de Hardy-Weinberg se révèlera alors fort utile. Dans tous les cas, le modèle de Hardy-Weinberg est le seul moyen d'accès à l'estimation des fréquences génotypiques quand on ne connaît que les fréquences alléliques.
L'étude de la diversité génétique au sein des populations conduit à l'estimation de deux paramètres : le degré de polymorphisme et le degré d'hétérozygotie.

Le polymorphisme et son maintien: le modèle de Hardy-Weinberg.

Un gène est un fragment d'ADN à un locus donné

Chez les organismes diploïdes, deux exemplaires d'un gène par individu

Allèle pouvant s'exprimer ou non dans le phénotype (dominance/récessivité des allèles)
Allèle présent en un ou deux exemplaires chez un individu ➔ hétérozygote ou homozygote.

Si un seul allèle existant dans la population ➔ allèle fixé
Si plusieurs allèles présents ➔ polymorphisme allélique

Cas d'un gène existant sous deux formes alléliques A et a

Fréquence allélique = fréquence de l'allèle dans la population

Déterminée à partir de la fréquence des génotypes = proportion des individus d'un génotype donné dans une population.

$$F(A) = F(AA) + \frac{1}{2} F(Aa) = p$$
$$F(a) = F(aa) + \frac{1}{2} F(Aa) = q$$
$$F(A) + F(a) = p + q = 1$$

➔ Étude des variations des fréquences alléliques dans une population = **génétique des populations**

Modèle de Hardy-Weinberg

5 hypothèses nécessaires à la construction de ce modèle

1 – Il n'y a **pas de mutation** des allèles dans la population.

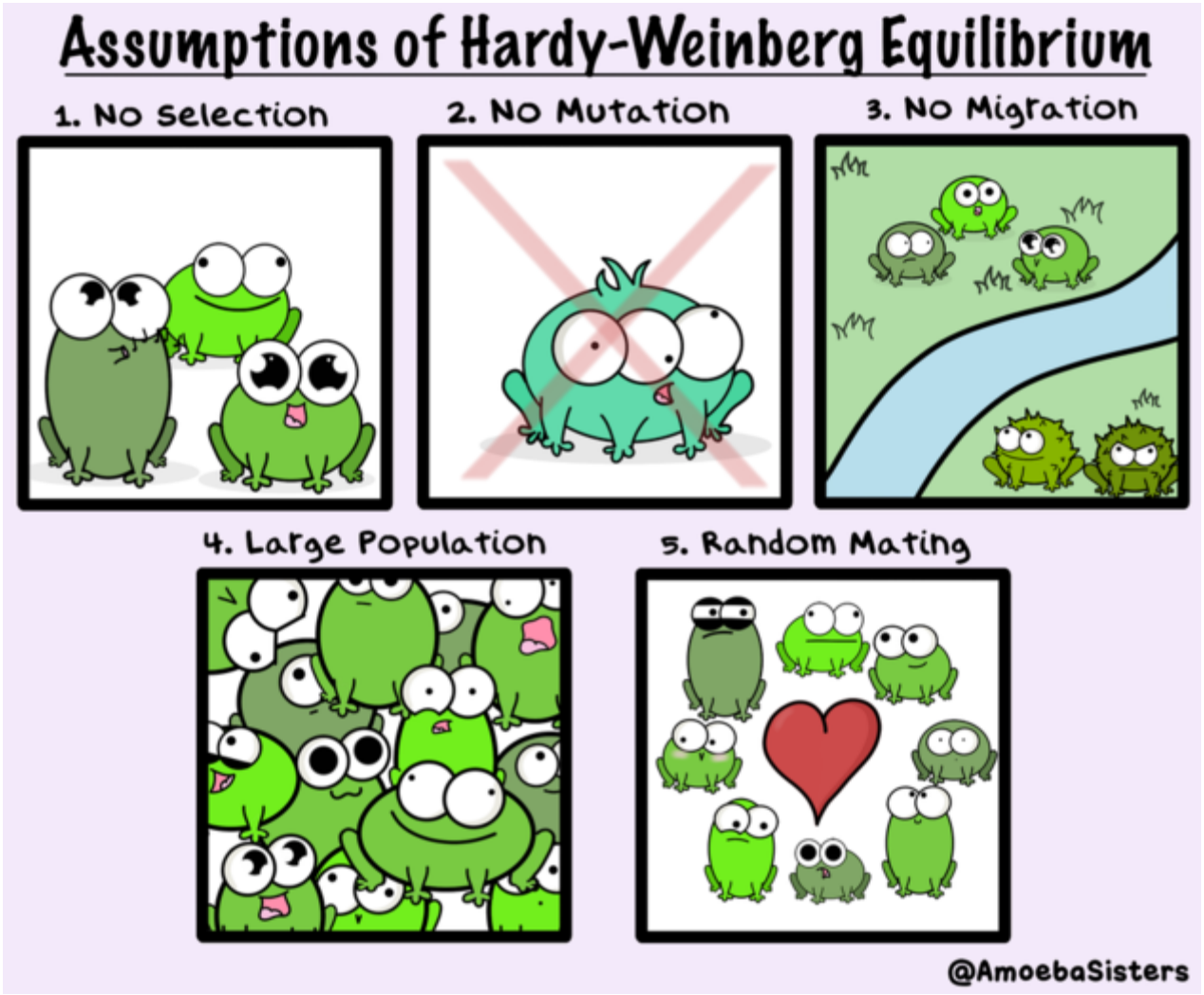
2 – Il y a reproduction sexuée et croisements aléatoires, individus hermaphrodites
= **panmixie**

3 – Il n'y a **pas de sélection naturelle** qui modifierait la fitness selon le génotype

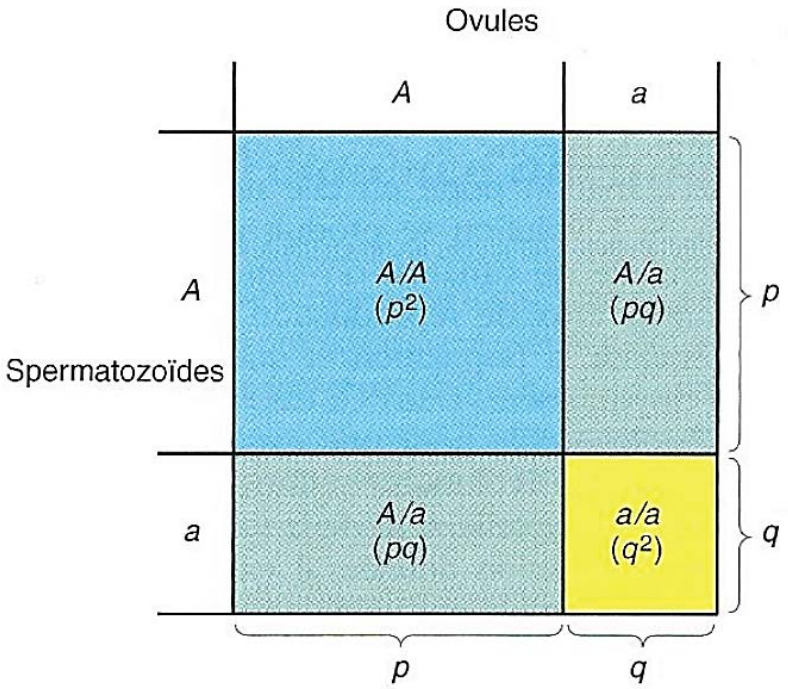
4 – La taille de la population est très grande donc **sans dérive génétique**
(**population « infinie »**)

5 – Il n'y a **pas de migrations** (population **fermée**)

Le modèle de Hardy-Weinberg évalue l'effet du brassage génétique seul
Modèle de référence ou « modèle nul » en statistique


Assumptions of Hardy-Weinberg Equilibrium
1. No Selection
2. No Mutation
3. No Migration
4. Large Population
5. Random Mating
@AmoebaSisters

Quelle sera la fréquence p’ et q’ à la génération suivante ?



Fréquence des gamètes A
= F(AA) + ½ (FAa) =p
Fréquence des gamètes a
= F(aa) + ½ (FAa) = q

À la génération suivante:

$p'=F'(A) = p^2 + 2pq/2$
$q'=F(a) = q^2 + 2pq/2$

Or p+q = 1

p'=p (p+q) = p
q'=q(p +q) = q

Les fréquences ne sont pas changées

Dans une population du modèle de Hardy-Weinberg , les fréquences alléliques ne se modifient pas au cours des générations et arrivent à un équilibre dès la première génération produite

Légitimité des conditions du modèle de Hardy-Weinberg

- Le modèle de Hardy-Weinberg est le modèle central de la génétique des populations.
- Pourtant le nombre et l'importance des conditions sous-jacentes devraient le faire apparaître comme un modèle théorique, abstrait et irréaliste. On sait bien que les mutations existent et sont la source de la variation génétique ayant permis la sélection et l'évolution.

Pourtant l'étude de la plupart des gènes dans les populations naturelles donne des résultats compatibles avec ce modèle. Comment expliquer ce paradoxe ?

Tout simplement par le fait que certaines des conditions peuvent parfaitement être réalisées et que les autres, bien qu'illégitimes, n'ont d'effet perceptible que sur une longue échelle de temps.

=> On peut donc les négliger sur l'espace de quelques générations.

Pour trouver des preuves de processus évolutifs, on peut recourir aux prévisions de Hardy-Weinberg

a. La cause ultime de diversité. Des mutations individuelles surviennent si rarement qu'elles ne suffisent généralement pas à changer nettement la fréquence des allèles.

b. Un facteur très puissant de changement. Les individus ou les gamètes se déplacent d'une population à une autre.

c. La consanguinité est la forme la plus courante. Elle ne modifie pas la fréquence des allèles, mais réduit la proportion des hétérozygotes.

d. Événements statistiques. La fluctuation aléatoire de la fréquence des allèles augmente avec la diminution de la taille de la population.

e. Le seul facteur qui produit des changements évolutifs adaptatifs.

Figure 20.4 **Cinq facteurs responsables de changements évolutifs.** (*a.*) Mutation, (*b.*) flux génique, (*c.*) accouplement non aléatoire, (*d.*) dérive génétique, (*e.*) sélection.

UNITÉ 1 Les limites du modèle théorique de Hardy-Weinberg

En 1908, Godfrey Harold Hardy et Wilhelm Weinberg proposent un modèle théorique qui prévoit la stabilité des fréquences relatives des allèles dans les populations eucaryotes à reproduction sexuée. Pourtant, l'exploration du génome des espèces actuelles révèle des déviations par rapport à la loi théorique.

Objectif

Montrer que les fréquences alléliques observées dans les populations naturelles ne correspondent pas à la prédiction du modèle théorique de Hardy-Weinberg.

L'équilibre théorique de Hardy-Weinberg

Si dans une population, il y a seulement 2 allèles pour un caractère donné, alors :

$$P^2 + 2PQ + Q^2 = 1$$

Fréquence du génotype homozygote dominant	Fréquence du génotype hétérozygote	Fréquence du génotype homozygote récessif

Corps sombre est dominant sur corps clair

Modéliser pour tester une cause possible d'écart entre le modèle théorique de Hardy-Weinberg et la réalité des fréquences observées

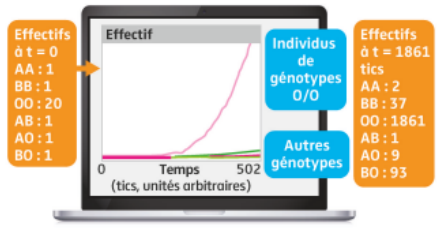
La répartition des groupes A, B et O chez les Indiens d'Amérique révèle une fréquence extrêmement élevée de l'allèle O. Pour expliquer la rareté des groupes A et B sur le continent Américain, les scientifiques supposent qu'un petit groupe d'*Homo Sapiens*, majoritairement de groupe O, a franchi le détroit de Béring il y a 15 000 ans.

Simuler l'effet de la migration d'un petit groupe d'*Homo sapiens*

Protocole

PRINCIPE

On dispose d'un modèle numérique de suivi des 6 génotypes relatifs aux groupes sanguins du système ABO. En faisant varier les proportions et le nombre de chaque sorte de génotype, on peut simuler les effets d'une migration sur les fréquences alléliques, et donc éprouver l'hypothèse des scientifiques.



▲ Un exemple de simulation (logiciel NetBioDyn).

5 Un aspect de l'histoire humaine lue dans les fréquences alléliques de ses populations.

UNITÉ 2 Les facteurs explicatifs de la différenciation génétique des populations

MISSION classe inversée

ORAL

Vous êtes élève au lycée. Votre enseignant vous propose d'identifier, à partir d'exemples concrets, des facteurs permettant d'expliquer l'écart entre les fréquences observées et celles prédites par le modèle de Hardy-Weinberg.

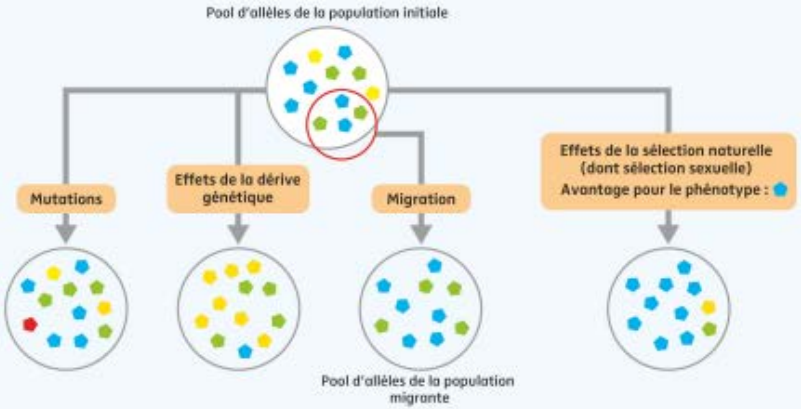
Pour chaque exemple, réalisez un pitch présentant le résultat de votre recherche.

Avant la classe : étudiez les informations scientifiques sur les causes d'écart entre le modèle théorique de Hardy-Weinberg et la réalité. Préparez d'éventuelles questions (compréhension, approfondissement) à poser au professeur.

Pendant la classe : participez par équipes à l'un des ateliers et menez la recherche proposée.

Connaissances à découvrir avant la classe

Dans les populations réelles, différents facteurs empêchent d'atteindre l'équilibre théorique de Hardy-Weinberg. Il peut s'agir de facteurs biotiques (c'est-à-dire liés aux interactions avec les autres êtres vivants) ou abiotiques (c'est-à-dire liés au milieu).

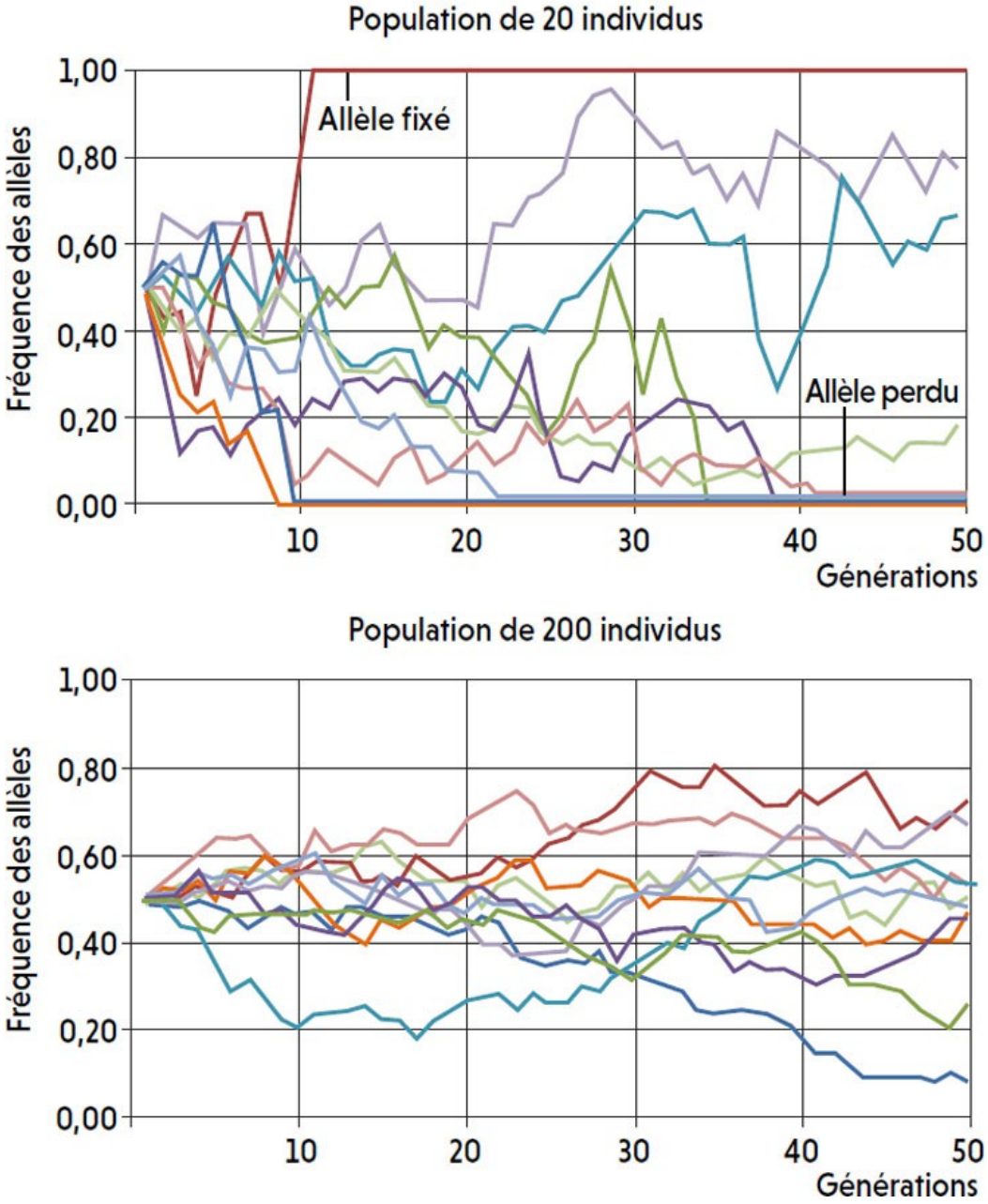


Atelier 1 Chez les Amish

Le syndrome d'Ellis van Creveld est une maladie génétique grave.
Dans la population Amish de Pennsylvanie, cette maladie touche 7 % de la population, alors qu'elle est rarissime dans le reste du monde. Une étude génétique a démontré que la mutation en cause est la même dans toutes les familles Amish touchées.

1 Les Amish : des sujets d'étude intéressants pour les généticiens.

La sélection peut être aléatoire et dépendre des facteurs de la populations


Population de 20 individus
Fréquence des allèles
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
Allèle fixé
Allèle perdu
10
20
30
40
50
Générations
Population de 200 individus
Fréquence des allèles
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
10
20
30
40
50
Générations

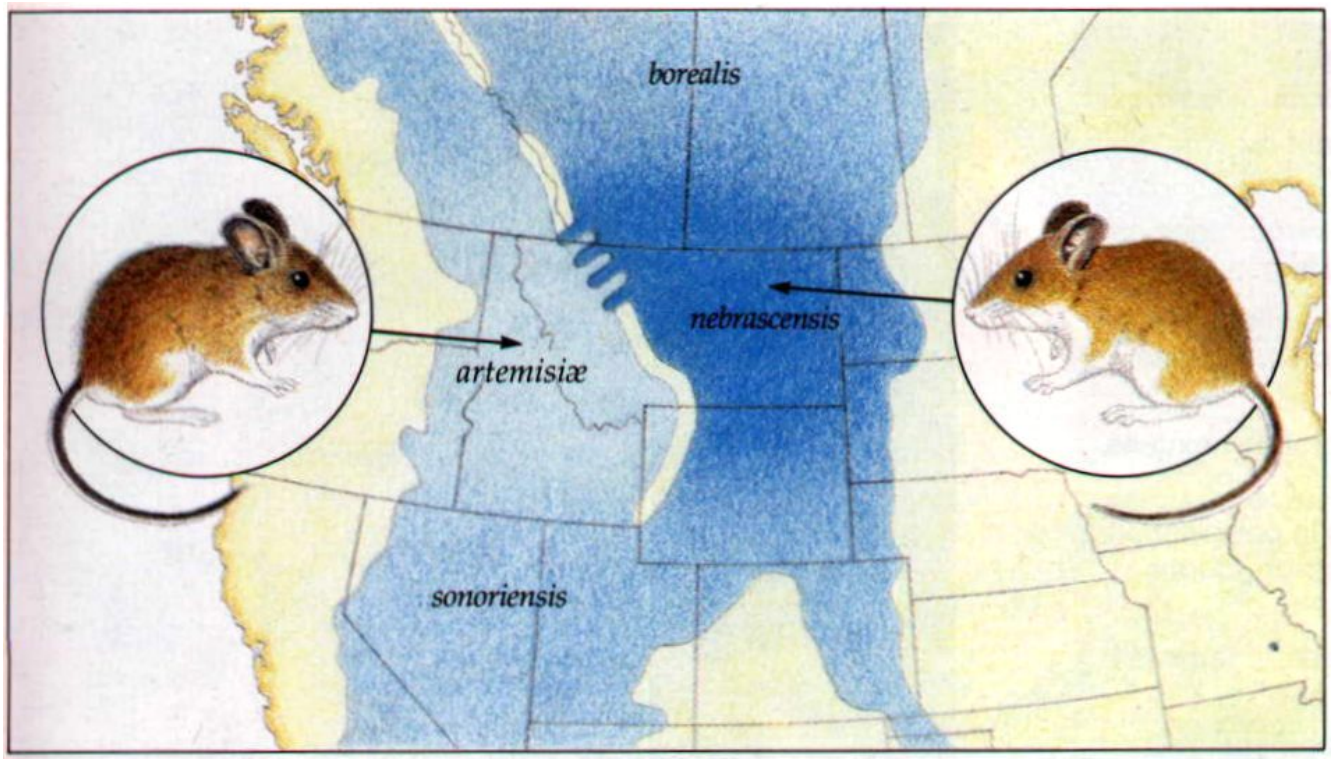
Des idées à revoir:

La notion d'espèce et la notion d'émergence d'une nouvelle espèce

Peut-on parler d'apparition d'une espèce lorsque l'on est dans un processus continu

Comment les nouvelles espèces peuvent-elles « émerger »

Si la sélection affecte les individus, elle est effective sur les populations



Coévoluer pour survivre

Au cours des âges, de nombreuses espèces se sont irrémédiablement liées. Que ce soit dans le cadre d'une course aux armements ou d'une coopération pour la conquête de nouveaux écosystèmes, elles n'ont alors d'autre choix que d'évoluer ensemble…

Propos recueillis par Guillaume Jacquemont.

Jean-François SILVAIN
est directeur de l'unité de recherche « Biodiversité et évolution des complexes plantes-insectes ravageurs-antagonistes » à l'Institut de recherche pour le développement, et président du Conseil scientifique de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité.

Qu'est-ce que la coévolution ?

J.-F. Silvain : Comme son nom l'indique, la coévolution implique une histoire évolutive commune. Qu'entend-on par là ? Selon Paul Ehrlich et Peter Raven, qui ont introduit le terme en 1964, « La coévolution est l'évolution de deux ou plusieurs entités provoquée par l'action entre ces entités de facteurs sélectifs réciproques. » Il faut donc que les organismes s'influencent mutuellement. Attention à ne pas confondre avec les nombreux cas où l'influence n'est que dans un sens, comme lorsqu'un insecte s'adapte *a posteriori* à une plante. Nous définissons un certain nombre de critères pour valider une hypothèse de groupes peuvent ainsi s'influencer mutuellement, comme ceux des plantes à fleurs et des insectes holométaboles (passant par des phases de métamorphose complète), qui comptent plusieurs centaines de milliers d'espèces chacun. Leurs diversifications sont-elles liées ? Des études indiquent que celle des plantes à fleurs a favorisé celle des insectes, mais la réciproque reste à démontrer.

Darwin a-t-il évoqué ce phénomène ?

J.-F. Silvain : Même s'il n'est pas l'inventeur du terme, on considère que Darwin est à l'origine de l'idée de coévolution, de 40 ans après, on a effectivement découvert un papillon sphinx présentant cette particularité morphologique.

Quelles formes peut prendre une coévolution ?

J.-F. Silvain : Certaines coévolutions se mettent en place dans le cadre de symbioses, c'est-à-dire d'associations durables et réciproquement profitables entre deux organismes vivants. Cela peut permettre par exemple l'exploitation d'une nouvelle niche écologique. Certaines moules vivent ainsi dans des écosystèmes nommés « suintements froids », situés dans les profondeurs océaniques et caractérisés par la présence de bactéries capables de transformer le méthane en énergie. Ces bactéries sont hébergées par les moules, qui leur fournissent en échange un milieu de vie et des nutriments. Mais on peut aussi parler de coévolution dans le cadre d'une course aux armements, comme celle qui existe entre les guêpes parasitoïdes et les chenilles. Les guêpes pondent leurs œufs dans les chenilles des papillons. Le jeu consiste pour la chenille à empêcher le développement des œufs par des réactions de type immunitaire, et pour la guêpe à contourner ces défenses. De tels processus évolutifs sont complexes, car ils font parfois intervenir d'autres acteurs, comme des virus de la guêpe ; apparaît alors une coévolution à trois acteurs.

L'homme a-t-il coévolué avec les animaux et les végétaux qu'il a domestiqués ?

J.-F. Silvain : On peut penser qu'il y a eu des interactions de type coévolutif entre

Revenons à la coévolution plantes-insectes…

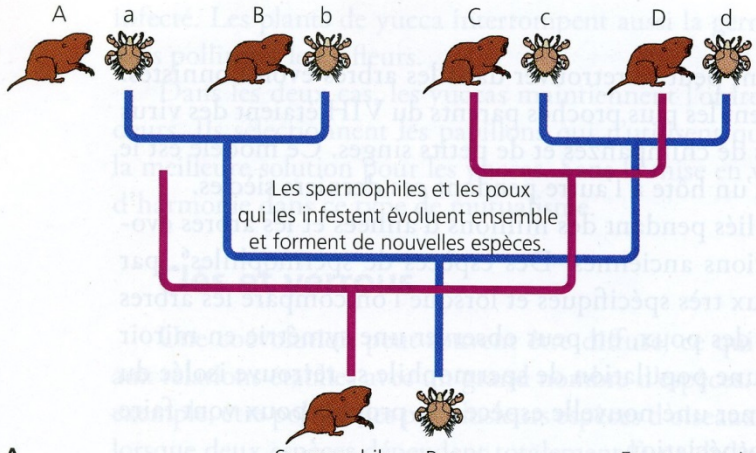
J.-F. Silvain : Ces phénomènes sont anciens. Les insectes sont présents sur terre depuis environ 400 millions d'années, et les premières plantes terrestres depuis 450 millions d'années. Signalons toutefois que les faunes et les flores ont beaucoup varié, en raison des cinq phases d'extinctions massives qu'a connues notre planète. La dernière datant de la fin du Permien (il y a 250 millions d'années), les faunes entomologiques et les flores modernes se sont mises en place à partir de cette époque, avec une grande diversification au Crétacé (il y a 130 millions

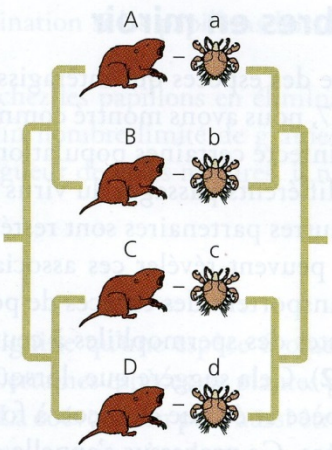
Une telle spécificité n'entraîne-t-elle pas une certaine fragilité ?

J.-F. Silvain : Il faut se demander si la spécialisation est un cul-de-sac évolutif. Autrement dit, les espèces qui ont développé de telles relations exclusives sont-elles capables de redevenir plus généralistes en cas de défaillance de leur partenaire (par exemple si une maladie décime la plante) ? La réponse n'est pas univoque, et des travaux montrent que certains insectes dont la nourriture est basée sur une seule plante peuvent, si celle-ci vient à manquer, rediversifier leur alimentation.

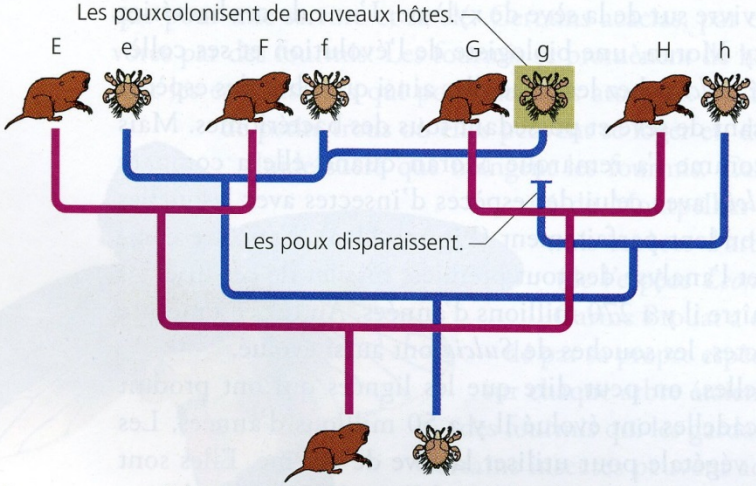
Pour étudier les menaces réelles, il faut prendre en compte les effectifs des popu-

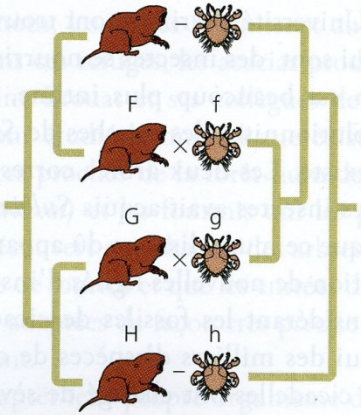
Des coévolutions





En reconstruisant la phylogénie des spermophiles et de leurs poux, les chercheurs peuvent mettre en évidence la cospéciation.





Très souvent, les partenaires coévolutionnistes ne cospécifient pas parfaitement et les espèces partenaires peuvent disparaître ou évoluer comme partenaires d'autres espèces.

Les extinctions et la colonisation d'hôtes peuvent créer des déséquilibres phylogéniques.

(A) Au fur et à mesure qu'un spermophile se divise pour former une nouvelle espèce, le pou qui l'infecte en fait autant. Ce type de cospéciation est enregistré dans l'arbre évolutionniste du parasite et de son hôte. **(B)** Le pou parasite d'une espèce de spermophile G s'éteint et certains poux de l'espèce f les colonisent. Cette extinction et ce saut entre espèces interrompent la symétrie en miroir de l'arbre évolutionniste.

3- Hérédité, génome et Evolution

C’est la variabilité génétique qui est à la base de l’évolution, et non la sélection naturelle.

Mutation ponctuelle

T G C A T T G C G T A G G C

↓

T G C A T T C C G T A G G C

Insertion

T G C A T T T A G G C

T G C A T T C C G T A G G C

C C G

Délétion

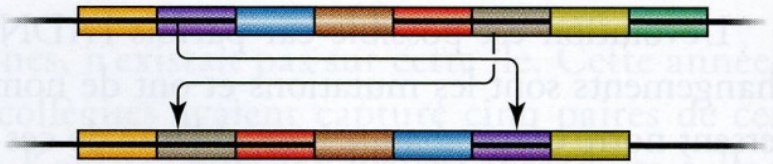
T G C A T T C C G T A G G C

↓

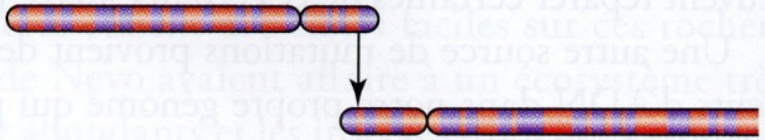
T G C A T T T A G G C

Duplication d'un gène

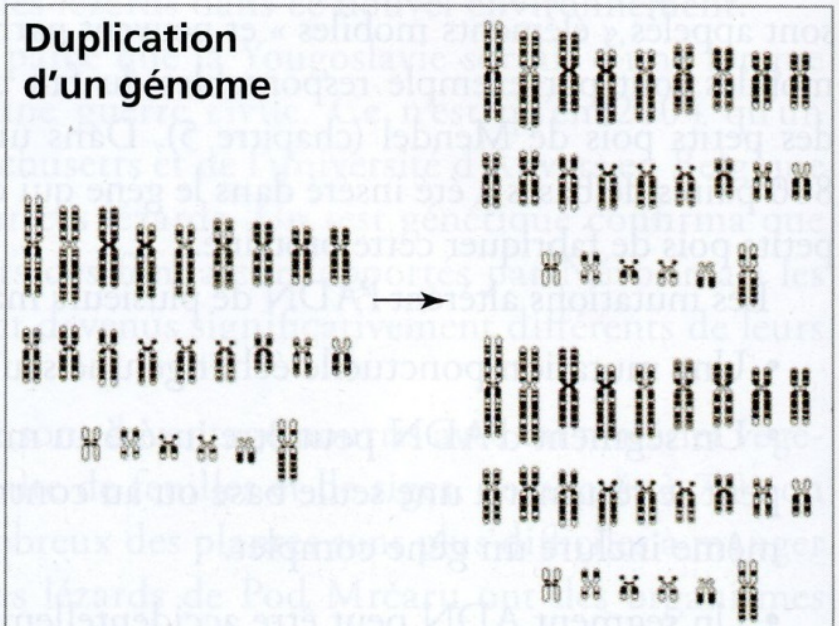
Inversion



Fusion chromosomique

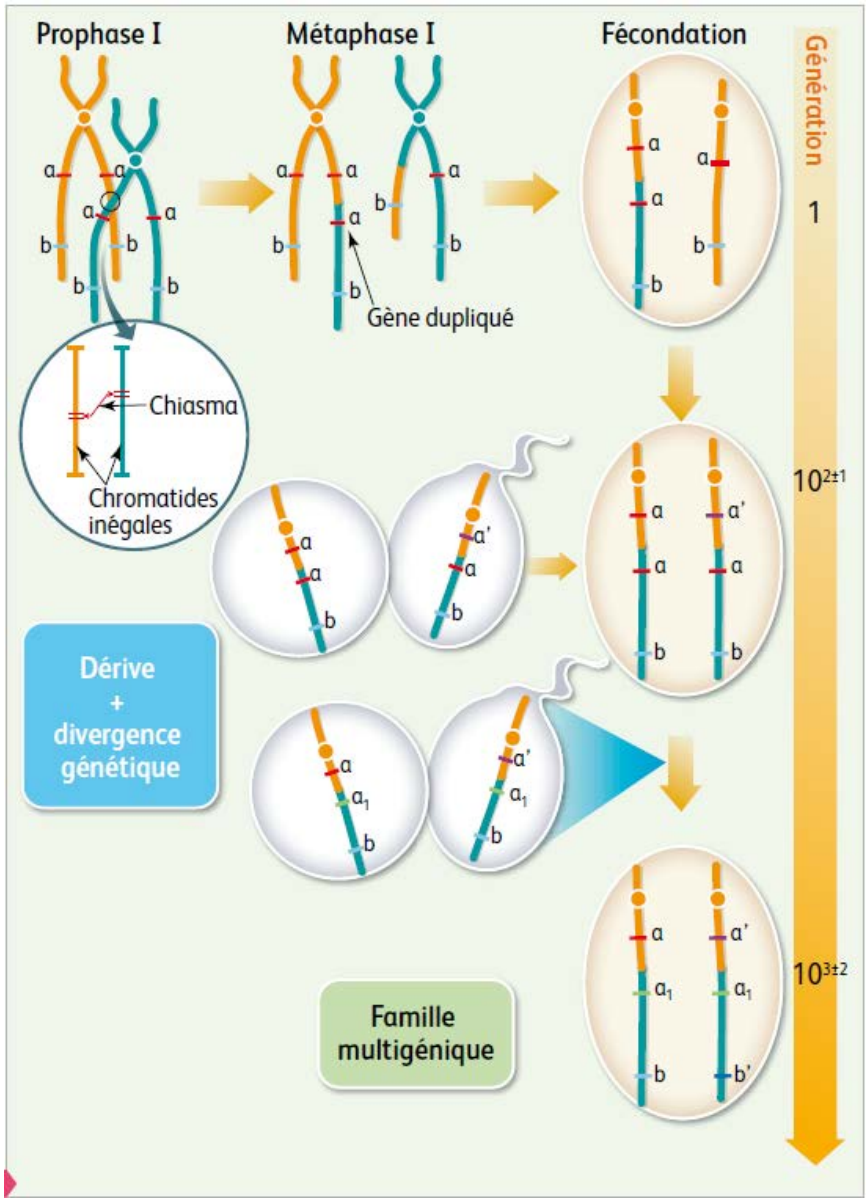


Duplication d'un génome



L'ADN peut faire l'objet de plusieurs sortes de mutations dont cette figure montre quelques exemples.

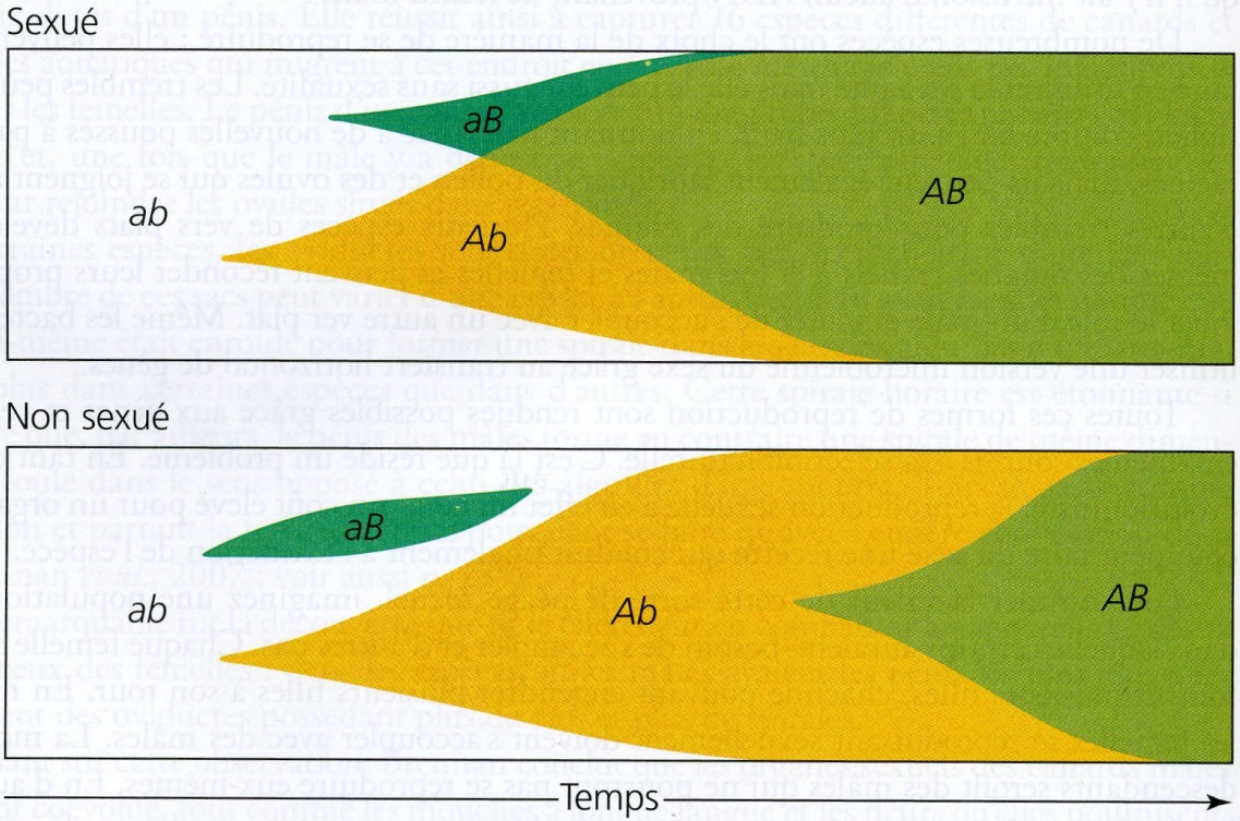
Duplication et évolution



Les duplications sont souvent des anomalies de méiose (crossing-over inégal).

Expliquent l'apparition des familles multigéniques au cours de l'évolution (duplication + mutations indépendantes des copies).

➔ Les mutations chromosomiques n'ont pas que des conséquences néfastes.



L'hypothèse qui permet d'expliquer la persistance du sexe est basée sur la capacité à confectionner de nouveaux génotypes. Cette figure montre une population sexuée (en haut) et une population non sexuée (en bas). Chacune de ces deux populations commence avec un seul allèle *a* pour l'un des gènes et un autre allèle *b* pour l'autre gène. Avec le temps, une mutation survient qui transformera l'allèle *a* en allèle *A* chez un individu donné. Cette mutation est bénéfique et elle est donc transmise aux descendants chez qui A devient de plus en plus fréquent (en jaune). En même temps, un autre individu acquiert une autre mutation bénéfique et b devient β (en vert foncé). Dans une population sexuée, les individus aβ et Ab peuvent s'accoupler et engendrent une descendance avec le génotype Aβ (vert clair) qui possèdera donc éventuellement une *fitness* (capacité reproductive) plus élevée. En même temps, dans une population non sexuée, il faut plus de temps pour que le génotype Aβ apparaisse parce que chaque gène doit muter dans la même lignée.

Les syncytines

Des protéines d'enveloppe rétrovirales capturées au profit du développement placentaire

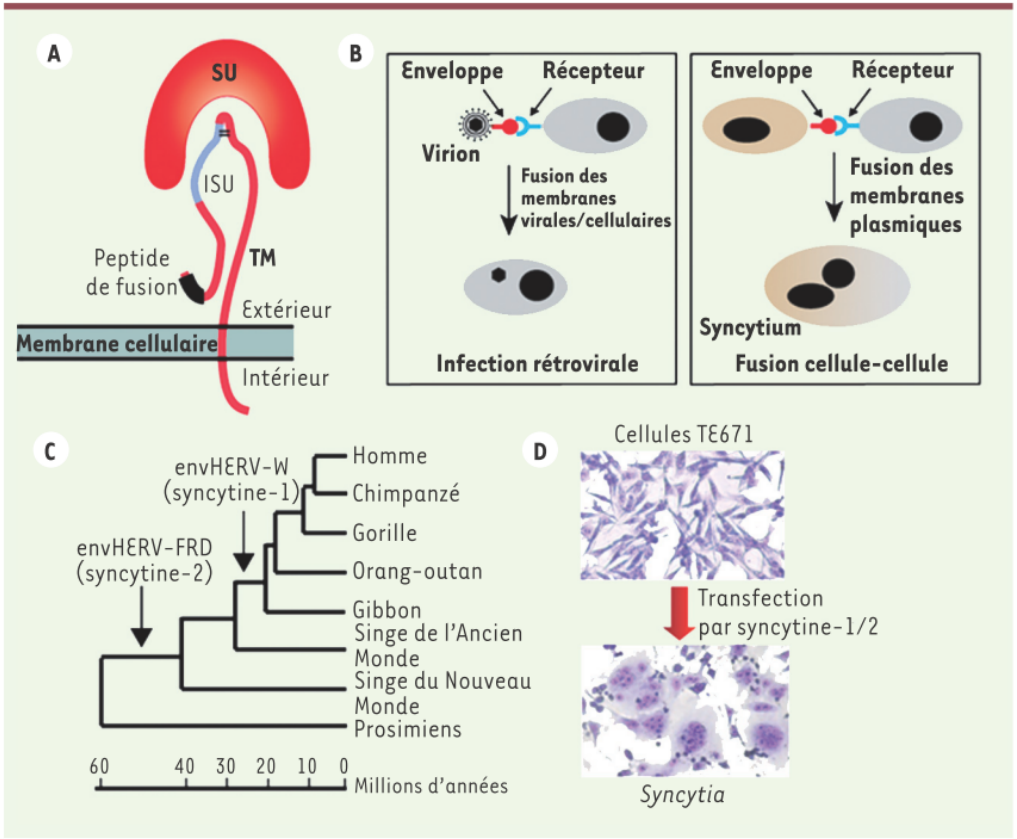
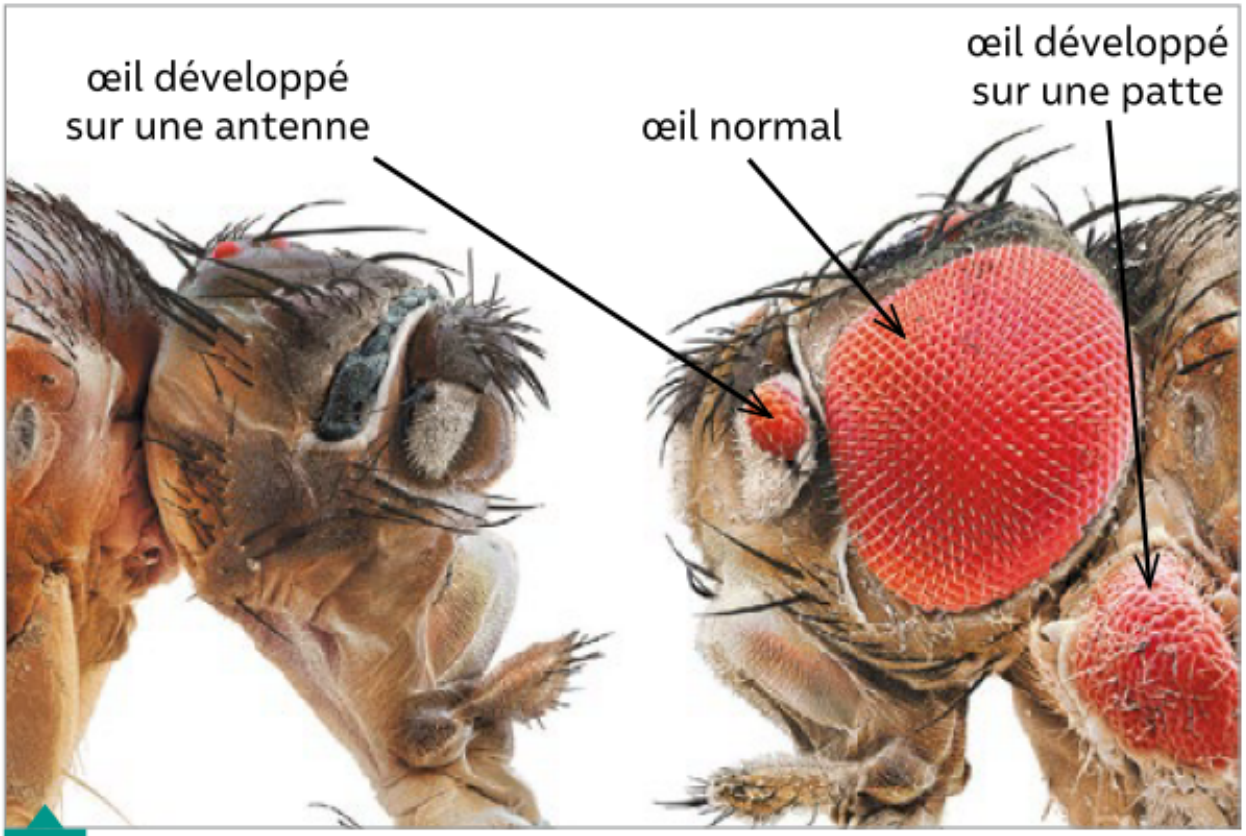


Figure 1. ***Caractéristiques des syncytines-1 et -2, deux protéines d'enveloppe d'origine rétrovirale acquises par le génome primate.*** ***A.*** Représentation schématique de la protéine d'enveloppe rétrovirale, avec les deux sous-unités de surface (SU) et transmembranaire (TM), son peptide de fusion et son domaine immunosuppresseur (ISU). ***B.*** Conséquences de l'interaction entre un récepteur cellulaire et une protéine d'enveloppe présente à la surface d'un virion (cycle rétroviral infectieux) ou d'une cellule (expression par un rétrovirus intégré/introduction par transfection). ***C.*** Arbre phylogénétique de l'évolution des primates, les flèches indiquant la date d'acquisition des deux syncytines humaines. ***D.*** Fusion cellule-cellule médiée par le gène syncytine-1 ou -2 introduit par transfection dans des cellules humaines TE671 en culture. Les cellules ont été colorées par le May-Grünwald-Giemsa 48 heures après transfection.

Evo-dévo: la révolution des gènes du développement



4 Rôle du gène *PAX6* dans la formation de l'œil

Des chercheurs ont inactivé le gène *PAX6* lors du développement de la drosophile de gauche. Au contraire, la drosophile de droite a subi une stimulation de l'expression du gène *PAX6* dans les cellules à l'origine des pattes et antennes lors de son développement. Ce type de drosophile peut aussi être obtenu en insérant le gène *PAX6* de souris dans leurs cellules, signe que *PAX6* a un rôle semblable chez les insectes et les mammifères, bien que leurs yeux soient différents.

Enseignement scientifique, terminale, Editions Nathan 2020

La **régulation** des gènes, moteur de l'évolution

Des séquences d'ADN régulatrices, qui commandent où et quand les gènes sont activés, ont joué un rôle majeur dans la création de la diversité des formes animales.

Sean CARROLL
est chercheur à l'Institut médical Howard Hughes et professeur de biologie moléculaire et de génétique de l'Université du Wisconsin, à Madison, aux États-Unis.

Benjamin PRUD'HOMME et Nicolas GOMPEL
sont chercheurs à l'Institut de biologie du développement de Marseille-Luminy (IBDML).

L'ESSENTIEL

➥ Contrairement à ce que les biologistes pensaient il y a une dizaine d'années, des espèces animales très différentes ont des gènes très similaires.

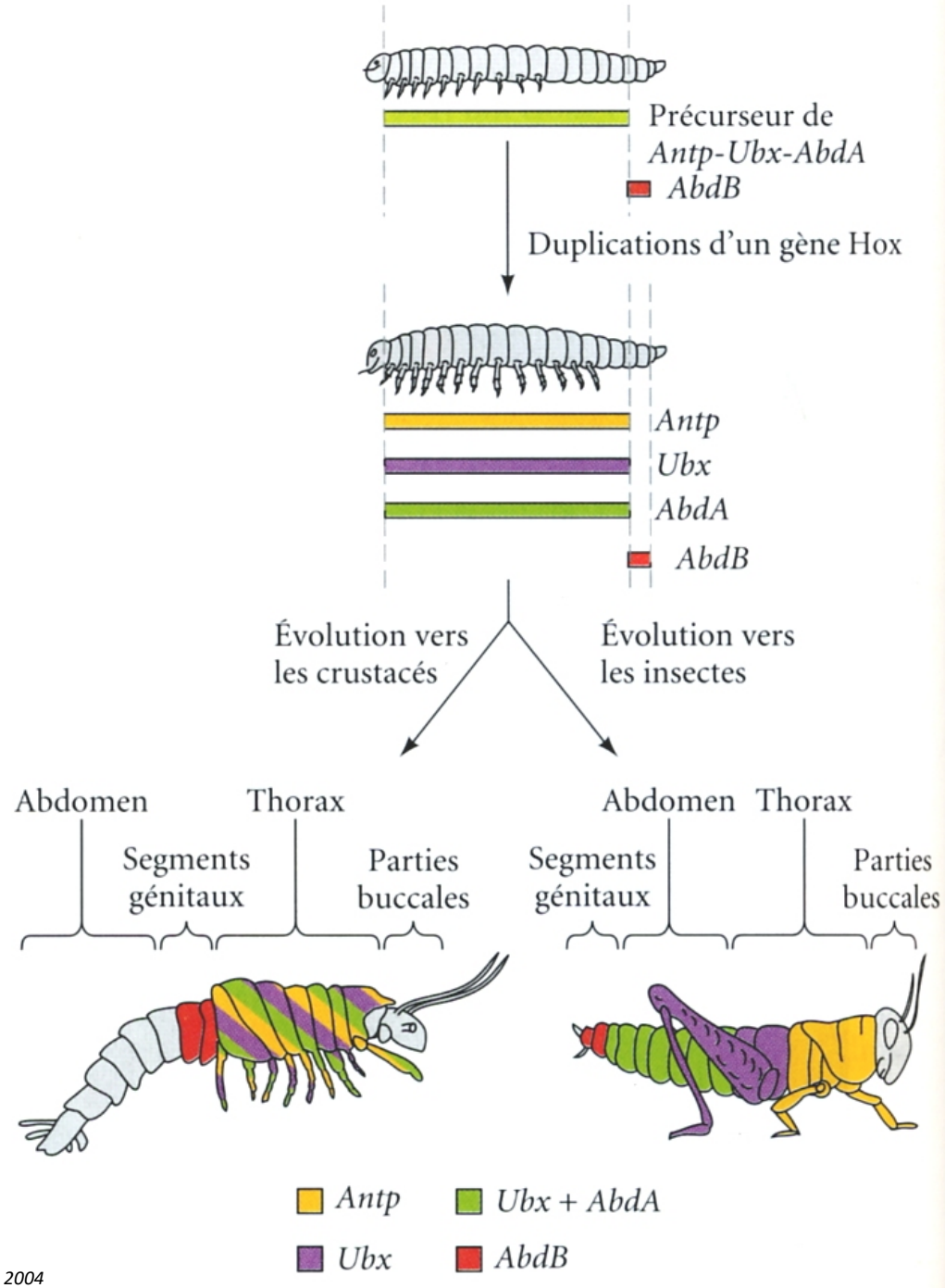
À première vue, on pourrait se croire dans un zoo. Il y a là un éléphant, un tatou, un opossum, un dauphin, un paresseux, un hérisson, de grandes et de petites chauves-souris, un couple de musaraignes, quelques poissons, un macaque, un orang-outang, un chimpanzé et un gorille, pour ne citer que quelques espèces parmi les plus familières. En réalité, cette ménagerie ne ressemble à aucun autre zoo : pas de cages à l'horizon, aucun marchand de glace et, à dire vrai, pas le moindre animal. Nous sommes dans un zoo « virtuel » qui regroupe des séquences d'ADN, les centaines de millions de lettres du code ADN qui composent la « recette » génétique de chacune de ces espèces.

Les visiteurs les plus intéressés de ce zoo moléculaire sont les biologistes de l'évolution. Depuis le XIXe siècle, ils cherchent à comprendre comment est apparue l'extraordinaire diversité des formes de vie. Nous savons depuis un demi-siècle que les changements des caractères physiques – de la couleur de la peau à la taille du cerveau – ont pour origine des modifications de l'ADN. Cependant, déterminer protéines. Puisque ce sont les protéines qui orchestrent le fonctionnement et la différenciation des cellules et façonnent les organes au cours du développement, l'évolution des formes devait résulter de modifications des protéines, elles-mêmes causées par des changements dans les séquences codantes des gènes. Cependant, à la surprise générale, des études ont révélé que les différences morphologiques entre espèces sont principalement dues à des modifications de séquences particulières d'ADN, des « commutateurs » génétiques, qui ne codent aucune protéine, mais qui régulent où et quand les gènes sont exprimés. Cette découverte éclaire d'un jour nouveau la façon dont l'apparente infinité de formes a évolué dans le règne animal.

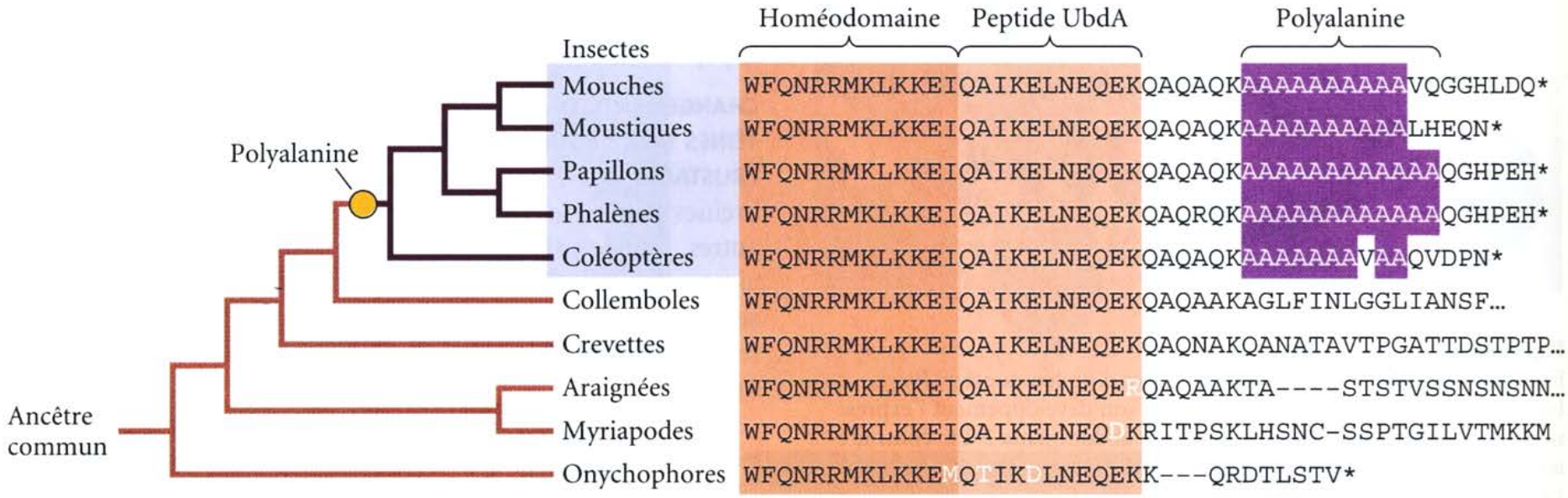
Le paradoxe des séquences codantes

On s'attendrait à ce que des animaux très différents morphologiquement aient peu de points communs dans leurs génomes. Les apparences sont trompeuses : leurs répertoires de gènes sont en réalité très similaires. Par exemple, ceux de mammi-

« CE POURRAIENT ÊTRE des lézards, de petits oiseaux ou même des mammifères », déclarait en 1828 le biologiste Karl Ernst Von Baer, à propos d'embryons qu'il avait oubliés d'étiqueter (*ci-contre*, un embryon humain de sept semaines). Comment des embryons si ressemblants

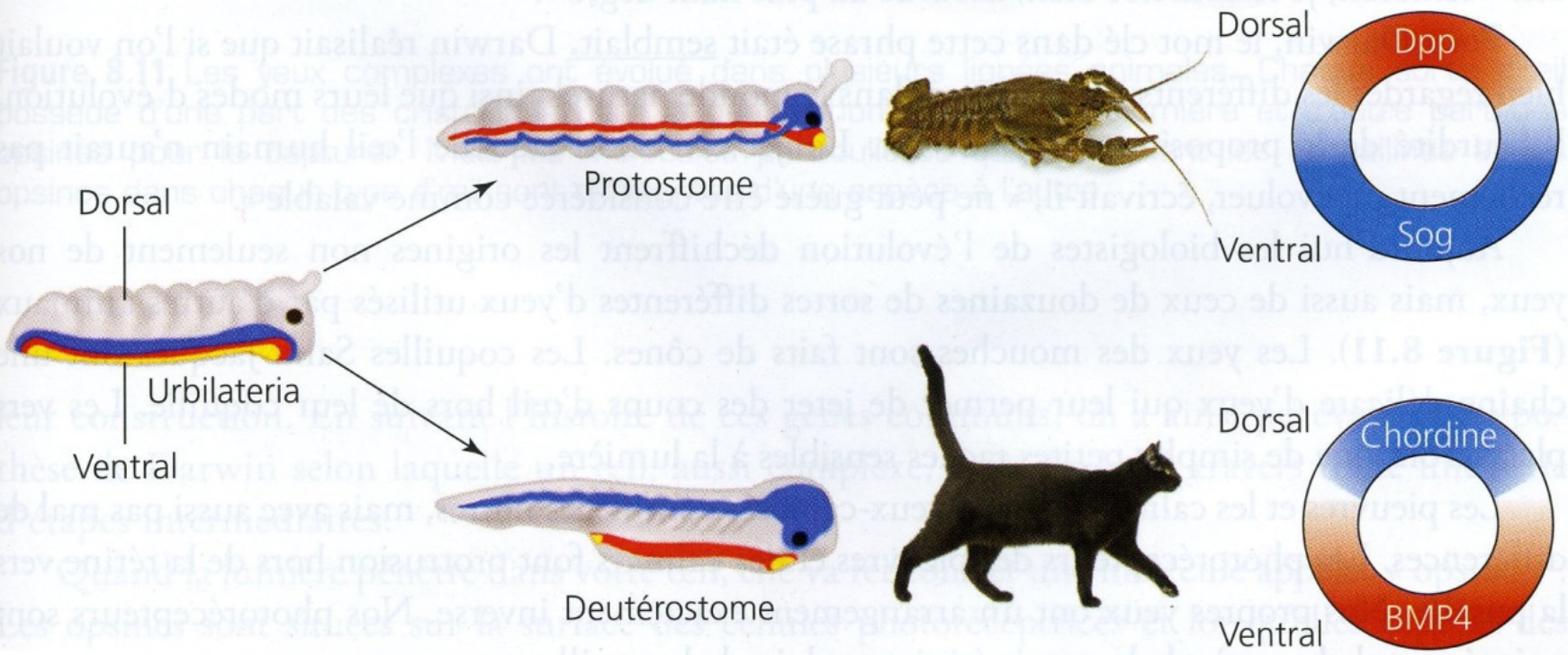


Biologie du développement, S. GILBERT de Boeck 2004

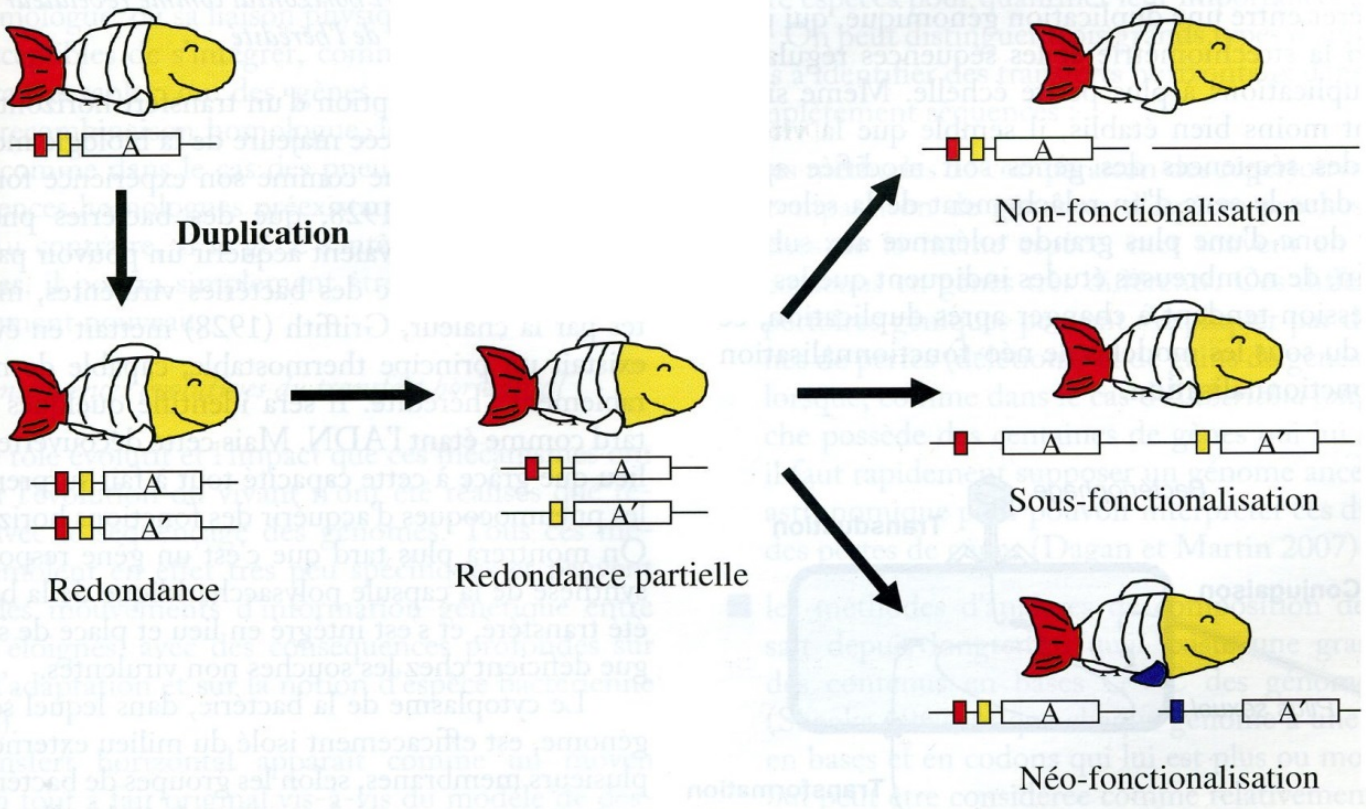


Un changement affectant la protéine Ultrabithorax est associé à l'apparition du clade des insectes lors de l'évolution des arthropodes. Seule la version d'Ubx propre aux insectes est capable de réprimer le gène *Distal-less*, empêchant ainsi la formation de pattes abdominales. Cet effet répresseur est dû à une mutation, particulière aux insectes, du gène Ubx

Biologie du développement, S. GILBERT de Boeck 2004



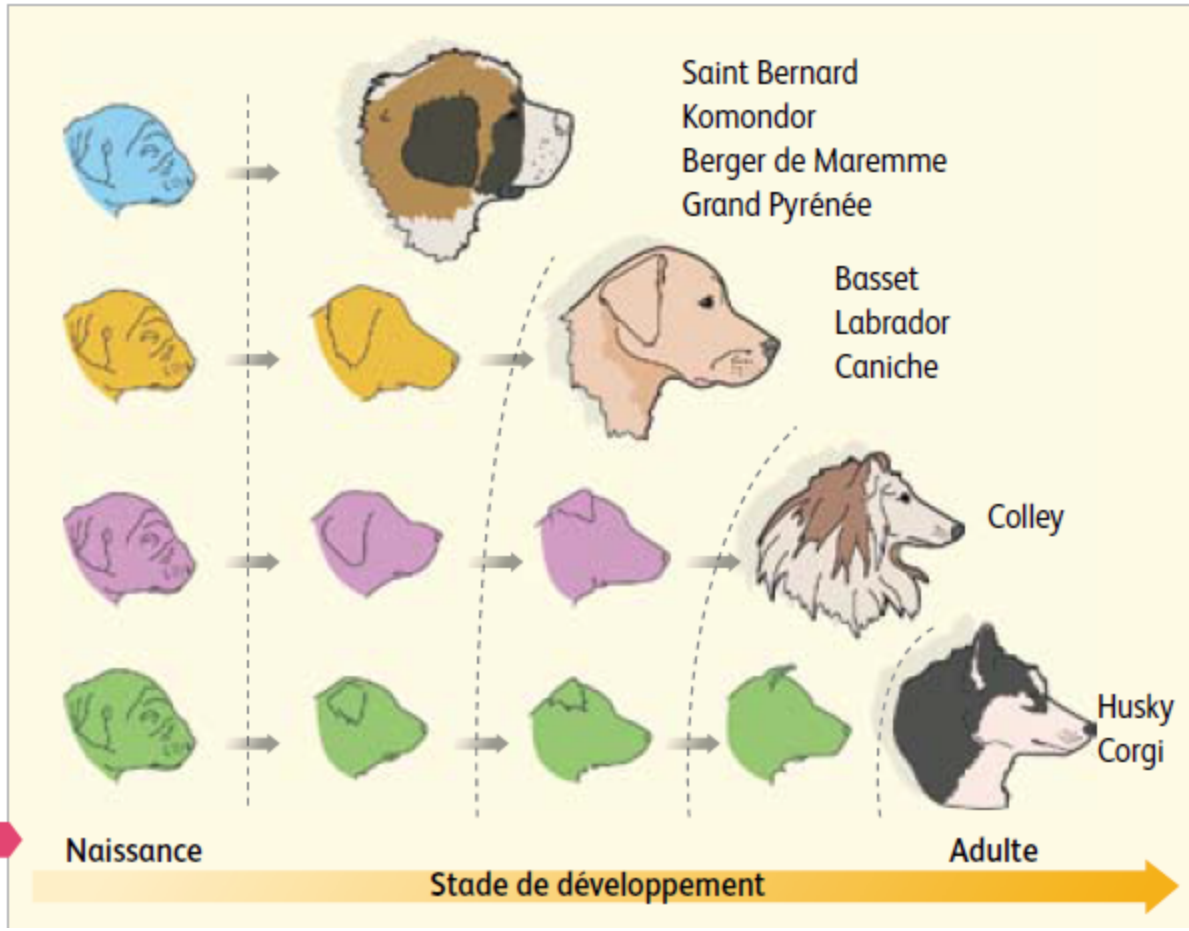
Chez les vertébrés, le tube digestif est ventral et le cordon spinal est dorsal. Les insectes et beaucoup d'invertébrés ont un arrangement inverse, mais ils utilisent des gènes homologues pour indiquer à quel endroit ces structures doivent se développer (d'après DeRobertis, 2008).



Modèles d'évolution de la fonction des gènes après duplication. Les blocs blancs représentent les régions transcrites des gènes, les petits blocs colorés représentent des modules dans les promoteurs et les couleurs sur le poisson (tête, queue, nageoire) représentent les patrons d'expression des gènes, déterminés par ces modules.

3 Des modifications de chronologie du développement

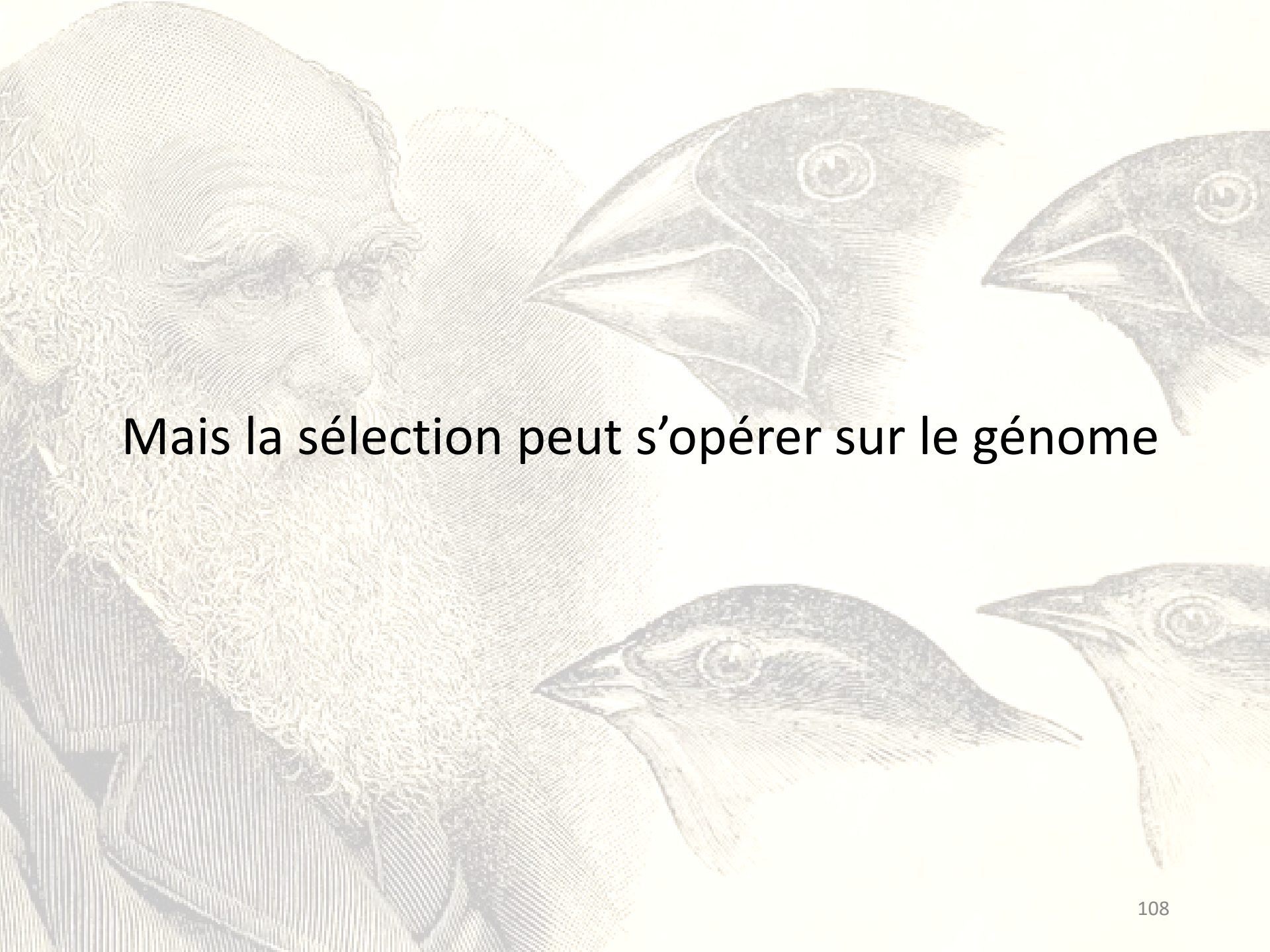
- Il existe actuellement plus de 400 variétés ou « races » de chiens. Bien que morphologiquement très divers, tous sont potentiellement capables de se reproduire avec une autre variété, et les analyses moléculaires montrent que les différences génétiques sont très faibles entre les variétés.
- Des études se sont intéressées à la morphologie du crâne, et notamment du museau, au cours du développement post-embryonnaire de différents chiens.
- Des variations dans la morphologie du squelette résulteraient de modifications dans la durée ou dans l'intensité de l'expression de gènes impliqués dans le développement.



Comparaison de la taille du museau chez quelques races de chiens au cours du développement

TABLEAU 23.1 Gènes de contrôle du développement, communs aux protostomes et aux deutérostomes

Gène	Fonction	Distribution
Groupe *achaete-scute*	Spécification du sort des cellules	Cnidaires, drosophile, vertébrés
Bcl2/Drob-1/ced9	Apoptose	Drosophile, nématodes, vertébrés
Caudal	Différenciation de structures postérieures	Drosophile, vertébrés
delta/Xdelta-1	Neurogenèse primaire	Drosophile, Xénope
Distal-less/DLX	Formation des appendices (axe proximo-distal)	Nombreux phylums, protostomes et deutérostomes
Dorsal/NFκB	Réponse immunitaire	Drosophile, vertébrés
forkhead/Fox	Différenciation terminale	Drosophile, vertébrés
Fringe/radical fringe	Formation du bord du membre (crête ectodermique apicale des vertébrés)	Drosophile, poulet
Hac-1/Apaf/ced 4	Apoptose	Drosophile, nématodes, vertébrés
Complexe Hox	Polarité antéro-postérieure	Ubiquitaire chez les métazoaires
lin-12/Notch	Spécification du sort des cellules	*C. elegans*, Drosophile, vertébrés
Otx-1, *Otx-2/Otd*, *Emx-1*, *Emx-2/ems*	Définition de structures antérieures, céphalisation	Drosophile, vertébrés
Pax6/eyeless; Eyes absent/eya	Système nerveux central antérieur, œil	Drosophile, vertébrés
Groupe Polycomb	Contrôle des gènes Hox/ différenciation cellulaire	Drosophile, vertébrés
Nétrine, protéines Split et leurs récepteurs	Guidage des axones	Drosophile, vertébrés
RAS	Transduction de signaux	Drosophile, vertébrés
sine occulis/Six3	Système nerveux antérieur, œil	Drosophile, vertébrés
sog/chordine, *dpp/BMP4*	Polarité dorso-ventrale, neurogenèse	Drosophile, Xénope
tinman/Nkx 2-5	Cœur, système circulatoire	Drosophile, souris
vnd, msh	Organisation du tube neural	Drosophile, vertébrés



Mais la sélection peut s’opérer sur le génome

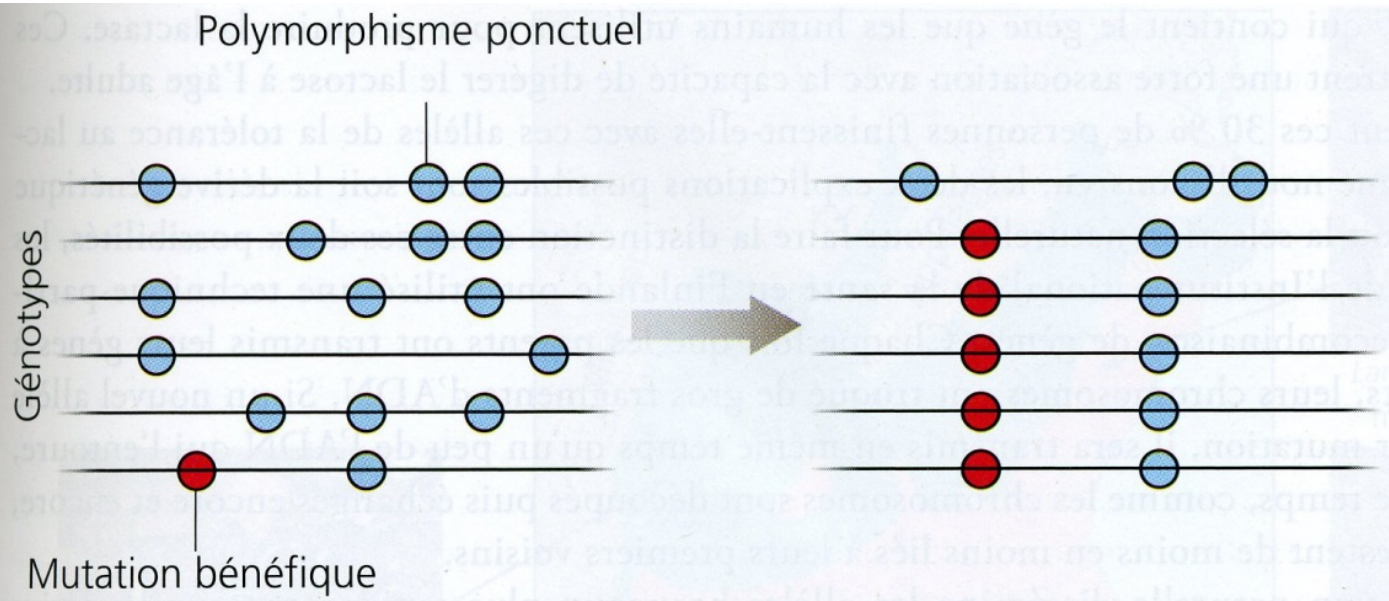


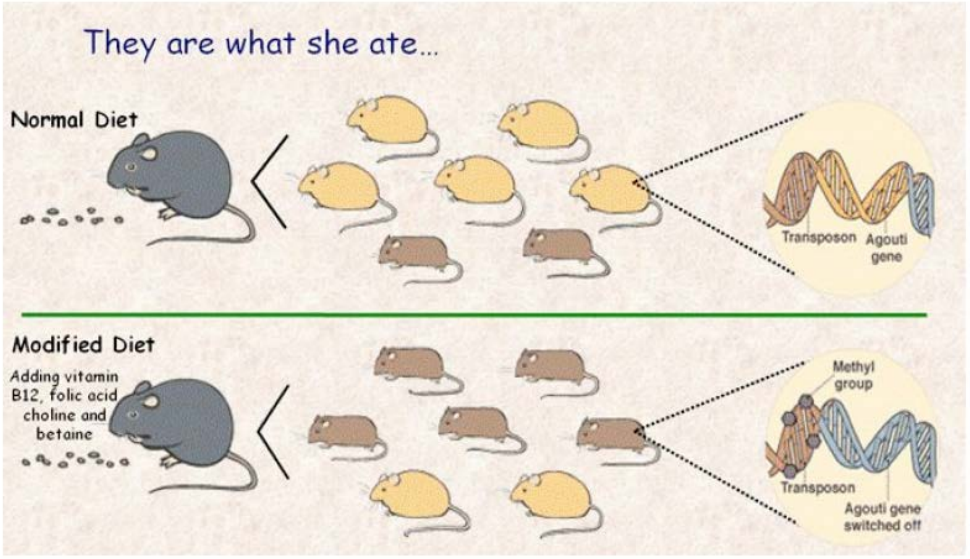
Figure 6.16 Durant les recombinaisons, des segments de chromosomes s'échangent. Le résultat est que de longs blocs d'ADN se fragmentent et s'incorporent graduellement dans de nouvelles combinaisons au sein d'une population. Mais la sélection naturelle peut interrompre ces recombinaisons.
À gauche : chaque ligne représente un bloc d'ADN chez un individu. Les points bleus représentent les marqueurs génétiques retrouvés seulement chez quelques individus dans une population. Une nouvelle mutation (points rouges) apparaît chez un individu et élève la fitness.
À droite : les individus qui héritent d'un bloc d'ADN avec la nouvelle mutation ont aussi une fitness plus élevée ; de cette manière, les mutations se répandent à travers la population avec l'ADN voisin. Le résultat est un nombre inhabituel d'individus qui seront porteurs du même bloc ADN contenant la mutation. Ce mode inhabituel est un bon indice qu'une sélection naturelle forte s'est mise en place.

pourlascience.fr/dossiers
DOSSIER POUR LA SCIENCE
Le bestiaire des ARN
La mémoire des cellules
La matière noire du génome
Le cerveau modelé par l'expérience
Vers une médecine personnalisée
Le magazine thématique de l'actualité scientifique
N° 81 Octobre-Décembre 2013
L'hérédité sans gènes
Comment l'environnement rebat les cartes
DOSSIER HORS-SÉRIE
M 01930 - 81 - F: 6,95 € - RD

LE GÈNE *Agouti viable yellow*, selon qu'il est méthylé ou non, confère aux souris qui le portent un pelage jeune ou brun. Pourtant, la séquence du gène est inchangée. De plus, dans le premier cas, l'animal est plus sensible à l'obésité, mais aussi au diabète.

DOSSIER N°81 / OCTOBRE-DÉCEMBRE 2013 / © POUR LA SCIENCE

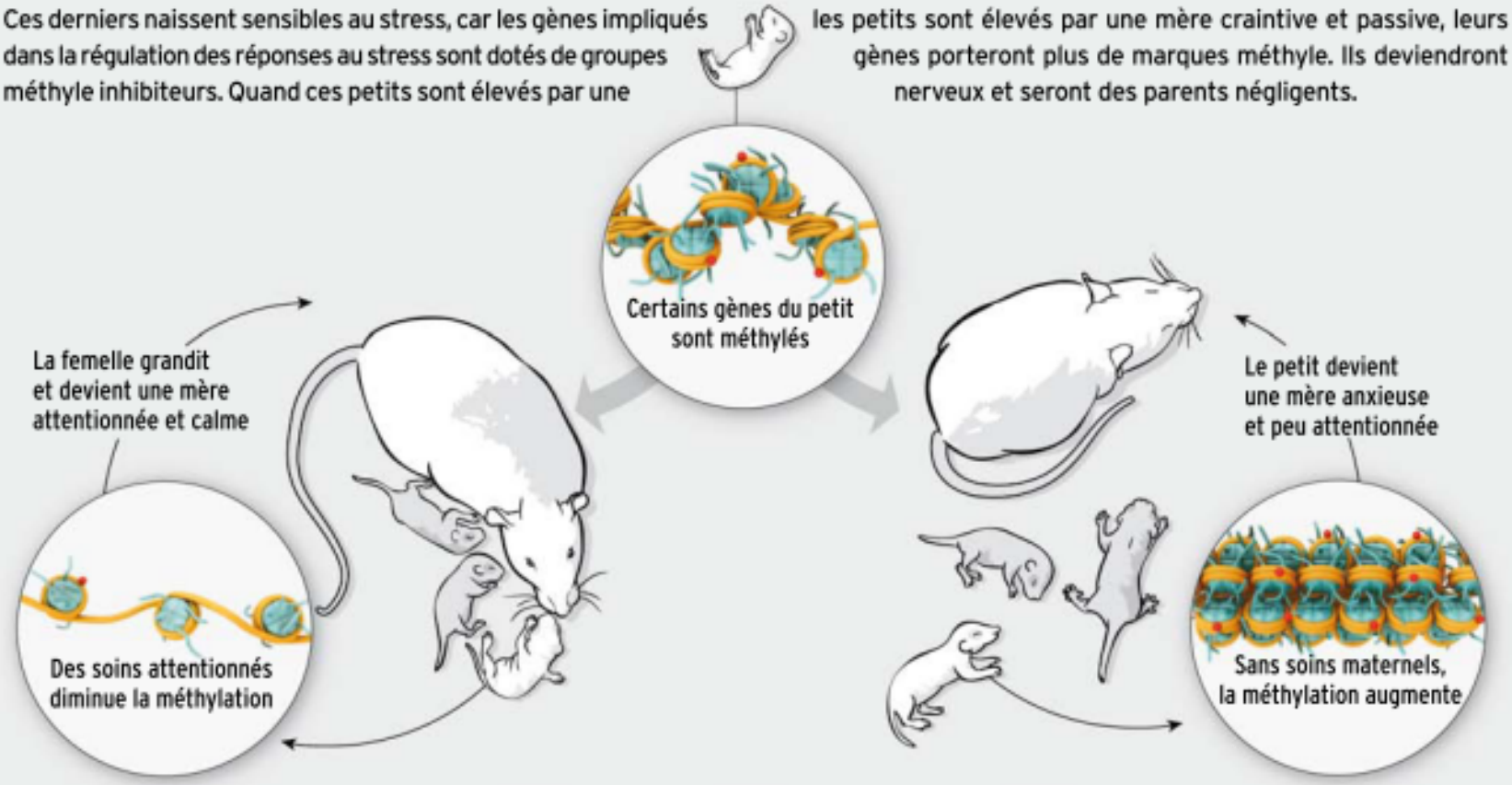
Alimentation et développement embryonnaire



L'apport alimentaire en folate et vitB12 conditionne l'expression du locus Agouti chez la souris gestante

DE LA MÈRE AUX PETITS

L'épigenèse influe sur le comportement maternel. Qui plus est, cet effet peut être transmis d'une génération à la suivante, sans modifier les cellules germinales, en agissant sur le cerveau des petits. Ces derniers naissent sensibles au stress, car les gènes impliqués dans la régulation des réponses au stress sont dotés de groupes méthyle inhibiteurs. Quand ces petits sont élevés par une mère attentionnée, leurs gènes sont moins méthylés, ce qui rend ces animaux plus calmes. Lorsque ces petits deviendront adultes, ils seront, eux aussi, des parents attentionnés. En revanche, lorsque les petits sont élevés par une mère craintive et passive, leurs gènes porteront plus de marques méthyle. Ils deviendront nerveux et seront des parents négligents.



L’épigénétique désigne tout changement d’expression des gènes qui n’implique pas de changement dans la séquence ADN, qui est stable mais demeure réversible. On le sait aujourd’hui, les cellules acquièrent leur identité, et elles la conservent, grâce aux marques épigénétiques : des modifications chimiques de l’ADN qui n’altèrent en aucun cas la séquence de l’ADN, mais permettent de lire certains gènes et d’autres pas.
L’épigénétique, c’est donc une sorte de mémoire cellulaire, transmissible aux générations suivantes de cellules. Mais c’est une mémoire qui peut s’effacer, d’où le terme de réversibilité.

Edith Heard ou la révolution épigénétique | CNRS Le journal

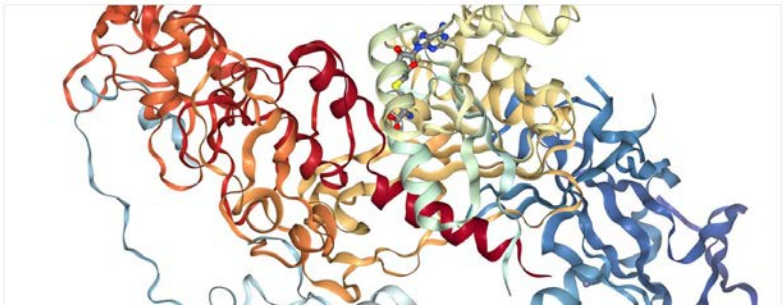
Biologie

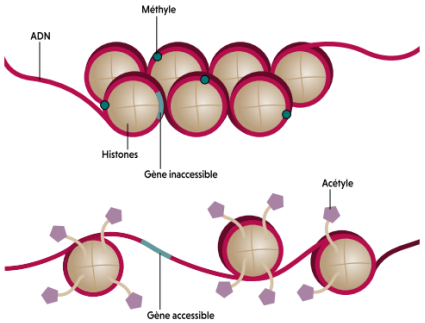
Épigénétique : la nouvelle pièce du puzzle

L'épigénétique rassemble les processus moléculaires régulant l'expression des gènes sans changements de la séquence d'ADN. Ils jouent un rôle important dans les cancers et sont donc la cible d'une nouvelle classe de médicaments : les épithérapies.

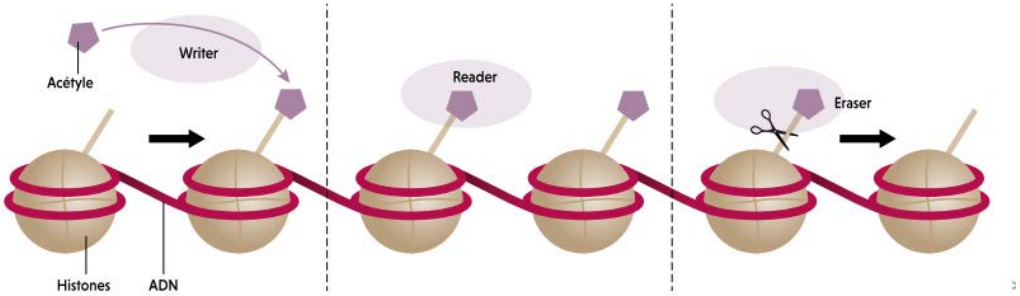
SOUHILA MEDDKANE | 11 avril 2018 | DOSSIER POUR LA SCIENCE N°99

Article réservé aux abonnés



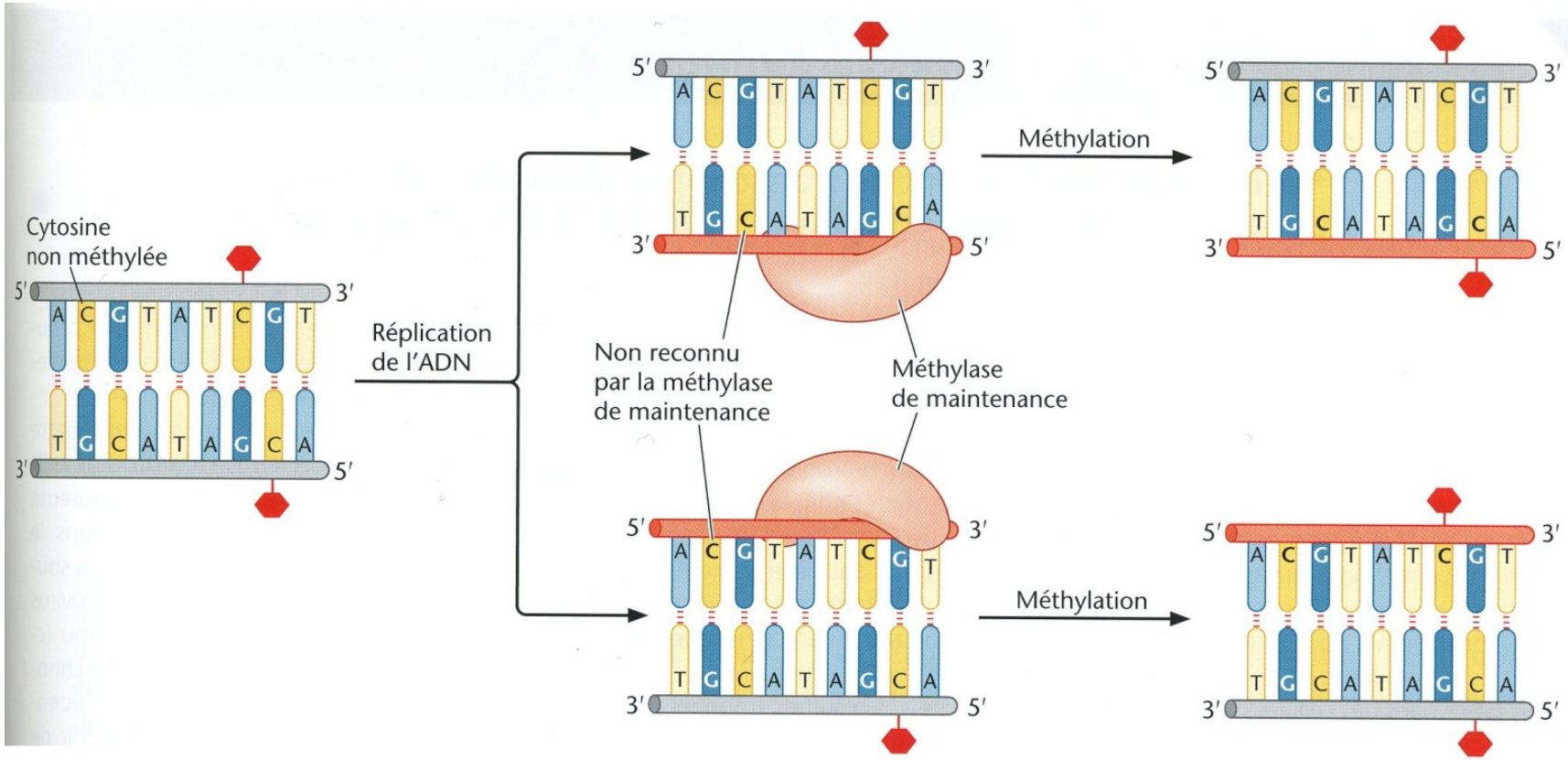


L'accès aux gènes *(en bleu)* est déterminé par des modifications chimiques de l'ADN *(en rouge)* et des histones *(en marron)*, les protéines autour desquelles il s'enroule. L'ajout *(en haut)* de groupes méthyles *(en vert)* sur l'ADN entraîne le resserrement de l'ensemble (la chromatine) : les gènes sont inaccessibles et ne s'expriment pas. À l'inverse, la fixation de groupes acétyles *(en violet)* sur les histones relâche la chromatine et favorise l'expression des gènes *(en bas)*.

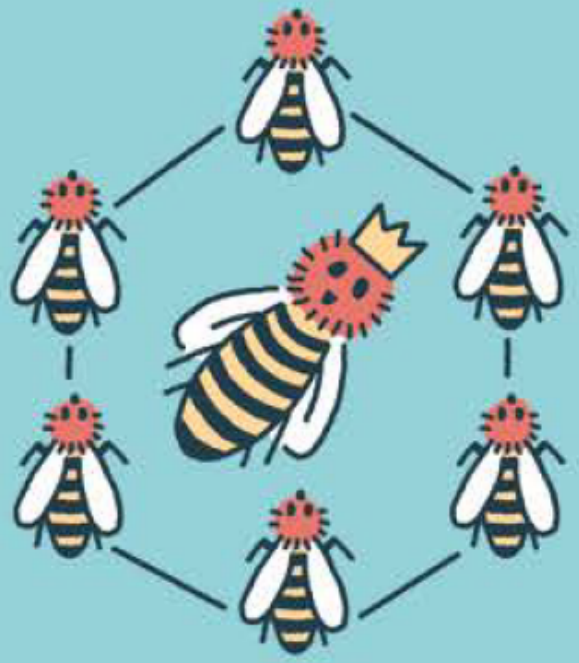


Les modifications des histones requièrent la participation de trois types de protéines : les « writers », les « readers » et les « erasers » (respectivement, les « écrivains », les « lecteurs » et les « effaceurs »). Les premières modifient l'ADN ou les histones avec des groupes chimiques, méthyle ou acétyle. Les secondes reconnaissent les modifications des histones modifiées, tandis que les dernières les suppriment. Avec ces trois types de protéines, la configuration de la chromatine est contrôlée et l'expression des gènes régulée.

DOSSIER N°99 © POUR LA SCIENCE



Les profils de méthylation de l'ADN peuvent être maintenus au cours de la division cellulaire. Comme décrit dans la figure 17.25, un ADN impliqué dans l'expression d'un gène de vertébré peut être méthylé, et l'expression du gène peut être éteinte. Cette méthylation initiale est assurée par une méthylase synthétisée *de novo*. Lorsque l'extinction d'expression d'un gène est permanente, le statut de méthylation est hérité des divisions cellulaires, comme illustré dans la figure. Une séquence d'ADN contenant deux cytosines sur chaque brin est illustrée – l'une méthylée, l'autre non. Ce profil est maintenu au cours des divisions cellulaires, puisque, lors de la réplication de l'ADN, une méthylase de maintenance reconnaît l'ADN hémiméthylé et ajoute un groupement méthyle à la cytosine non méthylée. Les séquences non méthylées ne sont pas reconnues par cette enzyme et restent donc non méthylées. Ainsi, les deux brins d'ADN fils possèdent le même profil de méthylation que celui des parents.



À SAVOIR

L'épigénétique dans la ruche

Chez les abeilles, les ouvrières sont petites et stériles, tandis que l'unique reine est dodue, très féconde et vit plus longtemps. Tout vient de l'alimentation des larves : gelée royale pour la future reine, miel et pollen pour les autres. Ces deux régimes distincts induisent des modifications épigénétiques majeures qui font la différence !

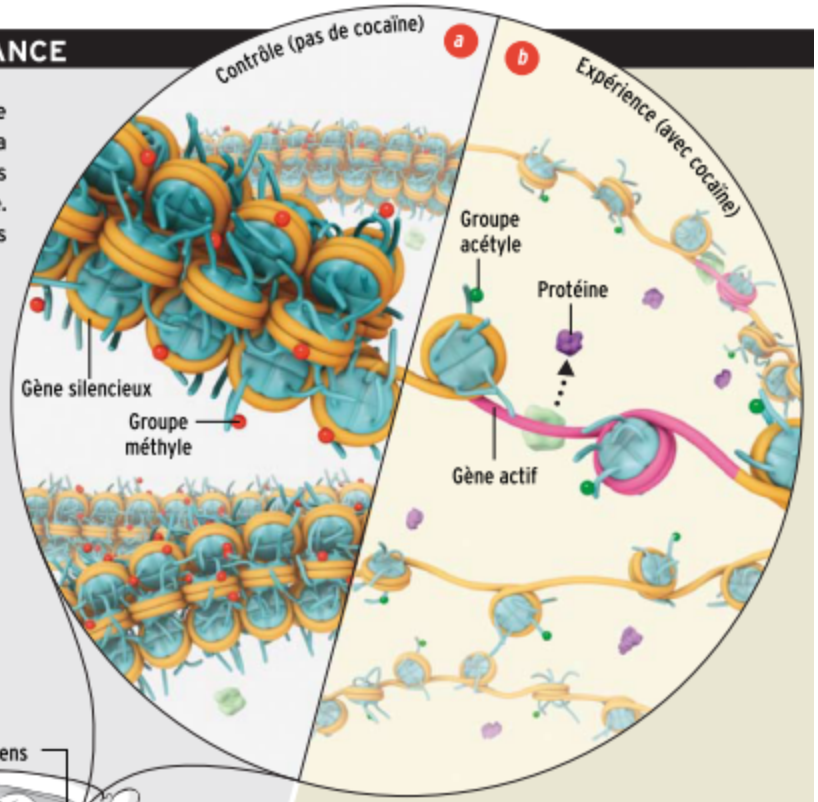
Chez les abeilles *Apis mellifera*, la larve de la future reine est nourrie de gelée royale, sécrétée par les abeilles, tandis que les autres mangent du pain d'abeille, un mélange de pollen et de miel. On n'a compris que récemment que la gelée royale n'est pas le seul acteur de leur plasticité phénotypique. Dans le pain d'abeille, de petits ARN issus des plantes interviendraient dans le déclenchement du programme « ouvrière »...

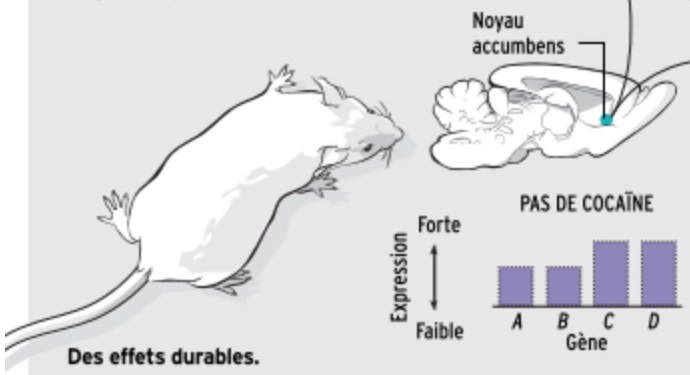
Chez les insectes sociaux, tels les fourmis et les termites, les diverses castes correspondent à des profils de méthylation du génome distincts.

L'ÉPIGÉNÉTIQUE DE LA DÉPENDANCE

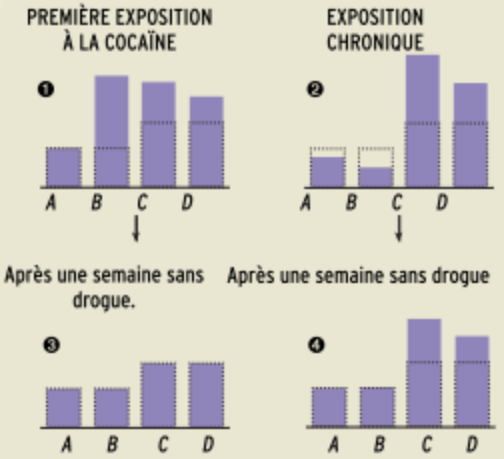
Des études chez la souris ont montré qu'une exposition chronique à la cocaïne modifie la répartition des marques épigénétiques sur les gènes situés dans le circuit cérébral de la récompense. Les animaux deviennent plus sensibles aux effets de la drogue et plus enclins à la dépendance.

Les modifications.
Une dose unique de cocaïne peut modifier le « paysage » épigénétique des gènes dans le noyau accumbens, un acteur du circuit de la récompense. En l'absence de drogue *(a)*, les groupes méthyle dominent, maintenant la chromatine compactée : les gènes ne s'expriment pas. En présence de cocaïne, les groupes acétyle dominent et la chromatine se relâche *(b)*. De nombreux gènes codant des protéines impliquées dans la sensation de plaisir déclenchée par la drogue s'expriment.





Des effets durables.
Une première exposition à la cocaïne augmente temporairement l'expression de nombreux gènes (*1*, *b*, *c* et *d*) par rapport à la normale *(ci-dessus et en pointillés)*, mais cette expression se normalise rapidement *(3)*. L'exposition chronique à la cocaïne a des effets plus complexes : elle rend certains gènes moins sensibles à la drogue (*2*, *A* et *B*), alors qu'elle stimule davantage l'expression d'autres gènes (*C* et *D*). L'expression de certains de ces gènes reste excessive pendant un temps anormalement long *(4)*.



AXIS Biomedical Animation Studio

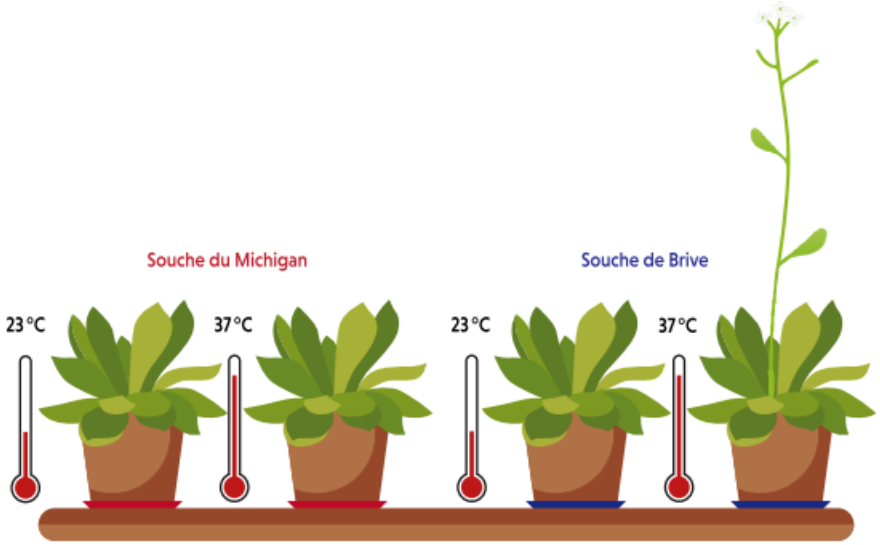
EDITH HEARD
est directrice générale du Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL), à Heidelberg, en Allemagne, et professeure au Collège de France, titulaire de la chaire Épigénétique et mémoire cellulaire.

VINCENT COLOT
est directeur de recherche au CNRS et dirige le groupe Dynamique des génomes et variation épigénétique à l'École normale supérieure, à Paris.

L'épigénétique est un modulateur clé de l'évolution

En agissant sur la capacité de séquences mobiles d'ADN – des transposons – de se déplacer dans le génome, l'épigénétique garde sous son contrôle un puissant réservoir de variations susceptibles d'avoir un effet majeur au sein d'une même espèce. L'environnement influence-t-il ce contrôle ?

© E. Heard, Jérôme Bredoux/Institut Curie, V. Colot, Patrick Allard/IBEA



Une souche de la plante *Arabidopsis thaliana* poussant à Brive porte, dans un gène qui contrôle le temps de la floraison, un transposon sensible à la chaleur. Ce transposon est absent du gène chez les plus proches cousines de la souche de Brive, qui, comme celle provenant du Michigan, ont besoin d'une période de grand froid pour fleurir au printemps. L'équipe de Vincent Colot a montré que la présence du transposon confère la capacité de fleurir après un choc de chaleur. En d'autres termes, le transposon, *via* la modulation du contrôle épigénétique que la chaleur exerce sur lui, aurait permis à la souche de Brive de s'acclimater aux doux hivers corréziens.

Quand le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* est solitaire, il vit tranquillement au sol, sous les arbres, et est plutôt marron-vert (*à gauche*). Mais si on rapproche plusieurs criquets solitaires, ceux-ci changent en quelques heures de comportement et de morphologie, devenant grégaires et agressifs, et très colorés (*à droite*). Ces changements sont transmis aux générations suivantes par une molécule que la mère se met à produire dans la mousse destinée à nourrir sa progéniture.

L’Evolution ne repart jamais de zéro, il peut donc y avoir des « bizarreries »

L’Evolution n’est pas indépendante du passé

En 1979, Gould et Lewontin émettent des critiques contre la vision « panglossienne » de l'évolution présente dans l'esprit de certains chercheurs. En effet, la plupart ne proposait que des explications « adaptatives » à l'évolution des caractères : chaque caractère d'un organisme aurait été façonné de façon optimale grâce à la sélection naturelle. Or, certaines particularités anatomiques non optimales ne peuvent être expliquées qu'en considérant certaines « contraintes » qui se sont exercées sur les caractères des organismes au cours de l'évolution :

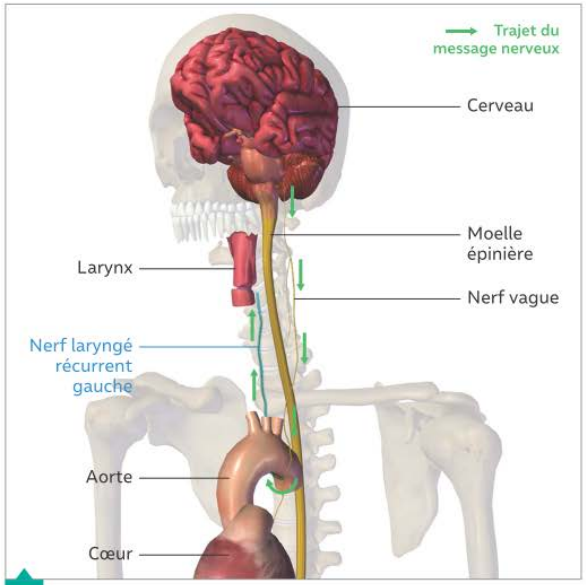
– la mise en place des organes est contrainte par l'histoire évolutive de l'espèce. Le développement diffère d'un groupe à un autre ; les possibilités d'évolution sont donc limitées par l'anatomie héritée des ancêtres.

– des structures qui n'ont pas ou plus de fonction dédiée peuvent persister tant qu'elles ne réduisent pas la capacité de l'individu à produire des descendants viables par rapport à des individus qui les auraient perdues.

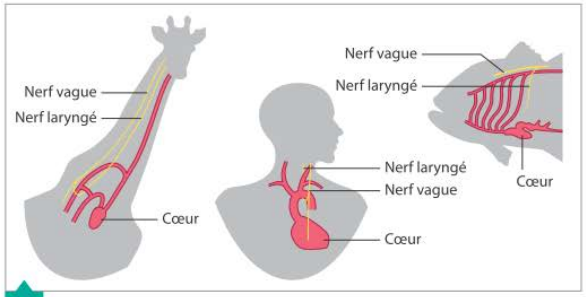
– l'optimisation d'un organe peut être contrainte par l'évolution d'un autre.

2 Critiques de la vision « panglossienne » de l'évolution

Associer le trajet du nerf laryngé à l'histoire évolutive humaine (équipe 2)

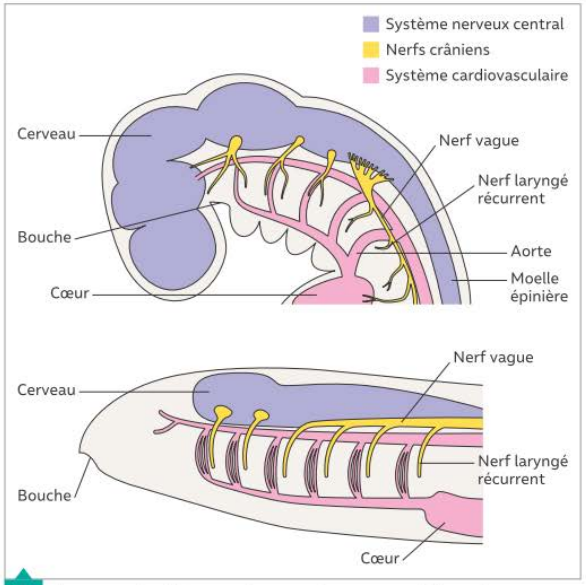


5 Trajet du nerf laryngé récurrent gauche chez l'être humain
Le nerf vague, qui prend son origine dans le cerveau, relaie les informations vers différents organes. Le nerf laryngé récurrent gauche est une branche du nerf vague qui innerve le larynx (organe situé dans le cou, qui abrite les cordes vocales).



7 Trajet du nerf récurrent chez trois vertébrés
Le trajet du nerf laryngé récurrent gauche (NR) paraît « aberrant » chez les mammifères adultes : alors que les points de départ (cerveau) et d'arrivée (larynx) de l'information nerveuse ne sont situés qu'à une quinzaine de centimètres l'un de l'autre, le trajet total réellement effectué par l'information nerveuse est plus que doublé chez l'être humain. Chez les espèces à longs cous comme la girafe, le détour est de plusieurs mètres. Ce n'est pas le cas chez les espèces de vertébrés sans cou, comme les poissons téléostéens.

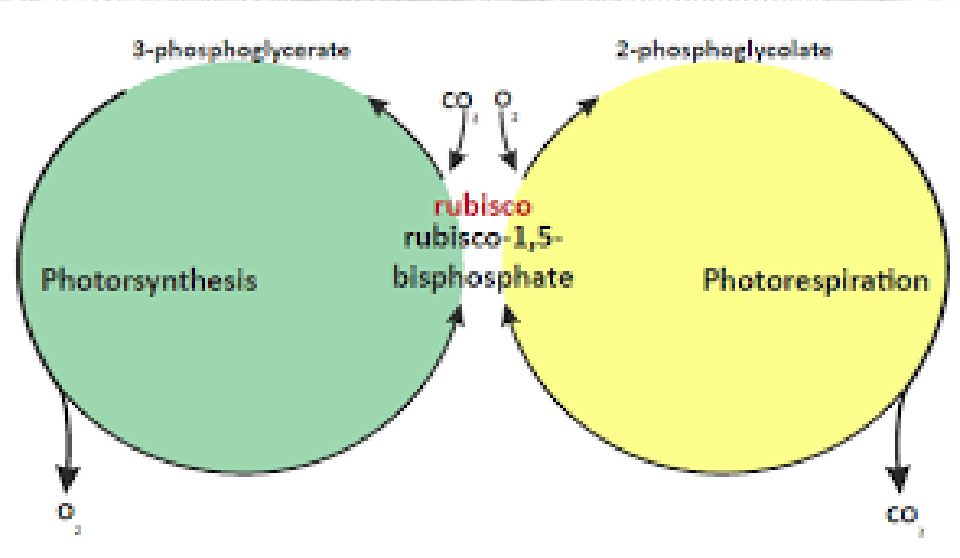
6 Rôle du nerf laryngé, gravure de 1541
Claude Galien, médecin grec du IIe siècle, pratiqua une section du nerf laryngé sur un porc vivant. Quand le nerf fut sectionné, les cris du porc cessèrent immédiatement.

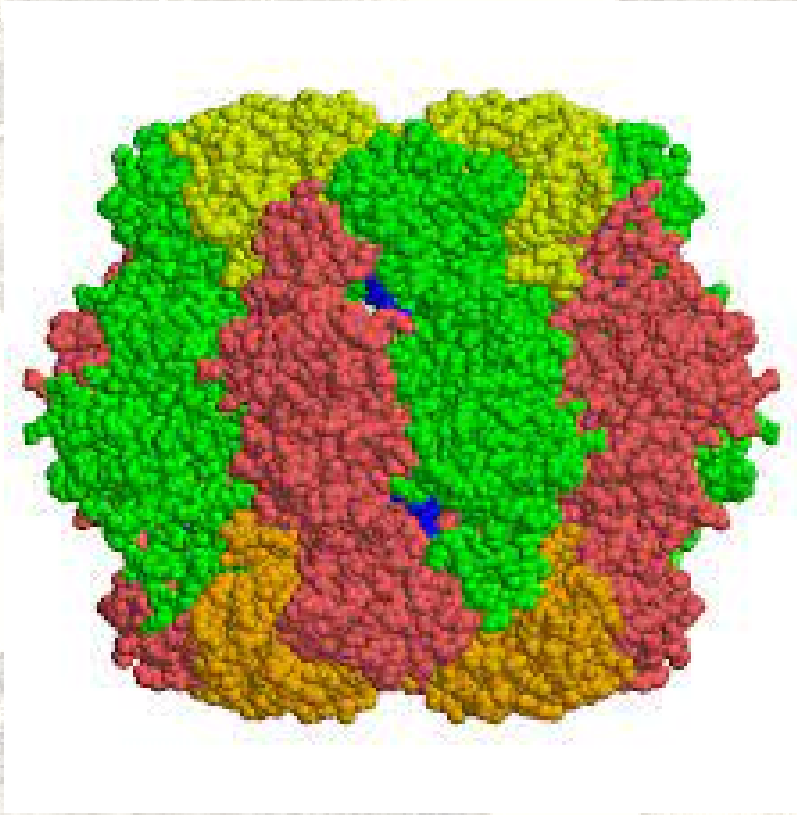


8 Anatomie d'un embryon de mammifère de 30 jours (schéma du haut, le cou n'est pas encore développé) **et de poisson téléostéen** (schéma du bas)
On pense que chez l'ancêtre des vertébrés, la disposition des organes étudiés ici était similaire à celle des poissons téléostéens actuels (bien que les poissons téléostéens actuels possèdent de grandes différences avec cet ancêtre pour d'autres caractères).

Enseignement scientifique, terminale, Editions Nathan 2020

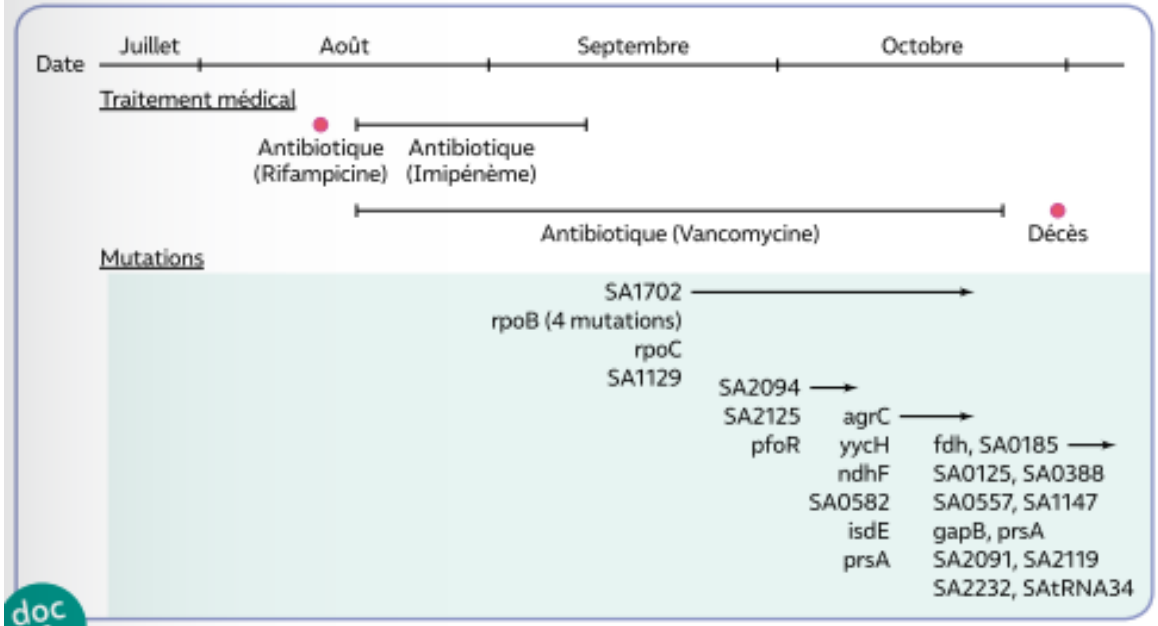
Le cas de la RuBisco





4- Homo sapiens et Evolution

L'Humain: un facteur de sélection naturel



doc d

Applications biomédicales

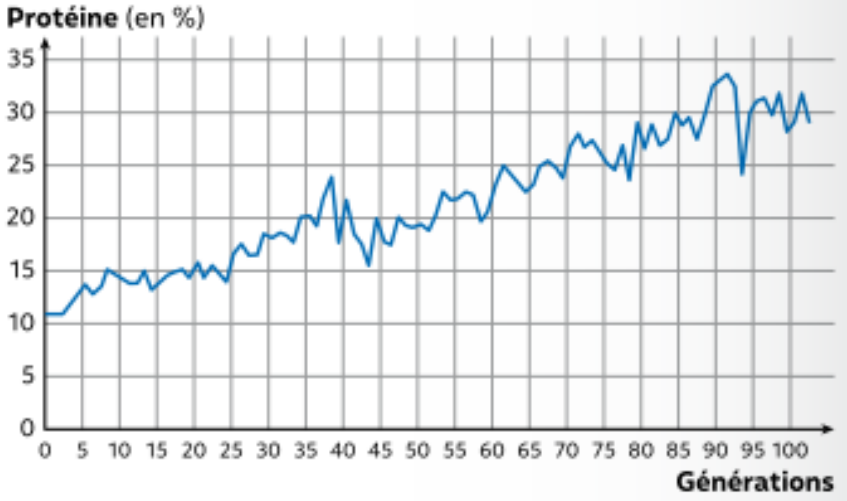
En 2000, un patient a contracté une infection au Staphylocoque doré. Il a été traité aux antibiotiques mais est décédé après 4 mois de traitement avec différents antibiotiques. Des prélèvements sanguins ont été effectués et ont permis d'identifier les mutations (SA1702, rpoC, SA1129...) apparues successivement chez les bactéries (staphylocoque) et responsables de leur résistance aux antibiotiques.

doc e

Une affiche de campagne pour limiter l'utilisation des antibiotiques chez les animaux

Enseignement scientifique, terminale, Editions Nathan 2020

▲ Comparaison entre téosinte (*Zea mays parviglumis*) et maïs. La téosinte est l'ancêtre sauvage du maïs, domestiqué depuis 9 000 ans.



▲ Pourcentage de protéines contenues dans les grains de maïs pendant 100 générations. Chaque nouvelle génération est obtenue en croisant les plantes de la génération précédente dont les grains ont le plus fort pourcentage de protéines.

doc b

Mimer des processus évolutifs et modifier certaines espèces

En sélectionnant certains caractères avantageux pour l'espèce humaine, on exerce une sélection artificielle ce qui aboutit à une espèce domestiquée.

Qu'est-ce qu'une espèce domestiquée ?

Le concept de domestication est flou : il s'agit d'apprivoiser un animal ou de s'approprier une plante, puis de l'élever ou de le cultiver en ne laissant se reproduire que les individus ou les plants présentant un caractère choisi. En contrôlant au moins en partie la reproduction de l'espèce, l'Homme effectue une sélection. Souvent, ce processus s'arrête en cours de route : toutes les espèces ne sont pas domesticables. Mais il peut également aboutir, après plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, à des espèces dont les caractères morphologiques, physiologiques ou comportementaux sont très différents de ceux de leurs aïeux sauvages. Ces nouvelles caractéristiques sont génétiquement transmissibles. Les raisons de ces domestications sont variées : source de nourriture, aide au travail, recherche d'une compagnie ou d'esthétisme… •

PORTRAITS CROISÉS

Espèce sauvage

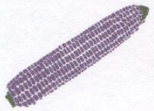
Poule rousse de jungle
60 œufs par an

Téosinte
~10 grains

Sanglier
4 marcassins par portée

Espèce domestiquée

Poule domestique
domestiquée
depuis 7 500 à 5 000 ans
+ 300 œufs par an



Maïs
domestiqué
depuis 9 000 à 8 000 ans
~ 500 grains

Porc
domestiqué depuis 9 000 ans
12 porcelets par portée

La docilité : un marqueur de la « domesticabilité » ?

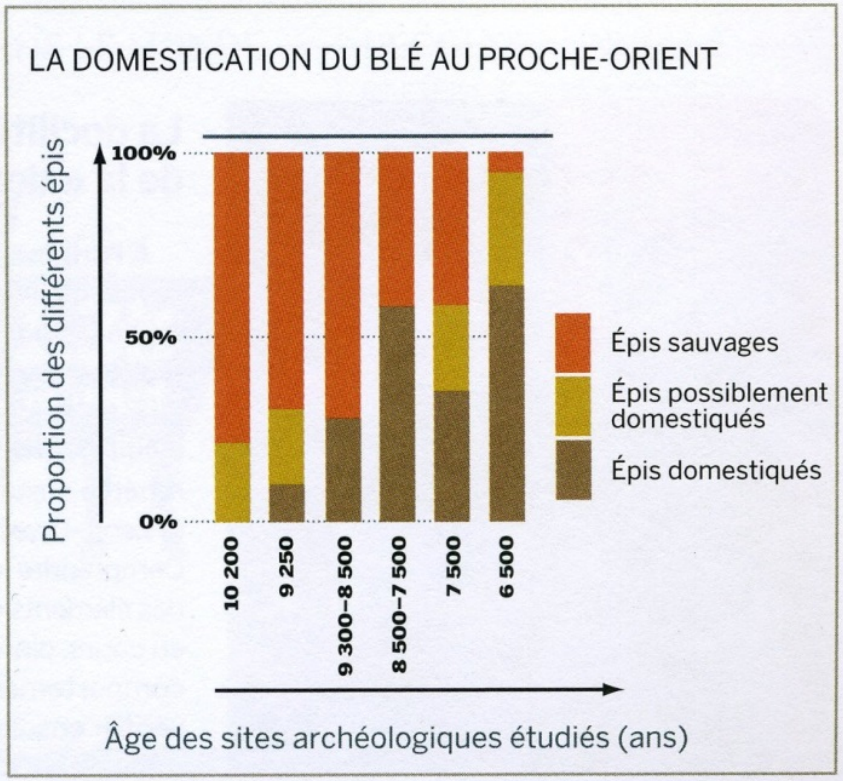
À l'origine, une population de renards argentés, farouches et agressifs. À la fin, un groupe d'adorables animaux de compagnie, tout à fait dociles (photo ci-contre). Entre les deux ? Cinquante ans d'élevage, en prenant soin de ne sélectionner que les renards les plus amicaux envers l'homme. Voilà le résultat d'une expérience inédite menée durant la seconde moitié du XXe siècle en Sibérie. Et répétée ensuite avec d'autres espèces – le rat, la loutre ou encore le vison – avec le même succès. L'objectif de ces expérimentations ? Comprendre les bases génétiques de la docilité, qui semble être un des éléments clés des domestications. D'après les dernières études en cours, cinq gènes semblent jouer un rôle déterminant dans ce comportement. Reste à comprendre comment ils agissent et à vérifier ensuite chez d'autres animaux s'ils représentent effectivement de bons marqueurs de la « domesticabilité » des individus.

La biodiversité, infographie Belin 2013

UNE HISTOIRE

La domestication du blé ou la recherche de la facilité

Entre le blé et l'Homme, l'histoire commence il y a environ 20 000 ans, au Proche-Orient, par la cueillette. Petit à petit, l'Homme va semer cette céréale autour de chez lui. De façon involontaire d'abord, puis probablement en toute conscience, voyant qu'il pouvait ainsi se procurer une source sûre de nourriture. C'est alors que peut commencer la domestication. Si la plupart des épis sauvages voient leurs graines tomber spontanément à maturité, quelques mutants les conservent dans leur enveloppe. Une distinction n'ayant pas échappé à nos aïeux, qui auront sans doute préféré semer les graines de ces épis mutants : il est bien plus facile de récolter des épis sur pied que des graines à terre ! À moins que ce ne soit tout simplement les techniques de récolte qui aient favorisé la collecte des épis entiers, avec leurs graines bien accrochées.



La biodiversité, infographie Belin 2013

En dix ans, les sardines
de un an sont passées :

dans le Golfe du Lion,
de 13 à 10 cm
(pèsent 3 fois moins),

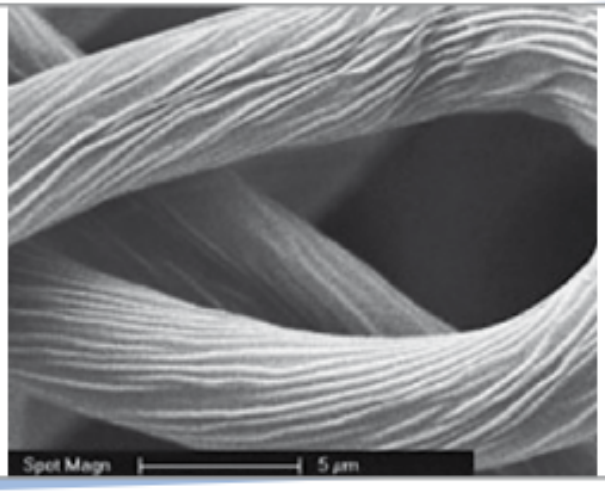
dans le Golfe de Gascogne,
de 18 à 14 cm
(pèsent 2 fois moins).

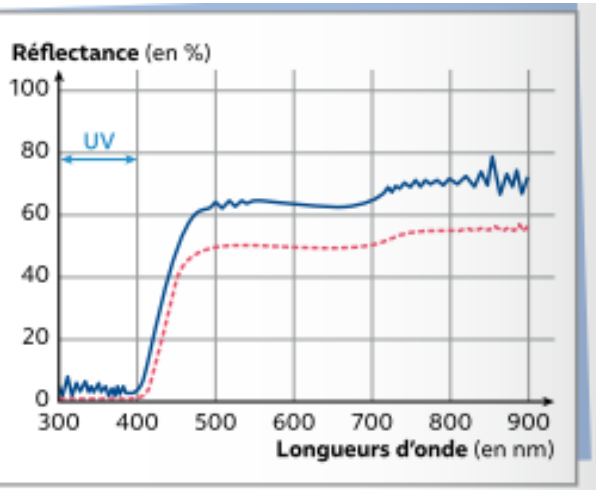
Nombre d'individus, nombre actuel de races, nombre de races éteintes pour la vache, le mouton et la chèvre dans différentes régions du monde (source : FAOSTAT d'après Scherf (2000) ; statistiques concernant 170 pays).

		Vache	*Mouton*	*Chèvre*
Afrique	Nombre d'individus (en millions)	175	127	137
	Nombre actuel de races	251	147	89
	Nombre de races éteintes	23	8	0
Asie et Pacifique	Nombre d'individus (en millions)	461	408	390
	Nombre actuel de races	236	233	146
	Nombre de races éteintes	19	7	1
Europe	Nombre d'individus (en millions)	162	185	26
	Nombre actuel de races	482	629	187
	Nombre de races éteintes	171	142	14
Amérique Latine et Caraïbes	Nombre d'individus (en millions)	356	89	41
	Nombre actuel de races	107	42	34
	Nombre de races éteintes	24	0	0
Proche Orient	Nombre d'individus (en millions)	72	243	115
	Nombre actuel de races	86	201	94
	Nombre de races éteintes	12	11	1
Amérique du Nord	Nombre d'individus (en millions)	141	8	1
	Nombre actuel de races	62	61	20
	Nombre de races éteintes	5	13	1
Nombre total d'individus (en millions)		1 367	1 061	710

Dates et lieux de domestication de quelques plantes cultivées et animaux domestiques.

Espèces	*Centre(s) de domestication*	*Date approximative de domestication (cal. BP)*
Chien (*Canis familiaris*)	Asie	15.000
Blé (*Triticum sp.*)	Croissant Fertile	11.000
Orge (*Hordeum vulgare*)	Croissant Fertile	11.000
Chèvre (*Capra hircus*)	Croissant Fertile	10.000
Mouton (*Ovis aries*)	Croissant Fertile	10.000
Vache (*Bos taurus*)	Croissant Fertile (+ Vallée de l'Indus)	10.000
Porc (*Sus scrofa*)	Croissant Fertile, Chine (+ probablement d'autres centres)	10.000
Courge (*Cucurbita pepo*)	Amérique Centrale	10.000
Maïs (*Zea mays*)	Amérique Centrale	9.000 - 7.000
Riz (*Oryza sativa*)	Chine	8.000
Arrow-root (*Maranta arundinacea*)	Amazonie	8.000
Pomme de terre (*Solanum tuberosum*)	Andes	7.000
Banane (*Musa sp.*)	Nouvelle-Guinée	7.000
Âne (*Equus asinus*)	Ethiopie	6.000
Cheval (*Equus caballus*)	Asie	6.000
Coton (*Gossypium sp.*)	Amazonie	5.000
Tournesol (*Helianthus annuus*)	Est des États-Unis	4.800
Haricot (*Phaseolus vulgaris*)	Amérique Centrale	4.000



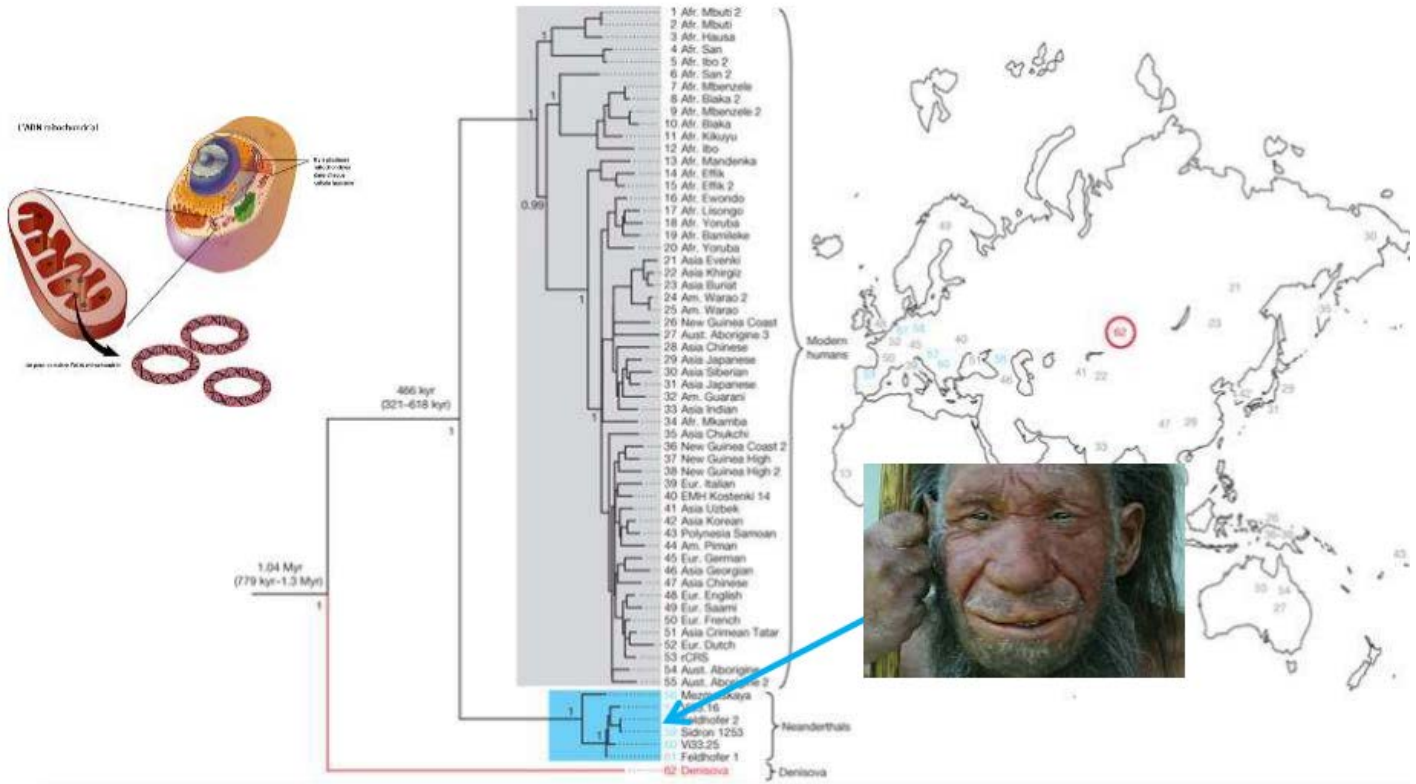


doc a

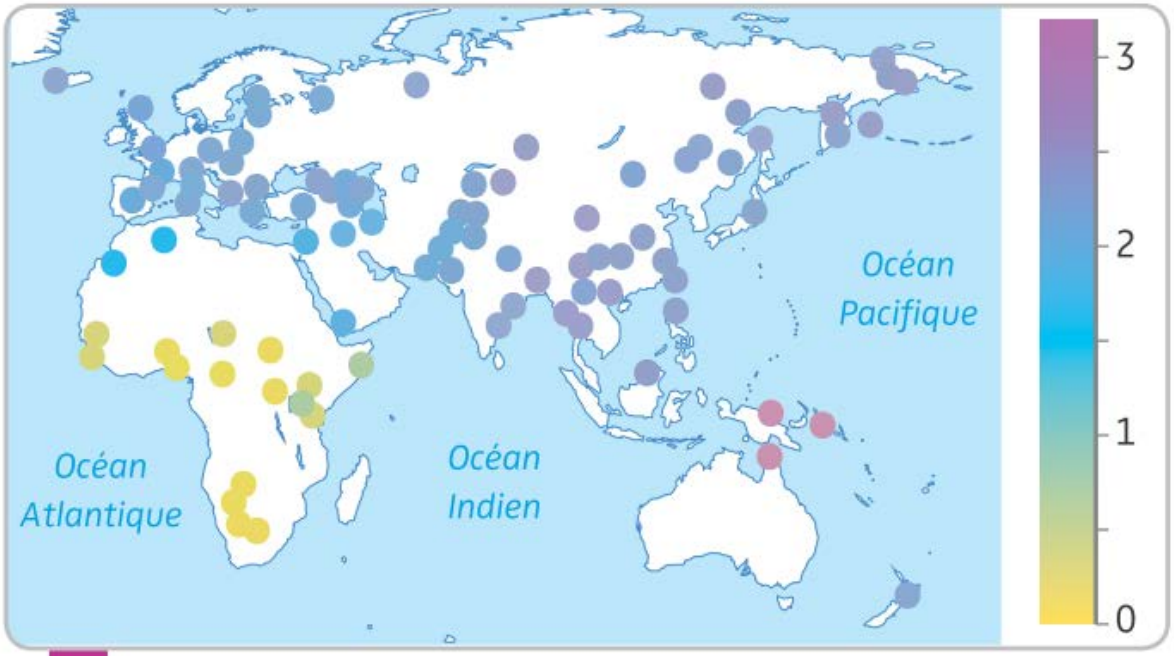
Biomimétique : imiter les résultats de l'évolution

L'edelweiss (photo 1) est une petite plante d'altitude. Les poils qui recouvrent les bractées sont constitués de fibres parallèles de 0,18 µm de diamètre (photo 2). La mesure de la réflectance (graphique), c'est-à-dire la proportion de lumière réfléchie par la surface sur les poils recouvrant les bractées, permet de constater qu'elle est nulle pour les UV. Ces poils absorbent donc totalement les UV. Des molécules ou matériaux qui absorbent les UV sont indispensables pour de nombreux matériaux : écrans solaires, emballages, etc.

ADN mitochondrial des Néandertaliens



L'ADN mitochondrial de tous les Néandertaliens séquencés est distinct des humains actuels

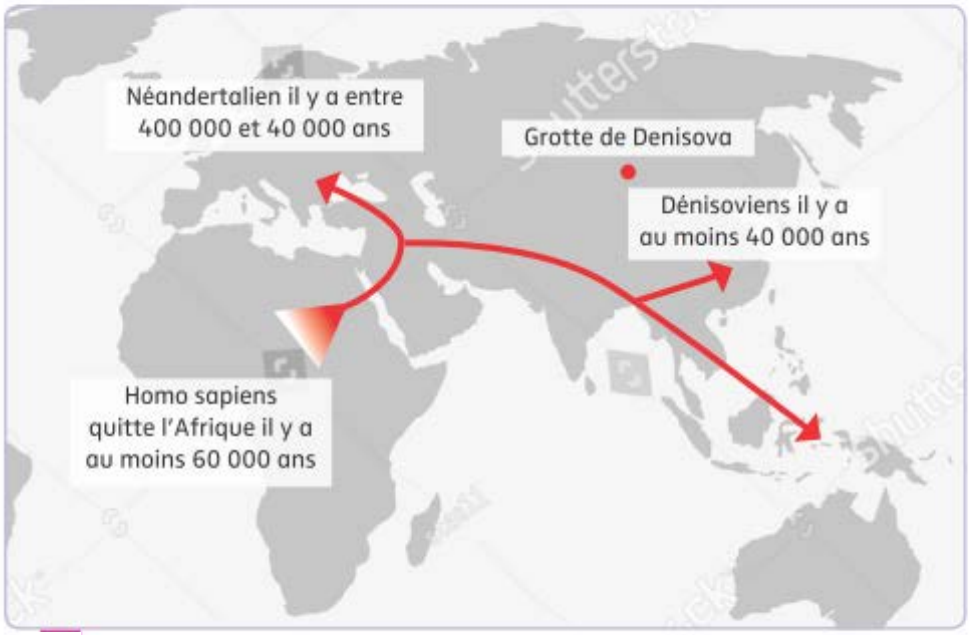


c **Pourcentage d'ADN néandertalien identifié dans différentes populations actuelles.**

Les Dénisoviens

■ En 2010, une équipe a réalisé le séquençage du génome contenu dans l'ADN d'un minuscule fragment de phalange, daté de 80 000 ans, découvert dans la grotte de Denisova et mit en évidence qu'un autre type humain a cohabité avec nos ancêtres et les Néandertaliens : les hommes de Denisova ou Dénisoviens.

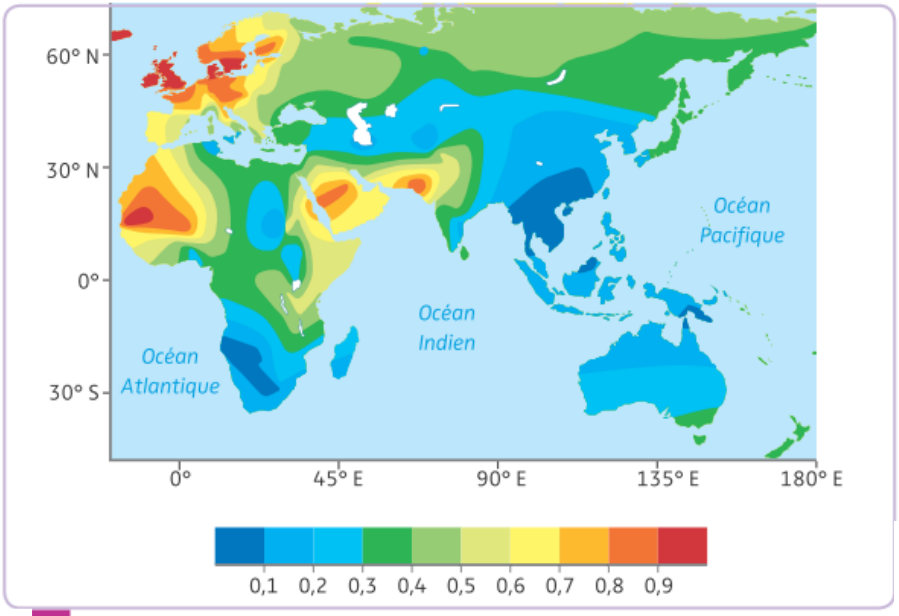
Fragment de phalange.



Localisation des territoires occupés par les Néandertaliens et les Dénisoviens et migrations des Homo sapiens.

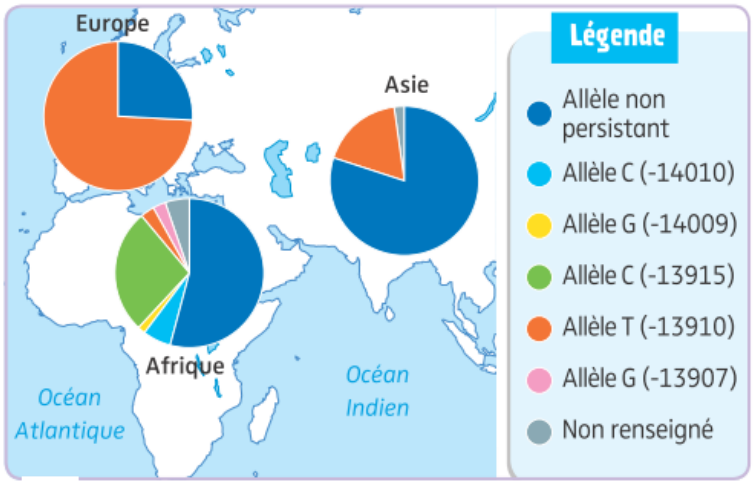
■ Dénisoviens, Néandertaliens et Hommes modernes ont un ancêtre commun daté de 600 000 ans mais les territoires occupés et les migrations les ont amenés à cohabiter il y a 60 000 à 40 000 ans.

Persistance de la lactase

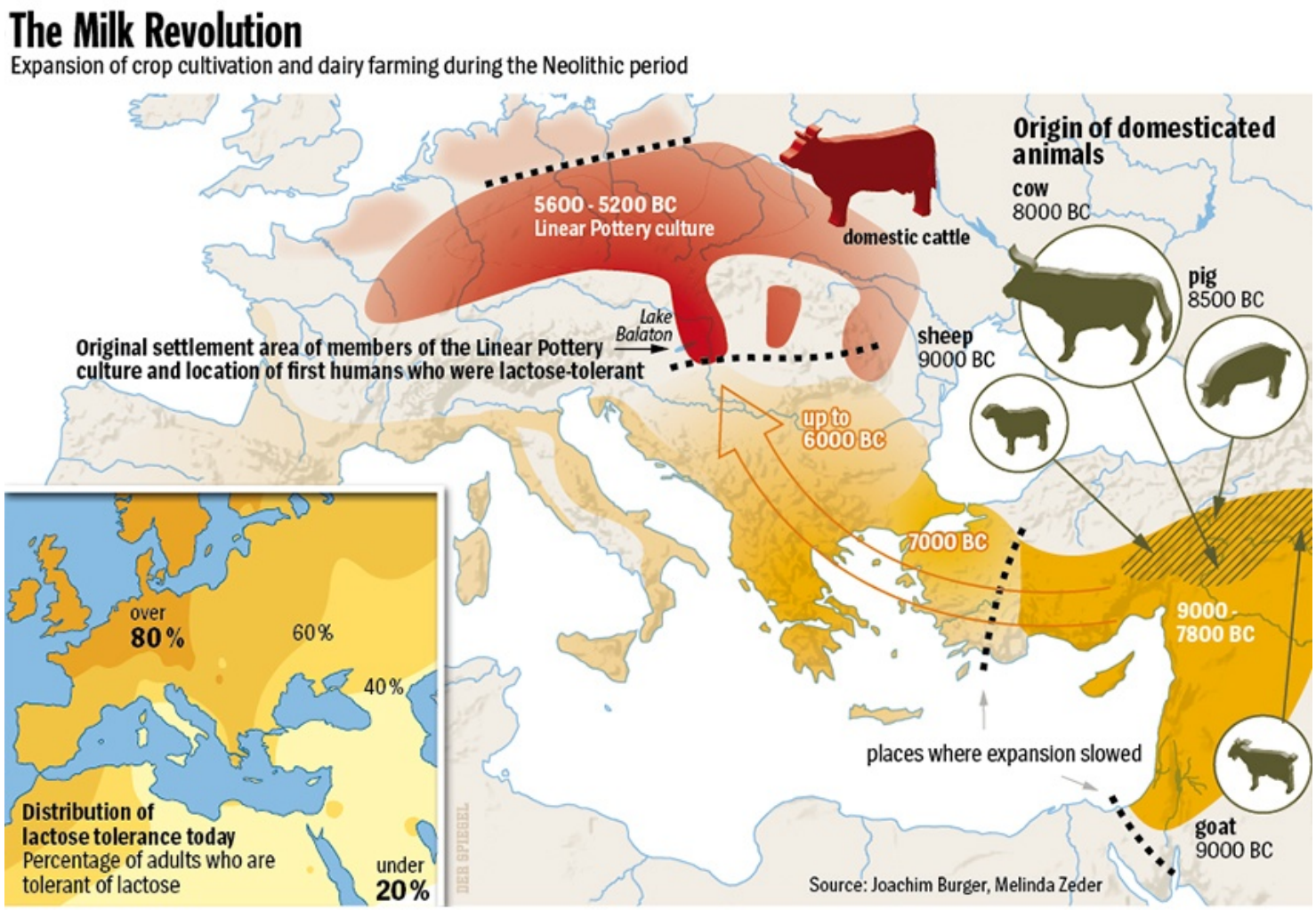


a **Fréquence du phénotype « tolérance au lactose » ou LP dans différentes populations.**

La plupart des européens possèdent une seule modification, un C qui devient un T en -13915, c'est-à-dire en amont du gène, et pas dans le gène

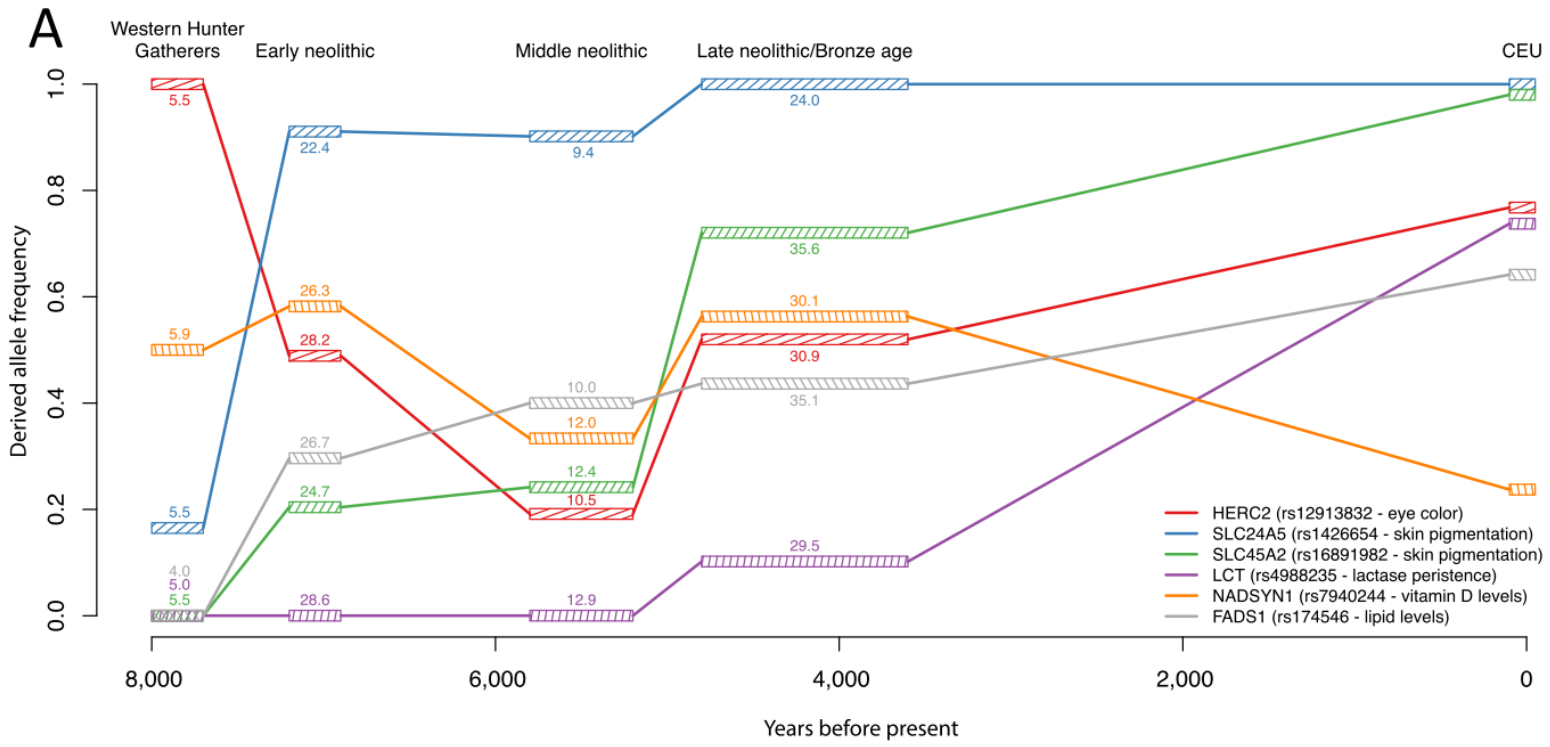


Différents allèles du gène *MCM6*, qui régule le gène de la lactase. Un individu est de phénotype LP s'il possède un des allèles autres que « non persistant ».
L'allèle « non persistant » est l'allèle ancestral. Le chiffre entre parenthèses indique la position sur le chromosome.


The Milk Revolution
Expansion of crop cultivation and dairy farming during the Neolithic period
5600 - 5200 BC
Linear Pottery culture
domestic cattle
Origin of domesticated animals
cow
8000 BC
pig
8500 BC
sheep
9000 BC
Lake Balaton
Original settlement area of members of the Linear Pottery culture and location of first humans who were lactose-tolerant
up to 6000 BC
7000 BC
9000 - 7800 BC
places where expansion slowed
goat
9000 BC
over 80 %
60 %
40 %
under 20 %
Distribution of lactose tolerance today
Percentage of adults who are tolerant of lactose
DER SPIEGEL
Source: Joachim Burger, Melinda Zeder

Eight thousand years of natural selection in Europe

Iain Mathieson* [1], Iosif Lazaridis [1,2], Nadin Rohland [1,2], Swapan Mallick [1,2], Bastien Llamas [3], Joseph Pickrell [4], Harald Meller [5], Manuel A. Rojo Guerra [6], Johannes Krause [7,8,9], David Anthony [10], Dorcas Brown [10], Carles Lalueza Fox [11], Alan Cooper [3], Kurt W. Alt [5,12,13,14], Wolfgang Haak [3], Nick Patterson [1,2], David Reich* [1,2,15]



La compréhension des épidémies et des maladies émergentes se base sur l'évolution

/ POUR LA SCIENCE N° 505 / Novembre 2019

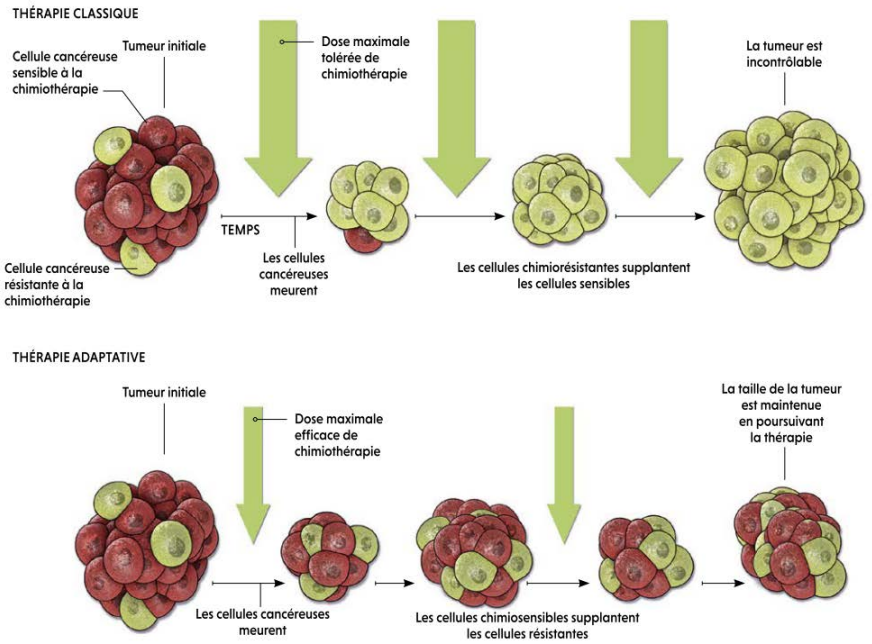
La théorie de l'évolution, nouvelle arme contre le cancer

Comme tout système vivant, le cancer est soumis aux lois de la sélection naturelle. S'appuyant sur cette idée, de nouvelles stratégies contre cette maladie visent non pas à l'éradiquer à tout prix, mais à la maintenir sous contrôle.

C'est le changement de l'environnement qui détermine le succès des cellules cancéreuses.

L'idée est que l'on comprend mieux le cancer en s'intéressant à son environnement plutôt qu'en se concentrant uniquement sur les mutations à l'intérieur d'une cellule.

En réduisant les altérations tissulaires causées par des processus tels que l'inflammation, nous pouvons restaurer un environnement plus normal et – comme nous l'avons montré dans des études sur des animaux – empêcher le cancer de prendre le dessus.



Les murs sélectifs

médecine/sciences 2020 ; 36 : 1233-6

Chroniques génomiques

Un cadeau empoisonné

Bertrand Jordan

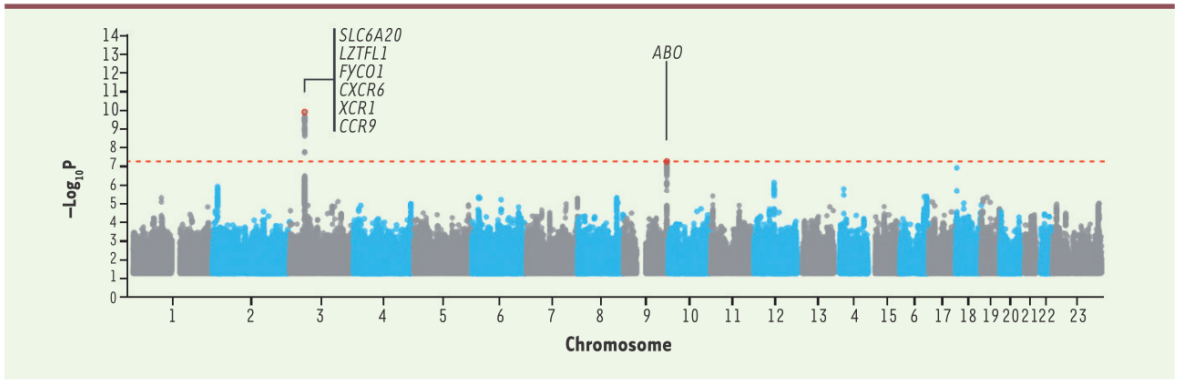


Figure 1. **Manhattan plot *de l'étude GWAS pour le risque d'infection sévère par le SARS-CoV-2*** (*severe acute respiratory syndrome-coronavirus-2*). La ligne pointillée rouge indique le seuil de significativité. On voit un pic très net sur le chromosome 3 et un pic à la limite du seuil significatif sur le chromosome 9. Les gènes correspondants sont indiqués (extrait modifié de la figure 2 de [2]).

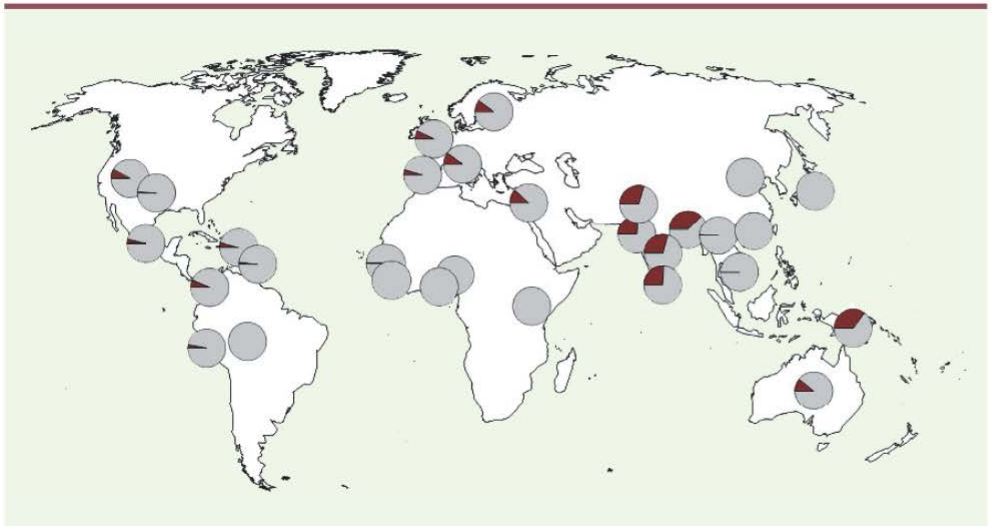
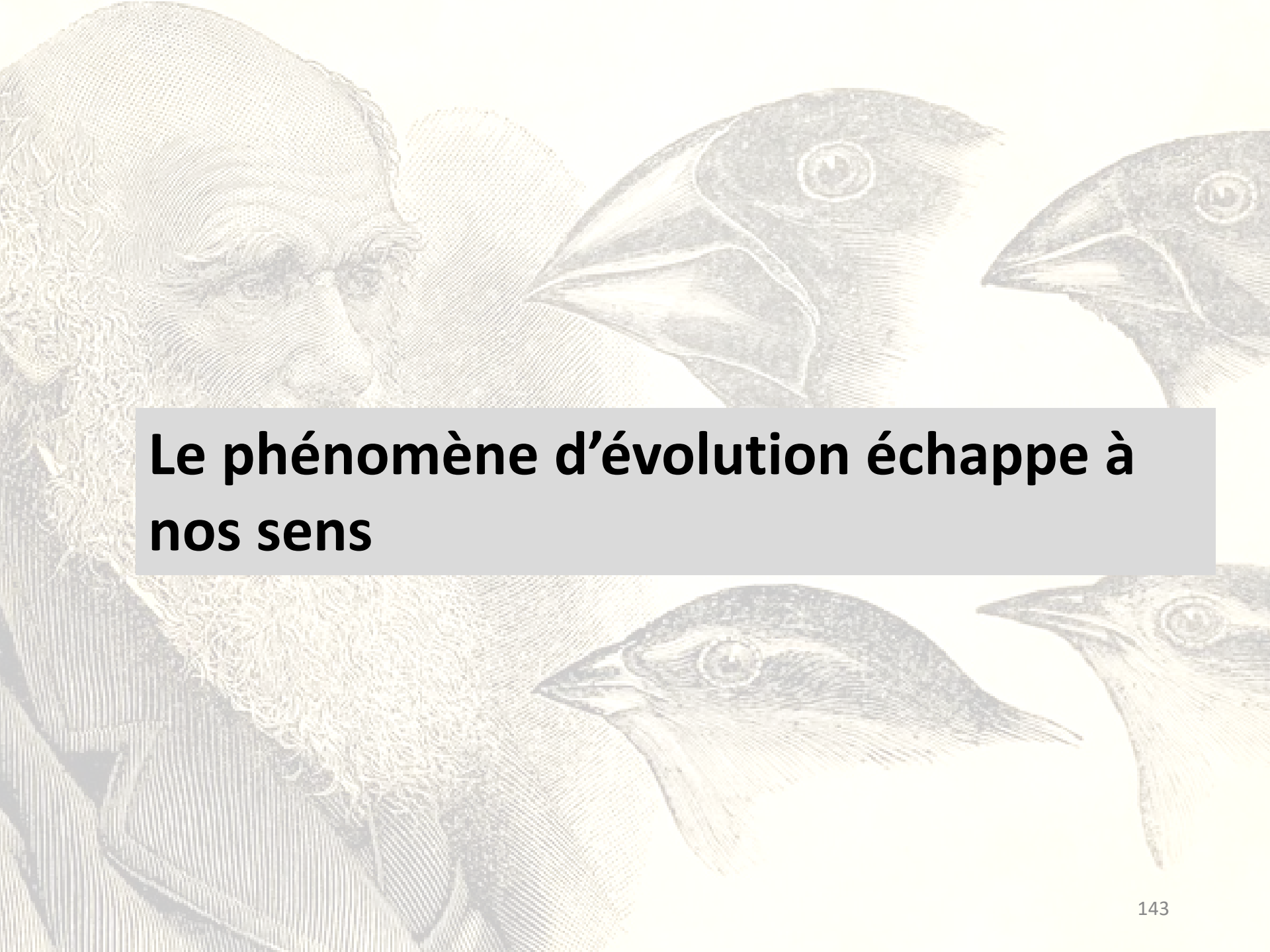


Figure 4. ***Distribution de l'allèle de risque pour une affection COVID-19 sévère*** (partie rouge des cercles) (extrait de la figure 3 de [3]).

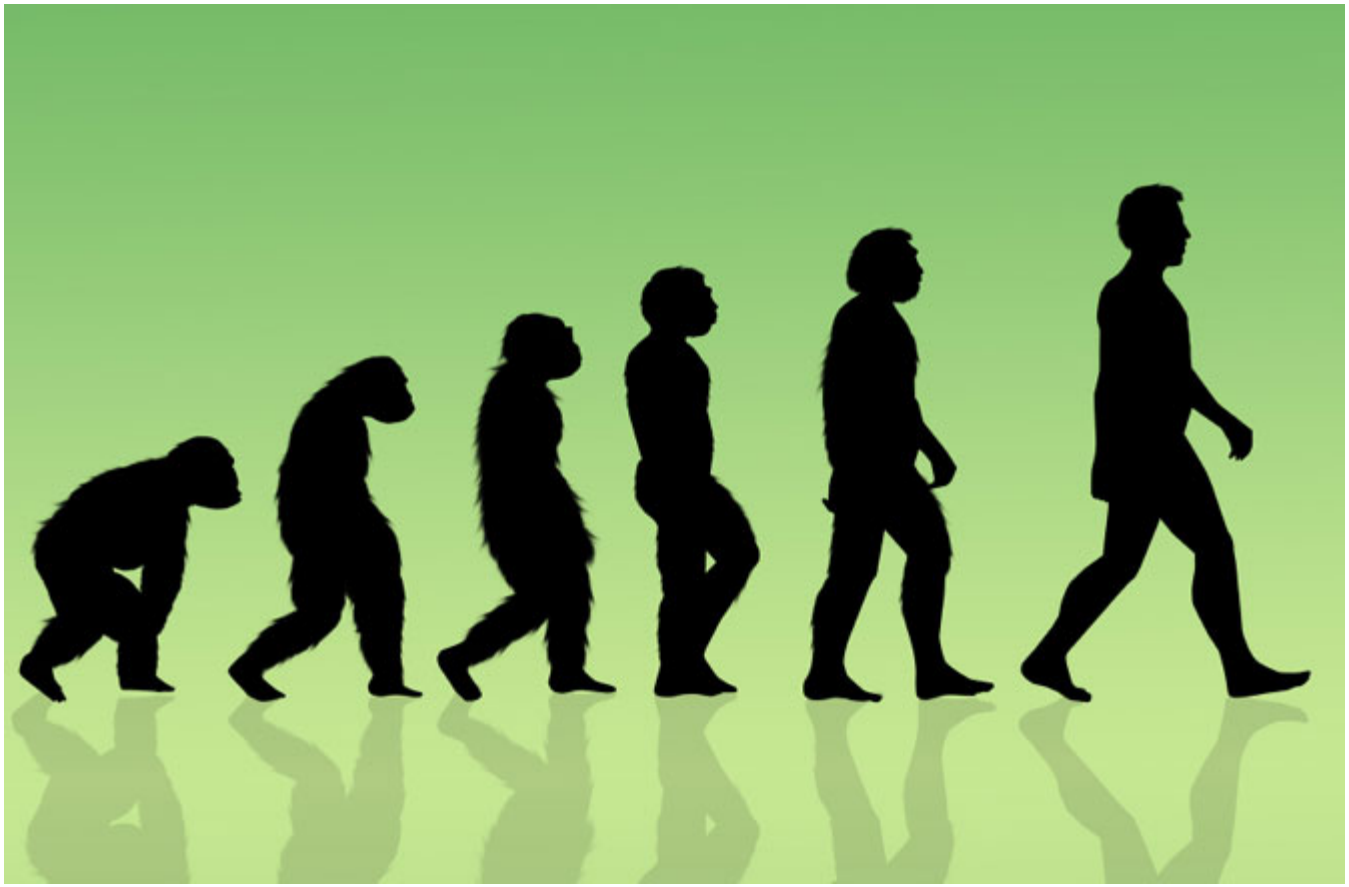
5-Construire « l'idée » d'Evolution

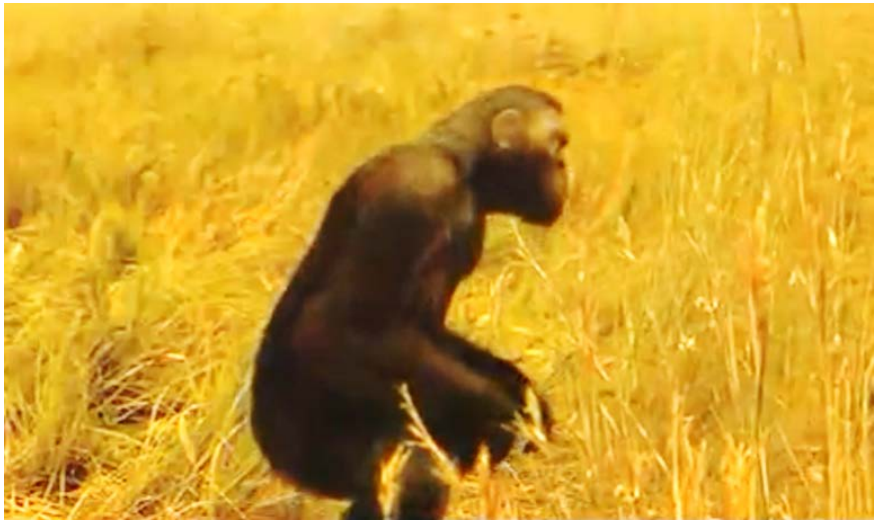


Le phénomène d’évolution échappe à nos sens

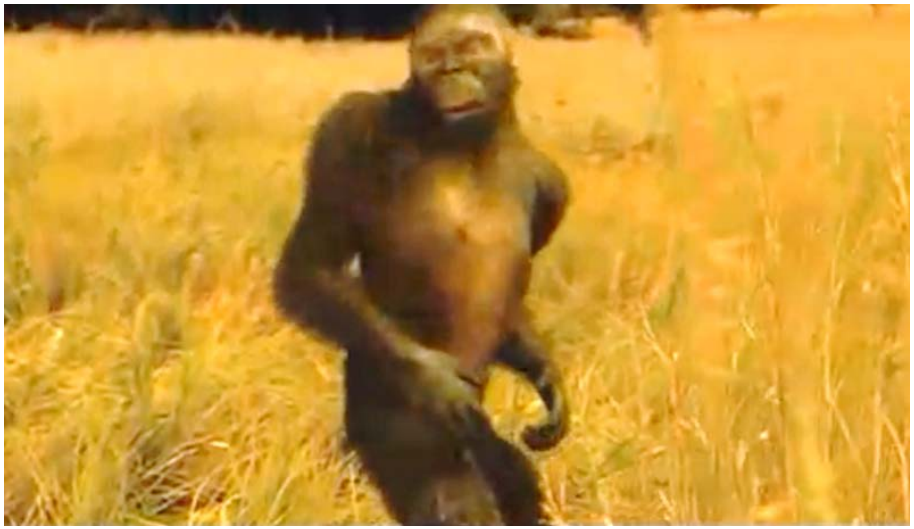
Attention aux raccourcis, au finalisme et à l'anthropocentrisme

L'évolution n'est pas un acteur extérieur aux individus et aux espèces, l'évolution est la dynamique interne même des individus et des espèces





L’odyssée de l’espèce

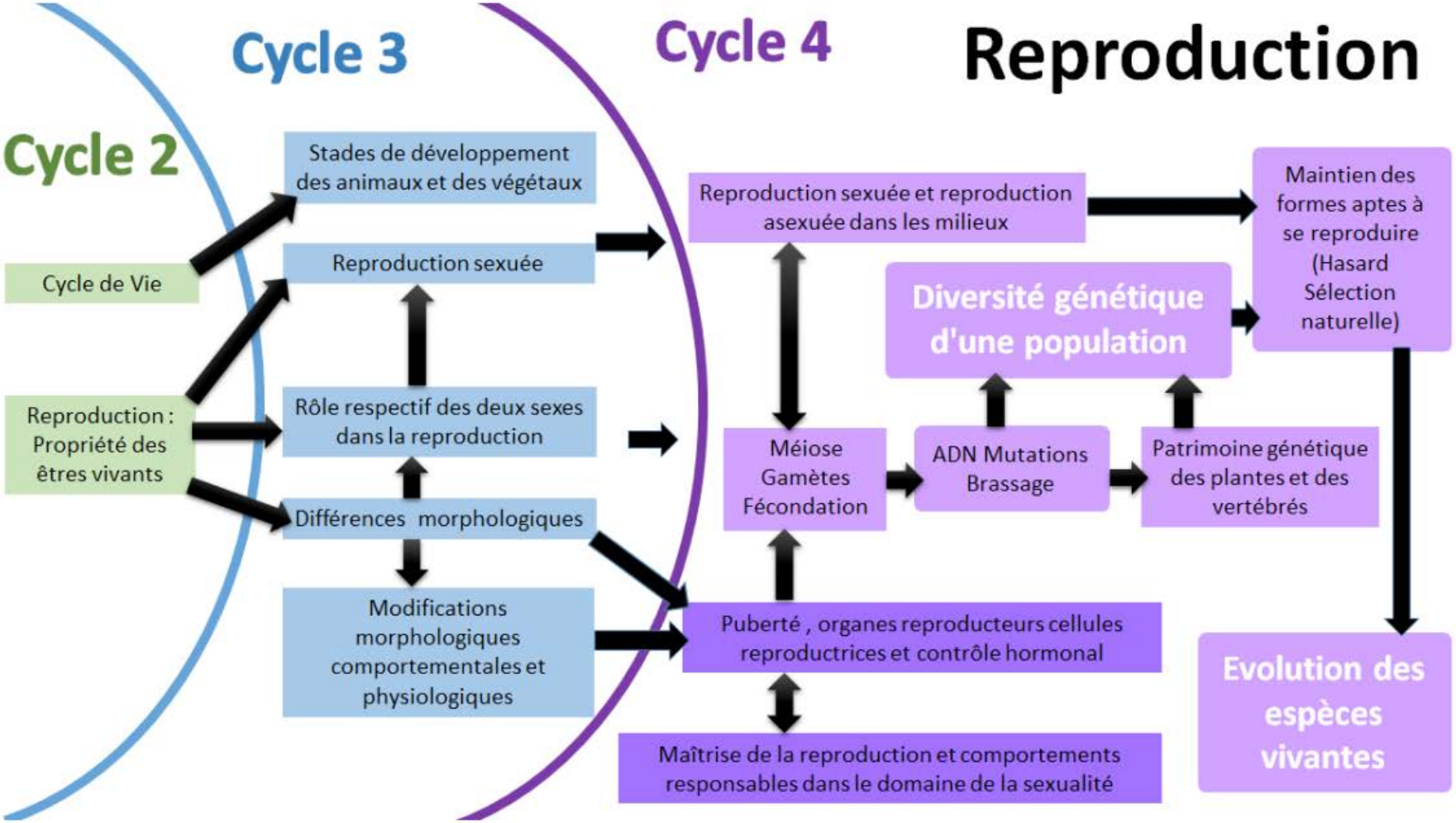


Reproduction, croissance et développement des êtres vivants

Attendus de fin de cycle

CYCLE 2 QUESTIONNER LE MONDE	CYCLE 3 SCIENCES ET TECHNOLOGIES	CYCLE 4 SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE
Comment reconnaître le monde vivant ? • Reconnaître des comportements favorables à la santé.	**Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent (thème 2).** • Décrire comment les êtres vivants se développent et deviennent aptes à se reproduire.	**Le vivant et son évolution.** • Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps. • Mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer : - la dynamique des populations, - la biodiversité (diversité des espèces), - la diversité génétique des individus, - l'évolution des êtres vivants.

Compétences et connaissances associées



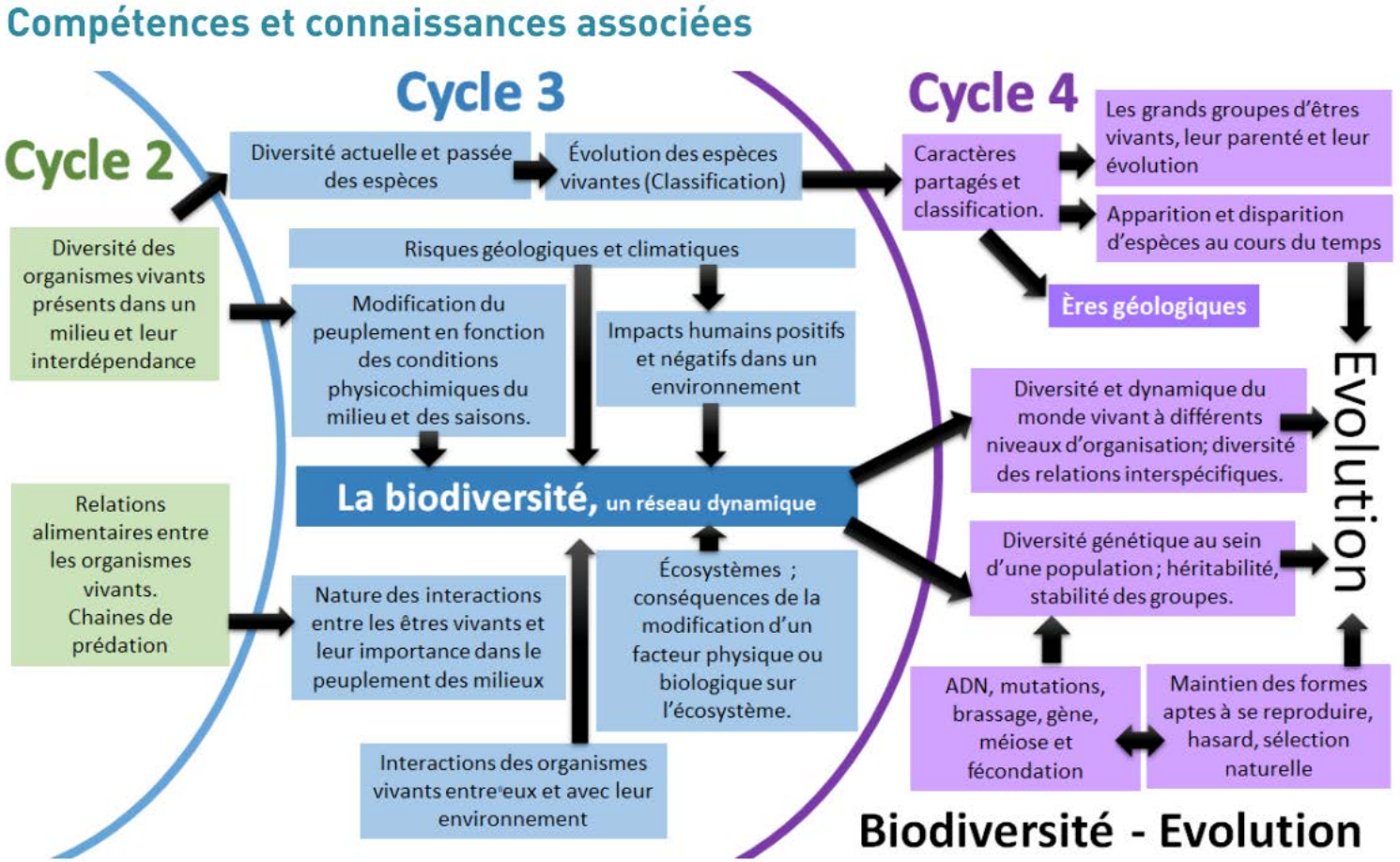
Biodiversité – Évolution

Attendus de fin de cycle

CYCLE 2 QUESTIONNER LE MONDE	CYCLE 3 SCIENCES ET TECHNOLOGIES	CYCLE 4 SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE
Comment reconnaître le monde vivant ? • Connaître les caractéristiques du monde vivant, ses interactions, sa diversité.	**Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent (thème 2).** • Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes. **La planète Terre, les êtres vivants dans leur environnement (thème 4).** • Identifier des enjeux liés à l'environnement.	**Le vivant et son évolution.** • Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps. • Mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer : - la dynamique des populations, - la classification du vivant, - la biodiversité, - la diversité génétique des individus, - l'évolution des êtres vivants. **La planète Terre, l'environnement et l'action humaine.** • Identifier les principaux impacts de l'action humaine, bénéfices et risques, à la surface de la Terre. • Envisager ou justifier de comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources limitées de la planète.

En classe de 6e, la prise en compte d'un nouveau caractère partagé par tous les êtres vivants, la cellule, renforcera l'idée d'une parenté entre tous les êtres vivants, et donc d'une origine commune.

L'idée d'une évolution du monde vivant sera bâtie peu à peu en s'appuyant tout à la fois sur quelques exemples de biodiversité passée et sur les classifications établies. Les quelques



2 Appartenir à la même espèce

Une espèce est un groupe d'êtres vivants ayant des caractères communs et pouvant avoir des descendants capables de se reproduire.

1. Plusieurs races de chiens.

2. Un bichon frisé : croisement entre un bichon maltais et un caniche.

› À l'aide de la définition, indique si ces chiens font partie ou non de la même espèce.

3 Comment expliquer la diversité des espèces actuelles ?

Je cherche

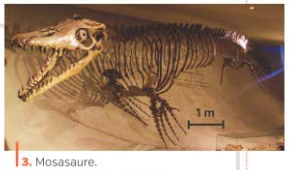
Socle Compétences
- Domaine 1 : expliquer un phénomène
- Domaine 2 : extraire les informations pertinentes d'un document

1 Quelles informations apportent les fossiles ?

Les fossiles sont des restes ou des moulages d'animaux ou de végétaux conservés dans des roches. Ce sont donc des traces de la vie passée de notre planète.

1. Trilobites.

2. Ammonites.



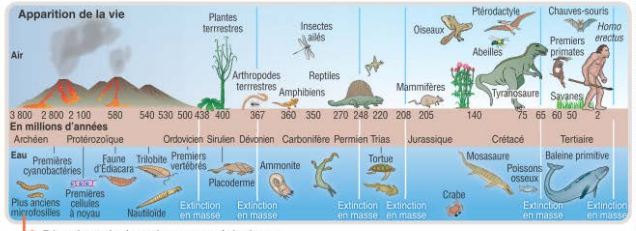
3. Mosasaure.

4. Tyrannosaure.

5. Ptérodactyle.

6. Meganeura.

7. Homo erectus.



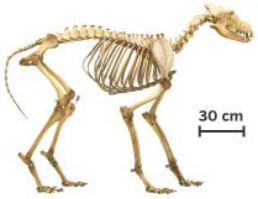
9. Frise chronologique des temps géologiques.

a À l'aide de la frise des temps, retrouve à quelle période ont vécu ces organismes fossilisés.
b Que peux-tu conclure au sujet de l'évolution de la biodiversité de notre planète au cours du temps ?
c Compare l'apparition des premiers êtres humains sur Terre, l'*Homo habilis*, à celle des premiers êtres vivants. Que constates-tu ?

2 Comment déterminer les liens de parenté entre deux espèces ?

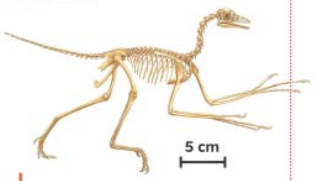
- On peut classer les êtres vivants selon les attributs qu'ils partagent. L'apparition d'un nouvel attribut est à l'origine d'un nouveau groupe d'espèces.
- Plus deux espèces ont de caractères communs, plus elles sont proches et ont un fort lien de parenté.

3. Gavial.



1. Loup.

2. Grenouille.



4. Archaeopteryx.

collegien.nathan.fr/sciencestechno6, lien 502

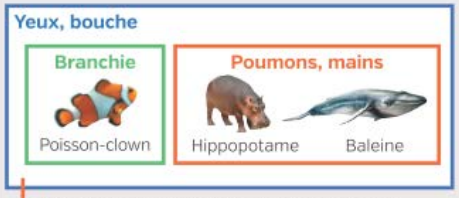
	Clavicules réunies	Doigts	Plusieurs types de dents	Plusieurs vertèbres cervicales	Pouce opposable	Trou dans la mandibule
Grenouille	Absentes	Présents	Absents	Absentes	Absent	Absent
Loup	Absentes	Présents	Présents	Présentes	Absent	Absent
Homme	Absentes	Présents	Présents	Présentes	Présent	Absent
Gavial	Absentes	Présents	Absents	Présentes	Absent	Présent
Tétras	Présentes	Présents	Absents	Présentes	Absent	Présent
Archaeopteryx	Présentes	Présents	Absents	Présentes	Absent	Présent

6. Tableau des attributs obtenus à partir du logiciel Phylogène collège.

5. Tétras.

a Construis les groupes emboîtés de cette page. Tu peux utiliser le logiciel Phylogène collège.

3 La baleine, un poisson ?



1. Classement de la baleine, de l'hippopotame et du poisson-clown par groupes emboîtés.

	Poisson clown	Baleine	Hippopotame
Yeux, bouche	×	×	×
Branchies	×		
Poumons		×	×
Main		×	×

2. Tableau bilan des attributs de la baleine, de l'hippopotame et du poisson-clown.

Mécanismes de l'évolution

CHAPITRE 20

ACTIVITÉ 1 L'évolution des populations

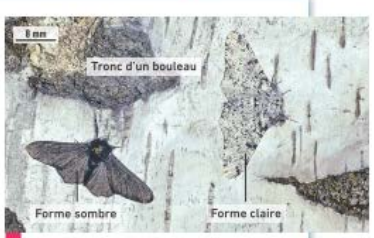
TÂCHE COMPLEXE

LA SITUATION

La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Sa coloration varie du gris clair au noir. Au milieu du XIXe siècle, la forme claire était majoritaire en Angleterre. En 1848, on rapporte pour la première fois l'existence d'une forme sombre dans la région de Manchester. **Comment expliquer l'évolution des populations de certaines espèces ?**

MA MISSION Décrire les mécanismes à l'origine de l'évolution des populations.

Compétences
- Proposer une hypothèse
- Mettre en œuvre un protocole expérimental

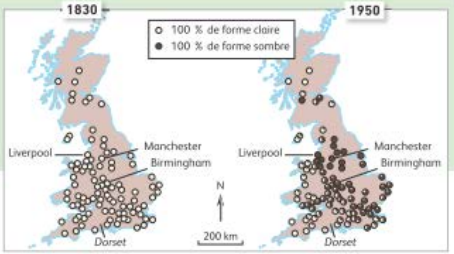


a Les formes sombre et claire de la phalène du bouleau.

Aides / Indicateurs

1 Une sélection liée à l'environnement

• Manchester est la plus ancienne région industrielle d'Angleterre.
À partir de 1848, la forme sombre de la phalène se répand rapidement dans les **populations** des autres régions industrielles (Liverpool, Birmingham).



b L'évolution des populations de phalènes en Angleterre.

DICO
- **Allèle :** version possible d'un gène.
- **Génotype :** allèles possédés par un individu.
- **Phénotype :** ensemble des caractères observables chez un individu (exemples : couleur, forme des ailes).
- **Population :** groupe d'individus appartenant à la même espèce et qui partagent un espace commun.

• Rapidement, les scientifiques supposent que la pollution dans les régions industrielles influence l'évolution des populations de papillons : les phalènes de **phénotype** sombre seraient moins visibles sur les troncs de bouleaux devenus sombres dans ces régions ; elles seraient donc moins mangées par les oiseaux et donneraient plus de descendants.
• En 1955, une expérience est réalisée : le même nombre de phalènes claires et sombres sont placées sur les troncs d'arbres dans les villes de Birmingham et Dorset (→ **doc. b**). Le nombre de phalènes mangées est compté. Les résultats de cette expérience sont donnés ci-dessous.

	Birmingham		Dorset	
Phénotype	Clair	Sombre	Clair	Sombre
Phalènes mangées (en %)	74	26	13,7	86,3

c Une expérience pour étudier les populations de phalènes.

2 Des variations liées au hasard

• Toutes les populations humaines partagent les mêmes quatre groupes sanguins, génétiquement hérités : O, A, B et AB.
D'une population à l'autre, la fréquence des groupes sanguins varie. Pourtant, rares sont les êtres humains qui prennent en considération ce caractère dans le choix de leur compagnon !
• Peu de personnes connaissent leur groupe sanguin : en effet, en dehors des situations de transfusion sanguine où il faut vérifier la compatibilité avec un donneur potentiel, le groupe sanguin n'a aucune incidence sur la capacité à vivre dans un environnement.

d **Le groupe sanguin humain :** un caractère aux variations indépendantes de l'environnement.

Lieu \ Groupe sanguin	O	A	B	AB
Monde	44 %	45 %	8 %	3 %
France	45 %	43 %	9 %	3 %
Japon	37 %	31 %	22 %	10 %

e La répartition des groupes sanguins chez quelques populations.

• Le gène responsable des groupes sanguins existe sous trois versions : les **allèles** A, B et O. Chaque individu possède deux allèles de ce gène, chacun étant hérité d'un de ses parents.
• Les allèles possédés par un individu déterminent son groupe sanguin :

Allèle n° 1	Allèle n° 2	Groupe sanguin
O	O	O
A	A	A
A	O	A
B	B	B
B	O	B
A	B	AB

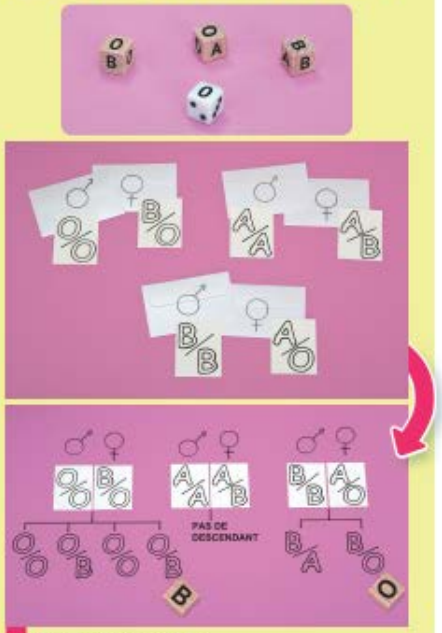
f Allèles et groupes sanguins.

JE MODÉLISE

Modéliser la transmission aléatoire (au hasard) des allèles du gène responsable des groupes sanguins.

Matériel : 3 dés « allèles » à 6 faces (un avec 3 faces A et 3 faces B ; un avec 3 faces A et 3 faces O ; un avec 3 faces B et 3 faces O) ; 1 dé numéroté de 0 à 5 ; 6 papiers représentant les 6 **génotypes** possibles (A/B), (A/O), (B/O), (O/O), (A/A), (B/B) ; 6 enveloppes.
Former des groupes d'élèves.

ÉTAPES
1. Introduire chaque papier dans une enveloppe. Mélanger les enveloppes, puis marquer trois enveloppes « femme » (♀) et trois enveloppes « homme » (♂).
2. Former trois couples au hasard avec ces enveloppes. Pour chaque couple, avec le dé numéroté de 0 à 5, tirer au sort le nombre d'enfants. Puis, avec les dés « allèles », tirer au sort pour chaque enfant les allèles hérités des parents.
3. Noter les résultats sous forme d'un arbre généalogique ; faire le bilan de la répartition des groupes sanguins pour la population obtenue.



g Un résultat possible.

ACTIVITÉ 2 L'évolution des espèces

À partir des variations observées dans les populations de pinsons des îles Galápagos, Darwin est parvenu à expliquer l'origine des espèces vivantes, avec la théorie de l'évolution. **Comment les variations dans les populations conduisent-elles à l'apparition de nouvelles espèces ?**

Compétences
- Distinguer le fait scientifique d'une croyance
- Choisir un mode de communication approprié

MA MISSION **Présenter les arguments scientifiques pour expliquer comment une population initiale conduit à l'apparition d'une nouvelle espèce.**

1 De la population à l'espèce

a ***Culex pipiens pipiens*, une espèce de moustique présente à Londres** (Royaume-Uni).

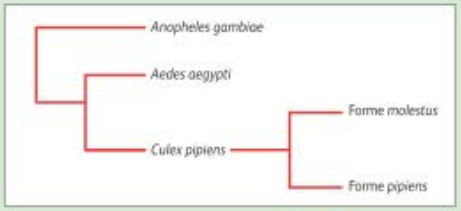
- À l'origine, une seule espèce de moustique existait dans la ville de Londres : *Culex pipiens pipiens*.
Au cours de la réalisation des voies de métro, quelques moustiques sont entrés dans les tunnels du sous-sol. Cette petite population a progressivement évolué indépendamment de la première, du fait de la séparation géographique (sous-sol/air libre).
- Les différences génétiques entre les deux espèces sont devenues telles que la reproduction entre moustiques du métro et moustiques de surface devint impossible.
- C'est ainsi qu'a émergé, à partir de l'espèce d'origine, une autre espèce de moustique : *Culex pipiens molestus*.

b **L'histoire des moustiques du métro londonien.**

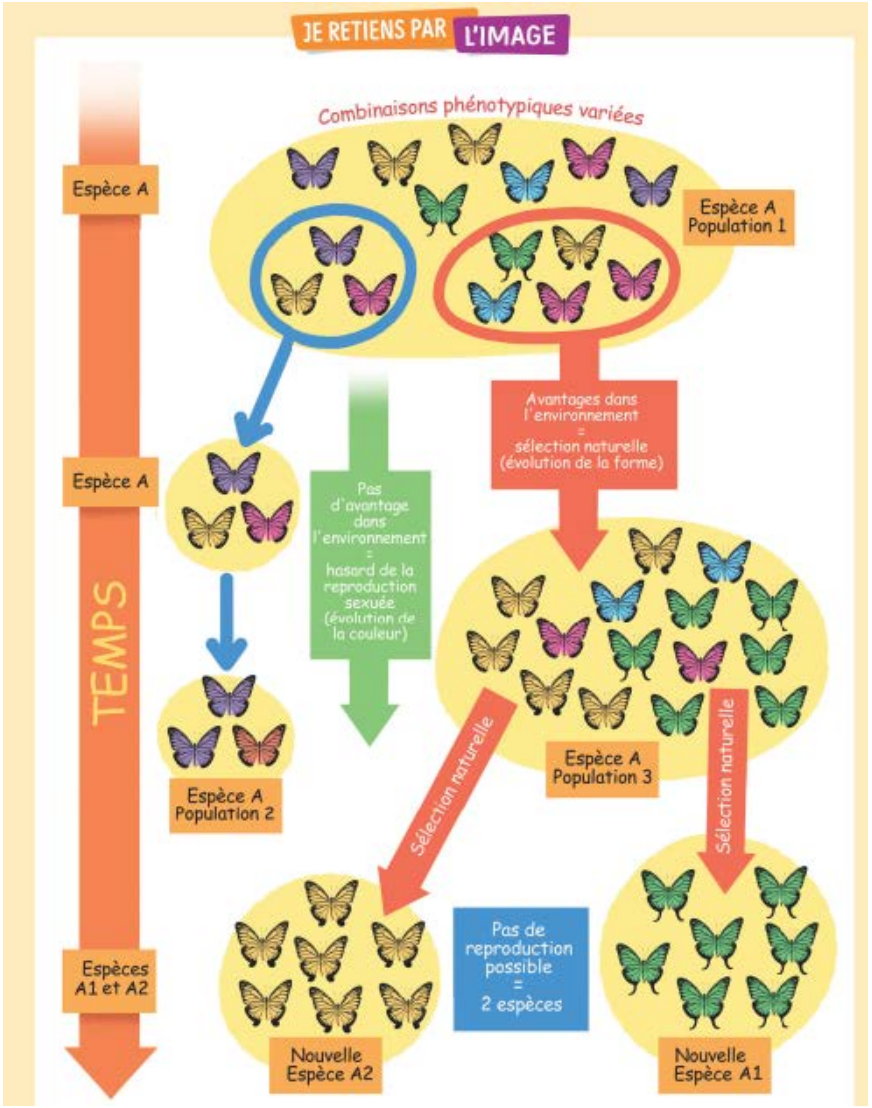
	Culex pipiens molestus	*Culex pipiens pipiens*
Localisation	Dans le métro	En surface
Conditions environnementales	Température chaude et stable toute l'année, flaques d'eau et nourriture abondante	Hivers rigoureux, alternance des saisons
Comportement	La ponte de œufs ne nécessite pas un repas sanguin de la femelle ; ne supporte plus le froid	La ponte de œufs nécessite un repas sanguin de la femelle
Repas sanguin	Sur des mammifères (humains, rats, souris)	Surtout sur les oiseaux
Interfécondité naturelle et testée en laboratoire	L'accouplement a lieu dans des espaces confinés	L'accouplement a lieu dans des espaces ouverts
	L'interfécondité est nulle entre les deux espèces	

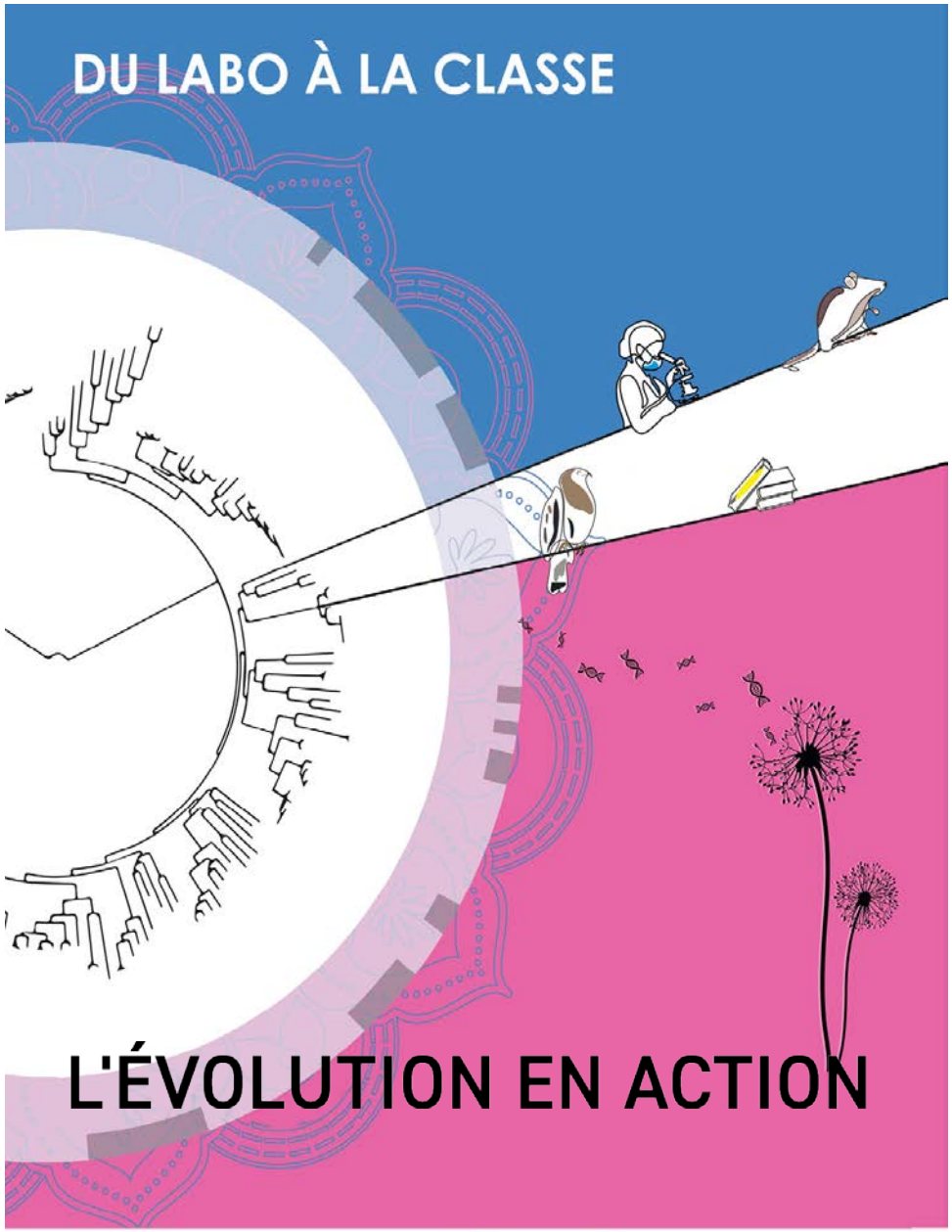
c **Quelques caractéristiques de deux espèces de moustiques.**

- Il existe aujourd'hui sur Terre plusieurs milliers d'espèces de moustiques différentes. L'analyse de leur ADN a mis en évidence leurs relations de parenté, partant du principe que plus leur ADN est semblable, plus les espèces sont proches.



d **Un arbre de parenté entre différentes espèces de moustique.**





https://www.apbg.org/publi_evolution_action/

ÉVOLUTION RAPIDE DE
LA PÉRIODE DE FLORAISON
D'UNE
PLANTE ANNUELLE,
BRASSICA RAPA EN RÉPONSE
AUX FLUCTUATIONS
CLIMATIQUES

Évolution rapide de la période de floraison d'une plante annuelle en réponse aux fluctuations climatiques

D'après l'article Franks et al., Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation Proc. Natl. Acad. Sci. 104: 1278-1282 (2007)

S. Maurice[1], P. Fabre[2], C. Le Gall[3], L. Malardier[4], S. Volle[5], F. Vuillaume[6]

1. Institut des sciences de l'évolution, Université de Montpellier, CNRS, IRD, EPHE 2. Lycée Jean Monnet, Montpellier 3. Collège Les Garrigues 4. Lycée Rabelais, Montpellier 5. Collège Les Aigueretles, Montpellier 6. Lycée Joffre, Montpellier

Introduction

Figure 1 . Cycle de vie de *Brassica rapa var.compestris (L.)*

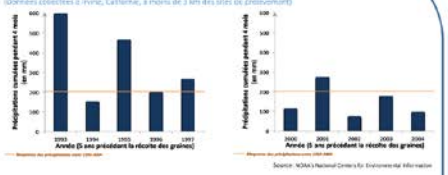
Brassica rapa (ou navette) appartient à la même famille que le chou, le navet, le colza et la moutarde (famille des Brassicacées).

Elle pousse à l'état sauvage préférentiellement en milieu humide sur la côte californienne. Sa germination commence aux premières pluies et la floraison a lieu de 40 à 60 jours après ces pluies (Figure 1).

Ressources collège

Figure 2. Cumul des précipitations après la première pluie

(Données collectées à Irvine, Californie, à moins de 3 km des sites de prélèvement)



Source: NOAA's National Centers for Environmental Information

Figure 3. Protocole expérimental

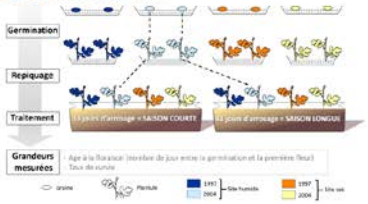


Figure 4. Taux de survie des individus en fonction de l'origine des graines et de la durée d'arrosage

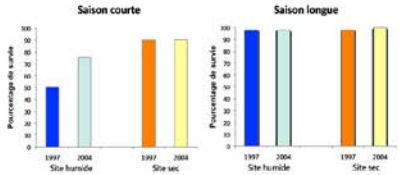
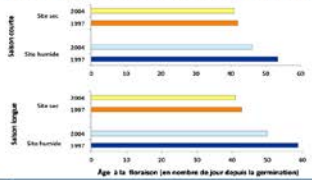


Figure 5. Age à la floraison des individus selon leur origine et la durée d'arrosage



Ressources lycée

Figure 2. Écart à la moyenne* des précipitations cumulées pendant 100 jours suivant la première pluie sur les 5 années précédant chaque récolte de graines. (Données collectées au Irvine Ranch Water District, Californie). *La moyenne (= 0) est calculée sur les 10 années représentées.

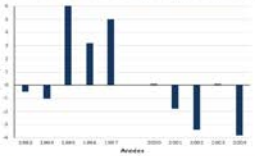


Figure 3. Protocole expérimental

Des graines de *Brassica rapa* ont été prélevées en 1997 et 2004 dans deux sites californiens différant par la disponibilité en eau du sol. On les qualifie de site "humide" et de site "sec". Des croisements ont été réalisés dans la serre de l'Université d'Irvine (Californie) pour atténuer les effets des conditions de production des graines et du temps de stockage. Pour chacun des deux sites d'origine, on produit des plantes F1 de trois types : 1997 x 1997, 1997 x 2004 et 2004 x 2004.

Après germination, on rassemble dans un même pot une plantule de chaque F1. Cette opération est répétée 200 fois. Les conditions de culture sont identiques pour l'ensemble des pots à l'exception de la durée d'arrosage :

- 100 pots ont été arrosés pendant 33 jours (saison courte),
- 100 pots ont été arrosés pendant 81 jours (saison longue).

On note l'âge à la floraison de chaque plante et on calcule le taux de survie en fin d'expérience.

Figure 4. Taux de survie des individus en fonction de leur origine, de la durée d'arrosage et de leur statut génétique (1997 = F1 1997x1997; H = F1 1997x2004; 2004 = F1 2004x2004)

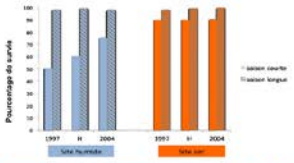
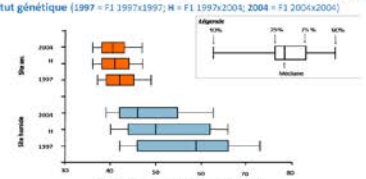


Figure 5. Age à la floraison des individus selon leur origine, la durée d'arrosage et leur statut génétique (1997 = F1 1997x1997; H = F1 1997x2004; 2004 = F1 2004x2004)



Conclusion

Les précipitations ont clairement diminué au cours des 5 années qui précèdent la collecte des graines en 2004 (Figures 2). En conditions environnementales contrôlées (Figures 3), les navettes issus des graines de 2004 venant du site qualifié d'« humide » survivent mieux (Figures 4) et fleurissent plus tôt (Figures 5) lors d'une saison des pluies courte que celles issues des graines collectées dans le même site en 1997. Cela suggère une adaptation des populations de ce site à des pluies moins fréquentes.
Les hybrides entre des individus de 1997 et de 2004 montrent des phénotypes intermédiaires ce qui suggère une base génétique aux différences observées (Figures 4 et 5).

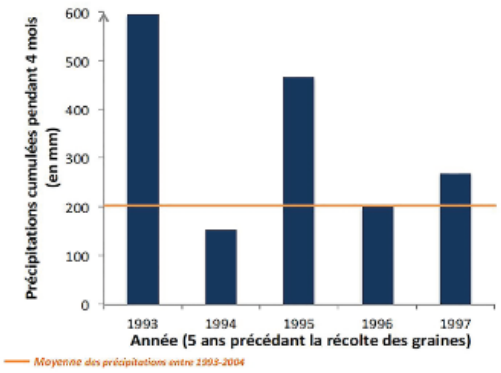
Une vraie approche populationnelle

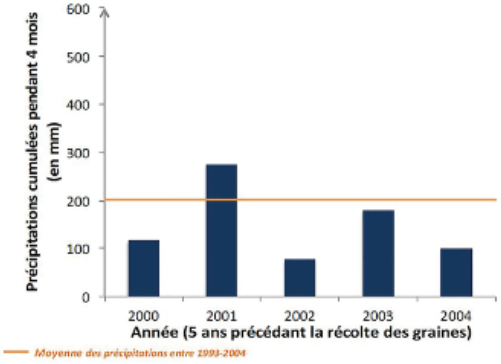
EXEMPLE D'ACTIVITÉ
COLLÈGE - CYCLE 4
REMOBILISATION - RÉINVESTISSEMENT

Situation initiale

1 Localisation géographique d'Irvine

2 Données pluviométriques pendant les saisons des pluies





Objectif général
- Attendu de fin de cycle : mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer l'évolution des êtres vivants.

Objectif notionnel
- Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution : maintien des formes aptes à se reproduire, hasard, sélection naturelle.

Objectif méthodologique
- Pratiquer des langages : lire et exploiter des données présentées sous différentes formes.
- Pratiquer des démarches scientifiques : communiquer sur ses démarches, ses résultats et ses choix, en argumentant.

Prérequis
- Notionnels : cycles de vies des végétaux (décrire comment les êtres vivants se développent et deviennent aptes à se reproduire – Cycle 3) ; différence météo-climat, précipitations, ensoleillement – Cycle 4); variations de la biodiversité actuelle (Cycle 4) ;
- Méthodologiques : étapes de la démarche expérimentale ; lecture d'un graphique (fiches d'aides).

Justifier, à l'aide de ces deux graphiques, que la période de 2000-2004 a été plus sèche que celle de 1993-1997.

Exploitation attendue

Analyse des diagrammes en bâtons :
- relever des valeurs qui permettent de montrer que, malgré l'hétérogénéité interannuelle, les précipitations lors des saisons des pluies 1ère période > 2ème période ;
- rapport à la moyenne = tendance à avoir des années plus sèches à partir de 2000.

ÉVOLUTION RAPIDE DE LA PÉRIODE DE FLORAISON D'UNE PLANTE ANNUELLE EN RÉPONSE AUX FLUCTUATIONS CLIMATIQUES

En exploitant les documents, aider les chercheurs à déterminer les conséquences éventuelles de l'assèchement sur le cycle de vie de la moutarde sauvage. Intégrer à la réponse une analyse précise des diagrammes en bâtons.

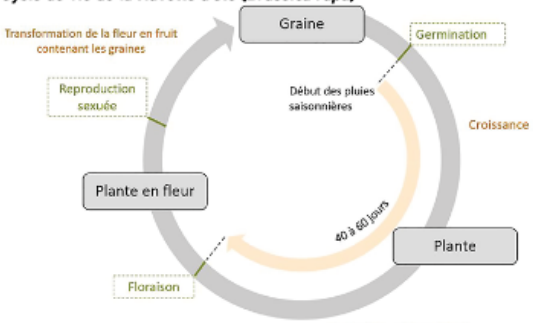
Mise en situation

Des chercheurs se sont demandé si l'assèchement constaté à Irvine a eu des conséquences sur le cycle de vie des plantes à fleurs. Pour explorer cette idée, ils ont prélevé des graines de Navette d'été (*Brassica rapa*) en 1997 et en 2004, dans deux lieux distincts :
- un lieu dont le sol ne retient pas l'eau, appelé **"site sec"** ;
- un lieu dont le sol retient l'eau, appelé **"site humide"**.

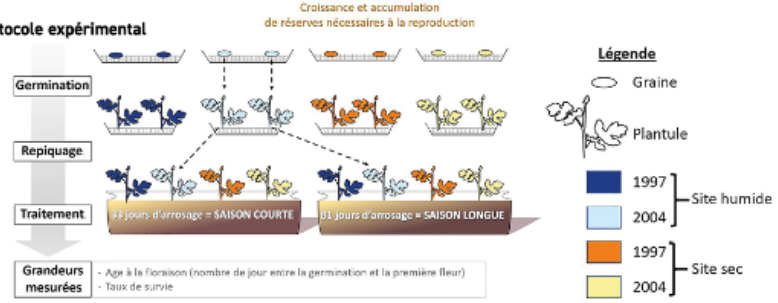
Ces graines ont ensuite été mises en culture dans des conditions identiques à l'exception de la durée d'arrosage :
- une durée d'arrosage de 33 jours, mimant une saison des pluies **"courte"**, donc des précipitations cumulées faibles ;
- une durée d'arrosage de 81 jours, mimant une saison des pluies **"longue"**, donc des précipitations cumulées importantes.

Sur les plantes issues de ces graines, on a mesuré **l'âge de floraison** ainsi que **le taux de survie**.

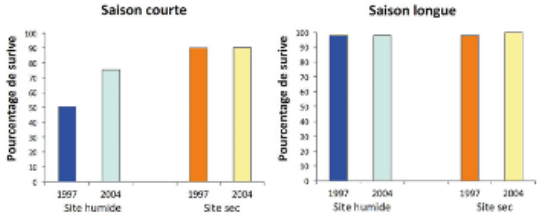
1 Cycle de vie de la Navette d'été (*Brassica rapa*)



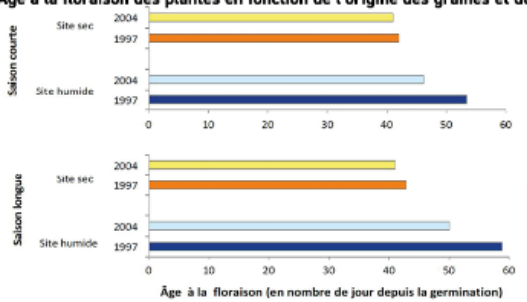
2 Protocole expérimental



3 Taux de survie des plantes en fonction de l'origine des graines et de la durée d'arrosage



4 Âge à la floraison des plantes en fonction de l'origine des graines et de la durée d'arrosage



Fiche d'aide niveau 1

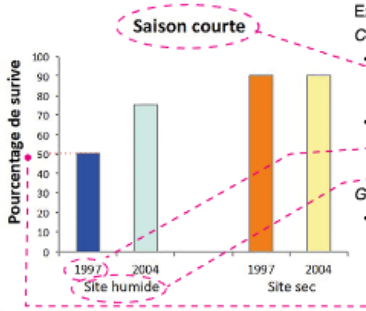
- Repérer les titres des axes avec leur unité.
- Repérer et noter pour chaque bâton les conditions qui lui correspondent (origine de la graine, année, durée d'arrosage).
- Repérer la grandeur mesurée et donner la valeur correspondante pour chaque bâton.
- Comparer ces valeurs 2 par 2.
- Établir un lien entre cette comparaison et les conditions correspondantes.

Fiche d'aide niveau 2

« Sur le graphique on peut voir qu'en 1997, sur le site humide, en saison courte, il y a 50% de survie des plantes. »

- Retrouver cette valeur sur le diagramme en bâton.
- Faire de même pour les autres bâtons.

Fiche d'aide niveau 3



Exemple si on considère le bâton bleu foncé

Conditions :

- les graines ont été mises en culture en « saison courte », c'est-à-dire arrosées pendant seulement 33 jours ;
- elles ont été prélevées en 1997 sur le site humide.

Grandeur mesurée :

- la hauteur du bâton correspond au pourcentage de survie de ces graines, soit 50%.

Éléments de correction

Pour l'interprétation, il faut croiser les résultats avec les données de pluviométrie et faire le lien avec le protocole expérimental.

Site	Année	Taux de survie (%) – Saison courte	Taux de survie (%) – Saison longue	Comparaison 2 à 2 (saison courte/saison longue)
Humide	1997	50	98	Les plantes issues d'un site humide ont un taux de survie moins bon lors d'une saison des pluies courte que d'une saison longue. La différence de survie est la plus forte pour les plantes de 1997.
	2004	75	98	
Sec	1997	90	98	Les plantes issues d'un milieu sec ont un taux de survie important aussi bien en saison courte que longue.
	2004	90	98	

Comparaison 2 à 2 (site humide / site sec)

- (1) En saison courte, les plantes issues de graines provenant du site sec ont une survie supérieure à celles du site humide.
- (2) Graines du "site sec" : les plantes survivent autant, que les graines aient été prélevées en 1997 ou 2004.
- (3) Graines du "site humide" : les plantes issues de graines prélevées en 2004 survivent plus que celles issues de graines de 1997.

Interprétation

Pour la saison de pluies courte :

- (1)+(2) les plantes issues du site sec supportent mieux une courte durée d'arrosage que celles issues du site humide ;
- (3) les plantes issues du site humide récoltées en 2004 supportent mieux une courte durée d'arrosage que celles récoltées en 1997.

INTERPRÉTATION

La durée d'arrosage courte affecte la survie des plantes de façon négative.

La durée d'arrosage longue est suffisante pour permettre la survie de toutes les plantes, quelle que soit leur origine.

CONCLUSION

Les plantes qui souffrent le plus d'une saison d'arrosage courte sont celles de 1997 issues du site humide puis celles de 2004.

Les années de sécheresse ont favorisé la sélection de caractères permettant aux plantes de mieux supporter la sécheresse.

Site	Année	Age de la floraison – Saison courte	Age de la floraison – Saison longue	Comparaison 2 à 2 (saison courte/saison longue)
Humide	1997	53	67	Les plantes issues du site humide fleurissent plus tard en saison longue qu'en saison courte.
	2004	46	51	
Sec	1997	42	43	Pas de différence significative dans l'âge à la floraison.
	2004	41	41	

Comparaison 2 à 2 (site humide / site sec)

- (1) Les plantes issues du site humide fleurissent toujours plus tard que les plantes issues du site sec.
- (2) Pas de différence de floraison entre les plantes de 1997 et de 2004 issues des graines du site sec.
- (3) La floraison est plus rapide pour les plantes de 2004 issues des graines du site humide.

Interprétation

Pour la saison courte :

- (1)+(2) Les plantes issues du site sec montrent une adaptation au manque d'eau.
- (3) Les plantes issues du site humide montrent une adaptation au manque d'eau.
- Les périodes de sécheresses précédentes ont permis aux plantes issues du milieu humide d'avoir déjà amorcé une adaptation à ce manque d'eau.

INTERPRÉTATION

Les plantes de 2004 ayant subi une période de sécheresse (pluviométrie faible) semblent avoir amorcé une adaptation à ce manque d'eau.

CONCLUSION

L'avancée de la date de floraison est une adaptation à la sécheresse : elle permet aux plantes de fleurir et donc de produire des descendants avant de mourir.

Synthèse mise en relation des informations

Les plantes issues du site sec sont déjà adaptées à la sécheresse :
- elles survivent bien même en saison courte (plus de 90%) ;
- elles fleurissent tôt (40 à 43 jours après la germination).

Les plantes issues du site humide en 2004 sont plus adaptées à la sécheresse que celles issues du site humide en 1997 :
- elles survivent mieux en saison courte (75% contre 50%) ;
- elles fleurissent plus tôt (50 jours après la germination contre 58 en 1997).

Les plantes du site humide ont donc évolué entre 1997 et 2004. Les années de sécheresse ont sélectionné, au sein des populations de ces plantes, les individus dont les caractères permettent de mieux supporter la sécheresse. L'avancée de la date de floraison (caractère "date de floraison précoce") est aussi une adaptation à la sécheresse puisqu'elle permet aux plantes de fleurir et donc de produire des descendants avant de mourir. La sélection naturelle a eu pour conséquence une évolution adaptative en quelques générations des populations de *Brassica rapa* du site humide à Irvine.

Évaluation des compétences travaillées

Compétences travaillées	Niveau de maîtrise des compétences			
	Très bonne maîtrise	Maîtrise satisfaisante	Maîtrise fragile	Maîtrise insuffisante
D1. ***Pratiquer des langages :*** lire et exploiter des données.	Les données chiffrées sont extraites de tous les graphiques et comparées judicieusement.	Les données chiffrées sont extraites de tous les graphiques et comparées aléatoirement ou partiellement.	Les données chiffrées sont partiellement extraites des graphiques et rarement ou ne sont pas comparées.	Les données chiffrées sont peu ou partiellement extraites de tous les graphiques et non comparées.
D4. ***Pratiquer des démarches scientifiques :*** communiquer sur ses démarches, ses choix en argumentant.	Les informations des différents documents sont mises en relations en utilisant des mots de liaison et justifiées (comparaison de valeurs chiffrées).	Les informations des différents documents sont partiellement mises en relation et/ou justifiées.	Les informations des différents documents ne sont pas mises en relation ou non justifiées.	Les informations des différents documents ne sont pas mises en relation et non justifiées.

En cliquant sur les liens suivants, vous pourrez télécharger le poster et également l'ensemble des documents pour une exploitation facilitée.

Accès au poster

http://ent-apbg.org/evolution_action/navette/POSTER_navette.pdf

Accès aux documents

http://ent-apbg.org/evolution_action/navette/docs_navette.zip

ÉVOLUTION RAPIDE DE
LA DISPERSION DES
FRUITS EN MILIEU URBAIN
CHEZ *CREPIS SANCTA*

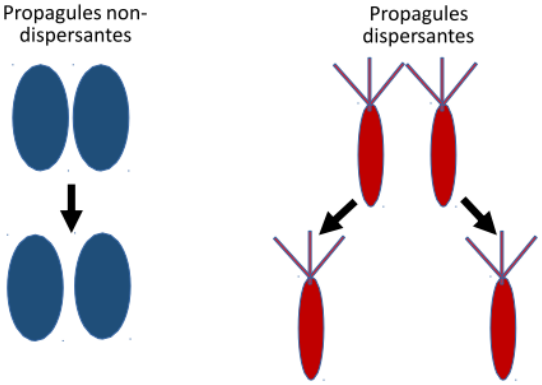
Évolution rapide de la dispersion des fruits en milieu urbain chez *Crepis sancta*

D'après l'article de Cheptou et al. « Rapid evolution of seed dispersal in an urban environment in the weed Crepis sancta », Proc. Natl. Acad. Sci. 105: 3796-3799 (2008).

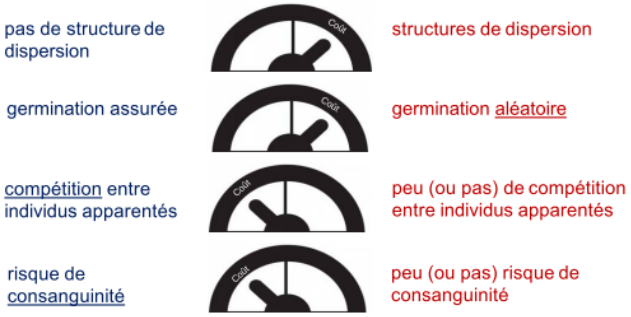
S.Hurtrez-Boussès[1], P.Delhon[2], E. Ducelier[3], F. Guiraud[3], A.Lopez[2], S. Premier[3]

1. Mivegec, Univ Montpellier, CNRS, IRD, Montpellier, France 2. Lycée A. Camus, Nîmes 3. Collège Feuchères, Nîmes

La dispersion : un trait ubiquitaire des organismes vivants

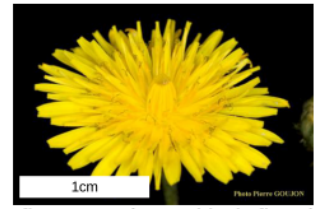


La sélection naturelle peut s'exercer sur les stratégies de dispersion (propagules dispersantes versus non dispersantes) si :
- la dispersion représente un coût ;
- il y a de la diversité : formes dispersantes vs non-dispersantes ;
- les traits de dispersion sont héritables.



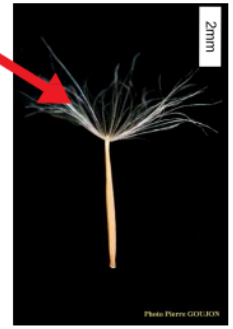
On s'attend à ce que les formes dispersantes soient moins fréquentes dans les populations où le coût à la dispersion est fort.

Modèle biologique : *Crepis sancta* ou Crépide de Nîmes



Inflorescence (ensemble de fleurs)

Infrutescence (avec fruits)



Fruit dispersant

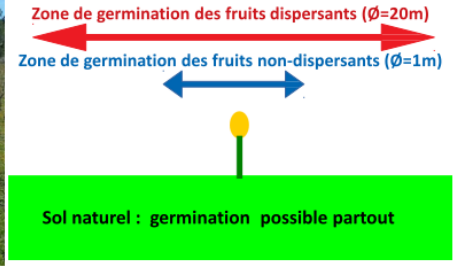
Fruits non-dispersants

Photos : P. Goujon - BioMedia-UPMC

Compte tenu du risque de perte associé, la dispersion peut être coûteuse dans certains environnements

Moins de fruits dispersants dans une population urbaine fragmentée

A. Population non-fragmentée



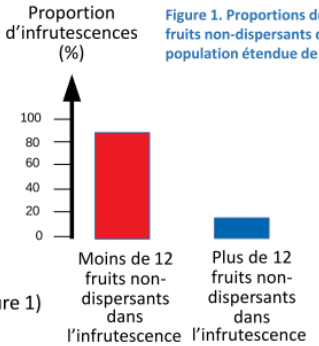
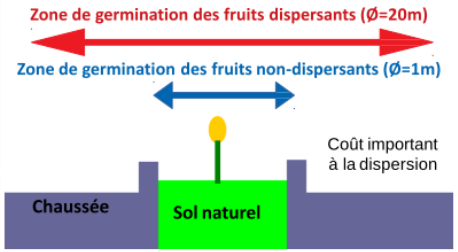


Figure 1. Proportions des fruits non-dispersants dans la population étendue de Claret

Nombre moyen de fruits non-dispersants sur une infrutescence de 100 fruits : 10 (Figure 1)

B. Population fragmentée



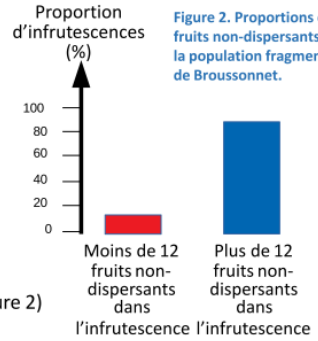
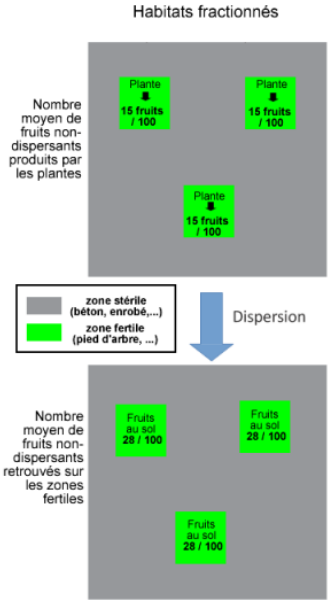


Figure 2. Proportions des fruits non-dispersants dans la population fragmentée de Broussonnet.

Nombre moyen de fruits non-dispersants sur une infrutescence de 100 fruits : 15 (Figure 2)

Milieu urbain = fort coût à la dispersion

Parcelles artificielles sur lesquelles sont placées les Crépides.

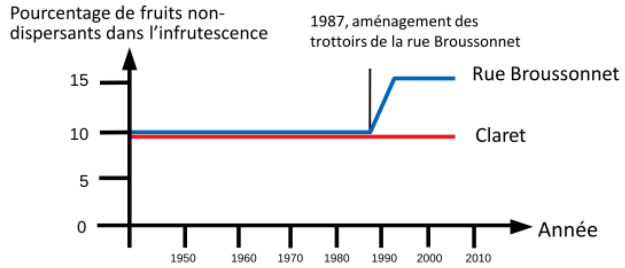


Les fruits dispersants ont beaucoup moins de chance de tomber sur une parcelle verte permettant leur germination que les fruits non- dispersants.

→ contre-sélection des fruits dispersants en habitat fragmenté = baisse de leur fréquence ?

Evolution du pourcentage de fruits non-dispersants sur 70 ans

Figure 3. Variations de la fréquence des fruits non-dispersants dans deux populations (la population fragmentée de « Broussonet » et la population étendue et non fragmentée de Claret) sur 70 ans.



Lien entre urbanisation et isolement des populations

Action de l'Homme : urbanisation → Habitats fragmentés → Fort coût à la dispersion → Contre-**sélection** des formes dispersantes

Réponse très rapide
(quelques dizaines d'années-Figure 3)

Isolement des populations
Car moins de dispersion

EXEMPLE D'ACTIVITÉ
COLLÈGE - CYCLE 4

ÉVOLUTION RAPIDE DE LA DISPERSION DES FRUITS EN MILIEU URBAIN CHEZ *CREPIS SANCTA*

Déroulement de la séquence
La séquence s'appuie sur une sortie en milieu extra-urbain agricole, puis urbain, durant la saison de floraison de la crépide (avril-mai). Les activités qui en découlent se déroulent sur deux séances.

Cette sortie est l'occasion de produire un relevé d'observations sur les deux milieux et de prélever des individus afin de les étudier en classe. La construction des trottoirs en ville est remarquée et notée sur le livret de sortie.

Document préparatoire
Même si compléter directement le fichier crepide.xlsx est possible, on peut également donner un lien vers un tableur collaboratif de type *framacalc* préparé à l'avance et faisant apparaître les pourcentages en fonction des nombres entrés par les groupes d'élèves. A cet effet, le fichier crepide.xlsx est disponible dans les documents téléchargeables.

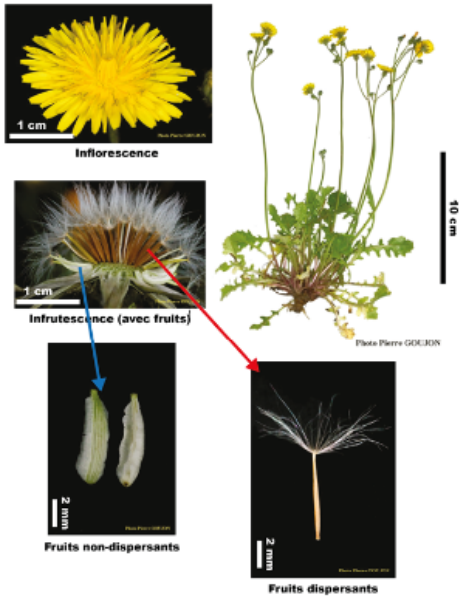
Programme
- Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales. Argumenter les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices/nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement.
- Relier des éléments de biologie de la reproduction sexuée et asexuée des êtres vivants et l'influence du milieu sur la survie des individus, à la dynamique des populations. Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution.

Prérequis
- Reproduction des plantes à fleurs, étudiée sur l'exemple de la crépide.

Activité 1

Quel impact l'action humaine peut-elle avoir sur une population de fleurs ?

1 Fiche descriptive des fleurs de la crépide



Compter pour chaque fleur le nombre de fruits dispersants et le nombre de fruits non-dispersants. Compléter le tableau commun à l'aide de ces nombres.

Décrire les résultats : comparer les deux populations, urbaine et rurale.

Proposer une explication aux effets d'une fragmentation de l'habitat sur les fleurs étudiées.

2 Deux environnements étudiés différents

Milieu ouvert riche en crépides

Milieu fragmenté avec des crépides sur le trottoir

Éléments de réponse
Les fruits dispersants sont en plus grand nombre chez les fleurs en milieu ouvert qu'en milieu fragmenté. À l'inverse, les fleurs en milieu fragmenté ont plus de fruits non-dispersants que les fleurs en milieu ouvert. En milieu fragmenté, les fruits non-dispersants de la crépide semblent être sélectionnés alors qu'en milieu ouvert ce sont les fruits dispersant qui semblent avantagés.

Activité 2

Comment la construction des trottoirs peut-elle avoir modifié les proportions des types de fruits de la crépide ?

3 les deux types de fruits de la crépide

a.
masse : 0,1g

b.
masse : 0,27g

Chaque plante forme deux types de fruits, certains équipés d'une ailette (a) qui aide à sa dispersion, d'autres (b) sans ailette.

Formuler des hypothèses pour expliquer les différences de proportions des deux types de fruits entre les milieux fragmentés et ouverts étudiés ici.

À partir du matériel proposé ou imaginé : différents fruits de la crépide sur pied, ventilateur, grandes feuilles adhésives, etc., réaliser un modèle pour tester votre hypothèse.

Décrire les résultats de votre expérience.

Conclure en justifiant la validité de l'hypothèse formulée.

Déroulement de la séance
Collectivement et en s'appuyant sur les documents 1 et 3, les élèves sont amenés à réfléchir aux explications possibles en les reliant à leur mécanisme de dispersion respectif.

Bien évidemment, il faut leur donner des fruits afin de faire leurs expériences...

Hypothèses attendues
« Après être tombés au sol, les deux types de fruits ne germent pas aussi facilement dans un milieu que dans l'autre ».

« Les deux types de dispersion ne donnent pas aux deux types de fruits les mêmes chances de tomber sur un sol favorable à la germination ».

Les élèves peuvent alors concevoir et mettre en œuvre l'expérience qui permettra de valider ou d'infirmer leur hypothèse.

LES ORCHIDÉES
TROMPEUSES, L'EXEMPLE
DE DACTYLORHIZA SAMBUCA

Les orchidées trompeuses

D'après l'article Gigord et al., « Negative dependent selection maintains a dramatic color polymorphism in the rewardless orchid* Dactylorhiza sambuca *(L.) » Soo. Proc. Natl. Acad. Sci. 98: 6253-6255 (2002).

M. Dufaÿ[1], S. Michelier[2], J-P Goëlo[3], L. Porras[4],J. Heintz[5]

1. Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, Université de Montpellier, Université Paul Valéry, L'institut Agro, CNRS, INRAE, IRD, EPHE
2. Lycée Jean Jaurès –Saint Clément de Rivière 3. Lycée La Merci– Montpellier 4. Lycée la Merci Littoral – La Grande Motte
5. Collège Camille Claudel - Montpellier

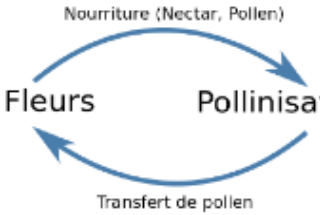
Introduction

Dactylorhiza sambucina présente une caractéristique très rare chez les plantes : un polymorphisme de couleur, avec un phénotype (=morphe) jaune et un phénotype (=morphe) pourpre au sein des mêmes populations.

Questions:

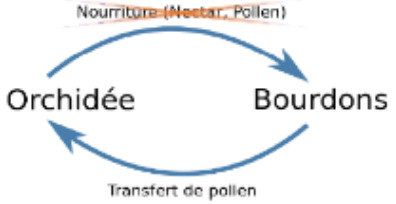
Quel mécanisme maintient-il ce polymorphisme ?
Est-il en lien avec la pollinisation par tromperie observée chez cette espèce ?

Fonctionnement de interactions de pollinisation :



- Attraction par un signal (visuel, olfactif)
- Association par apprentissage du signal et de la récompense

La pollinisation par tromperie chez l'orchidée *Dactylorhiza sambucina* :



- Aucune récompense pour le pollinisateur !

Hypothèse et protocole

Hypothèse : le polymorphisme de couleur est maintenu par un mécanisme de **sélection** naturelle de type **fréquence-dépendance négative.**

C'est-à-dire que le succès de pollinisation d'un phénotype **dépend de sa fréquence** dans la population et que **les phénotypes rares sont avantagés.**

Figure 1. Protocole expérimental

- 10 parcelles de plantes en pot, placées en milieu naturel
- 5 jeux de fréquences variables des deux morphes x 2 réplicats

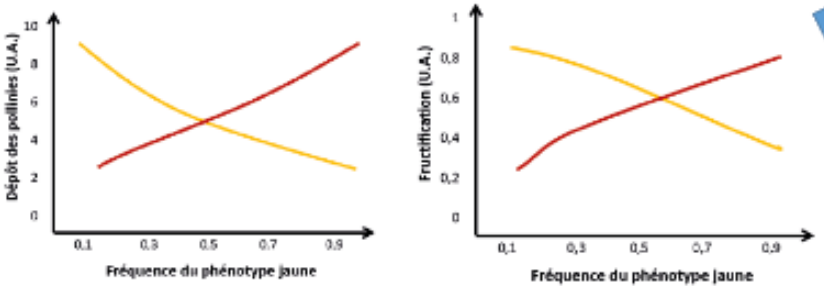
Mesures sur chaque plante = succès de pollinisation individuel (Figure 2) :

- dépôt des pollinies (groupes de grains de pollen) sur les stigmates ;
- taux de fructification (ratio nb fruits / nb fleurs).

Attendu : le dépôt de pollen et la production de fruits devraient être plus importants sur les morphes rares, et ce pour les deux couleurs => les morphes rares seraient avantagés.

Résultats & interprétations

Figure 2. Succès de pollinisation (dépôt de pollinie et taux de fructification) en fonction de la fréquence du morphe jaune.



le phénotype rare est :
- plus visité et pollinisé ;
- produit plus de fruits.

Explication : processus d'apprentissage

Plus un phénotype est rare, moins l'apprentissage est efficace, sa pollinisation est donc favorisée (Figure 2)

Figure 3. Modèle prédictif de variation temporelle des fréquences de phénotypes colorés au cours des générations

Un phénotype rare est donc avantagé (Figure 2), cet avantage devrait entrainer l'augmentation de la fréquence de ce phénotype qui devient donc moins avantageux car moins rare … On attend donc une **variation temporelle** des fréquences des deux morphes dans les populations naturelles (Figure 3).

Conclusion

La sélection naturelle ne conduit pas à l'élimination d'une couleur, qui serait moins avantageuse, mais au maintien et à la fluctuation de la fréquence des deux couleurs chez ces orchidées.

Ces expériences (Figures 1 et 2) et modélisation (Figure 3) permettent d'illustrer un processus de sélection naturelle particulier : « la sélection fréquence dépendante négative » où l'avantage d'un phénotype vient de sa rareté !

EXEMPLE D'ACTIVITÉ
COLLÈGE - CYCLE 4
ACTIVITÉ DIAGNOSTIQUE

DES ORCHIDÉES TROMPEUSES

Mise en œuvre par l'enseignant

Premier temps individuel : (35 min)

Second temps en groupe de 4 ou 5 (20 min) : réflexion, autour du poster adapté au niveau cycle 4. Objectif : percevoir les obstacles, liés à la compréhension de la démarche scientifique. *Activité accompagnée d'une fiche d'auto-évaluation sur les représentations que l'élève a de sa maîtrise de la pratique d'une démarche scientifique et ce qu'il identifie comme indicateur permettant d'en déterminer les étapes.*

Thème
- Le vivant et son évolution.

Programme
- Établir des relations de causalité entre différents faits pour expliquer la biodiversité (diversité des espèces) ;
- Reproductions sexuée […], rencontre des gamètes, milieux et modes de reproduction et de dissémination.

Compétences
- Pratiquer des démarches.

Prérequis
- Travail préalable des démarches.

PREMIER TEMPS DE TRAVAIL

À partir du corpus documentaire (documents 1, 2 et 3), relever les éléments correspondant aux différentes étapes de la démarche scientifique. Rédiger une phrase complète pour chaque élément relevé. Si des difficultés sont rencontrées, des aides sont à disposition, elles peuvent permettre de :

- rappeler les étapes de la démarche : aide 1 ;
- donner des indices pour la recherche de ces étapes dans le document : aide 2 ;
- proposer une présentation de ta réponse : aide 3.

Un délais de 35 minutes est imposé pour effectuer ce travail.

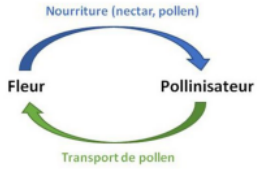
1 Les deux couleurs de l'Orchidée *Dactylorhiza sambuca*

Dactylorhiza sambuca est une orchidée qui présente une caractéristique très rare chez les plantes sauvages : la présence de deux couleurs de fleurs au sein d'une même population : pourpre et jaune. Mais dans les prairies, on observe toujours une couleur des fleurs (phénotype) majoritaire qui alterne avec l'autre dans le temps.

On cherche à comprendre l'origine des changements de phénotypes majoritaires dans les populations au cours du temps.

2 Interaction plante à fleur - pollinisateur

De nombreuses plantes ont recours à des animaux, souvent des insectes, pour assurer leur pollinisation. Pour ce, elles attirent le pollinisateur par un signal visuel ou olfactif. Le pollinisateur lui, associe le signal à la récompense obtenue : nectar ou pollen. Il visitera donc préférentiellement cette variété de fleur à l'avenir.



3 Vers une explication...

Cette Orchidée ne produit pas de nectar mais utilise quand même un pollinisateur, le bourdon.

Cela révèle un paradoxe qui amène les scientifiques à envisager que cette absence de nectar peut-être la cause de l'alternance de couleur des fleurs observée. Ils imaginent alors que les bourdons apprennent très vite que les fleurs ayant la couleur majoritaire dans la prairie ne contiennent pas de nectar. Les fleurs de couleur rare deviendraient plus attractives. Par conséquent, elles seraient plus visitées.

Ils conçoivent donc une l'expérience en recréant des parcelles avec des plantes en pot, placées en milieu naturel selon le modèle suivant :

Parcelle n°1

Parcelle n°2

Parcelle n°1 : phénotype jaune majoritaire et phénotype pourpre rare.

Parcelle n°2 : phénotype pourpre majoritaire, phénotype jaune rare.

Ils comptent le nombre de graines obtenues par variété après pollinisation.

Ils s'attendent à ce que les graines des fleurs du phénotype rare deviennent plus nombreuses dans chaque parcelle au fur et à mesure du temps.

Tableau 1 : résultats obtenus pour la parcelle n°1

Phénotype	Nombre de graines produites l'année 1	Nombre de graines produites l'année 2
Pourpre	98	126
Jaune	87	65

Tableau 2 : résultats obtenus pour la parcelle n°2

Phénotype	Nombre de graines produites l'année 1	Nombre de graines produites l'année 2
Pourpre	98	76
Jaune	119	135

Il apparaît ici que le phénotype rare est celui qui produit le plus de graines la deuxième année d'expérience. Des résultats similaires ont été obtenus dans d'autres parcelles, contenant des proportions variables de chaque phénotype.

Les graines étant produites après la rencontre des gamètes mâles (contenus dans les grains de pollen déposés sur les fleurs par les bourdons) et femelles (contenus à l'intérieur des ovules) lors de la reproduction sexuée, il semble alors possible de valider le fait que les bourdons sont plus attirés par les phénotypes rares. Cette pollinisation originale par le bourdon peut donc être la cause de l'alternance de couleur des fleurs au cours du temps observée chez l'Orchidée *Dactylorhiza sambuca*.

Aide 1 – Les étapes de la démarche scientifique

- Le constat ou observation.
- Le problème soulevé.
- L'hypothèse à tester et sa conséquence vérifiable.
- Le protocole (le test ici n'est pas réalisé par vous).
- Les résultats attendus.
- La communication lisible des résultats.
- L'interprétation (explication) des résultats.
- La conclusion à la question (problème) posée.

Aide 2 – Rechercher les étapes dans le document

Un article de recherche présente généralement les différentes étapes de la démarche dans l'ordre de la recherche. Le début du compte-rendu correspond aux premiers temps d'observation et de questionnement, à la fin du compte-rendu qui donne la réponse. Ainsi, au cours de ta lecture, repère successivement :

Début du corpus documentaire

Milieu du corpus documentaire

Fin du corpus documentaire

- Qu'est-ce qui est recherché dans le corpus documentaire et ce qui a été à l'origine de cette recherche ?
- Qu'est-ce qui est proposé dans le corpus documentaire comme étant une solution possible à ce qui recherché et ce qui serait la conséquence de cette solution possible ?
- Qu'est-ce qui est proposé dans le corpus documentaire pour tester l'hypothèse et à que s'attend-t-on à trouver comme résultats?
- Comment sont exprimés les résultats réellement obtenus et en quoi est-ce pertinent de les présenter ainsi ?
- Qu'est-ce qui est mis en lien avec les résultats pour valider ou invalider l'hypothèse proposée et quelle réponse est donnée à la question posée au départ posé?

Aide 3 - Organiser la réponse

Afin de structurer ce qui est attendu, complète le tableau ci-dessous. Il te permettra de repérer les éléments du document correspondant aux différentes étapes d'une démarche scientifique.

Les étapes de la démarche scientifique	Je note les éléments du document qui correspond à cette partie
1° étape : Un CONSTAT ou UNE OBSERVATION nous amène à…	
… LA FORMULATION D'UN PROBLÈME sous forme de question ou bien de ce que l'on « cherche à » montrer ou comprendre.	
2° étape : L'ÉLABORATION D'UNE HYPOTHÈSE (ou plusieurs) sous la forme d'une affirmation répondant au problème et…	
… LA RECHERCHE D'UNE CONSÉQUENCE VÉRIFIABLE pouvant être mise en évidence lors de l'expérimentation. Celle-ci peut être identifiée en exprimant la phrase : « si l'hypothèse est vraie alors la conséquence vérifiable est … »	

Second temps de travail

Échanger à partir du poster proposé et des réponses faites pour :

- déterminer si vous avez identifié la totalité des éléments correspondant aux étapes de la démarche scientifique ;
- vous expliciter comment vous avez pu les identifier dans le document.

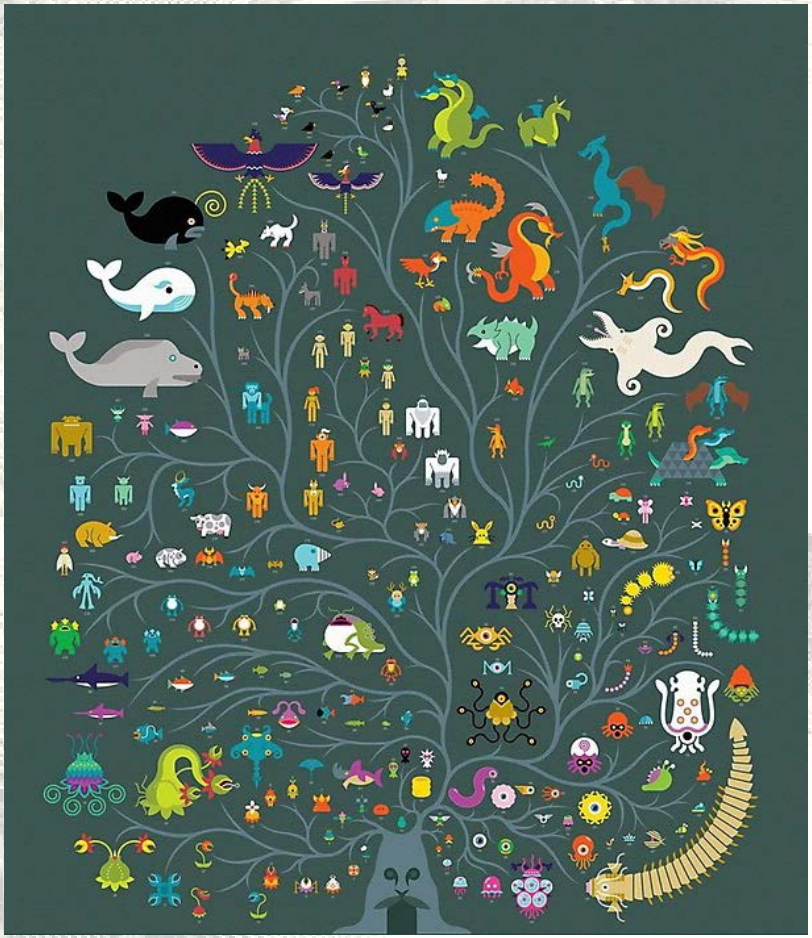
Rédiger un bilan qui permet de montrer que, dans le cas de reproduction sexuée chez l'Orchidée *Dactylorhiza sambuca*, le bourdon est un facteur de sélection de la couleur des fleurs.

Auto-positionnement sur ma maîtrise de la compétence « Pratiquer des démarches »

Avant échanges ou aide : j'avais repéré ce qui correspond au constat ou observation	Oui	Non
Après échange ou aide : qu'est-ce qui peut me permettre de repérer ces éléments ?		
Avant échanges ou aide : j'avais repéré ce qui correspond au problème soulevé	Oui	Non
Qu'est-ce qui peut me permettre de repérer ces éléments ?		
Avant échanges ou aide : j'avais repéré ce qui correspond à l'hypothèse à tester	Oui	Non
Qu'est-ce qui peut me permettre de repérer ces éléments ?		
Toutes les étapes de la démarche ne sont pas présentes. Cela est fait exprès pour que chacun puisse élaborer sa propre grille d'auto-évaluation...		

- **J'ai réussi sans aide :** mon autonomie dans la réflexion et dans la réalisation du travail à accomplir est acquise.
- **J'ai réussi avec l'aide de 1 :** pour accéder à l'autonomie, je dois me souvenir des différentes étapes d'une démarche, par contre, je sais retrouver ces étapes dans un document. Comment faire pour réussir ? Je peux m'entraîner à les réécrire sans les avoir sous les yeux jusqu'à ce que ma liste soit complète, je peux aussi les réciter à haute voix en m'enregistrant et me réécoutant pour vérifier si ma liste est complète.
- **J'ai réussi avec l'aide 2 :** je connais les étapes de la démarche, j'ai des difficultés à les identifier. Comment faire pour réussir ? Refaire cet exercice en me rappelant de la structure d'une présentation d'une recherche, de sa chronologie et en recherchant des mots clé indices de l'étape : « on se demande si », « on cherche à montrer que » sont indices de la question à résoudre ou de l'hypothèse posée ; « on va faire » ou toute description de ce qui est fait montre l'étape du protocole… puis chercher dans d'autres exemples (de mon livre) si j'arrive à retrouver ces éléments.
- **J'ai réussi avec l'aide 3 :** j'ai besoin d'apprendre à m'organiser mais je suis capable d'y arriver. Comment faire pour réussir ? Une proposition pour t'organiser… Avant de foncer dans le document, je prends un peu de temps pour la question : qu'est-ce qu'on demande ? De retrouver les étapes de la démarche. Quelles sont ces étapes ? Je les écris en liste sur un papier en laissant un peu de place en face, ou comme montré dans l'aide, je les place en colonne dans un tableau. Je commence maintenant la lecture du document, doucement, en cherchant chaque étape, dès que je l'ai trouvée, je la note en face de son nom.

Conclusion



Dérive / Sélection neutre

Fitness

Contrainte / Convergence/ Adaptation/ Niche écologique

Sélection Naturelle

Phénomène populationnel / effet fondateur

Evolution

Diversité

Mutation des gènes

Contingence / Hasard contraint par l'histoire

Sexualité

Evolution des Génomes

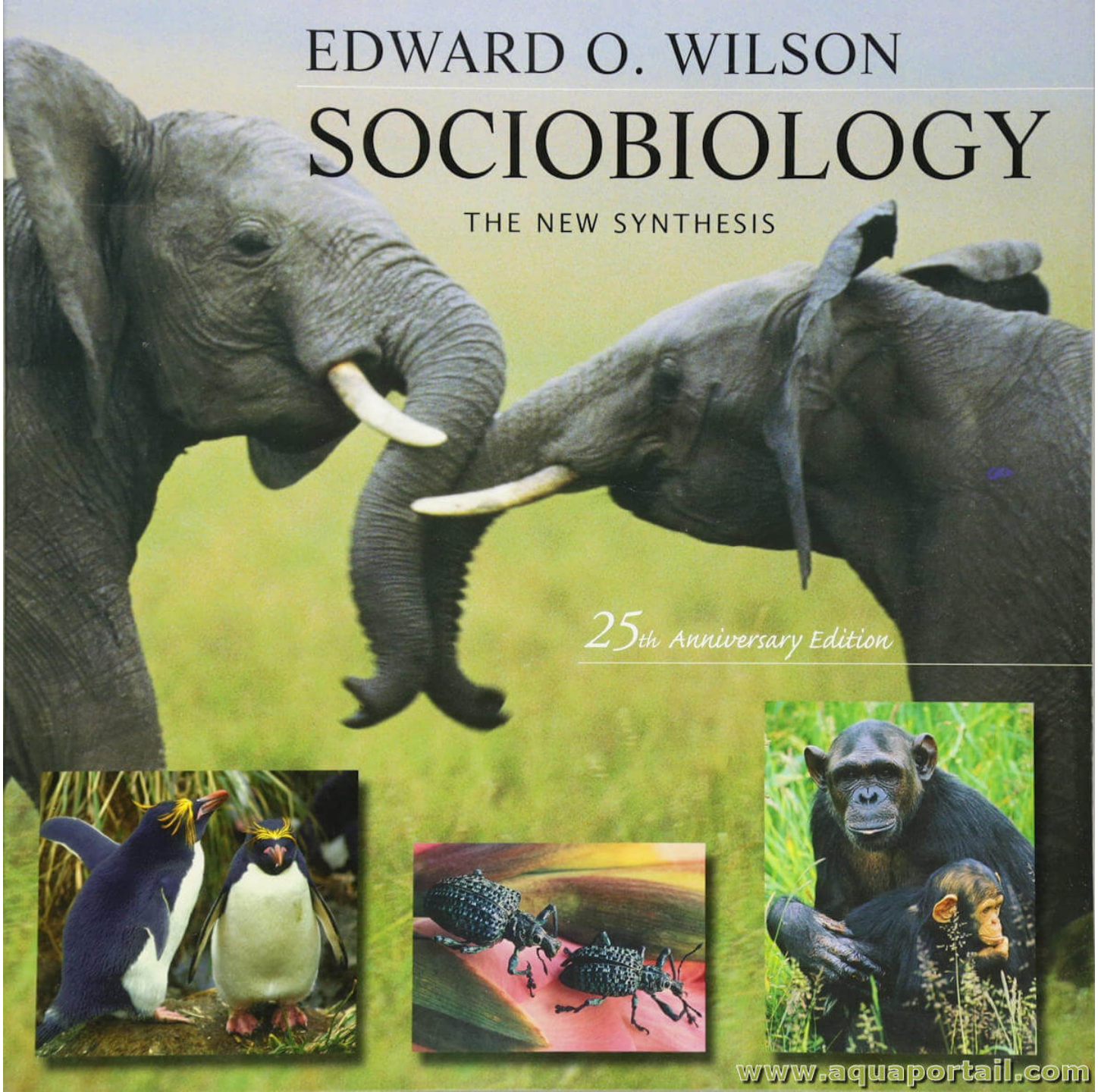
Transfert horizontaux

EVOLUTION

Should Evolution Treat Our Microbes as Part of Us?

8 |

How does evolution select the fittest "individuals" when they are ecosystems made up of hosts and their microbiomes? Biologists debate the need to revise theories.


EDWARD O. WILSON
SOCIOBIOLOGY
THE NEW SYNTHESIS
25th Anniversary Edition
www.aquaportail.com