

Biodiversité : évolution, menaces actuelles, importance

Tatiana Giraud



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —



Fondation
Jean-François et Marie-Laure
de Clermont-Tonnerre



Biodiversité : évolution, menaces actuelles, importance

1-Qu'est-ce que la biodiversité?

2-L'évolution de la biodiversité

Pourquoi autant d'espèces sur terre?

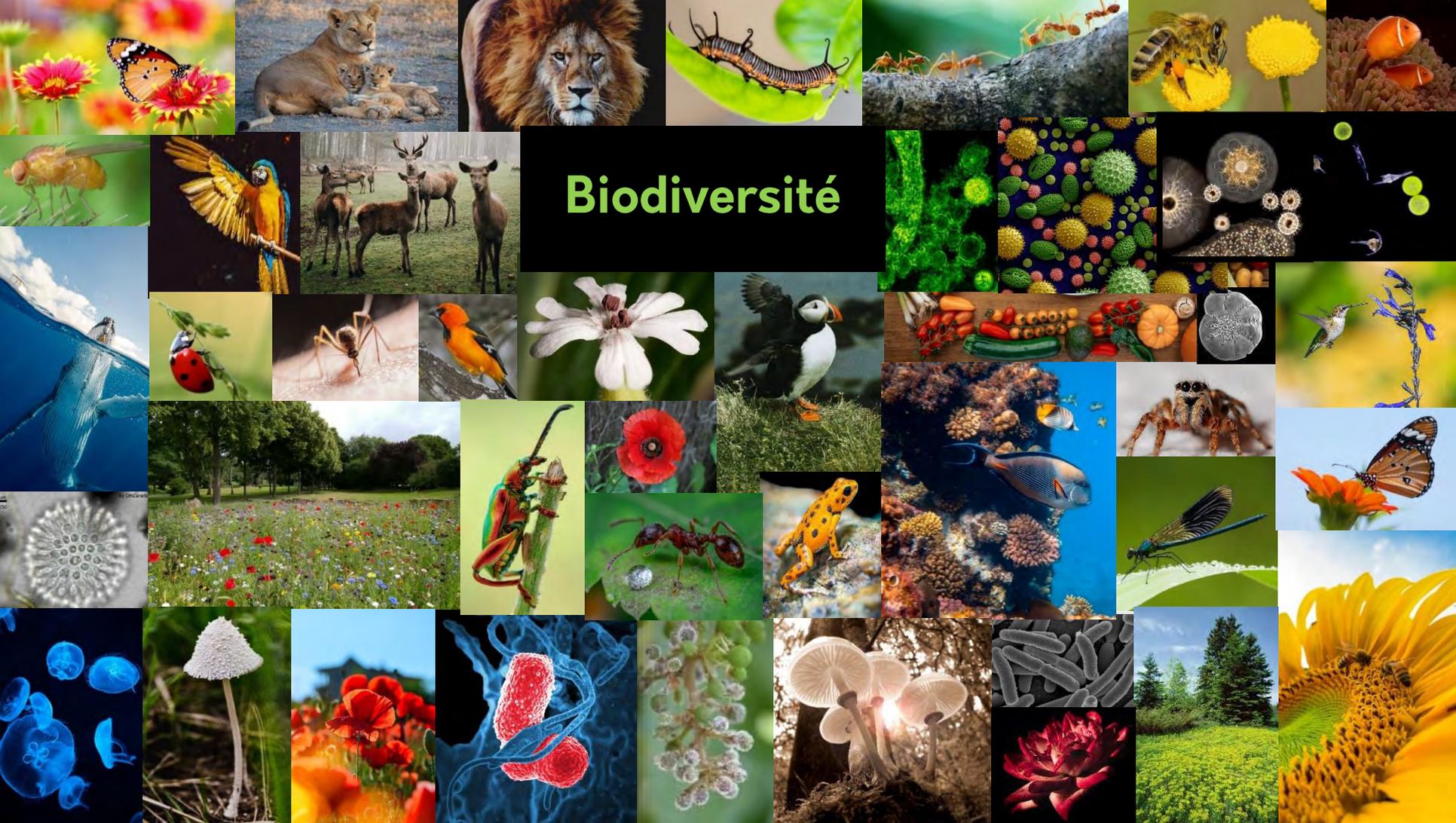
Pourquoi la reproduction sexuée?

Pourquoi l'altruisme?

3-Menaces actuelles sur la biodiversité

4-Services écosystémiques

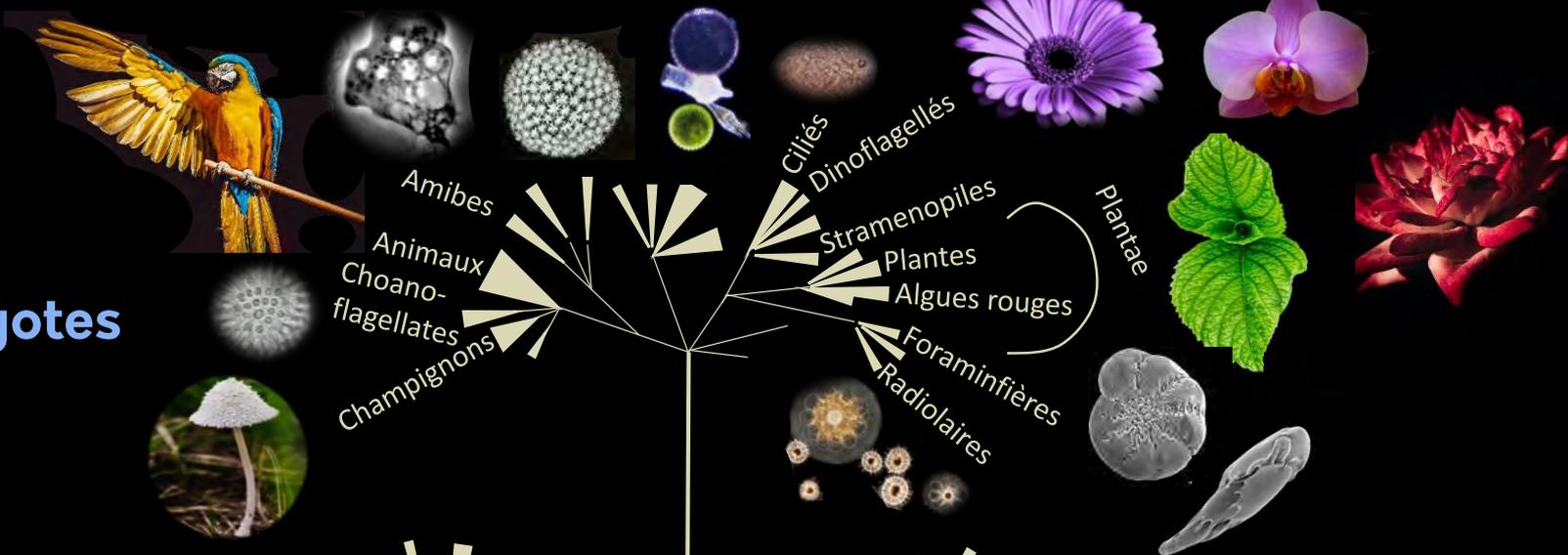
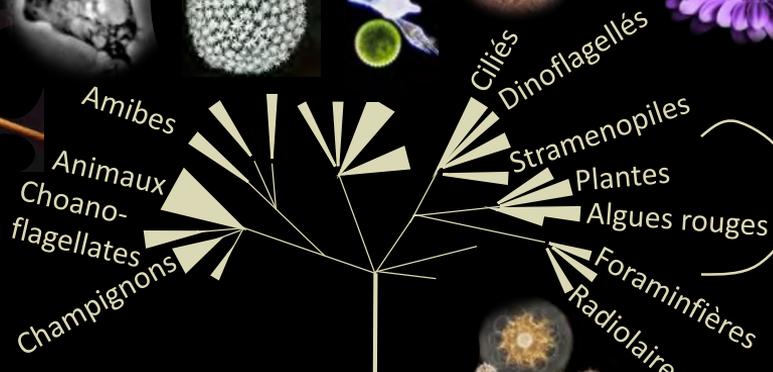




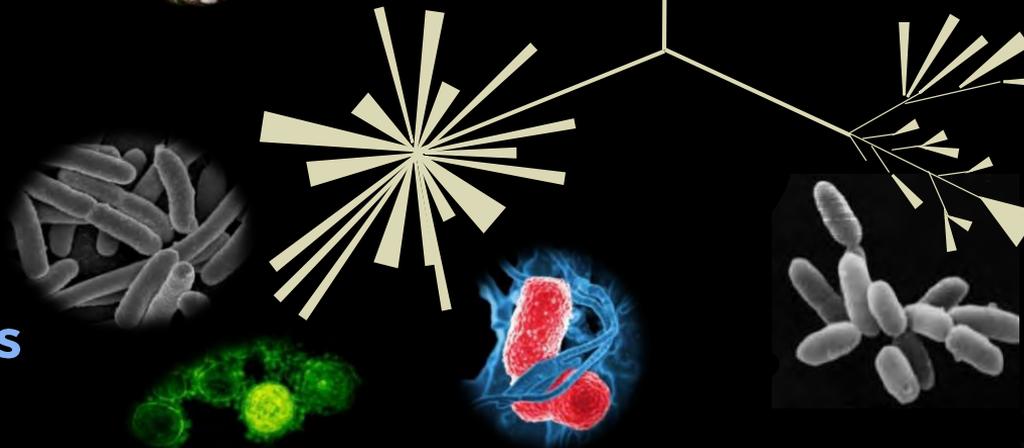
Biodiversité

Biodiversité

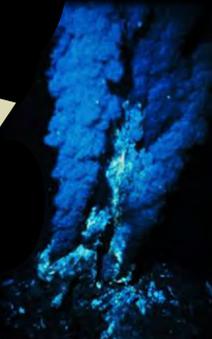
Eucaryotes



Bactéries



Archées



Biodiversité



Canis lupus



Biodiversité

Panthera tigris



Tigre de Sumatra



Tigre de Sibérie



Tigre du Bengal



Tigre de Bali

†



Tigre de la Caspienne

†



Tigre de Java

†

Biodiversité

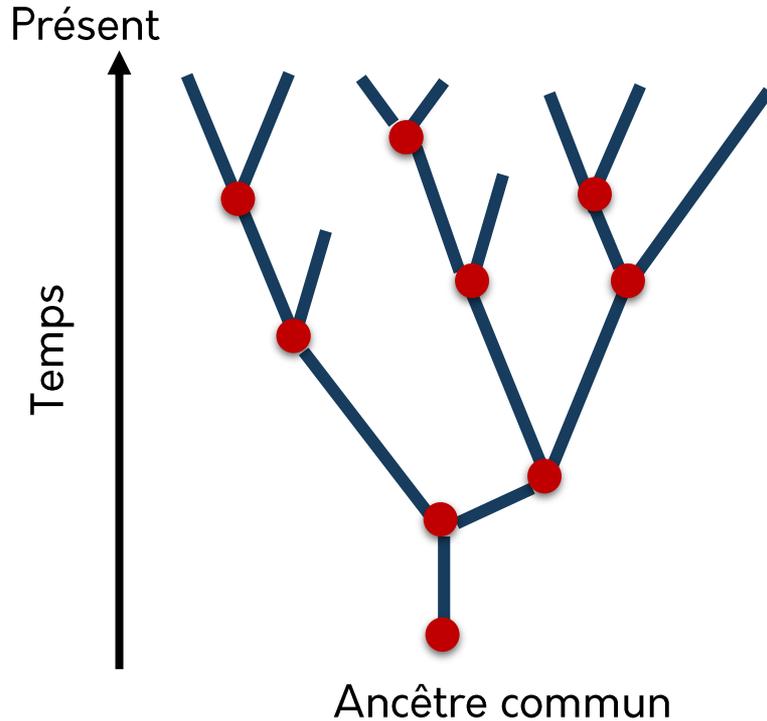


Biodiversité

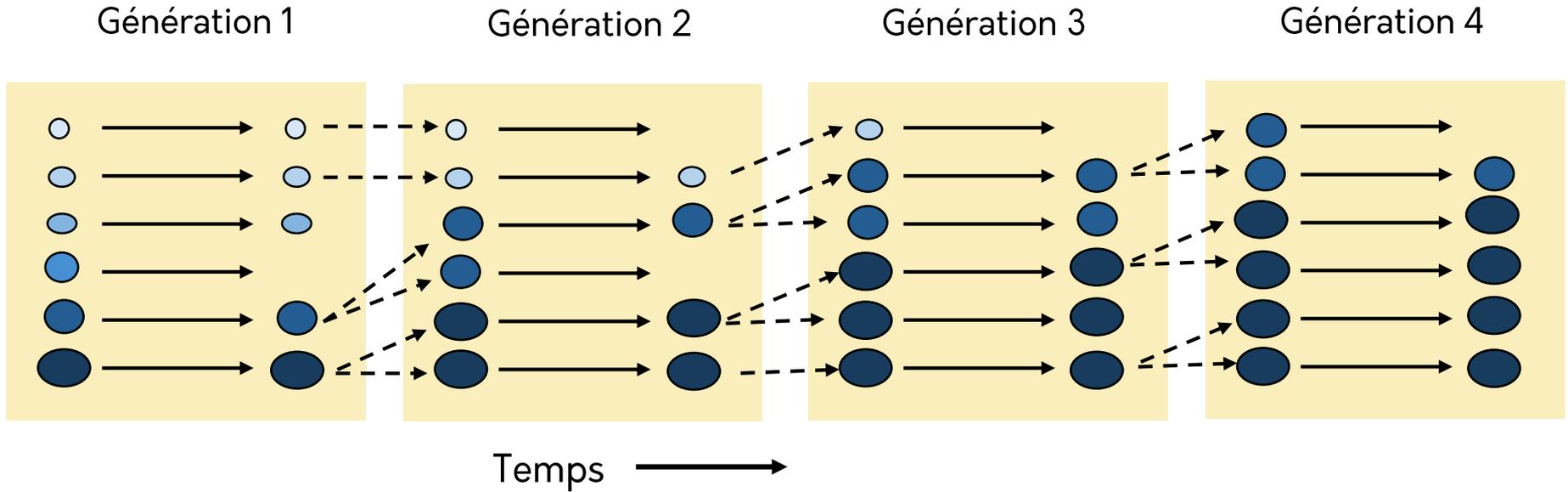




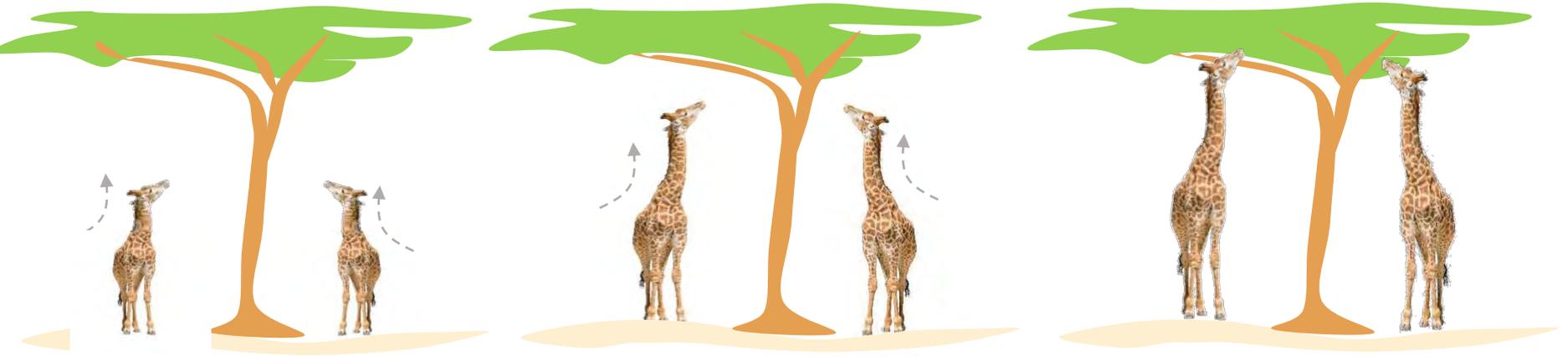
La théorie de Darwin : évolution par descendance avec modification



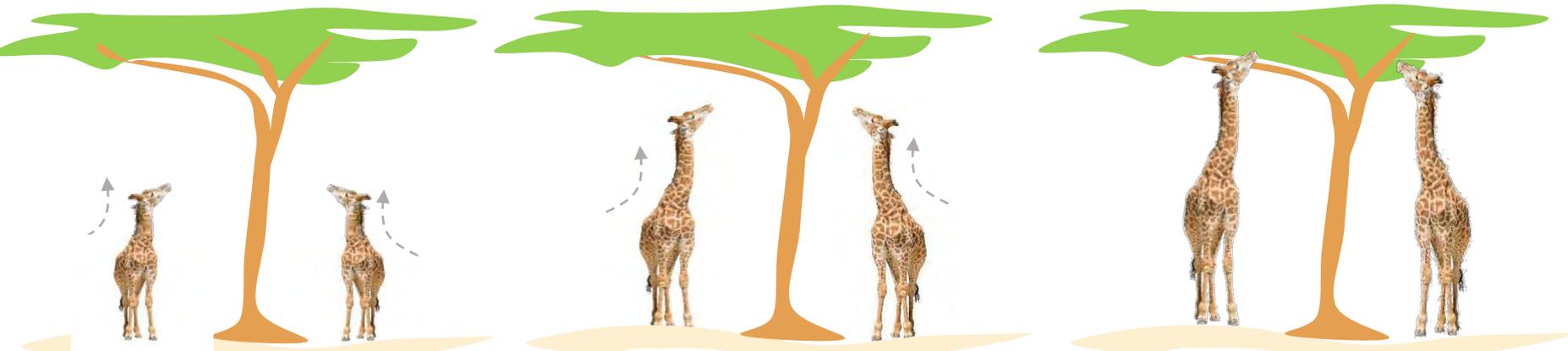
... par sélection naturelle



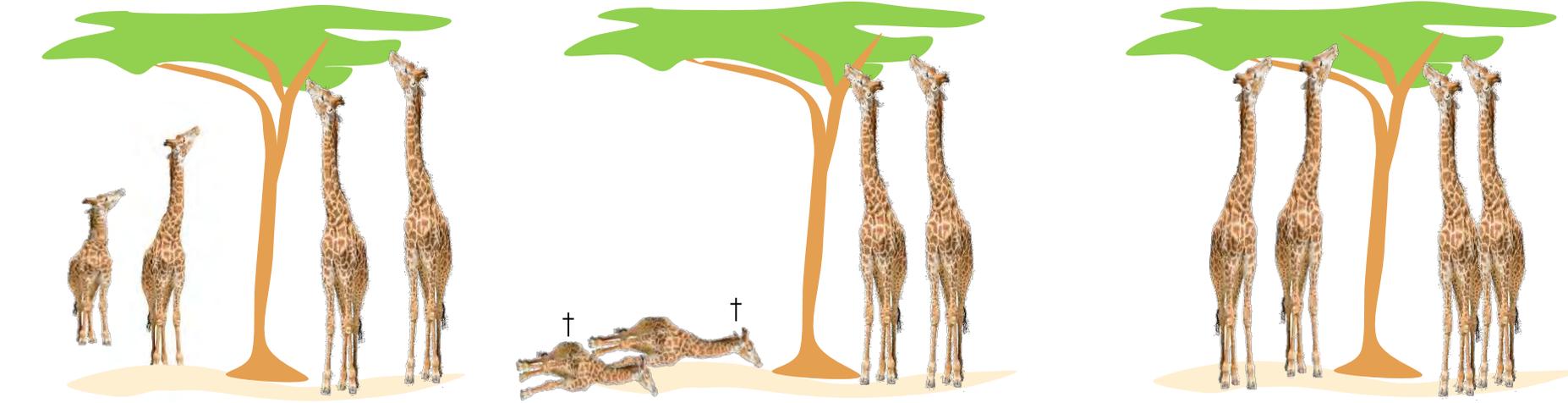
Théorie de Lamarck : transformisme



Théorie de Lamarck : transformisme

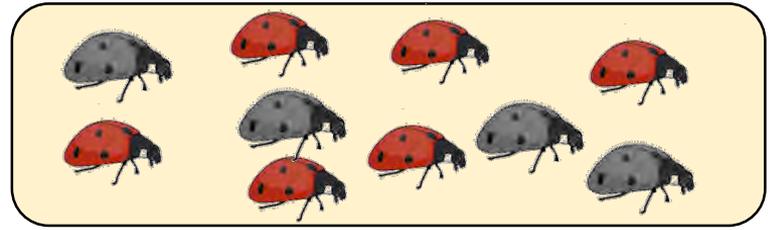


Théorie de Darwin : Sélection naturelle

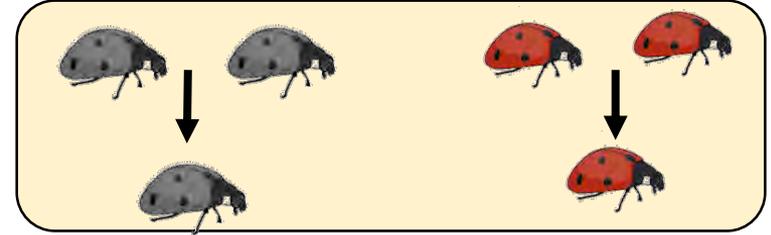


Evolution par sélection naturelle

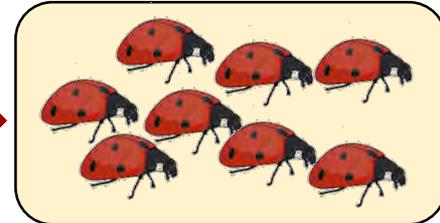
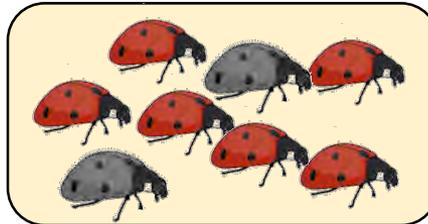
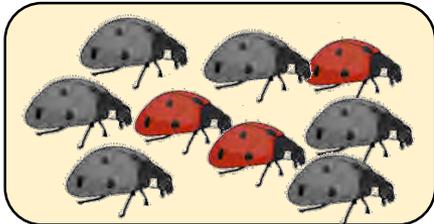
Diversité



Héritabilité



Différences de survie ou succès reproducteur



Le pouvoir explicatif de la sélection naturelle

Araignée



Fourmi



Le pouvoir explicatif de la sélection naturelle... ...mais pas comme un ingénieur



William Paley
(1743–1805)



« La machine que nous avons sous les yeux démontre par sa construction une invention et un dessein. L'invention suppose un inventeur. »

Le pouvoir explicatif de la sélection naturelle... ...comme un bricoleur



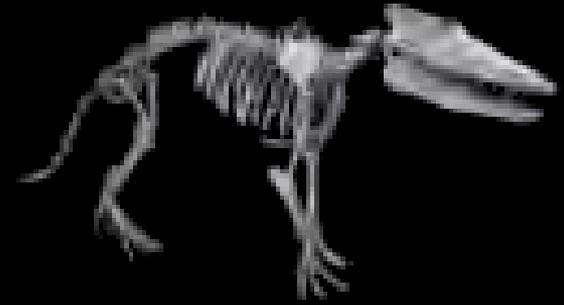
« L'évolution ne tire pas ses nouveautés du néant. Elle travaille sur ce qui existe déjà. [...] La sélection naturelle opère à la manière non d'un ingénieur, mais d'un bricoleur »
(François Jacob, 1981)

Le pouvoir explicatif de la sélection naturelle... ...comme un bricoleur

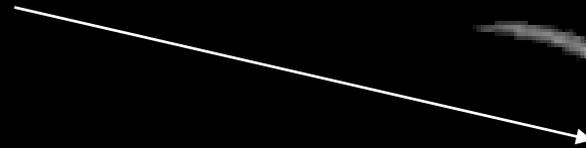
Queue et branchies
pour tous à ce stade



Le pouvoir explicatif de
la sélection naturelle...
...comme un bricoleur



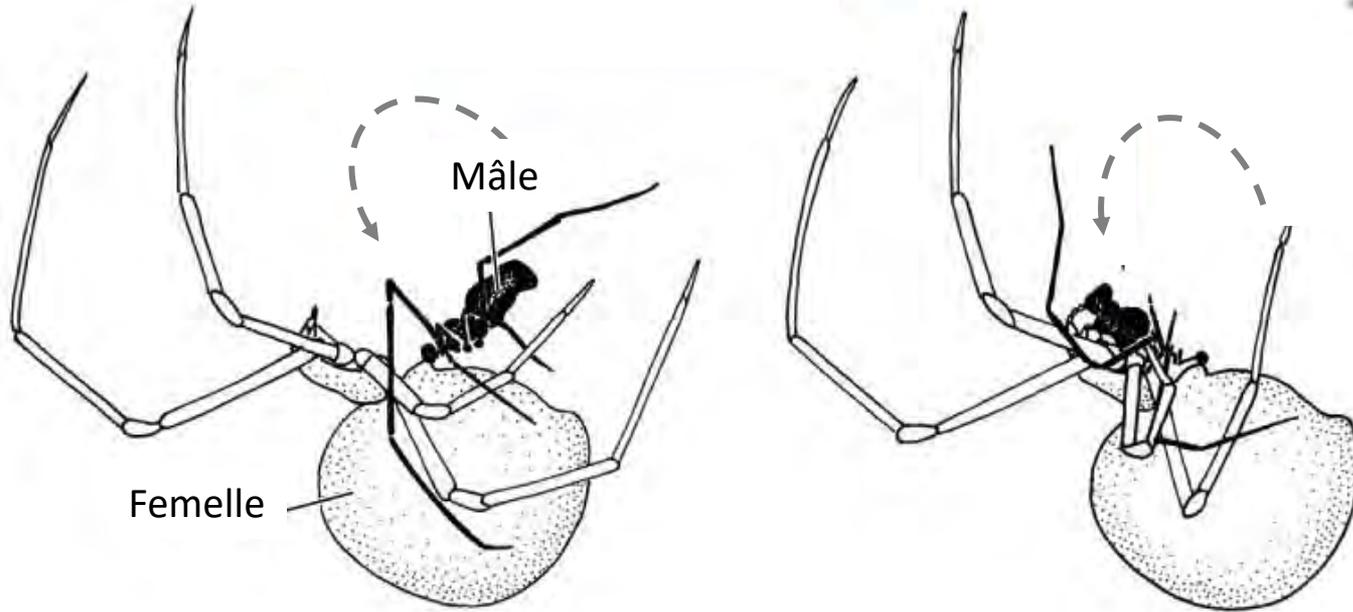
Organe vestigial



Cas intriguants: Cannibalisé volontaire

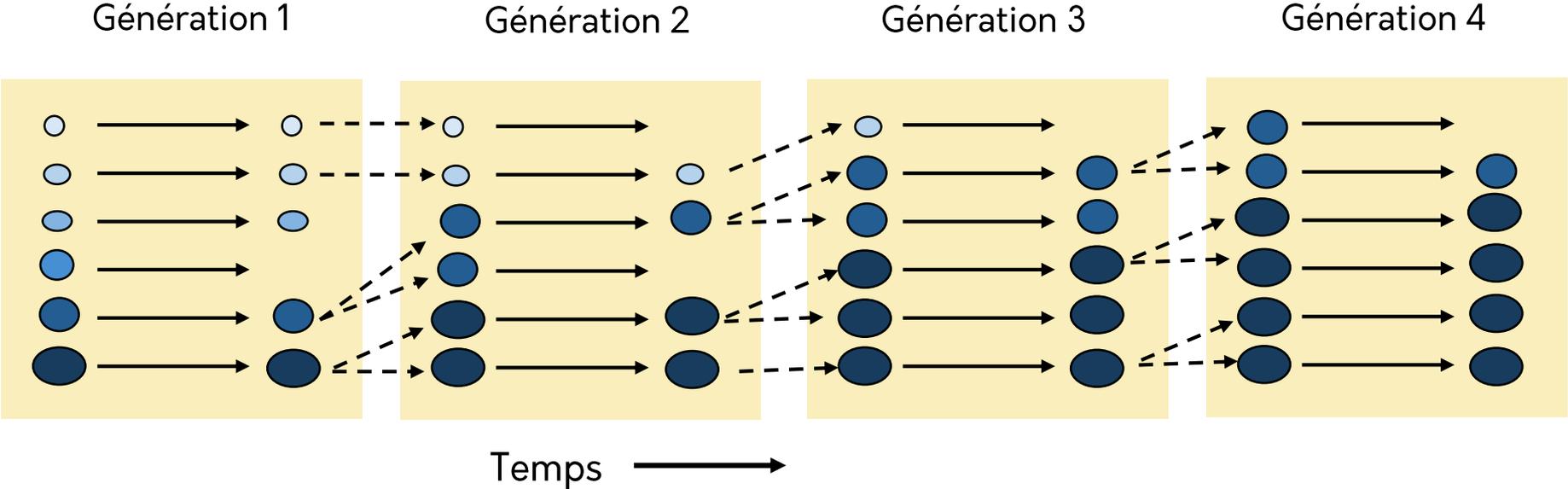


Fi0002

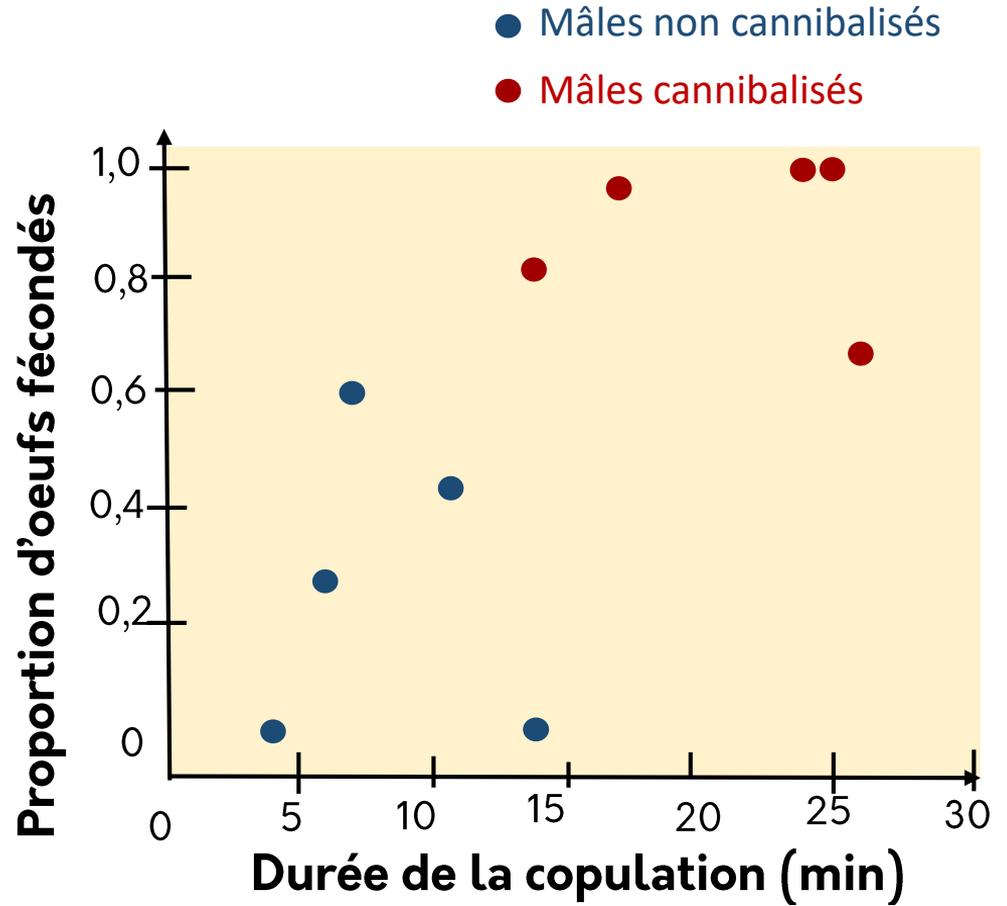


Latrodectus hasselti

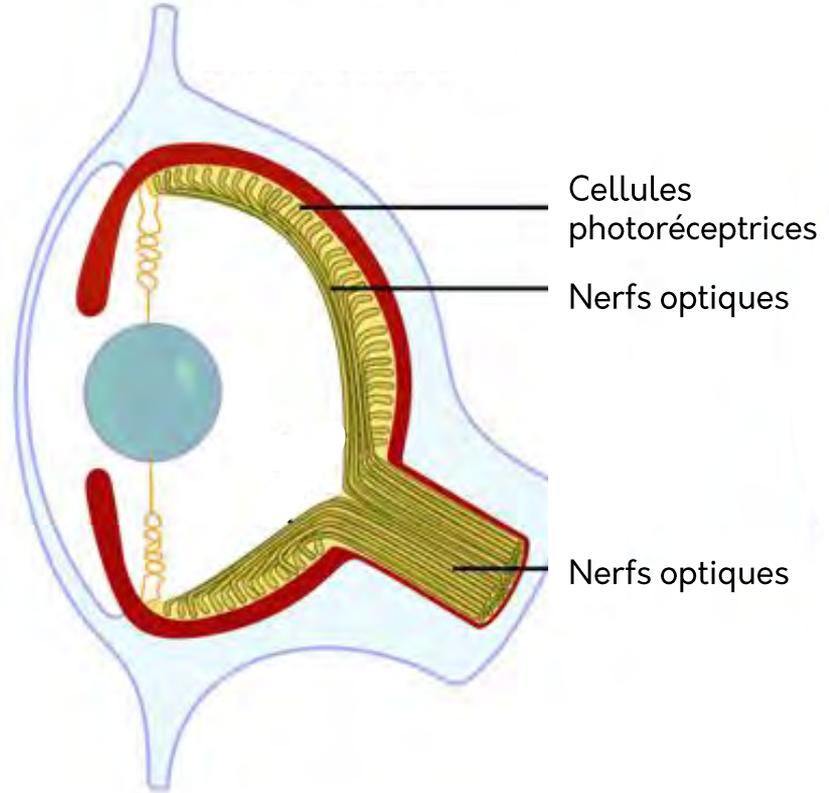
Sélection naturelle



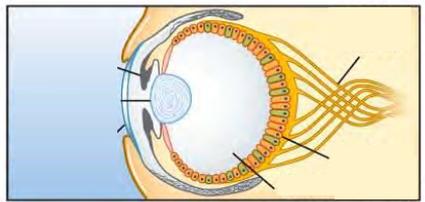
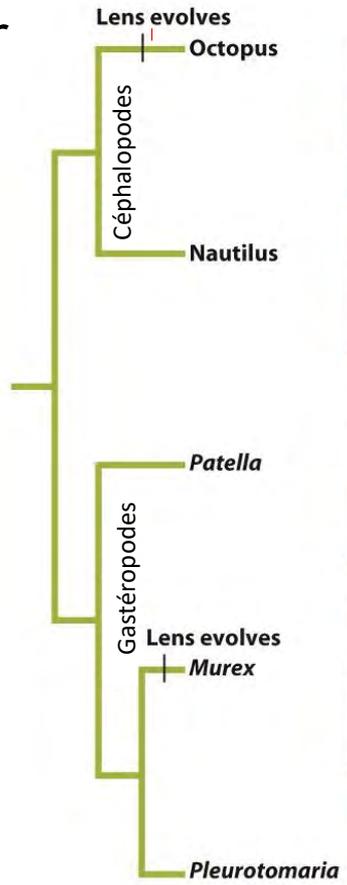
Cas intriguants: Cannibalisé volontaire



Cas intriguants: Perfection de l'oeil humain?



Adaptation par changements graduels sélectionnés



Lentille, iris, cornée

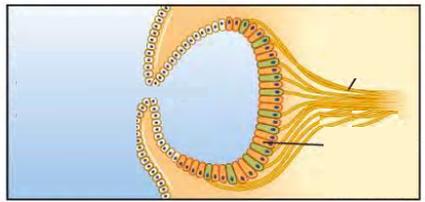
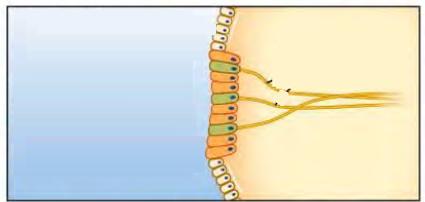
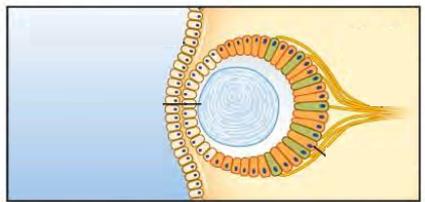


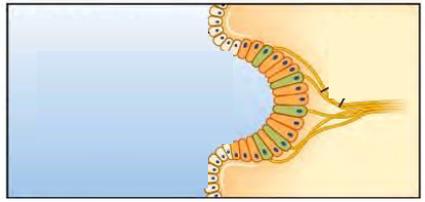
Image précise



Détection de la lumière

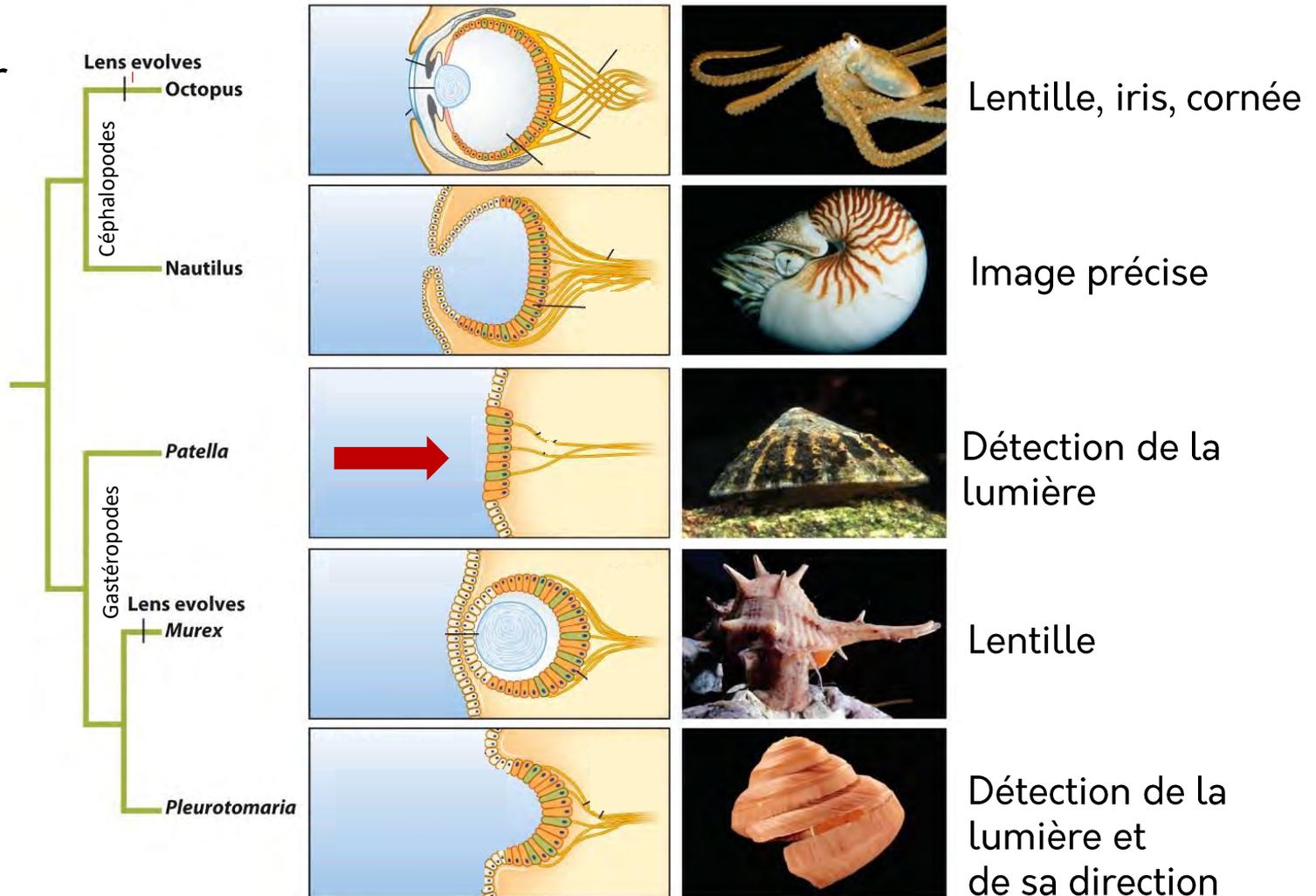


Lentille



Détection de la lumière et de sa direction

Adaptation par changements graduels sélectionnés



Lentille, iris, cornée

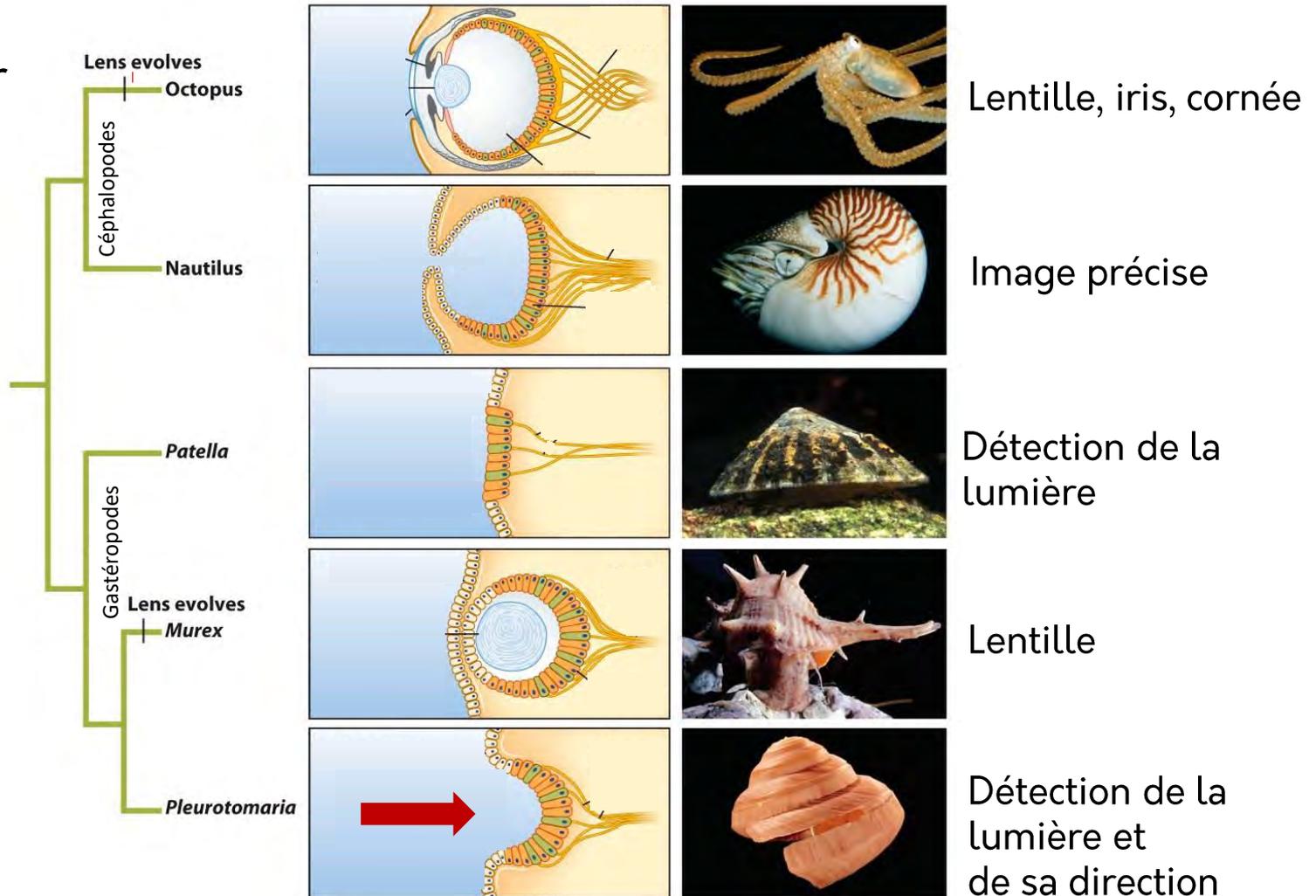
Image précise

Détection de la lumière

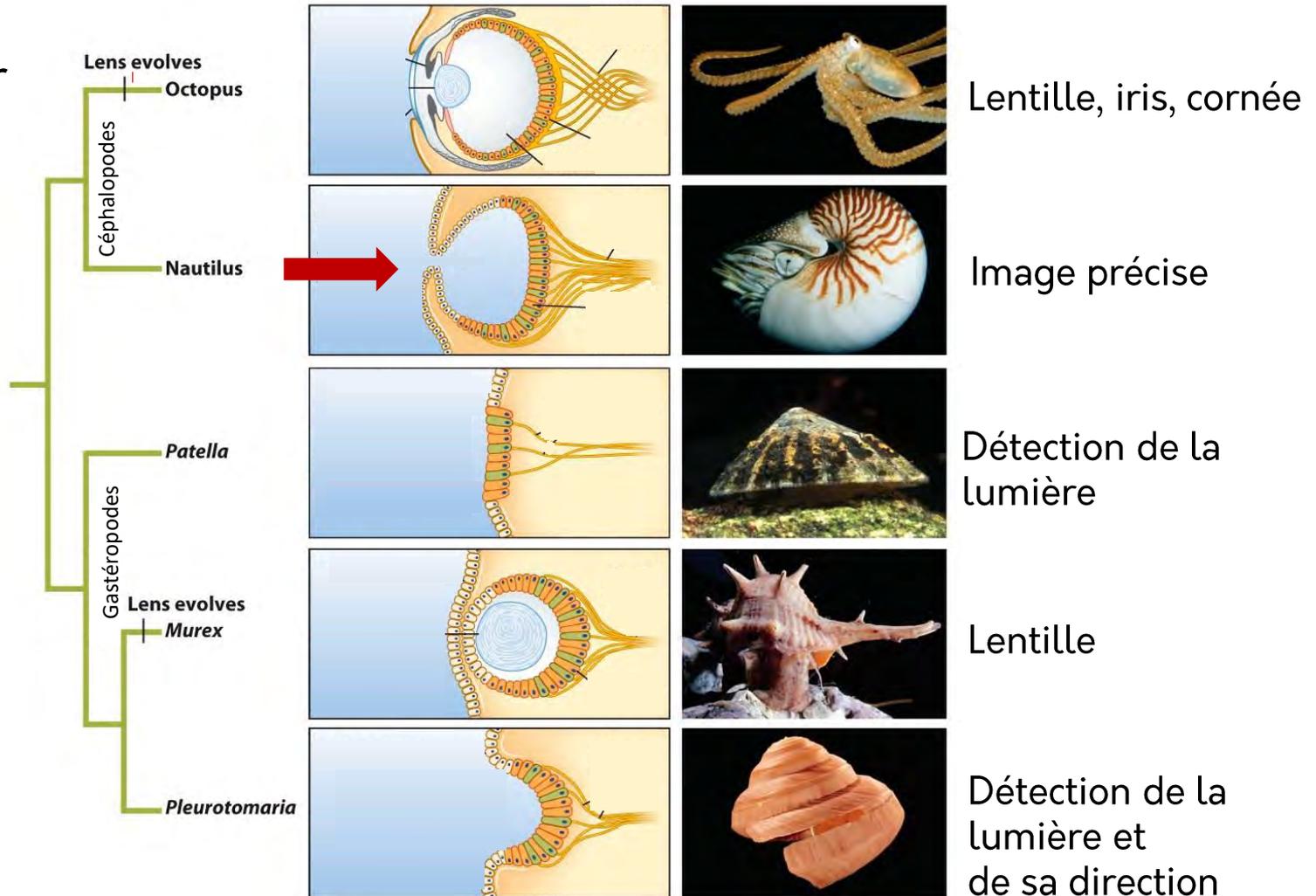
Lentille

Détection de la lumière et de sa direction

Adaptation par changements graduels sélectionnés



Adaptation par changements graduels sélectionnés



Lentille, iris, cornée

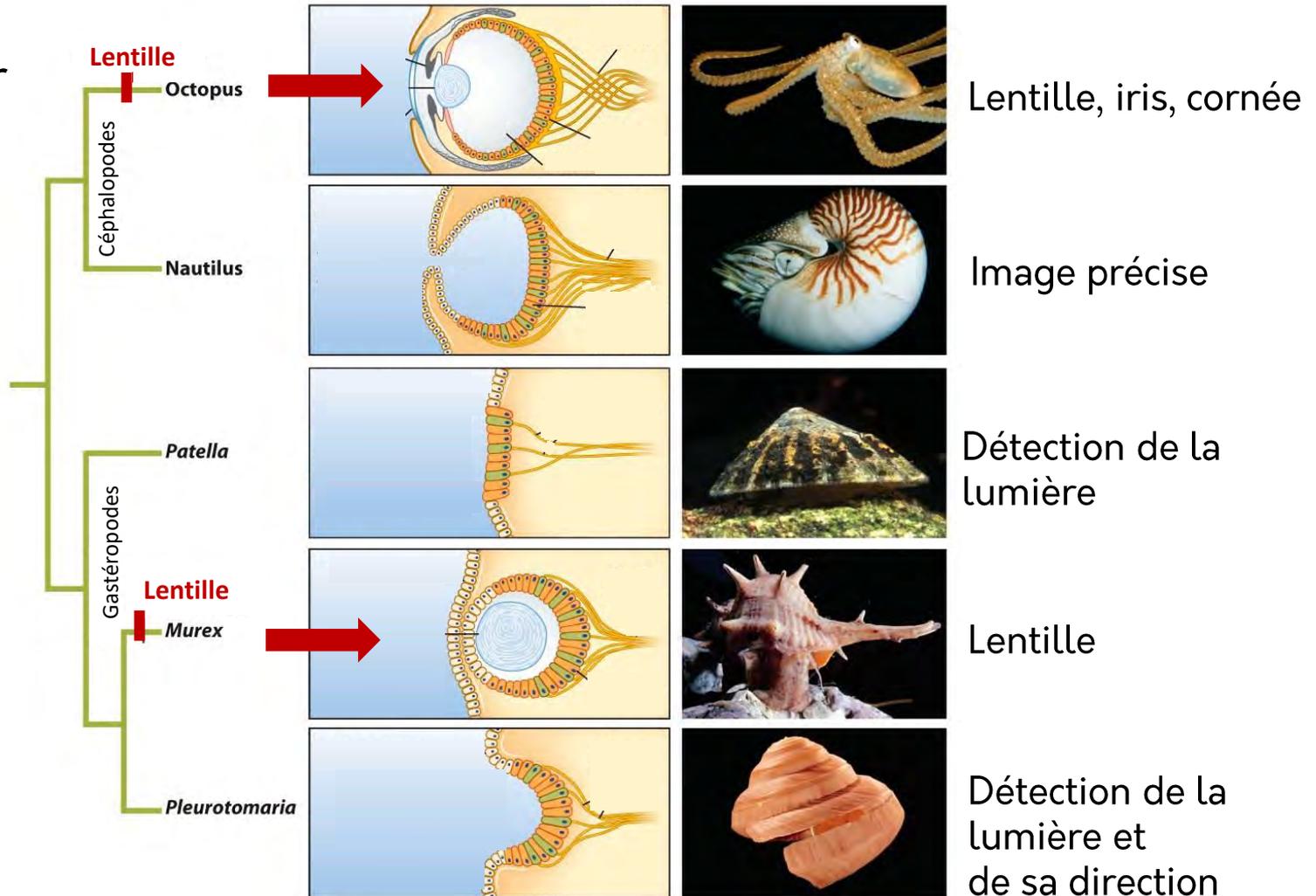
Image précise

Détection de la lumière

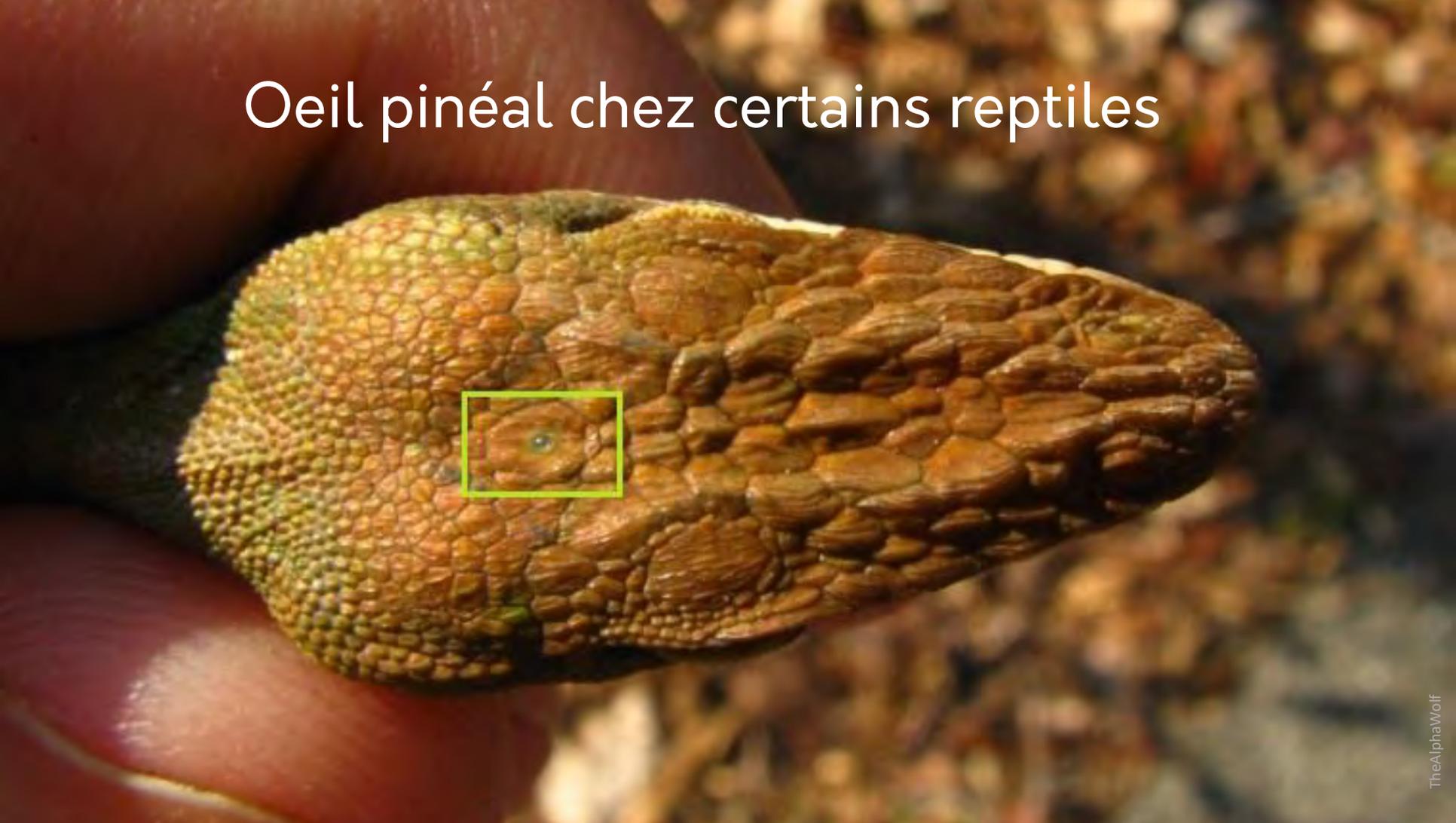
Lentille

Détection de la lumière et de sa direction

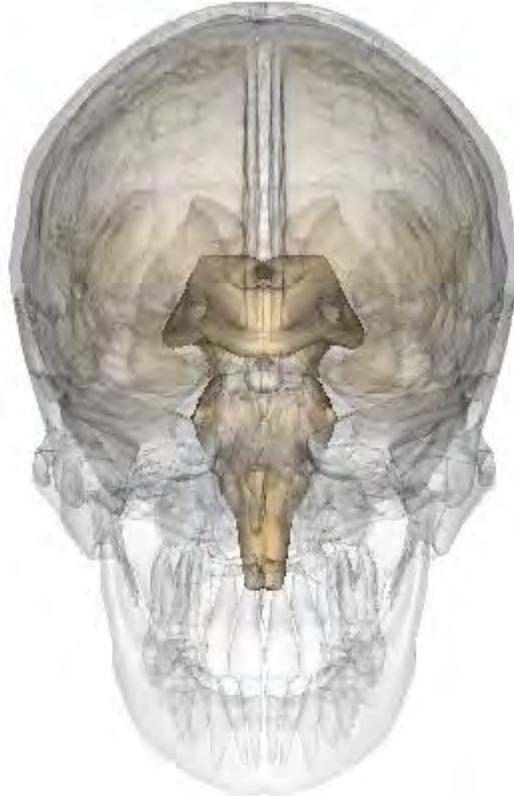
Adaptation par changements graduels sélectionnés



Oeil pinéal chez certains reptiles



Glande pinéale chez l'être humain

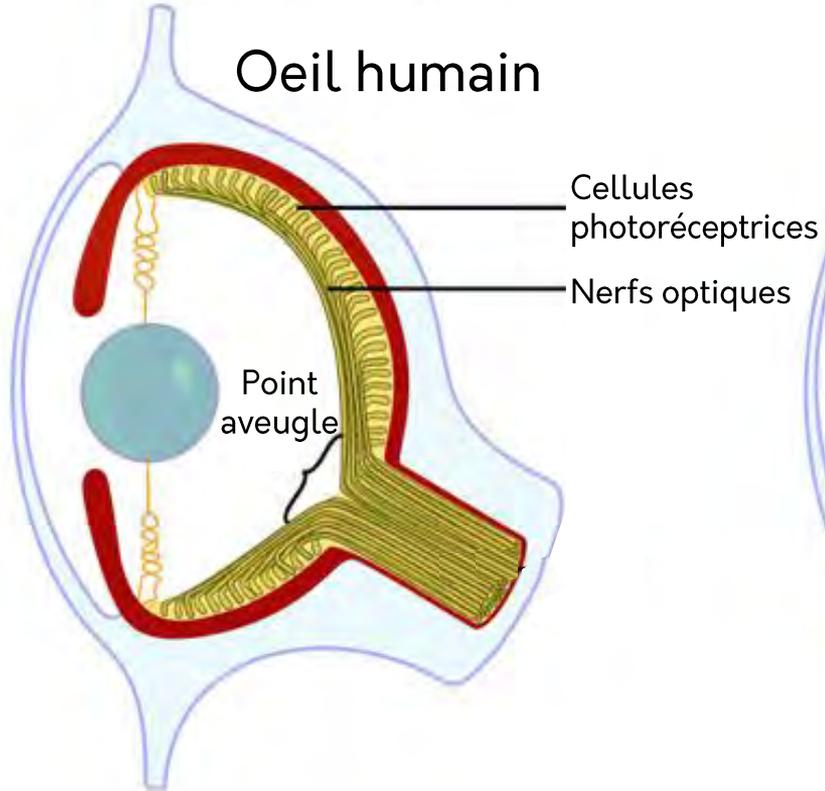




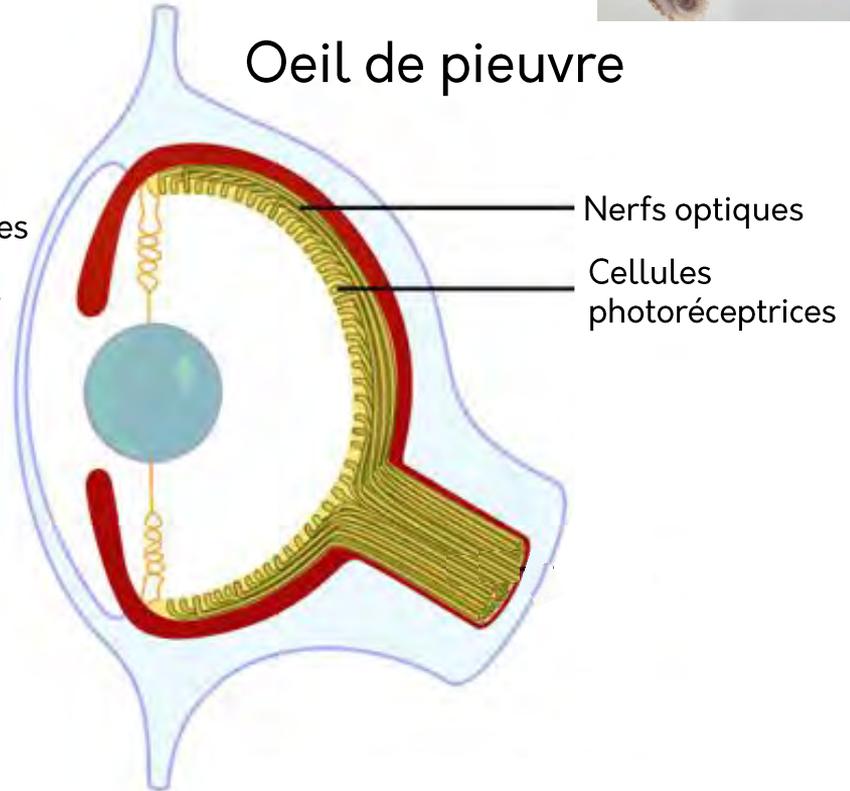
L'œil humain: pas optimal



Oeil humain

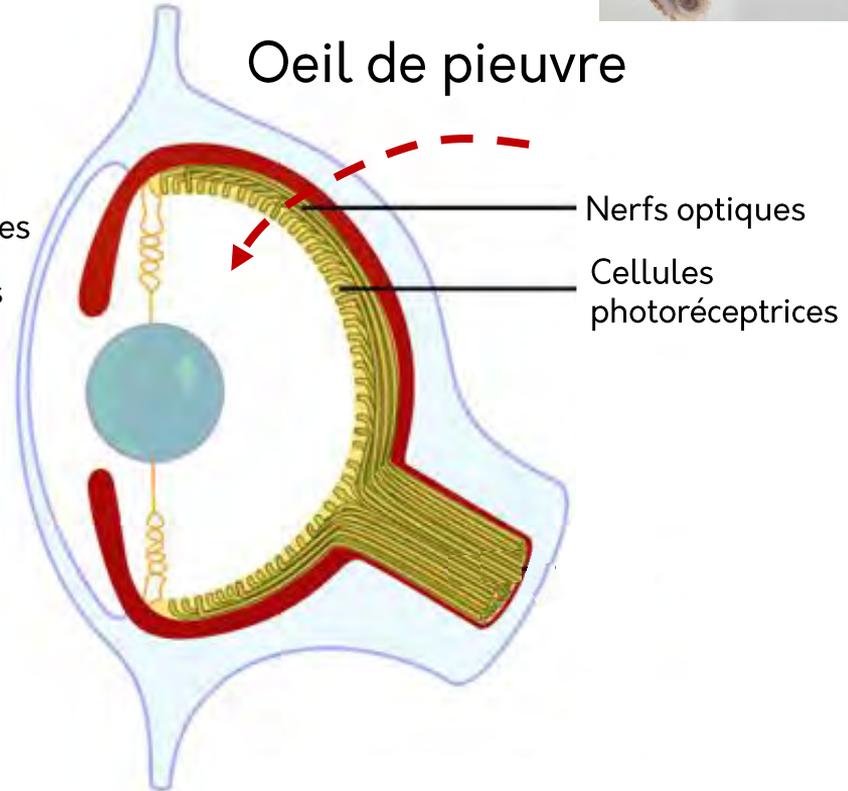
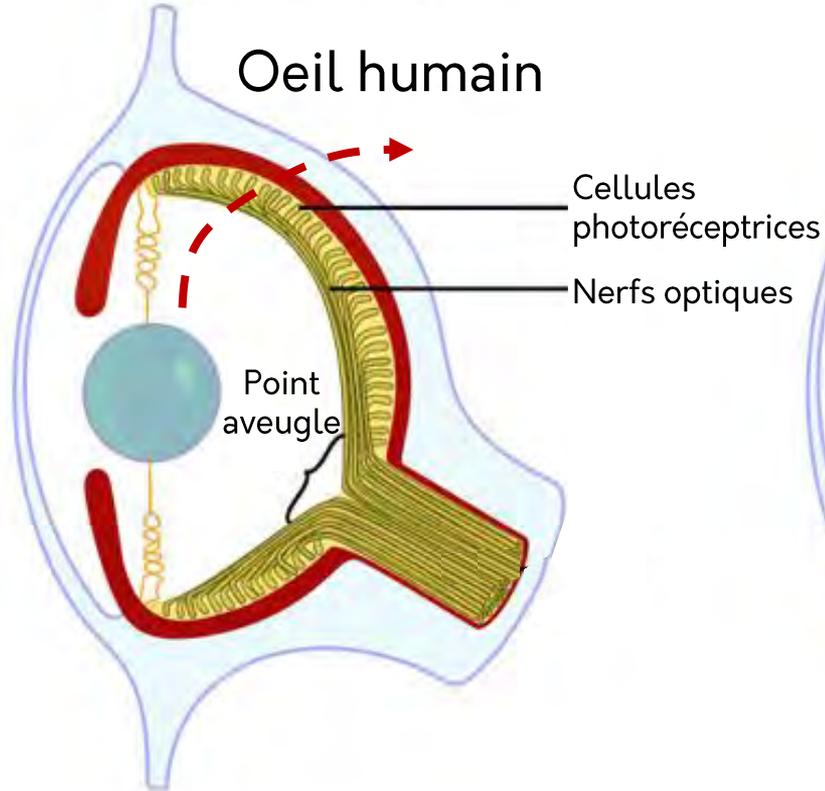


Oeil de pieuvre





L'œil humain: pas optimal

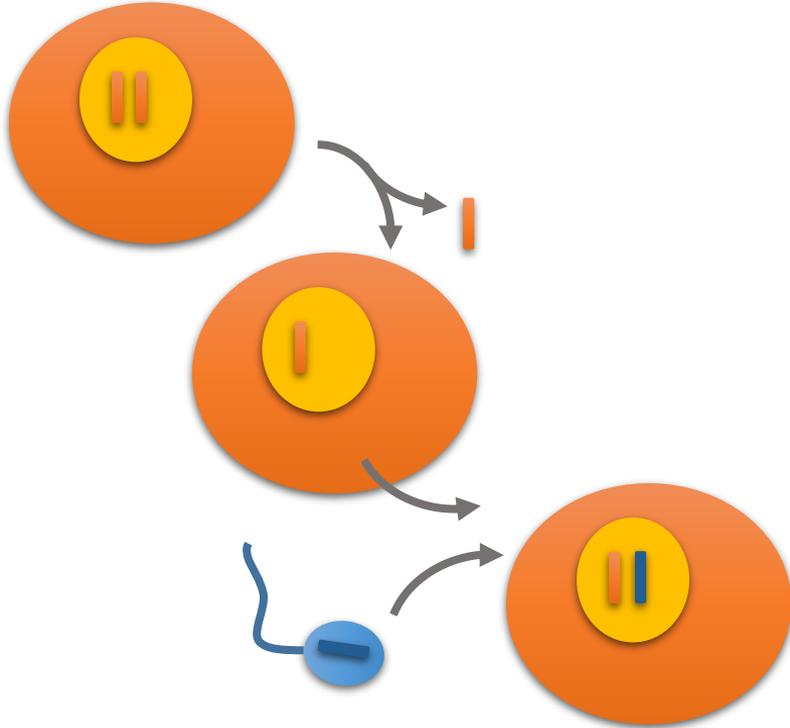


Pourquoi la reproduction sexuée?



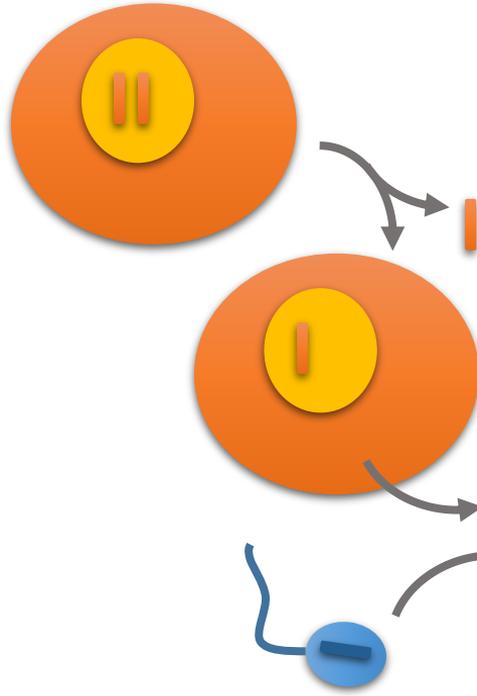
Pourquoi la reproduction sexuée?

Femelle sexuée

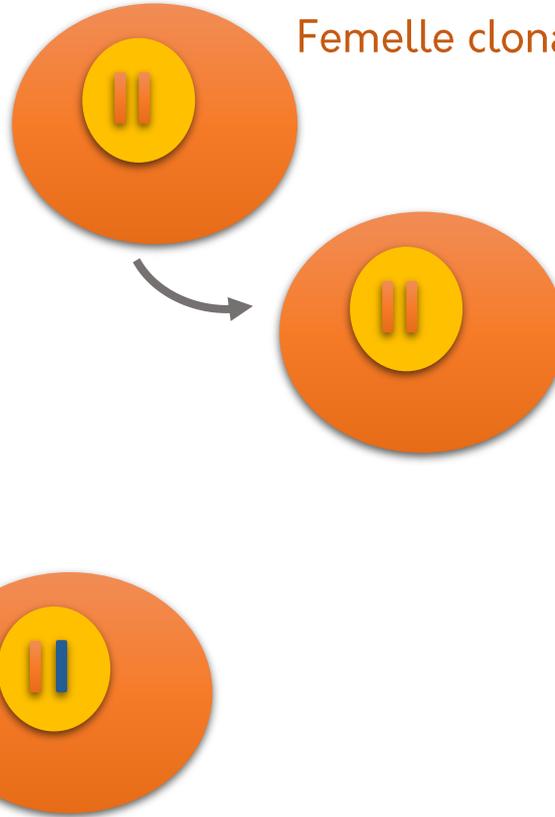


Pourquoi la reproduction sexuée?

Femelle sexuée

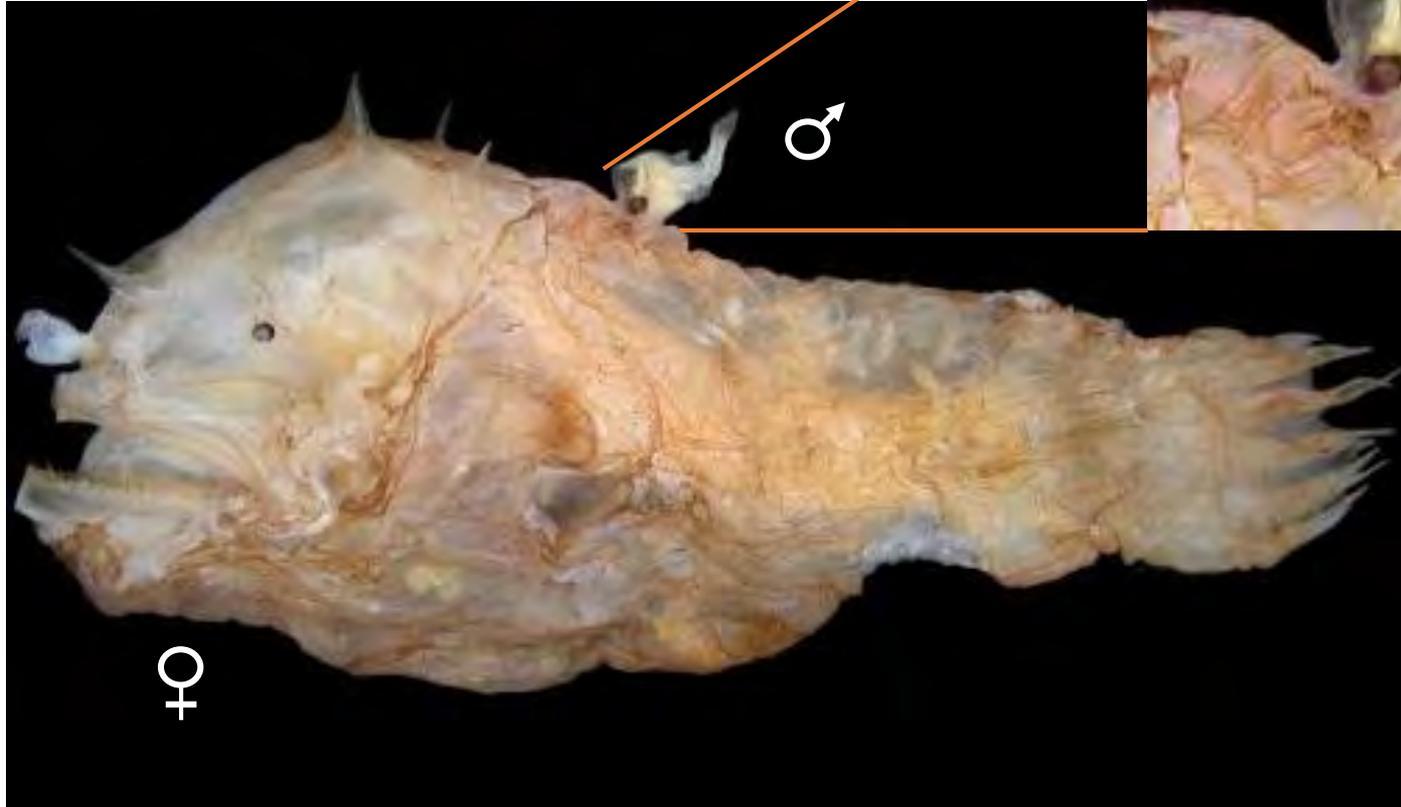


Femelle clonale



Pourquoi la reproduction sexuée?

Le « coût des mâles »



Pourquoi la reproduction sexuée?

Pour la diversité génétique?

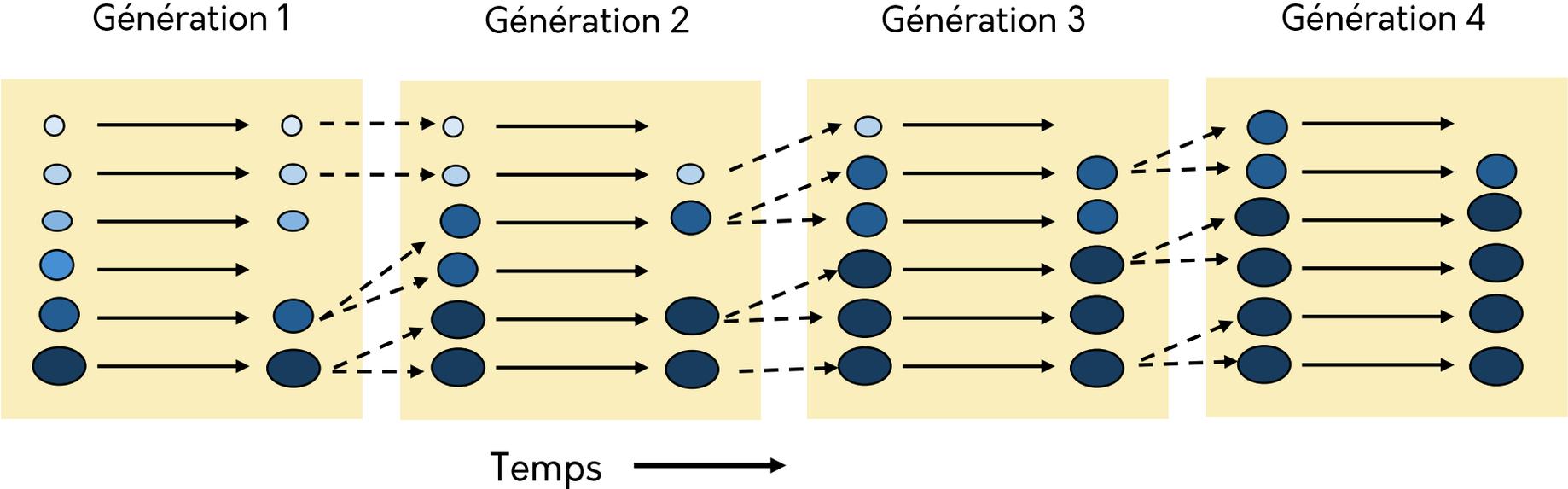
Pour le bien de
l'espèce?



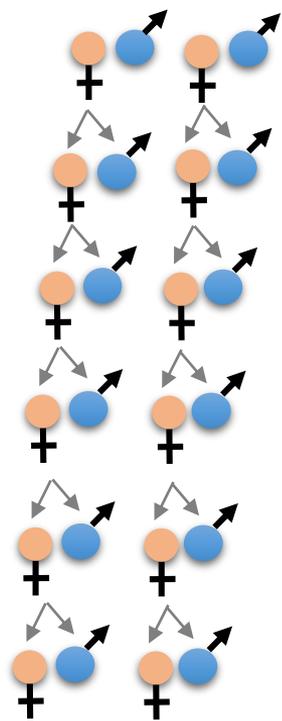
« Tout est pour le mieux dans le meilleur des mondes »
répète Pangloss,
précepteur de Candide



Sélection naturelle



Pourquoi la reproduction sexuée?

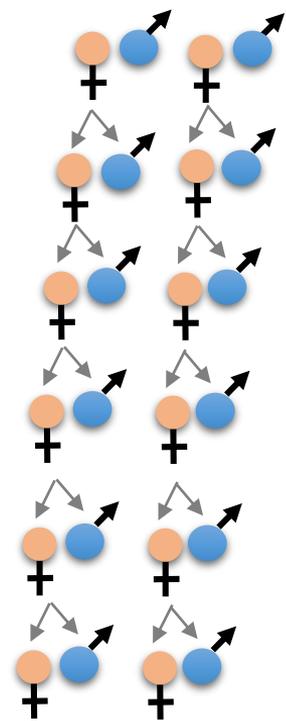


Reproduction
sexuée

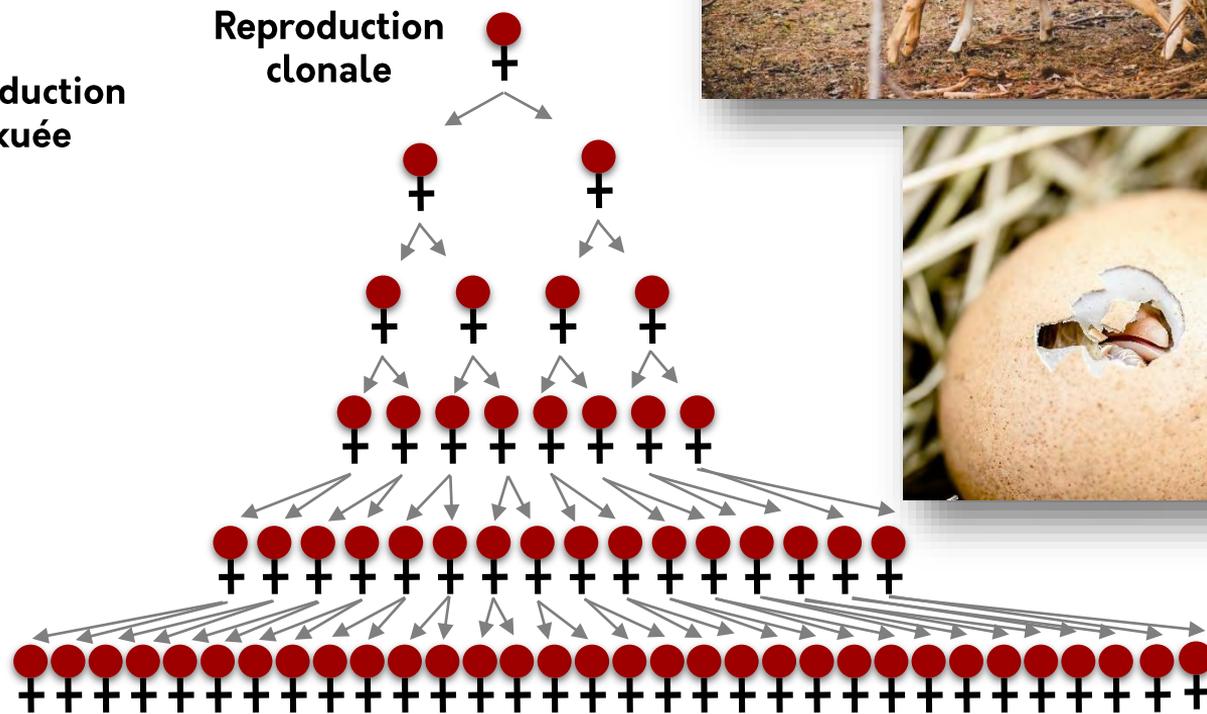


Pourquoi la reproduction sexuée?

Le « double coût des mâles »



Reproduction
sexuée

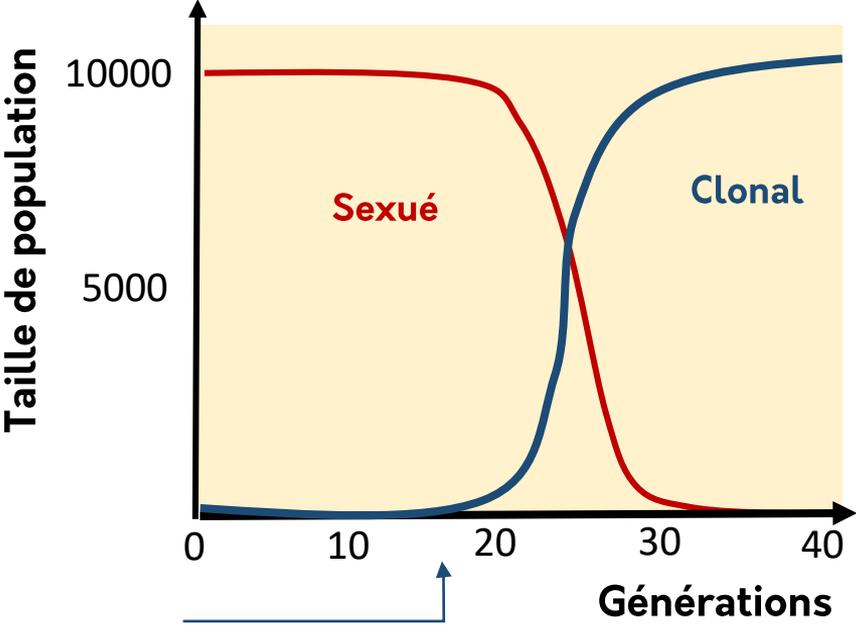


Reproduction
clonale

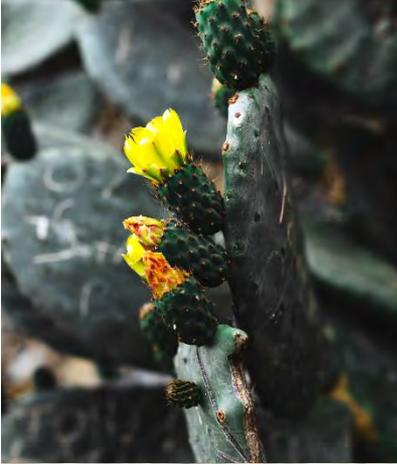


Pourquoi la reproduction sexuée?

Le « double coût des mâles »



Apparition d'une mutante clonale



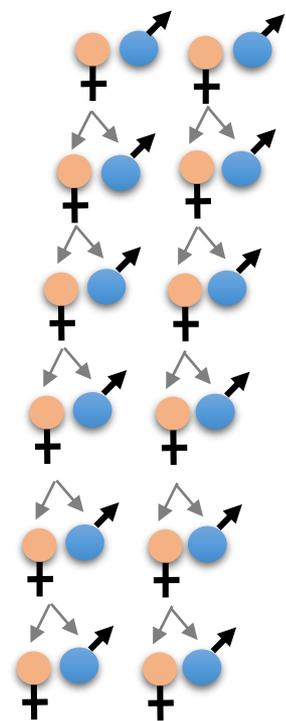
MedievalRich



André Karvath

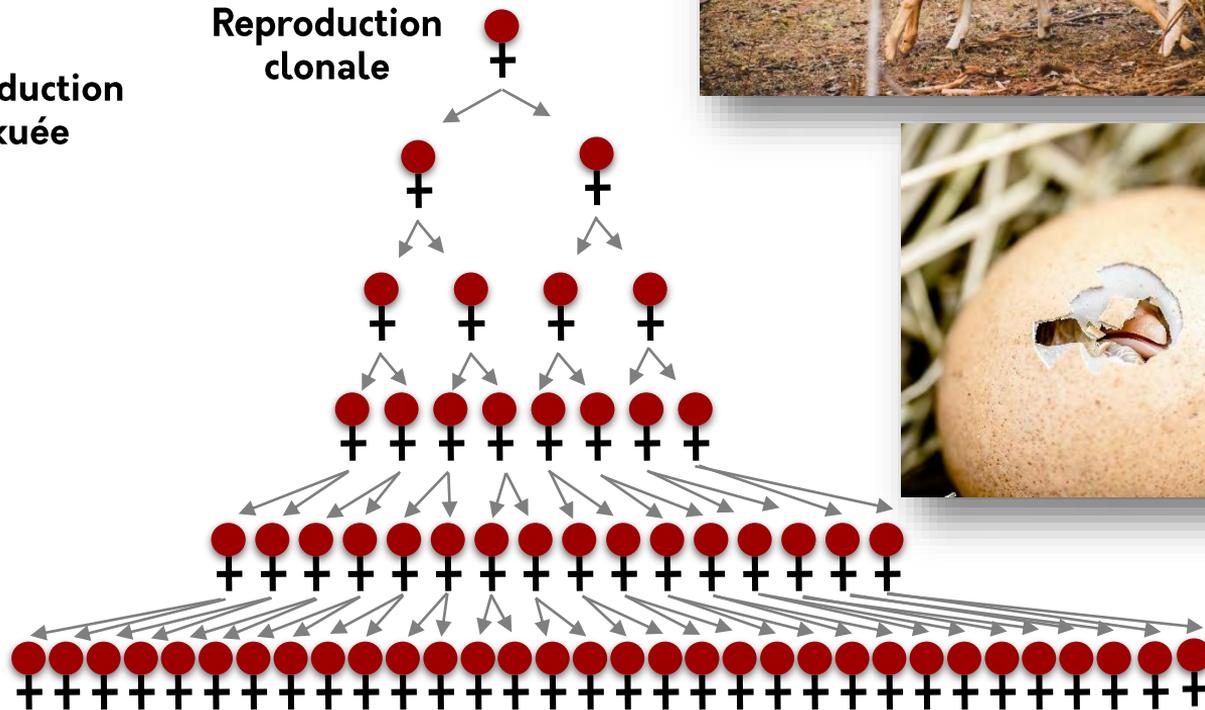
Pourquoi la reproduction sexuée?

Le « double coût des mâles »



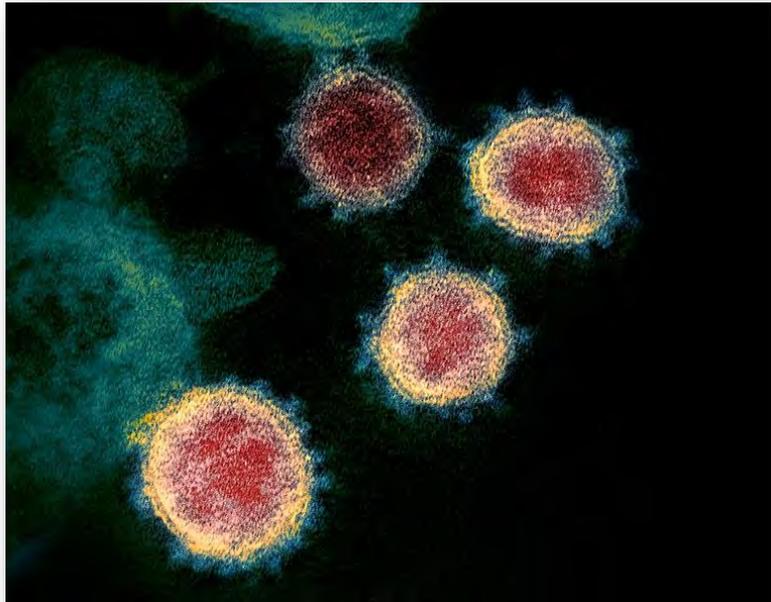
Reproduction
sexuée

Reproduction
clonale



Pourquoi la reproduction sexuée?

Des avantages à court terme
pour contrebalancer le
« double coût des mâles » ?



Alex Wild

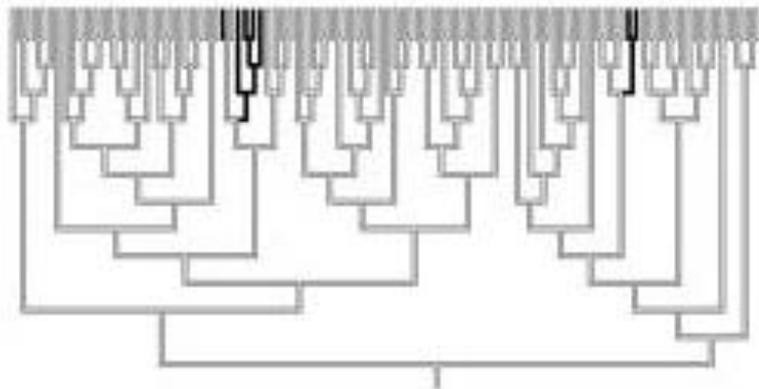


© alexanderwild.com

Pourquoi la reproduction sexuée?

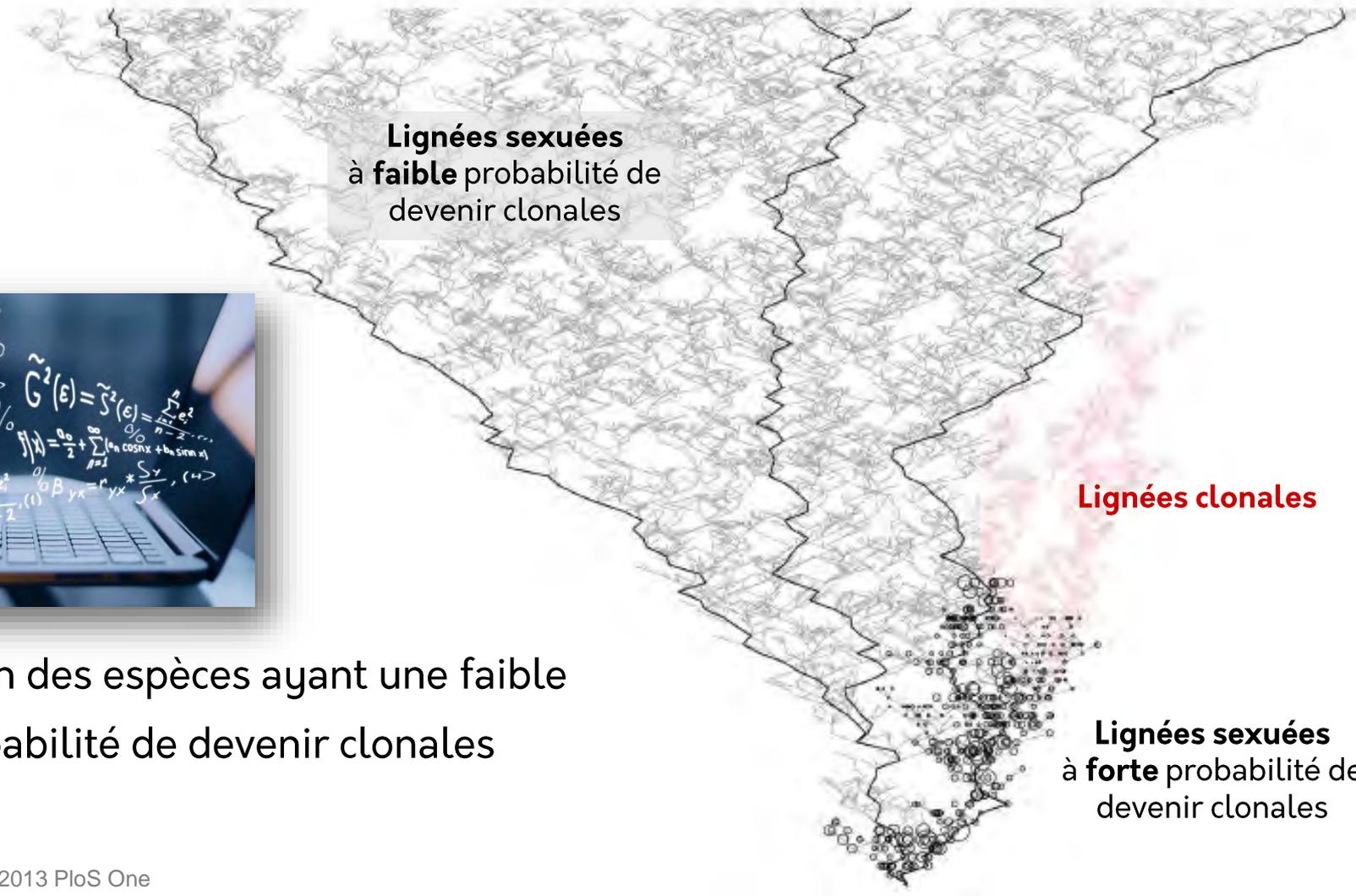
Sélection à l'échelle de l'espèce?

Espèces clonales
Espèces sexuées



de Vienne et al. 2013 PLoS One

Gouyon & Giraud 2009 Aux origines de la sexualité. Fayard



Lignées sexuées
à **faible** probabilité de
devenir clonales



Lignées clonales

Sélection des espèces ayant une faible
probabilité de devenir clonales

Lignées sexuées
à **forte** probabilité de
devenir clonales

Pourquoi l'altruisme?



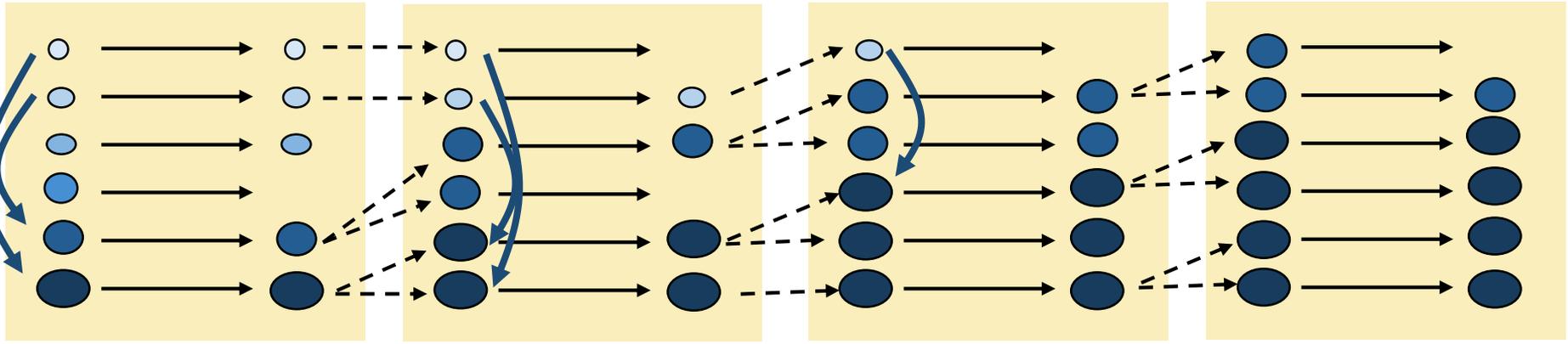
Evolution de l'altruisme?

Génération 1

Génération 2

Génération 3

Génération 4



→
Temps

○ ○ Altruistes
● ● Non-altruistes

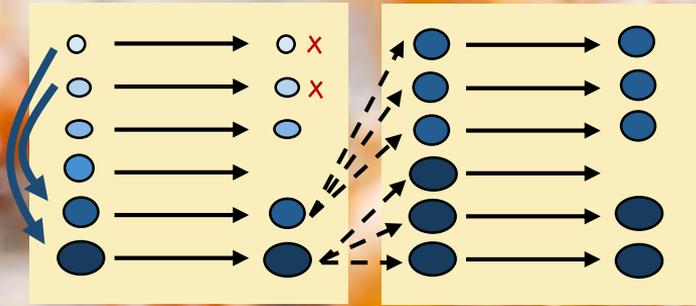
Altruisme: aide à d'autres individus pour produire des descendants aux dépens de leurs propres descendants



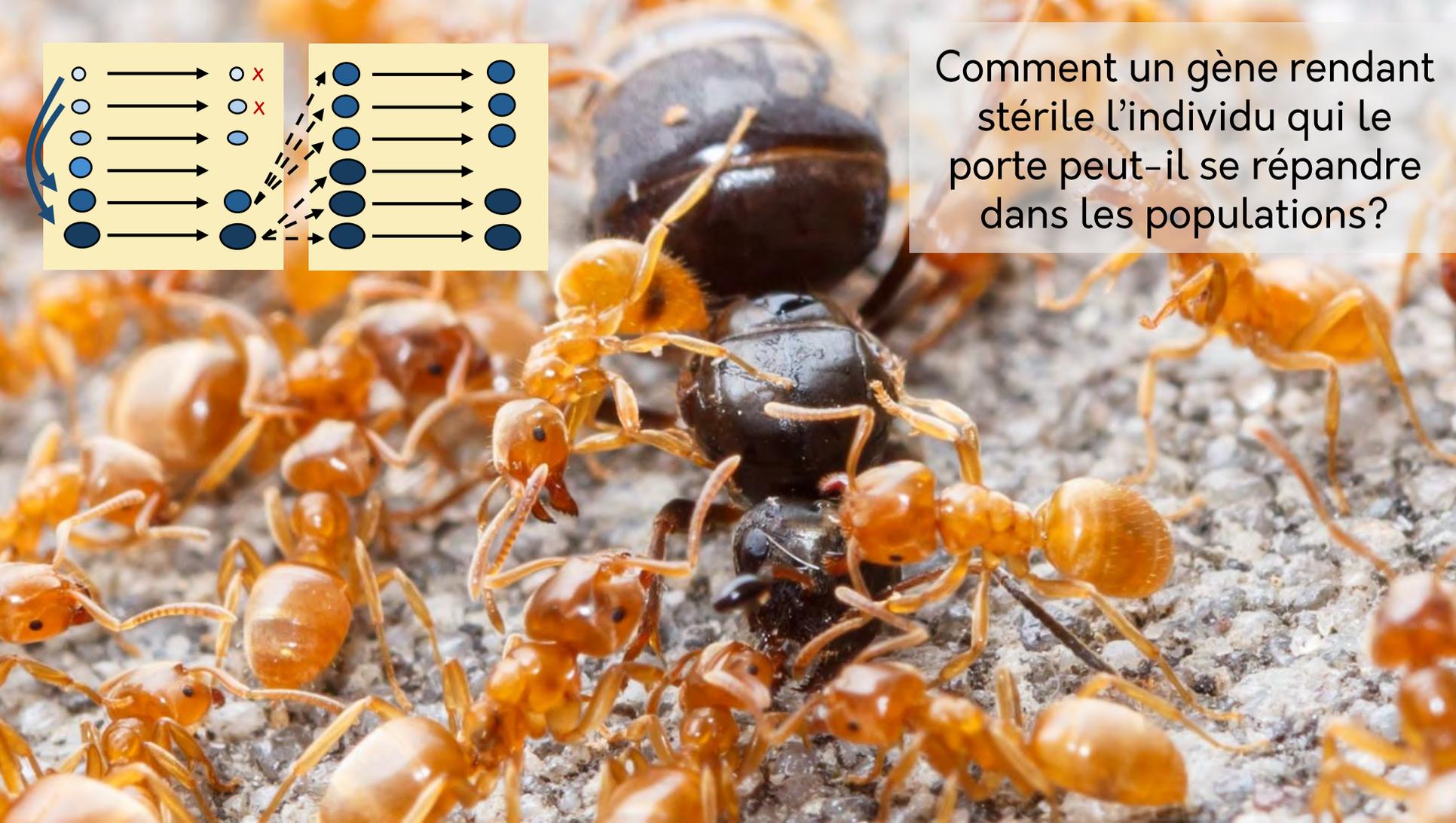
A close-up photograph of a line of red ants on a green leaf. The ants are arranged in a single file, moving from left to right. The background is a soft, out-of-focus green. The text is overlaid on the upper right portion of the image.

Les fourmis ouvrières constituent
« une difficulté particulière qui, au premier
abord, me parut insurmontable et réellement
fatale à l'ensemble de ma théorie »

Charles Darwin 1859



Comment un gène rendant stérile l'individu qui le porte peut-il se répandre dans les populations?



Le problème évolutif de l'altruisme





Pour le bien du groupe ?



Vero Copner
Wynne-Edwards
1986

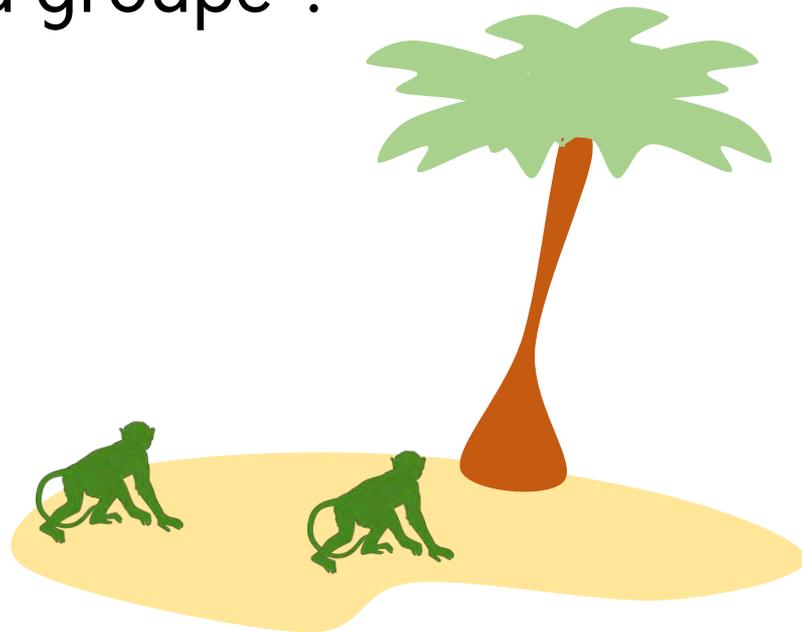
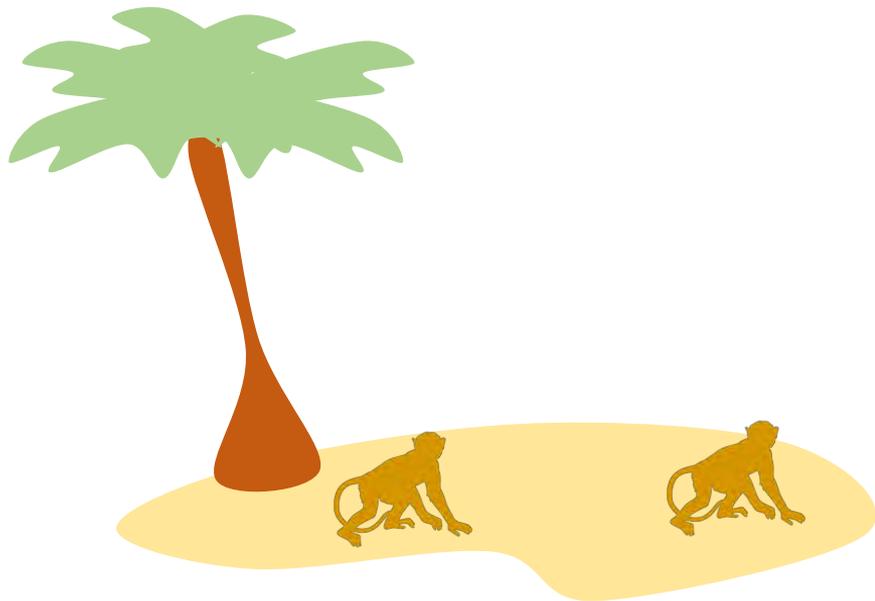


Altruiste



Egoïste

Pour le bien du groupe ?



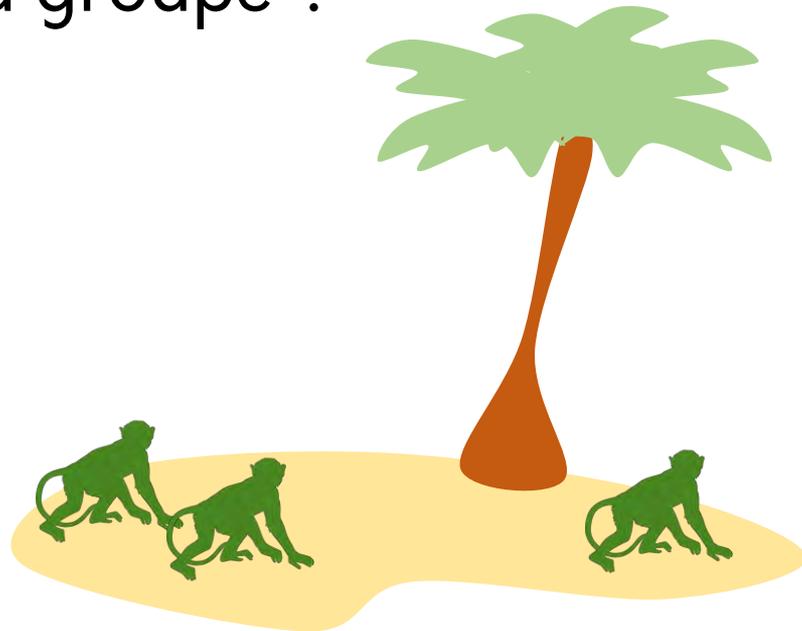


Altruiste



Egoïste

Pour le bien du groupe ?





Altruiste

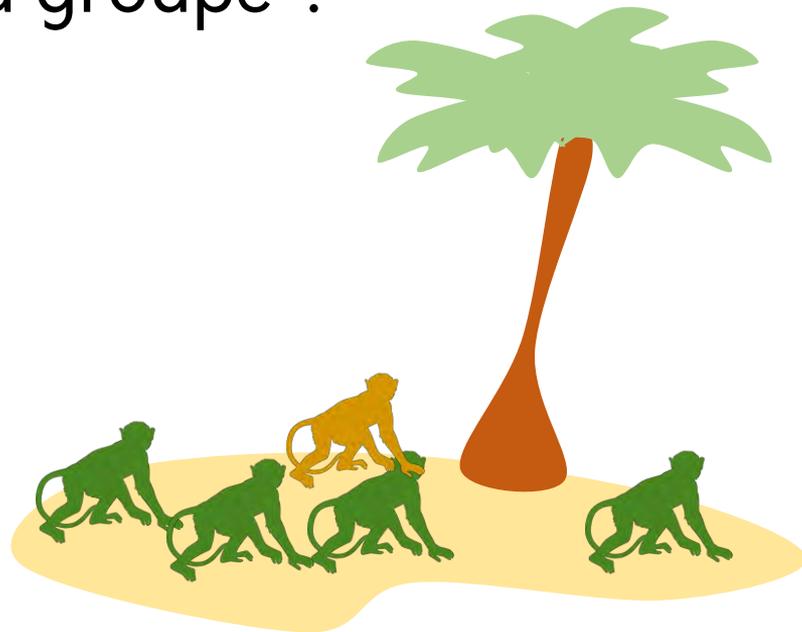


Egoïste

Pour le bien du groupe ?



Migration ou
mutation



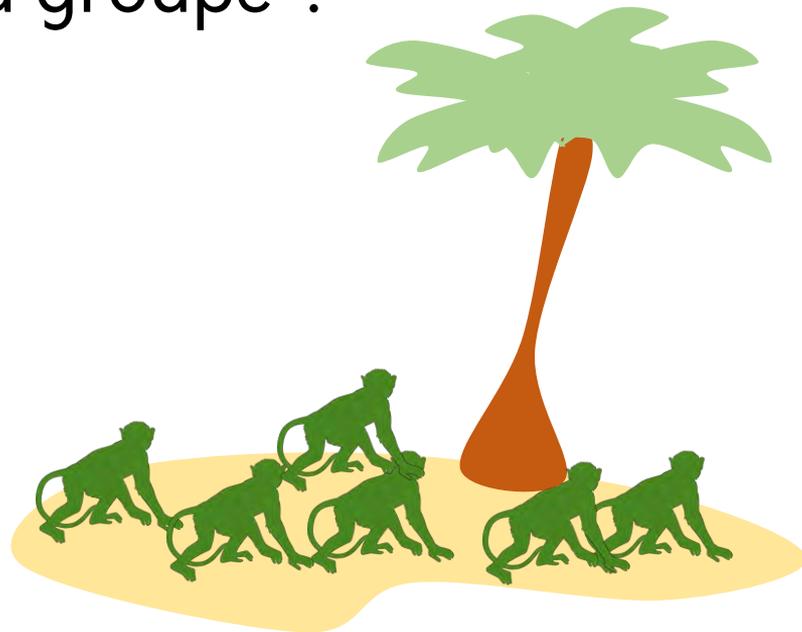


Altruiste



Egoïste

Pour le bien du groupe ?



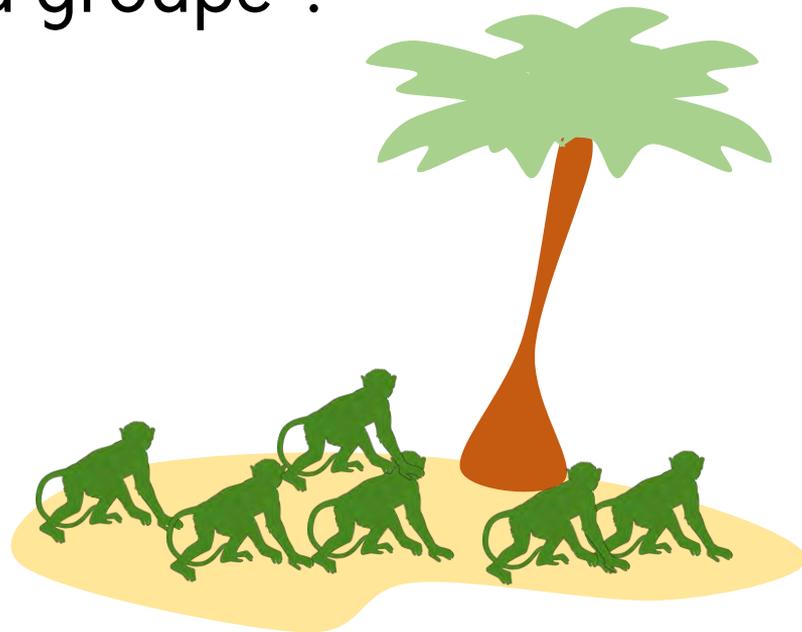
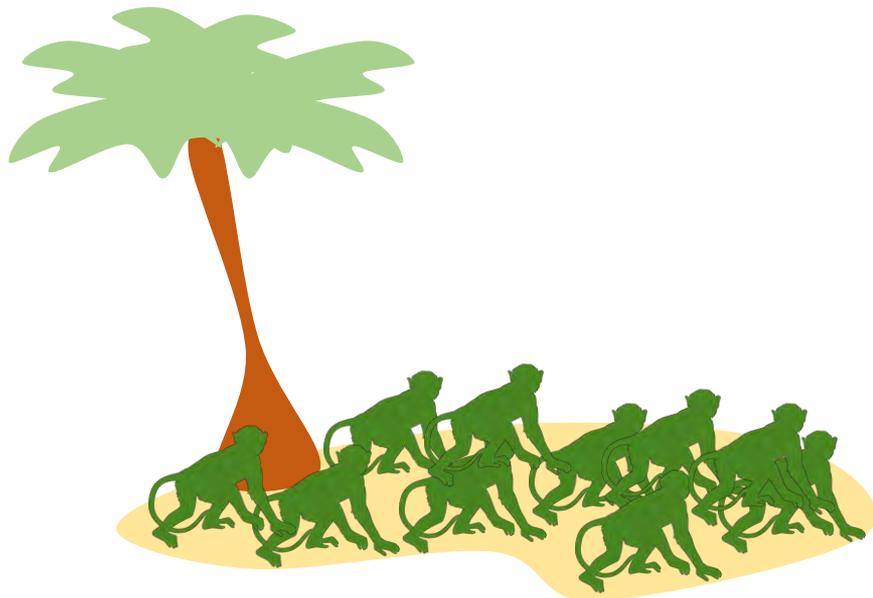


Altruiste

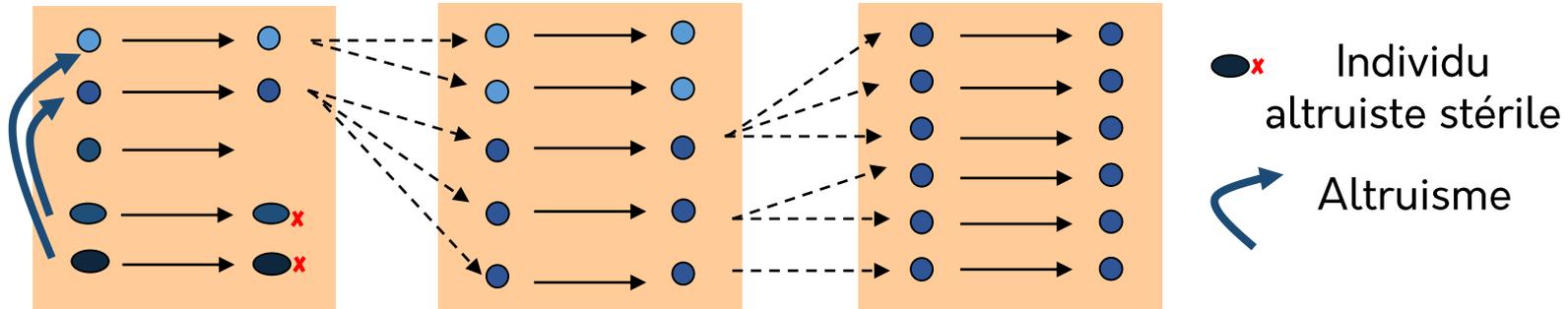


Egoïste

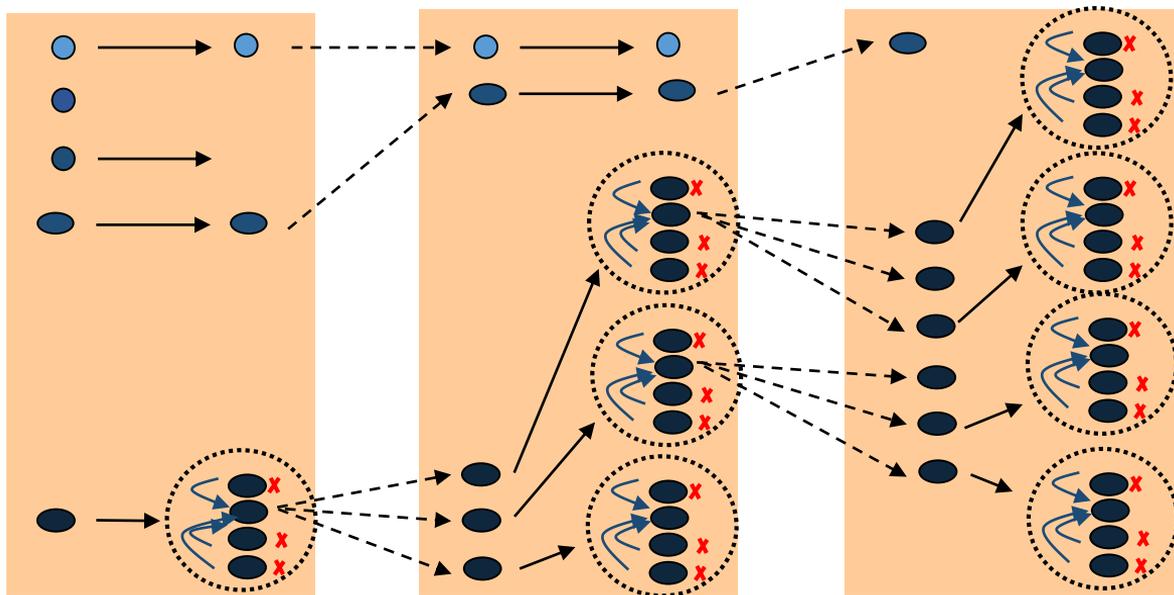
Pour le bien du groupe ?



La stérilité des ouvrières fourmis: un coup fatal à la théorie de Darwin?



Evolution de l'altruisme par sélection de parentèle

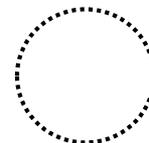


© Sarah Blaffer Hrdy

William Hamilton
1963, 1964

●_x Individu altruiste stérile

↪ Altruisme envers apparenté



Famille

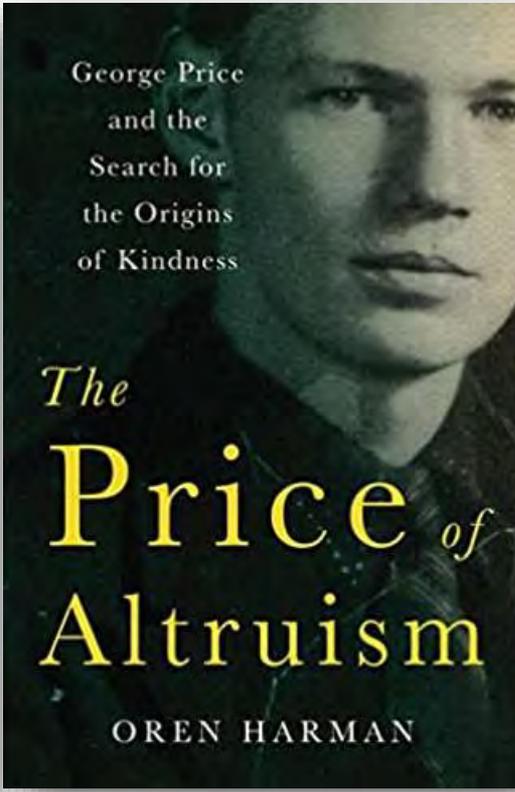




L'altruisme peut être une bonne façon de transmettre ses gènes



© Sarah Blaffer Hird

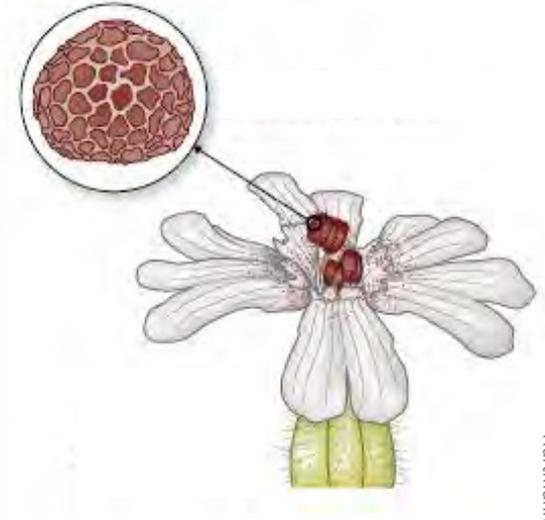


Kathleen B Price



Evolution de l'altruisme
entre apparentés aussi
chez les champignons

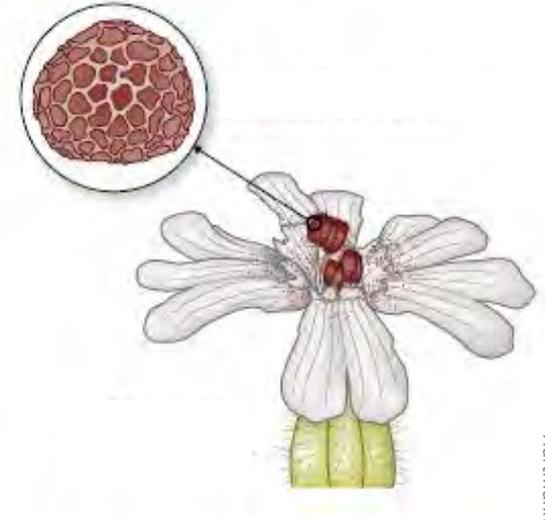
Souches de champignon différentes au sein d'une même plante



Hartmann et al. 20021 New Phytol

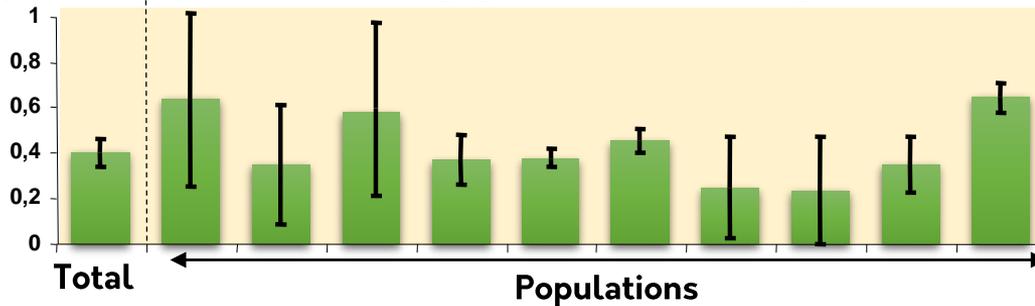
Lopez-Villavicencio et al. 2007 PLoS Pathogens
Koskella et al. 2006 American Naturalist
Lopez-Villavicencio et al. 2011 Evolution
Koskella et al. 2006 American Naturalist

Souches apparentées au sein d'une même plante



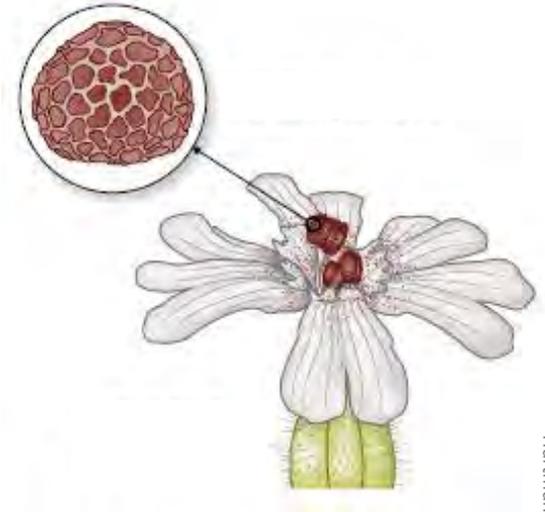
Hartmann et al. 20021 New Phytol

Apparemment entre champignons au sein des plantes



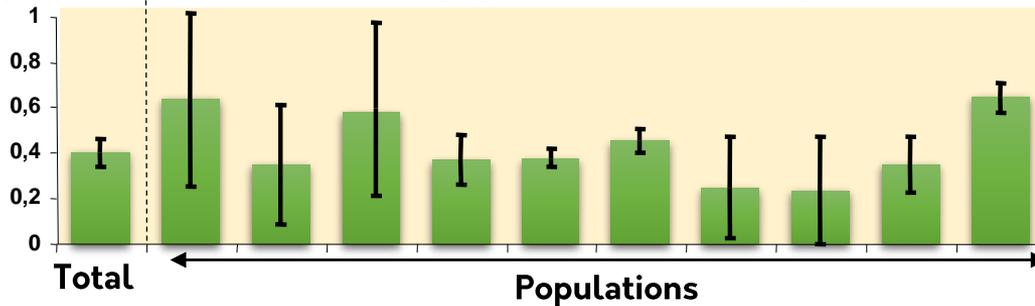
Lopez-Villavicencio et al. 2007 PLoS Pathogens
Koskella et al. 2006 American Naturalist
Lopez-Villavicencio et al. 2011 Evolution
Koskella et al. 2006 American Naturalist

Exclusion de souches non apparentées au sein d'une même plante



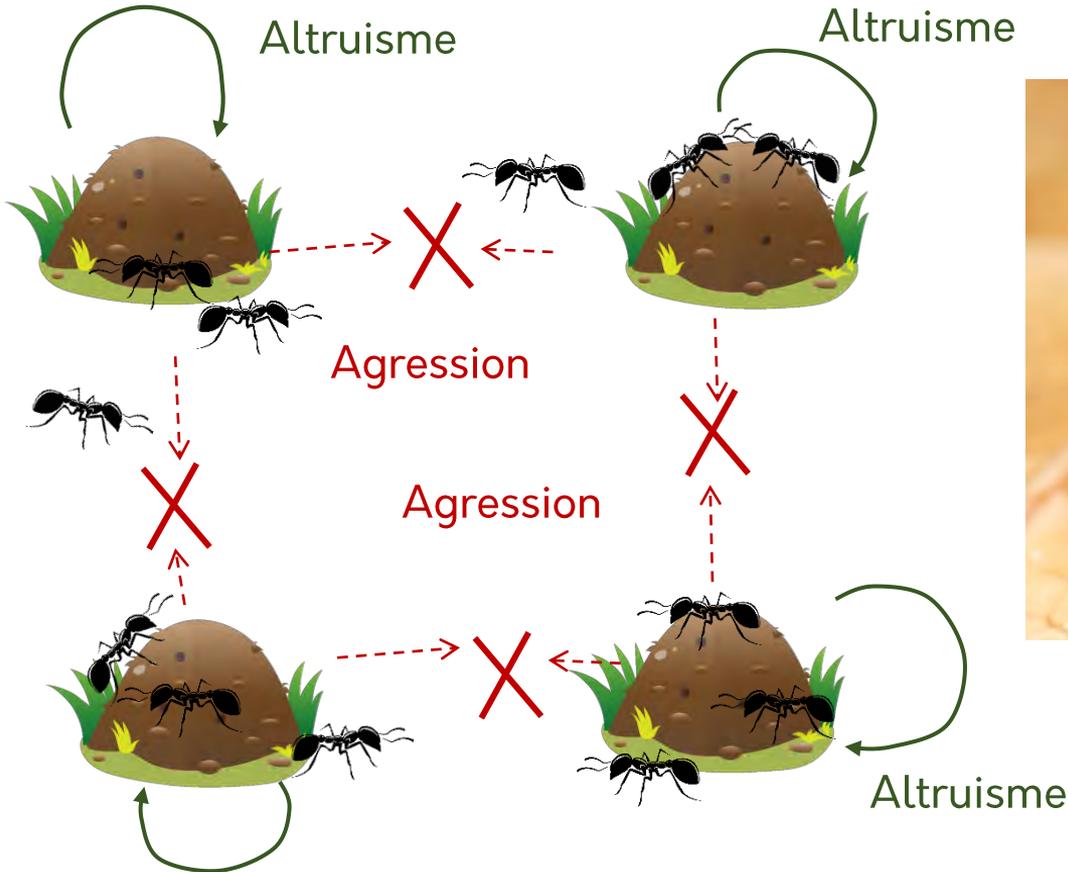
Hartmann et al. 20021 New Phytol

Apparementement entre champignons au sein des plantes

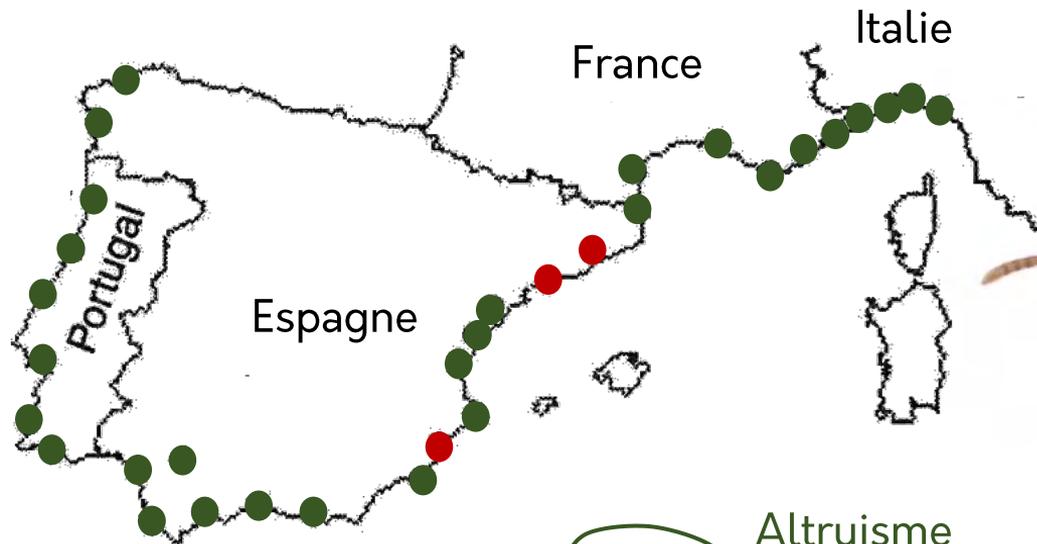


Lopez-Villavicencio et al. 2007 PLoS Pathogens
Koskella et al. 2006 American Naturalist
Lopez-Villavicencio et al. 2011 Evolution
Koskella et al. 2006 American Naturalist

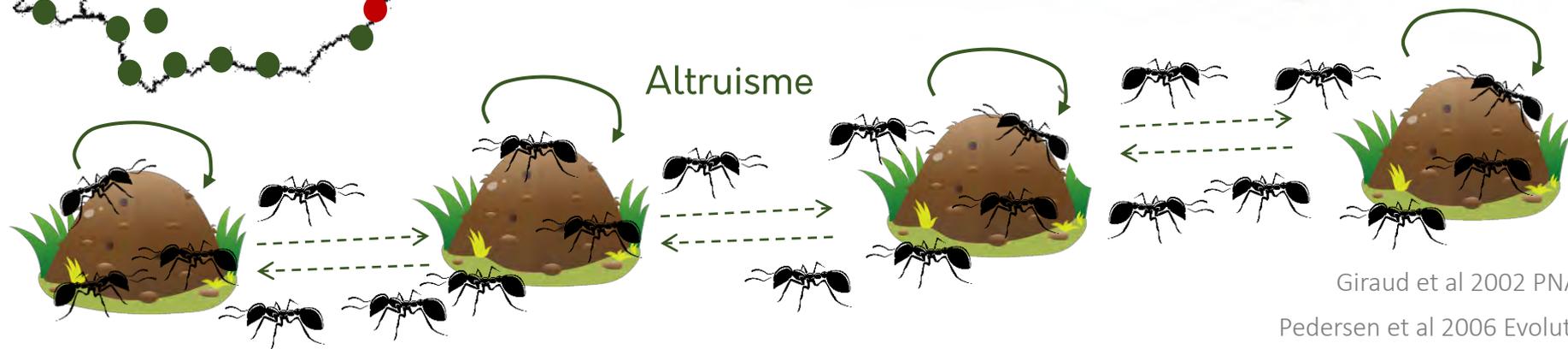
Evolution de l'altruisme par sélection de parentèle



Supercolonies de fourmis envahissantes



Alex Wild



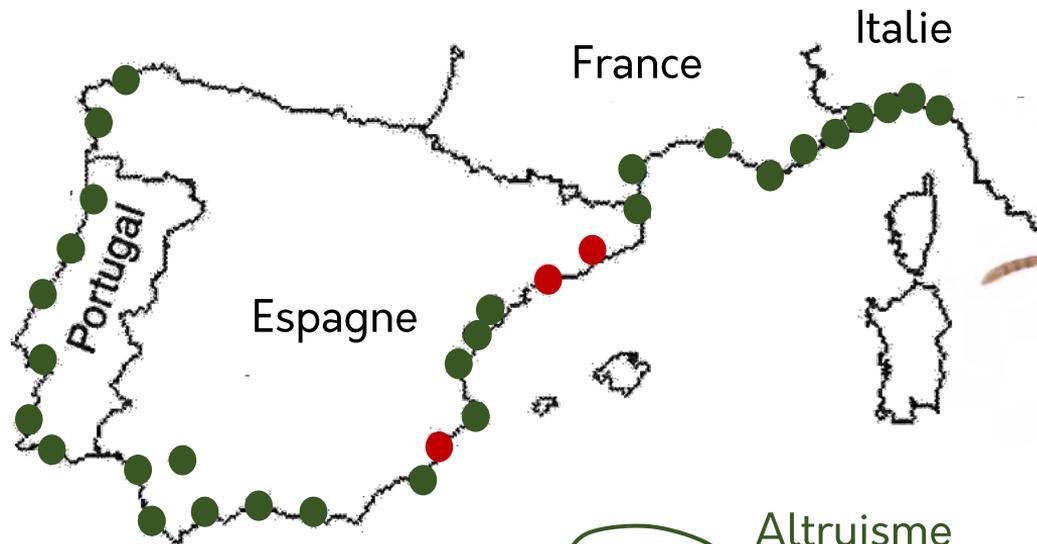
Giraud et al 2002 PNAS

Pedersen et al 2006 Evolution

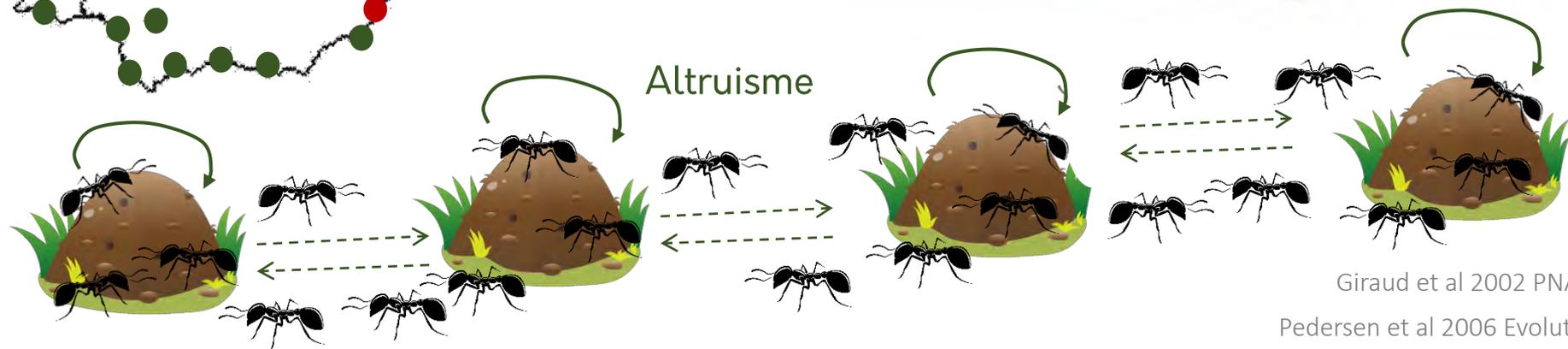




Supercolonies de fourmis envahissantes



Alex Wild



Giraud et al 2002 PNAS

Pedersen et al 2006 Evolution

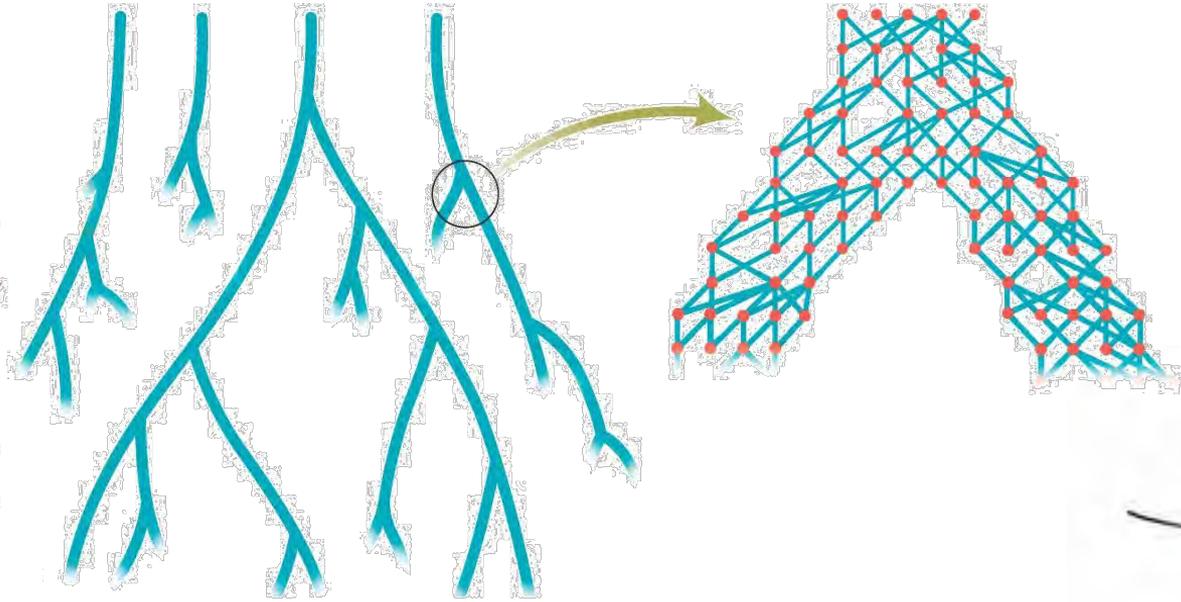
Evolution de l'altruisme réciproque





Pourquoi autant
d'espèces sur
terre?

Pourquoi autant d'espèces sur terre?

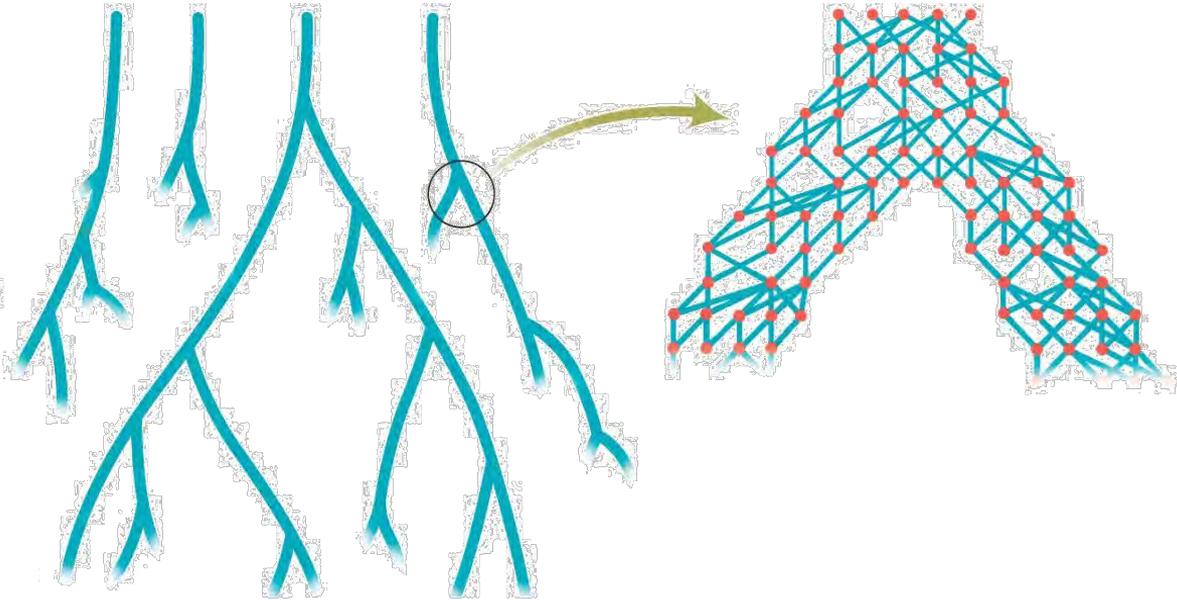


Andreas Kay

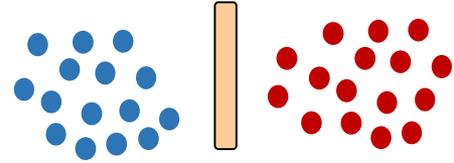


Luca Livraghi, Michel Cast

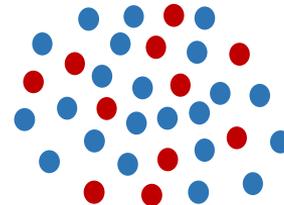
Pourquoi autant d'espèces sur terre?



Allopatrie

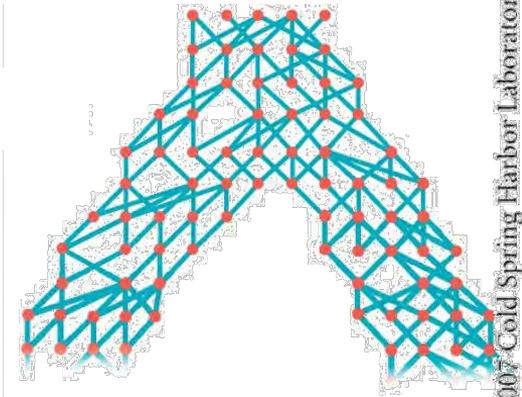
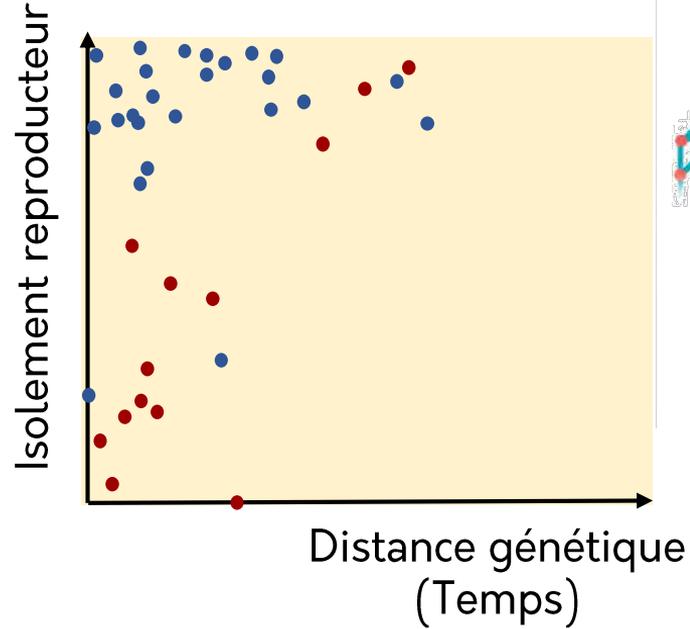


Sympatrie



Comment évolue l'isolement reproducteur?

Rezával et al. Curr Biol 2016

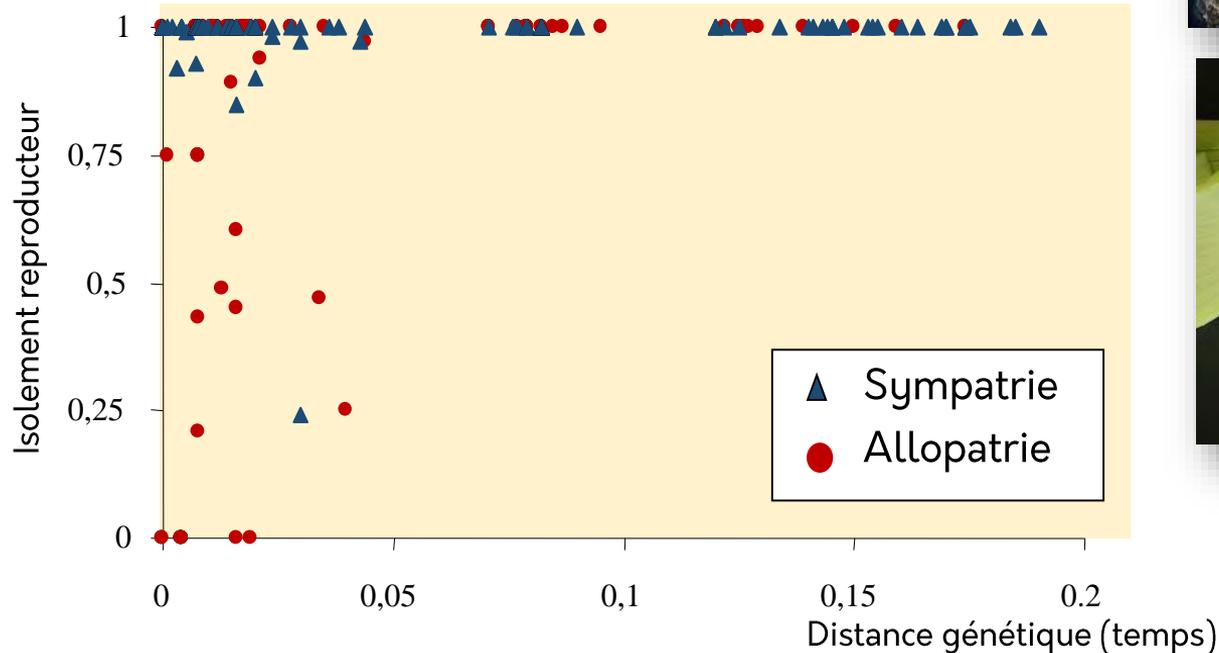


- Allopatrie
- Sympatrie

Coyne & Orr 1989

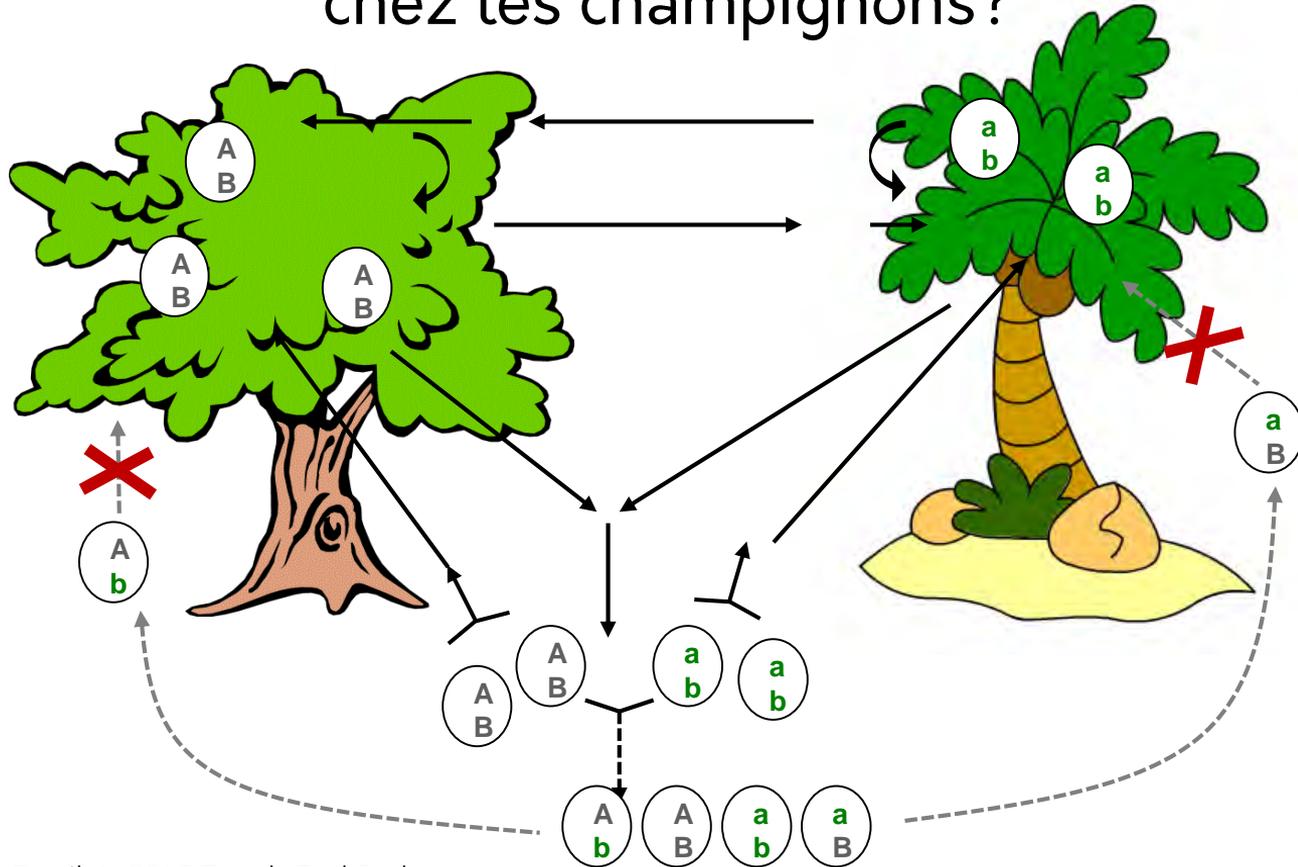
Comment évolue l'isolement reproducteur chez les champignons?

Basidiomycètes

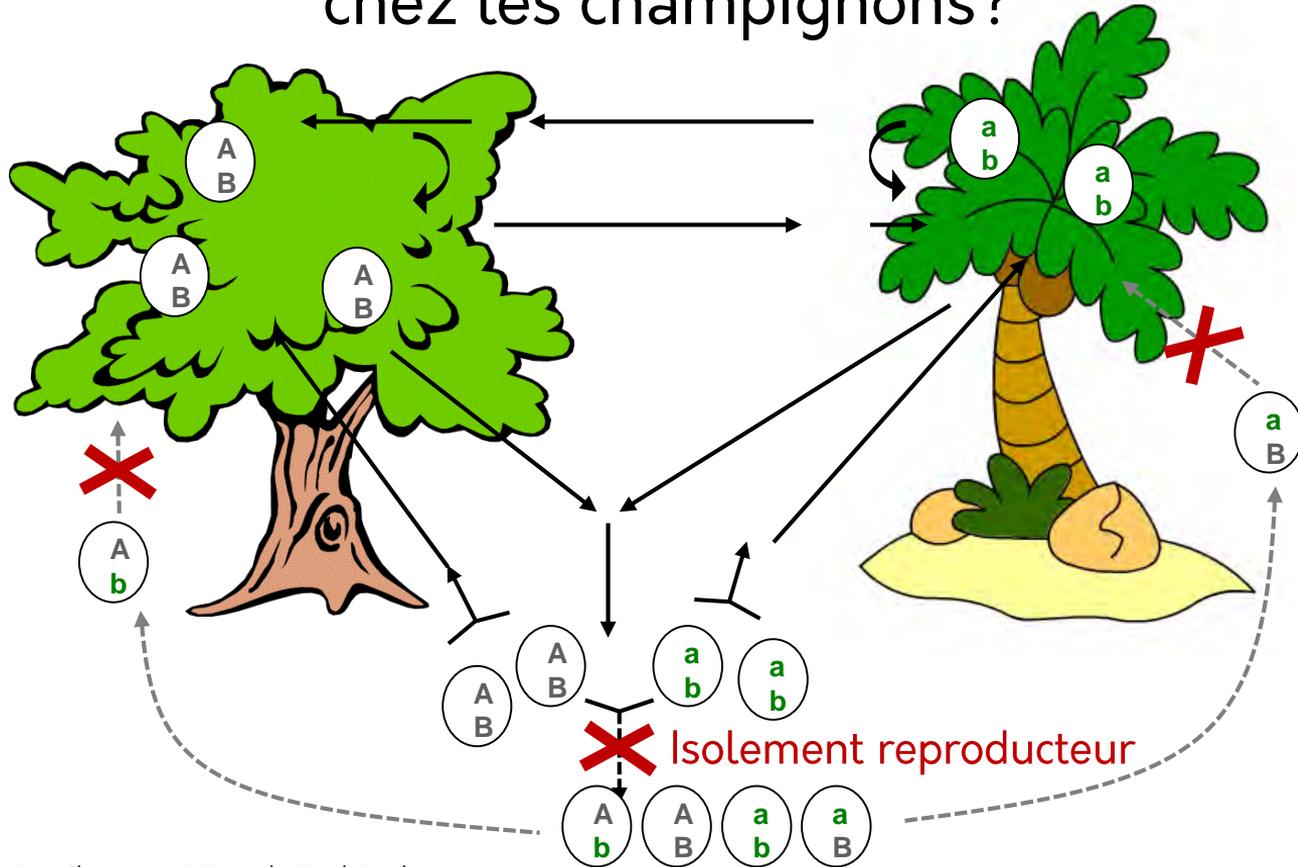


Le Gac & Giraud JEB 2008
Giraud et al. FGB 2008
Gourbière & Giraud 2012

Comment évolue l'isolement reproducteur chez les champignons?

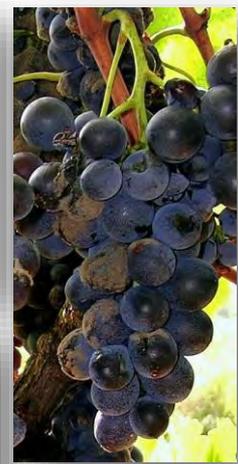
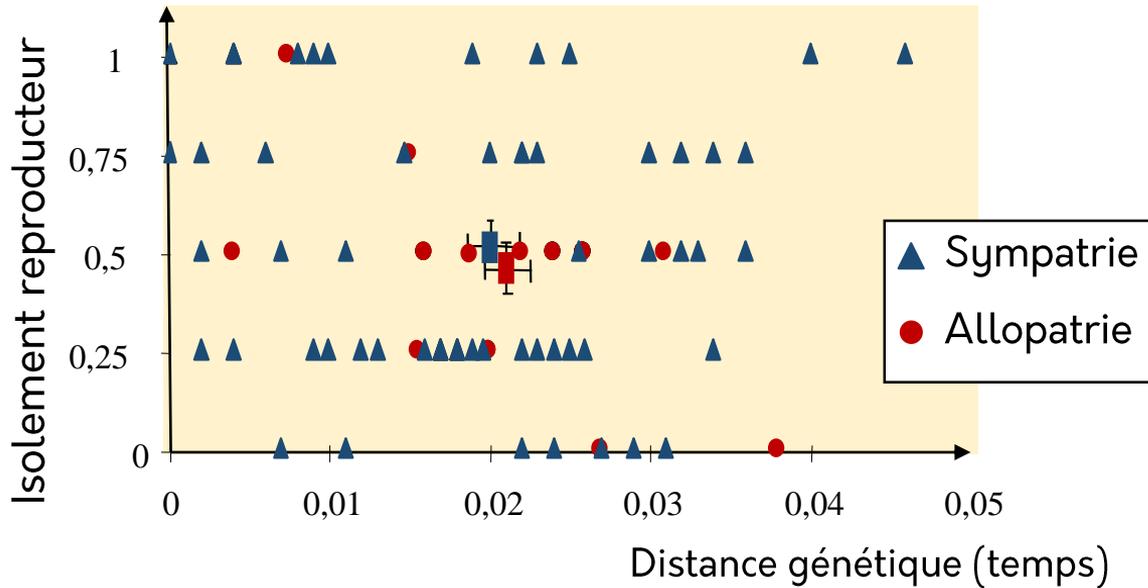


Comment évolue l'isolement reproducteur chez les champignons?



Comment évolue l'isolement reproducteur chez les champignons?

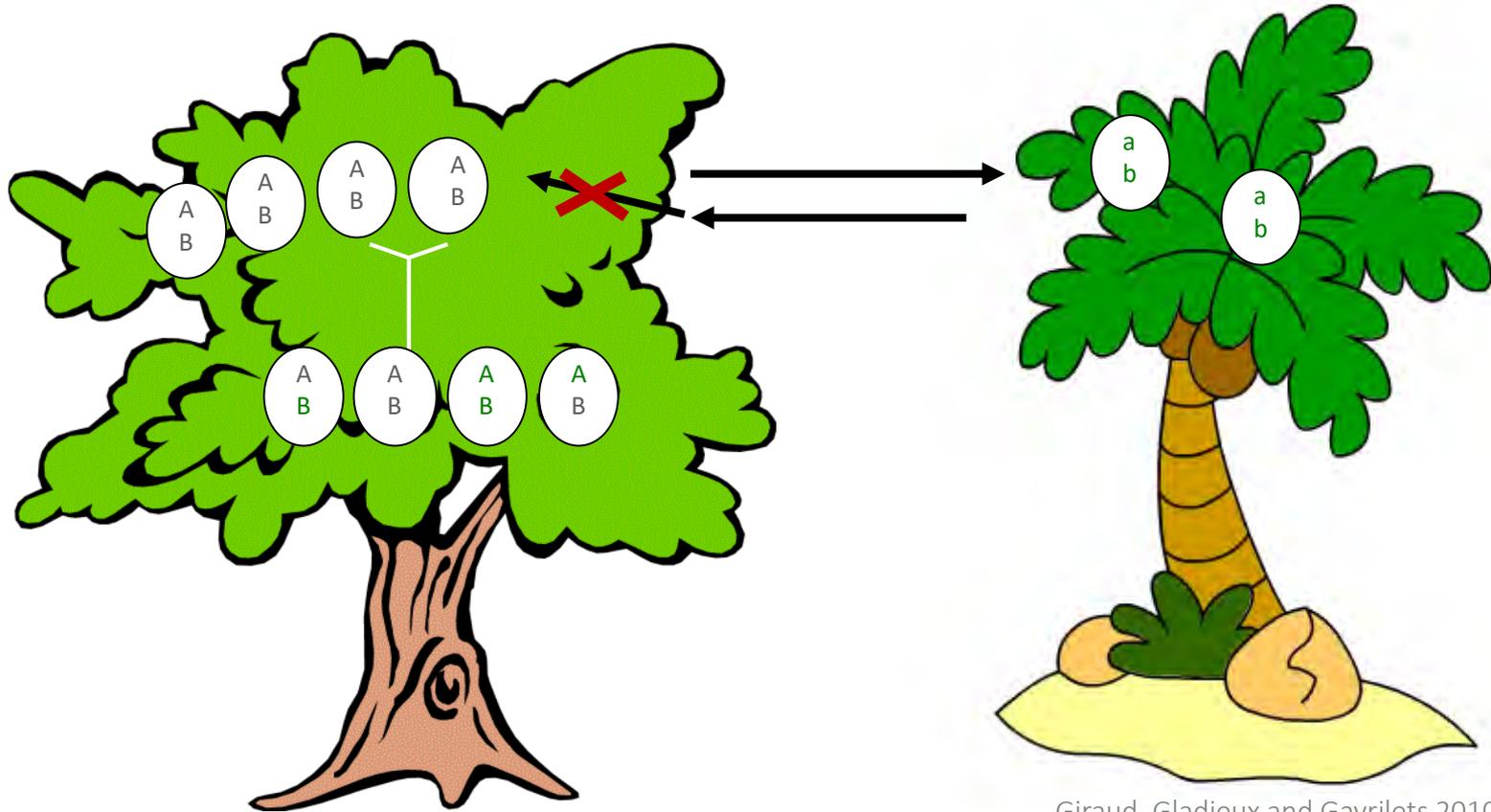
Ascomycètes



Le Gac & Giraud JEB 2008

Giraud et al. FGB 2008

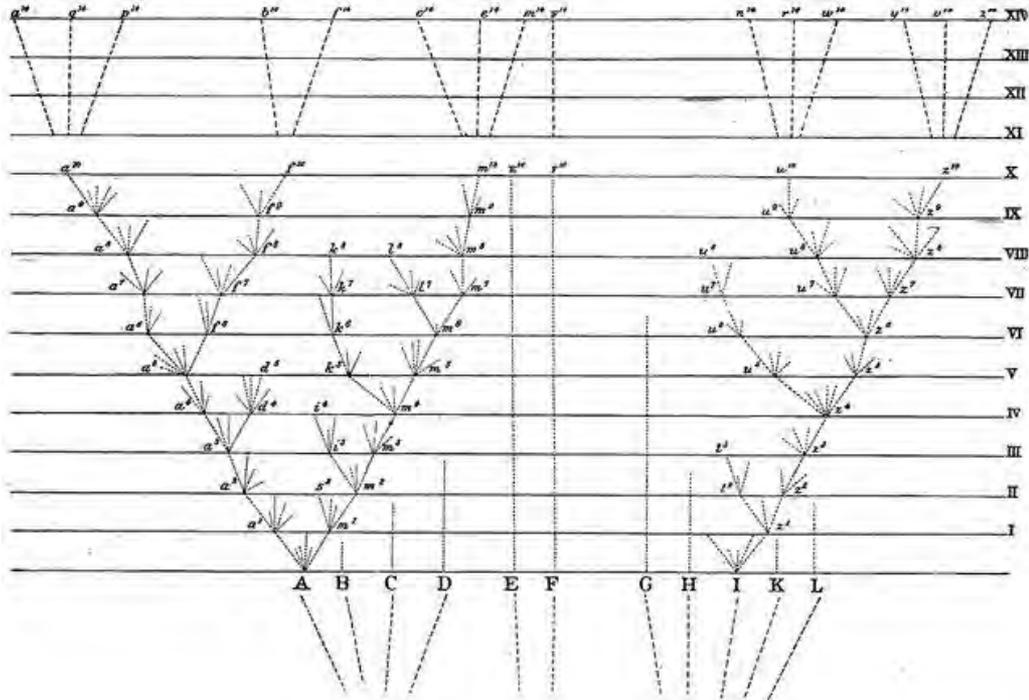
Isolement reproducteur en sympatrie facilité chez les pathogènes



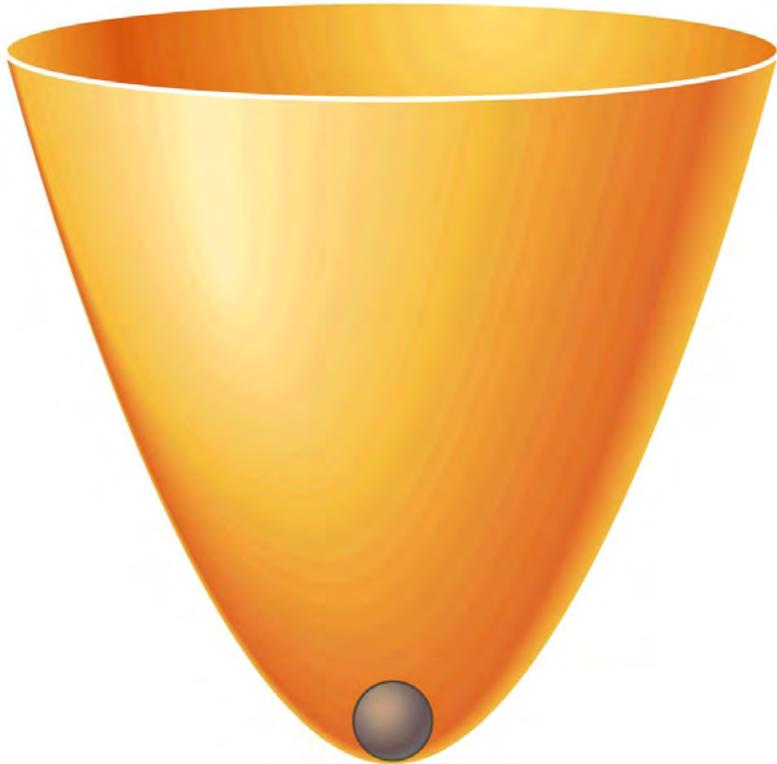
Isolement reproducteur en
sympatrie facilité chez les
pathogènes



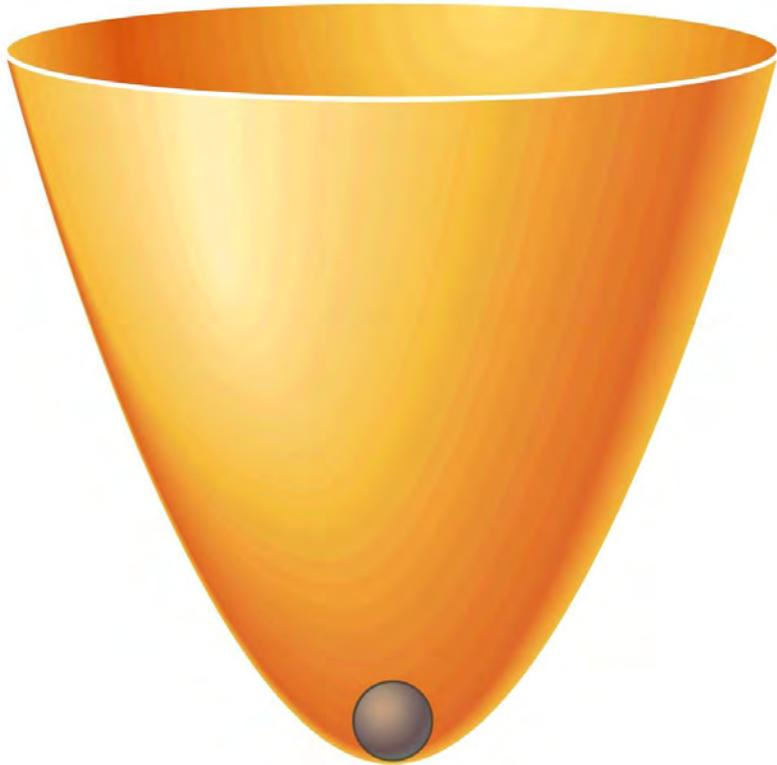
La théorie de Darwin : évolution par descendance avec modification



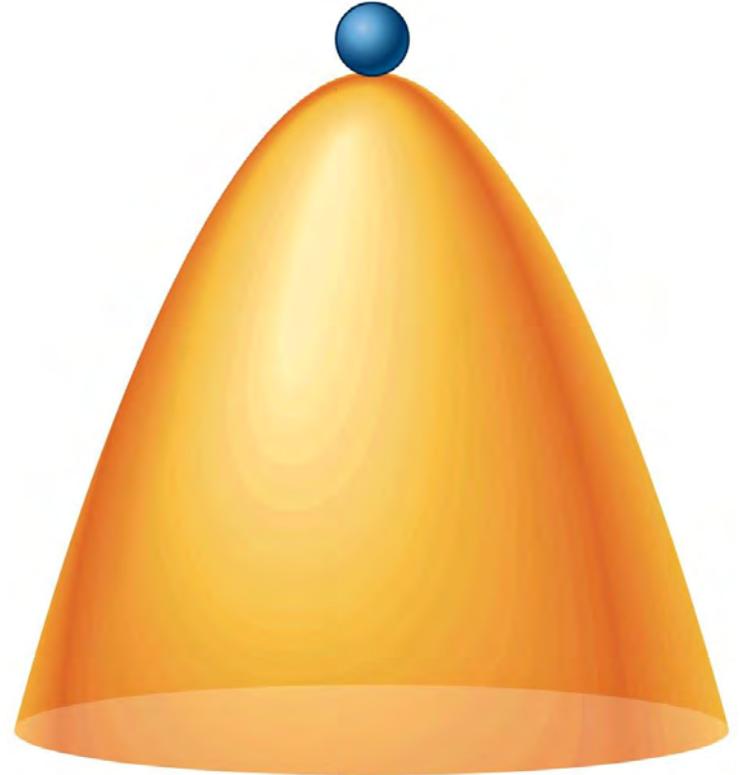
La biodiversité n'est pas un
équilibre stable...



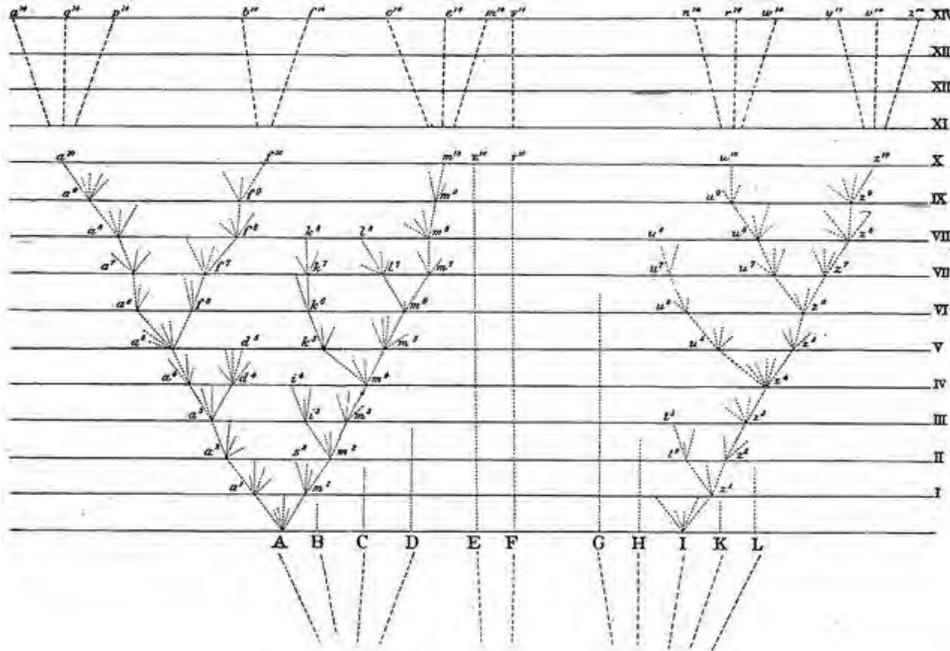
La biodiversité n'est pas un
équilibre stable...



...mais pas non plus
un équilibre instable



La biodiversité est un équilibre dynamique



« La vie, c'est comme une bicyclette, il faut avancer pour ne pas perdre l'équilibre. »

Albert Einstein



Biodiversité : évolution, menaces actuelles, importance

1-Qu'est-ce que la biodiversité?

2-L'évolution de la biodiversité

3-Menaces actuelles sur la biodiversité

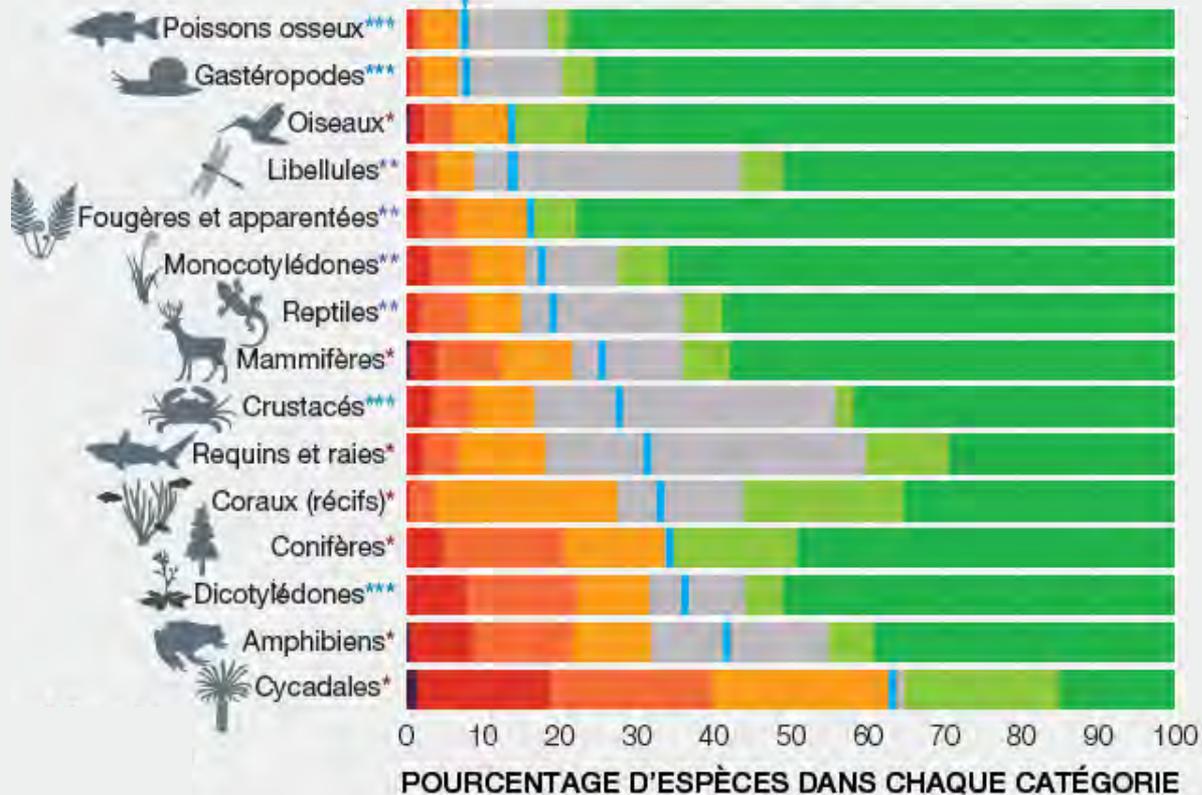
4-Services écosystémiques



Menaces sur la biodiversité

Risque d'extinction actuel au niveau mondial dans différents groupes d'espèces

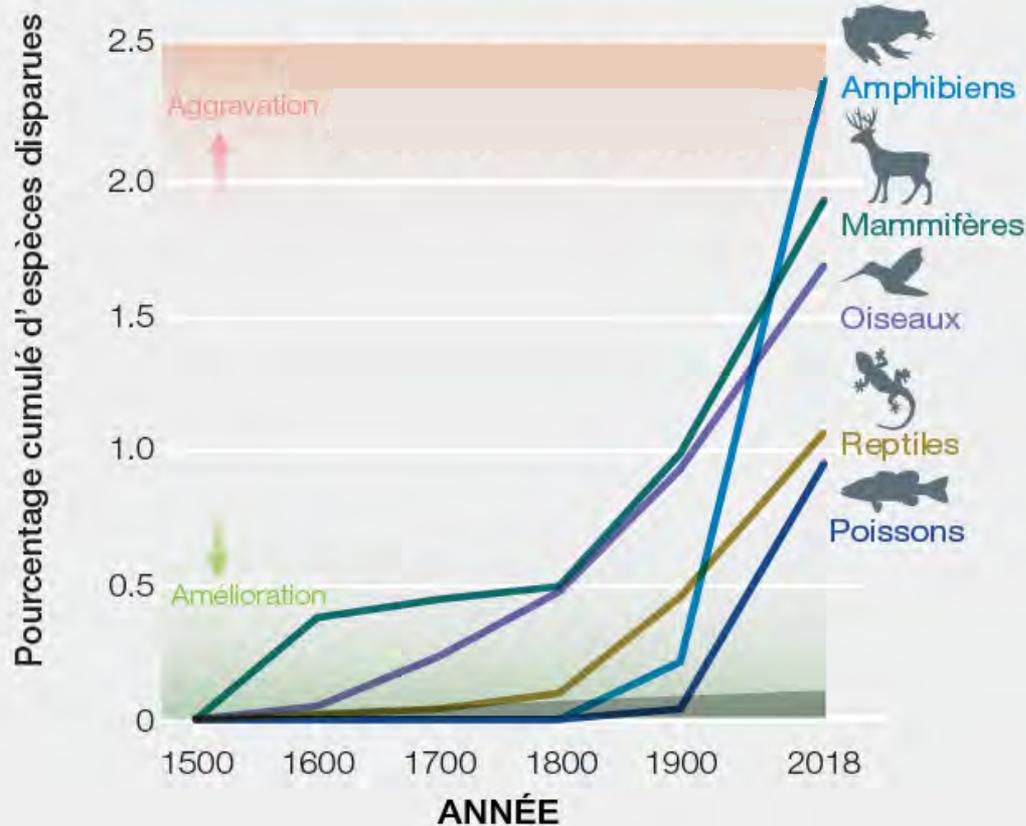
Estimation du pourcentage d'espèces menacées



Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services



Menaces sur la biodiversité

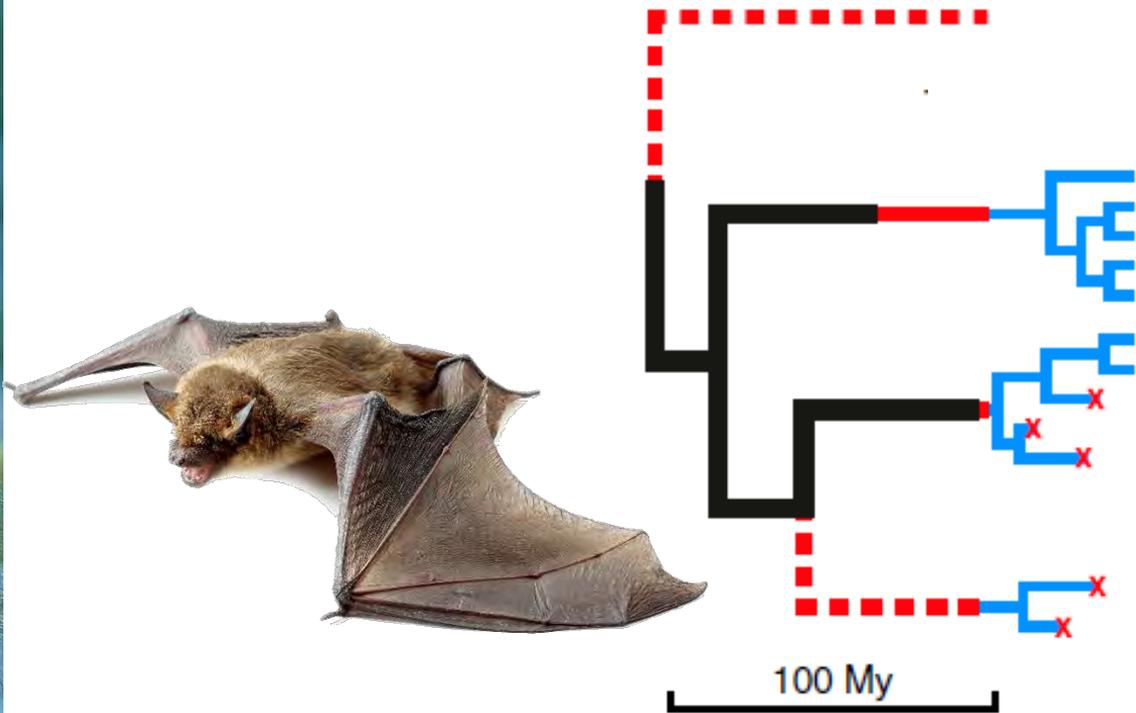


Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services



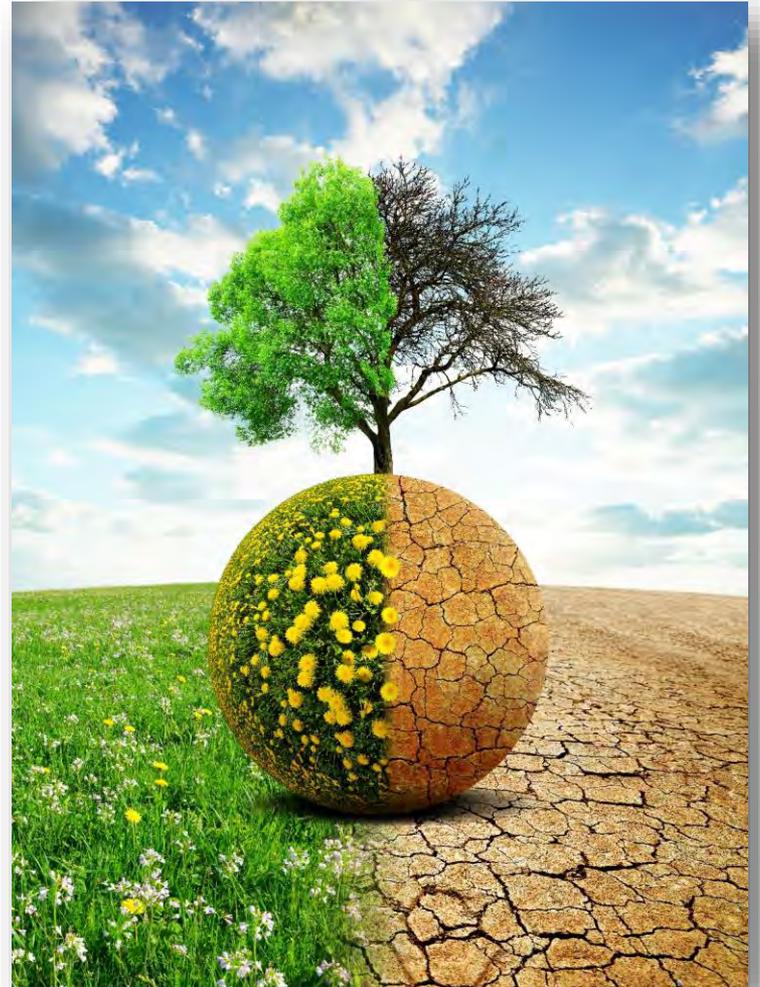


Les 5 prochaines décennies de perte
de biodiversité des mammifères
prendraient 3-5 millions d'années
pour se régénérer



Menaces sur la biodiversité

Changement climatique:
3^{ème} facteur



Menaces sur la biodiversité

Destruction d'habitats naturels
1^{er} facteur



Menaces sur la biodiversité



1989



2014

Destruction d'habitats naturels
1^{er} facteur



Artan Zwegers

Mer d'Aral

Menaces sur la biodiversité

Surexploitation
2^{ème} facteur



Menaces sur la biodiversité

Espèces exotiques envahissantes

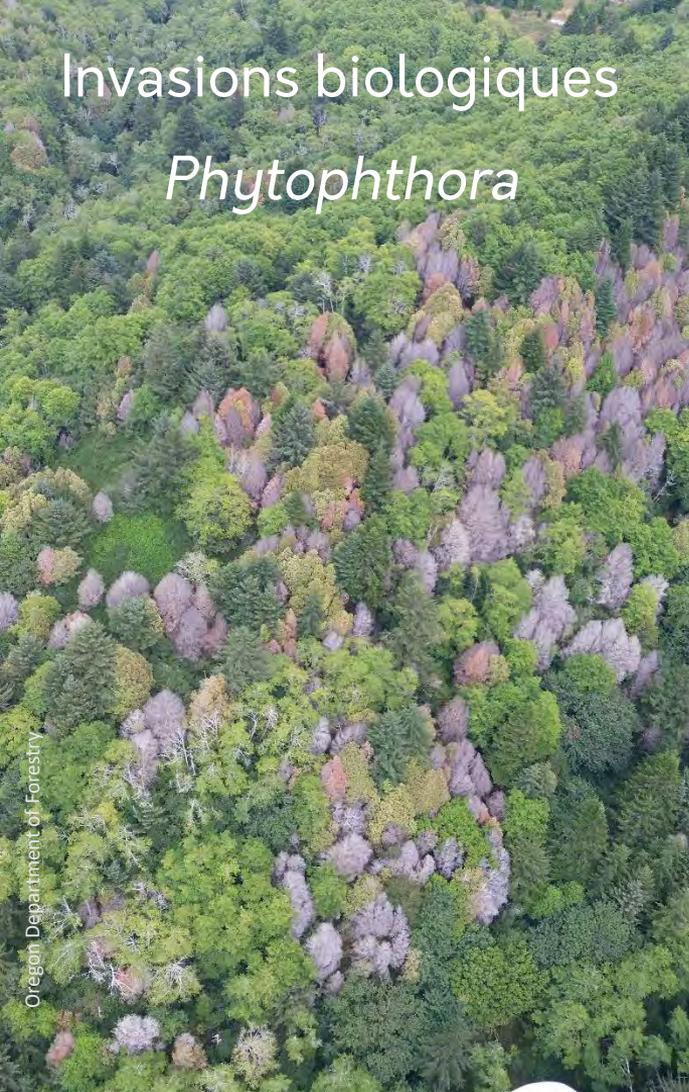


Invasions biologiques

Phytophthora

Chancre du châtaignier

Oregon Department of Forestry



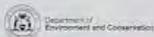
Control and Eradication of Forest Diseases
Forest Management Regulations

NO UNAUTHORISED ENTRY



All vehicles and machines must be free of soil before passing this point.

Enquiries to the Manager,
Donnelly District on 9776 1207.



Control and Eradication of Forest Diseases
Forest Management Regulations



DISEASE RISK AREA

**NO ENTRY WITHOUT A
WRITTEN AUTHORITY**

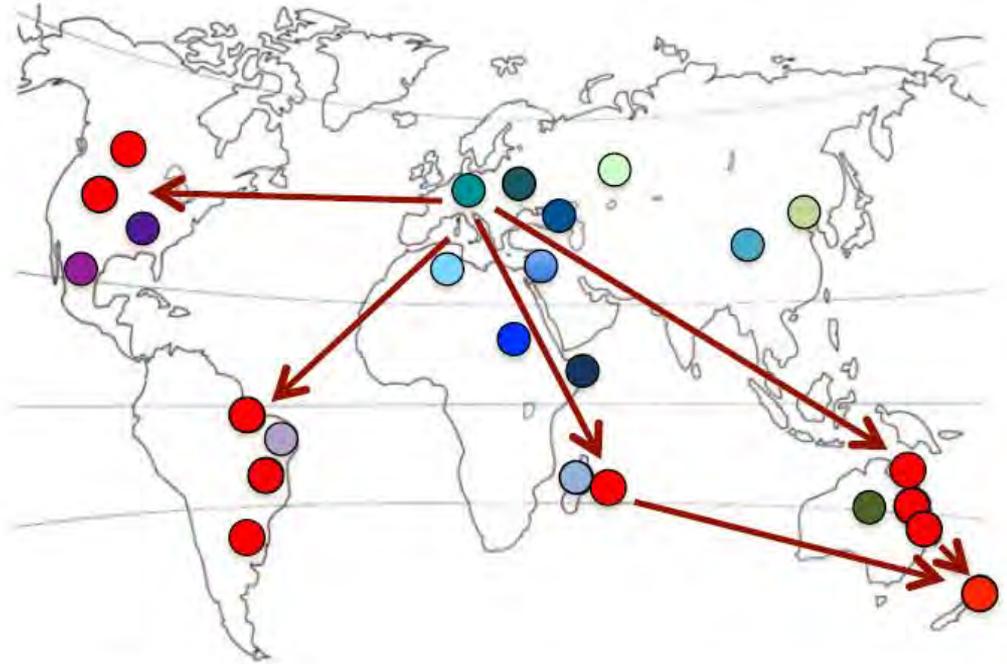
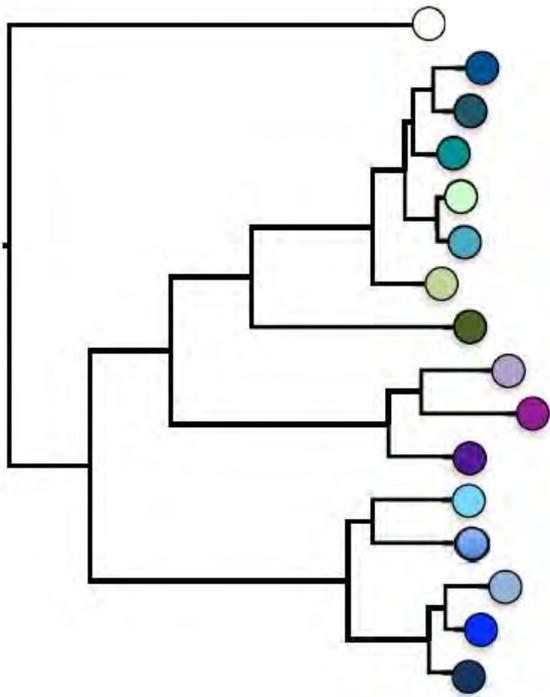
A photograph of a dead, reddish-orange frog floating in a stream. The frog is positioned horizontally, with its head to the left and its body extending towards the right. The water is dark and turbulent, with white foam and bubbles. Several logs and branches are visible in the background, partially submerged. The overall scene is somber and highlights the impact of biological invasions on native species.

Invasions biologiques
Chytridiomycose

120 espèces amphibiens éteintes
500 menacées



Retracer les histoires des invasions biologiques de pathogènes



Phylloxera



Beatriz Moisset

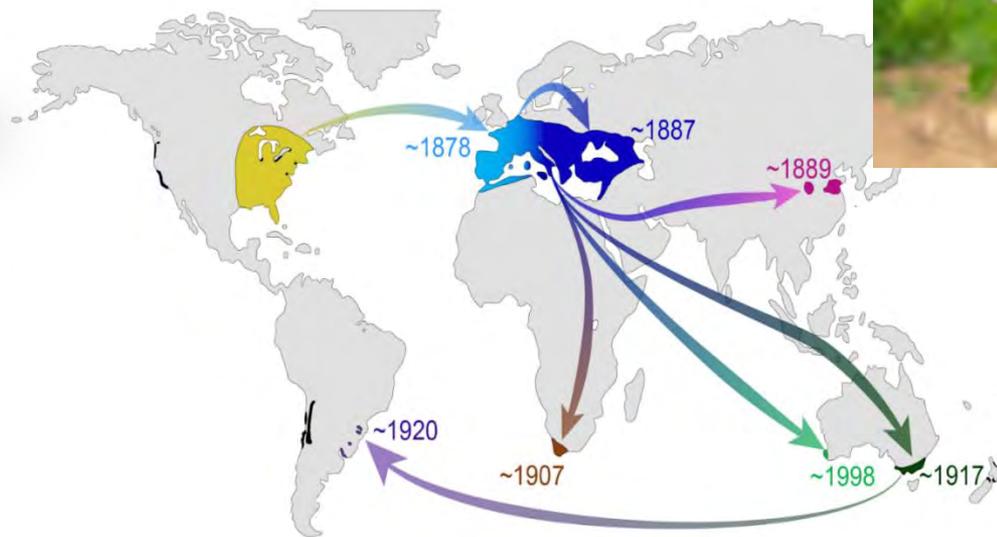
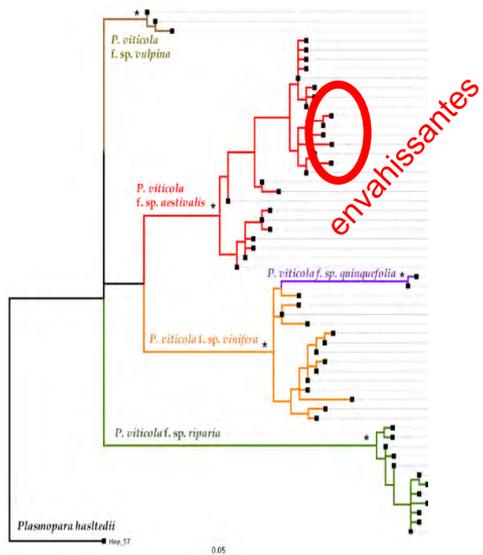
Invasions biologiques

Mildiou de la vigne

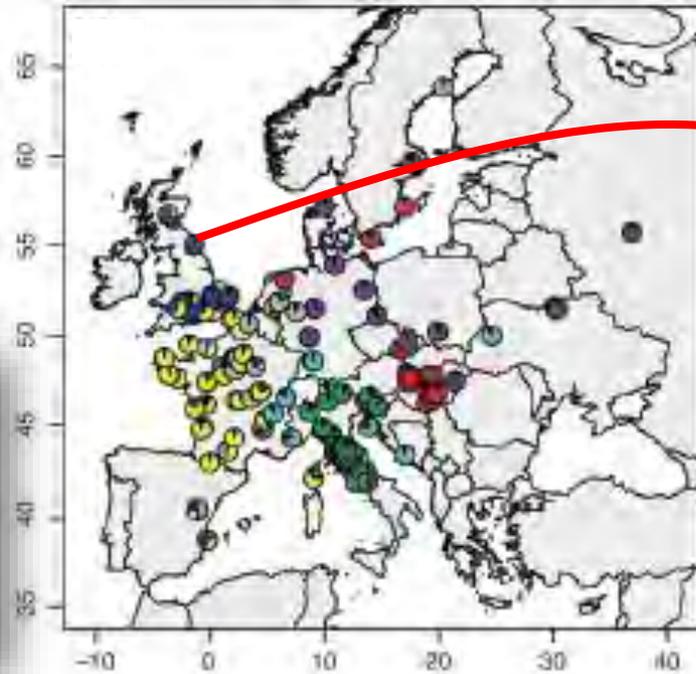
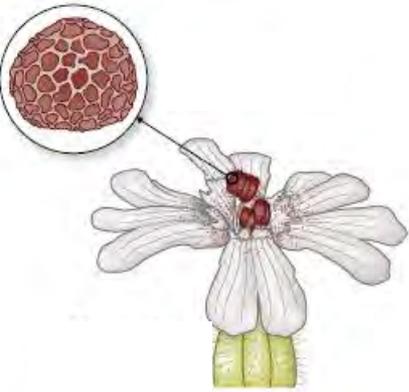
Mildiou



François Delmotte

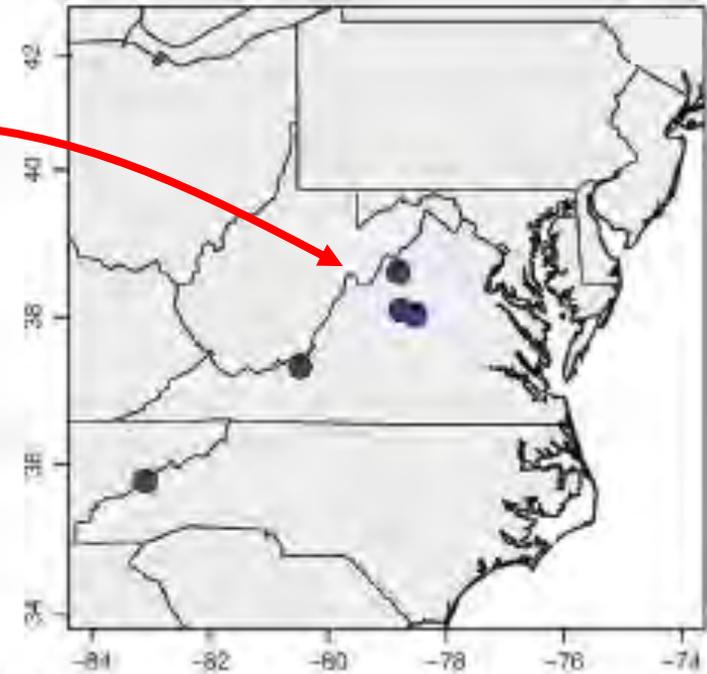


Invasions biologiques



Longitude

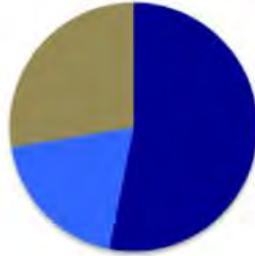
Gladieux et al 2015 Mol Ecol



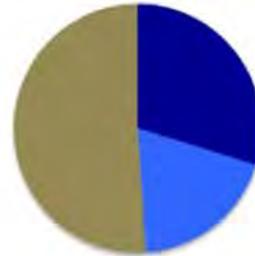
Fontaine et al 2013 New Phytologist

Invasions de champignons pathogènes

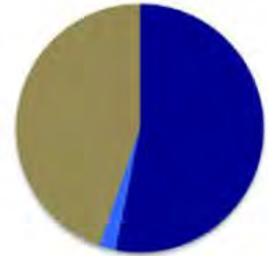
Changement d'hôte



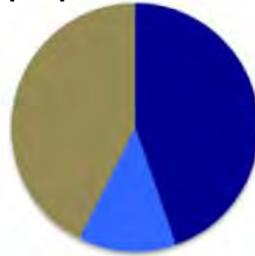
Changement de mode de reproduction



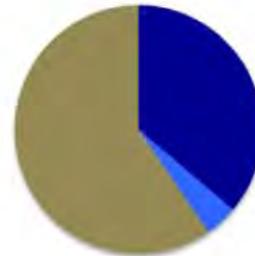
Perte de diversité génétique



Mélanges de populations

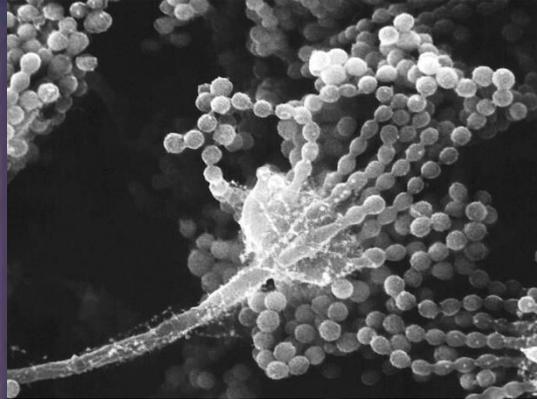


Hybridations



Menaces sur la biodiversité

Pollutions



Menaces sur la biodiversité

Pollutions



BONNES VACANCES

L'élevage industriel des porcs et les engrais génèrent des algues vertes. Leur décomposition dégage un gaz mortel pour l'homme.



Agissez avec nous : www.fne.asso.fr





Biodiversité : évolution, menaces actuelles, importance

1-Qu'est-ce que la biodiversité?

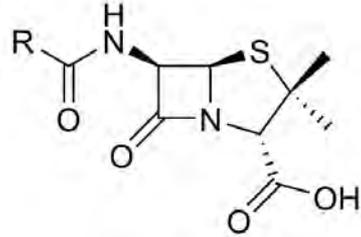
2-L'évolution de la biodiversité

3-Menaces actuelles sur la biodiversité

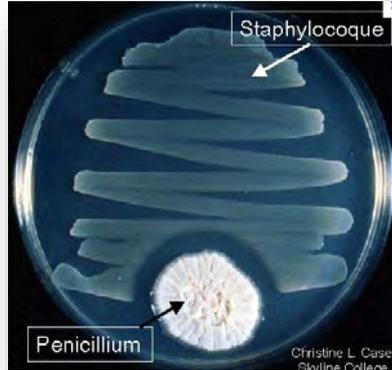
4-Services écosystémiques



Ressources génétiques et pharmacologiques



Antibiotiques



Anti-cancéreux



Anti-inflammatoire

Un service écosystémique longtemps ignoré par l'être humain: la pollinisation



Photo: Gilles Sabrie

Ecosystèmes complexes



Contrôle biologique



Recyclage de la matière organique, fertilité des sols



© Tomas Čekanavičius



© Thomas Huntke

Services associés au fonctionnement des écosystèmes

Épuration des eaux et de l'air
Régulation des flux



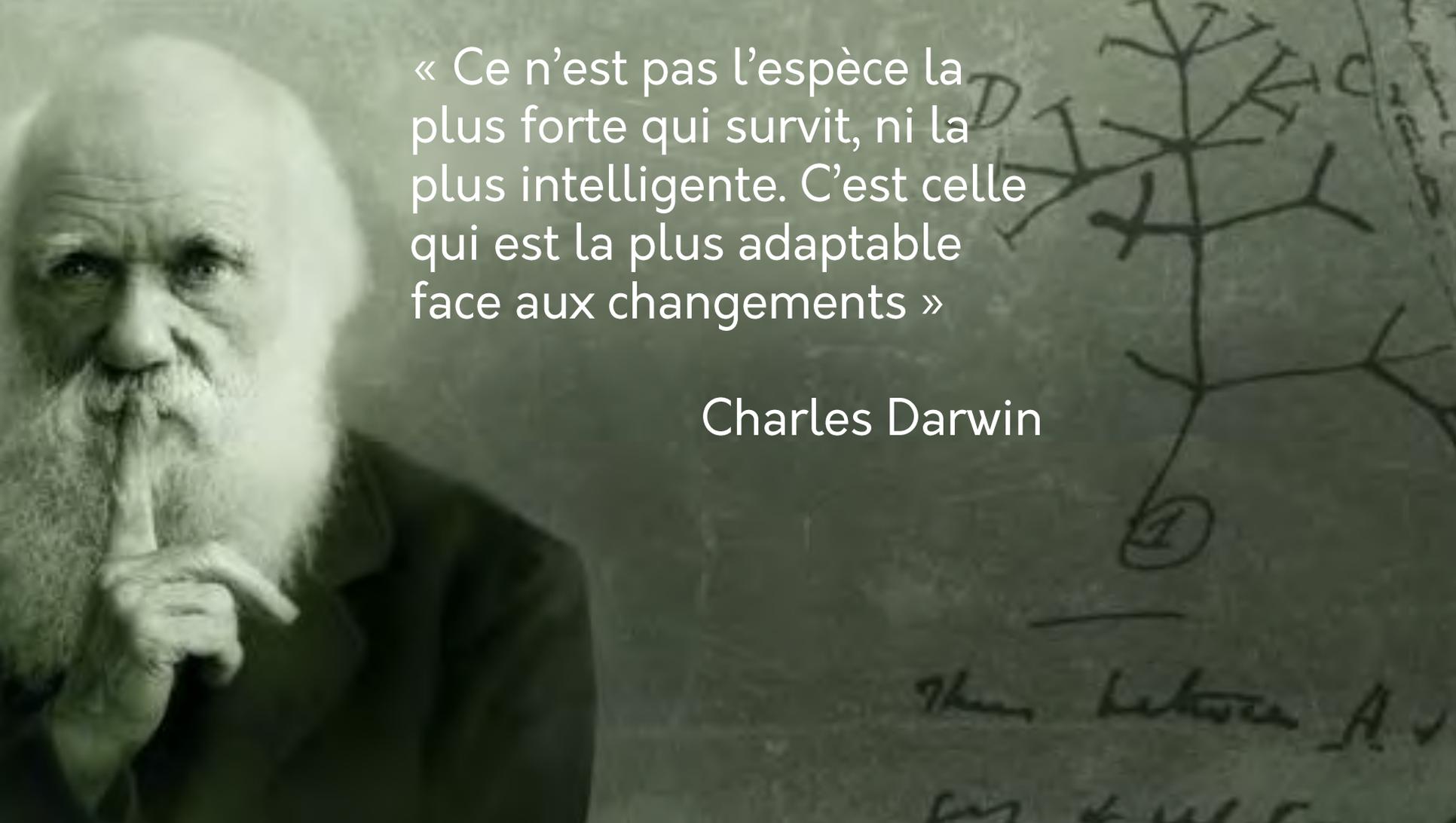
Contrôle de l'érosion des sols, assuré par les communautés végétales



Prévention des épidémies



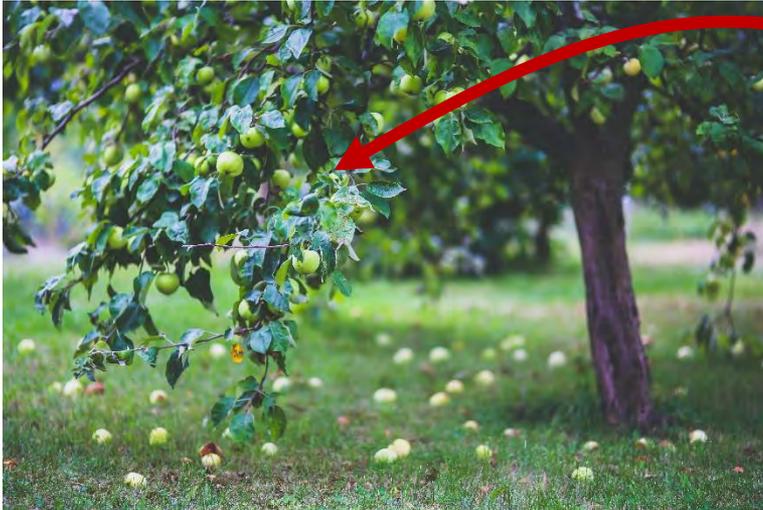




« Ce n'est pas l'espèce la plus forte qui survit, ni la plus intelligente. C'est celle qui est la plus adaptable face aux changements »

Charles Darwin

Gènes de résistance d'espèces sauvages



Pommier cultivé



Pommier ornemental



Tavelure

Le Van et al *New Phytol* (2012)
Leroy et al *New Phytol* (2016)

Feurtey et al *Molecular Ecology* (2020)
Lemaire et al *New Phytol* (2016)

Gènes de résistance d'espèces sauvages



Pommier cultivé



Pommier ornemental

Gènes de virulence du pathogène sauvage



Tavelure

Le Van et al *New Phytol* (2012)
Leroy et al *New Phytol* (2016)

Feurtey et al *Molecular Ecology* (2020)
Lemaire et al *New Phytol* (2016)

Gènes de résistance
d'espèces sauvages



Pommier cultivé



Pommier ornemental

Gènes de virulence du
pathogène sauvage

Pathogène pestifié

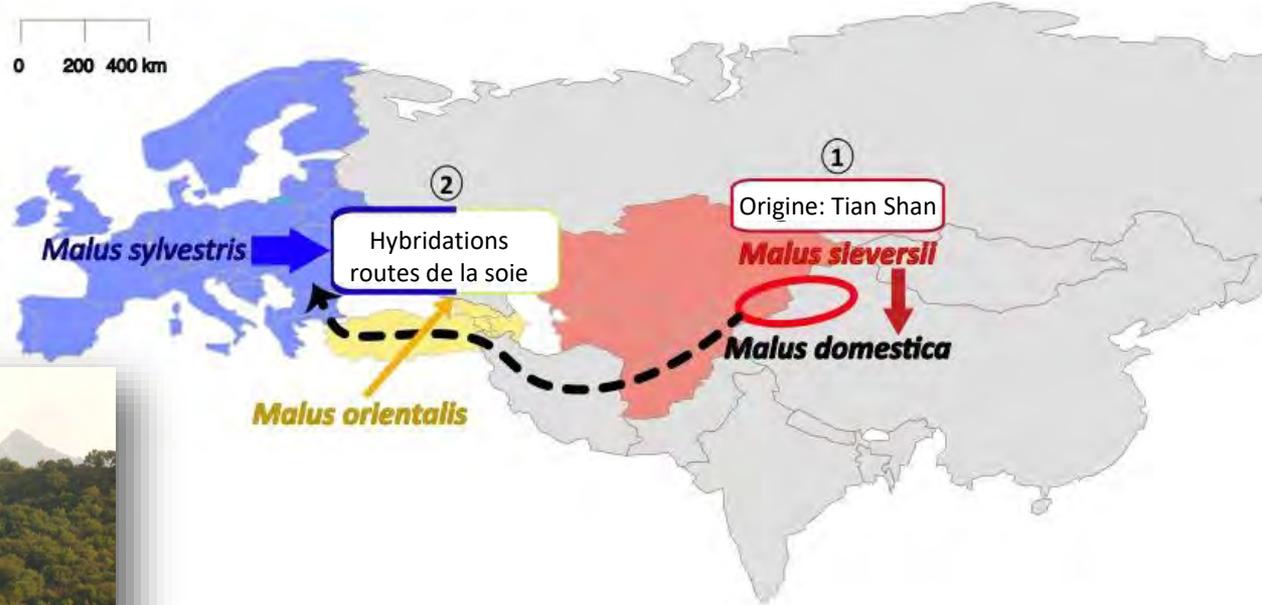


Tavelure

Le Van et al *New Phytol* (2012)
Leroy et al *New Phytol* (2016)

Feurtey et al *Molecular Ecology* (2020)
Lemaire et al *New Phytol* (2016)

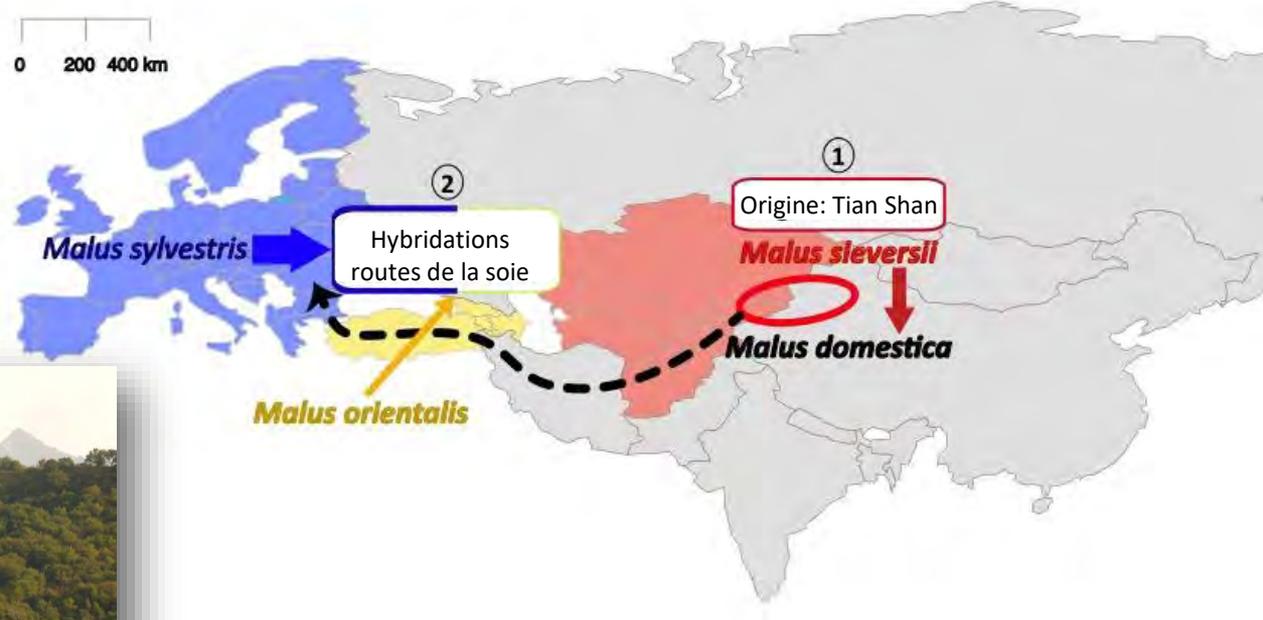
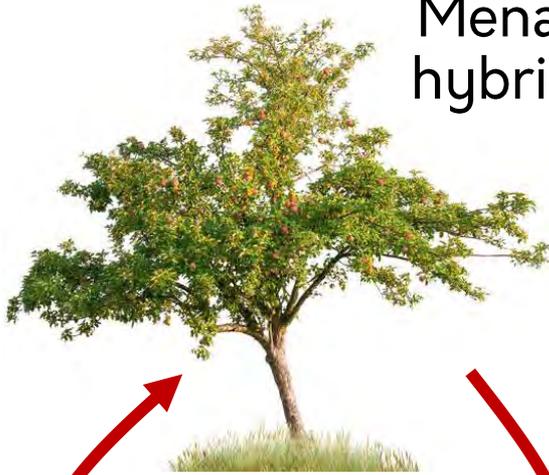
Domestication du pommier



Cornille et al. Trends Genetics 2014

Cornille et al. PLoS Genetics 2012

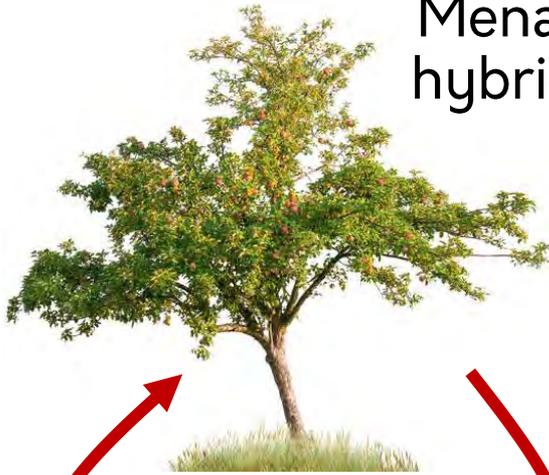
Menaces sur les populations de pommiers sauvages: hybridation, pathogènes « pestifiés » et déforestation



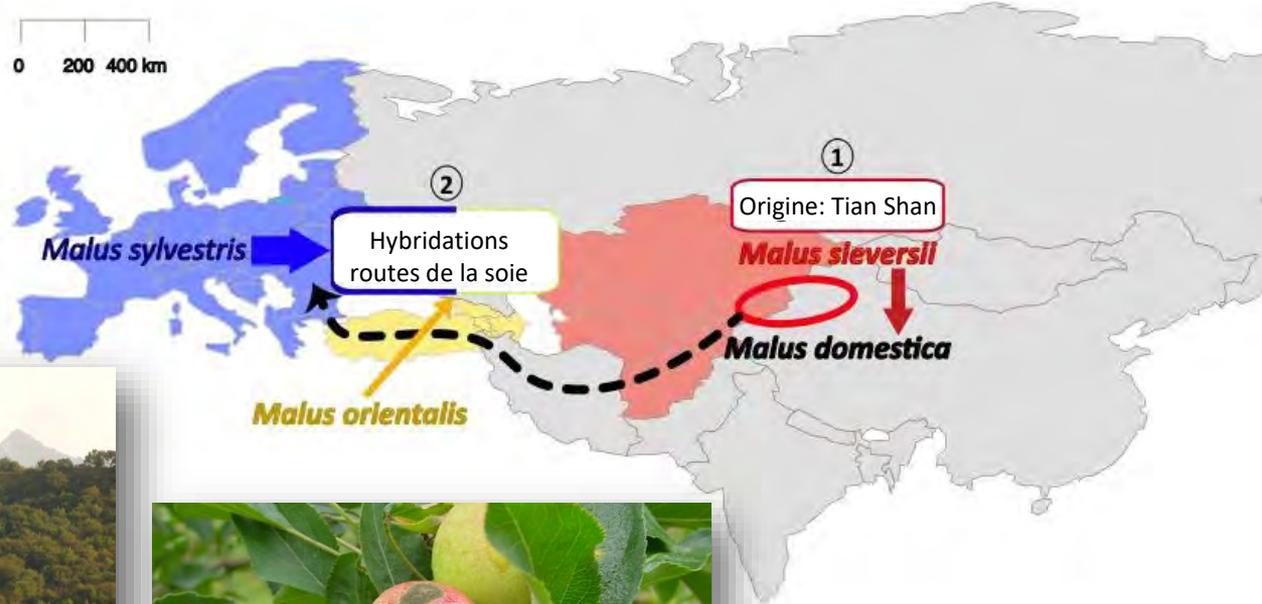
Feurtey et al. Mol Ecol 2021

Feurtey et al. Mol Ecol 2017

Menaces sur les populations de pommiers sauvages: hybridation, pathogènes « pestifiés » et déforestation



0 200 400 km

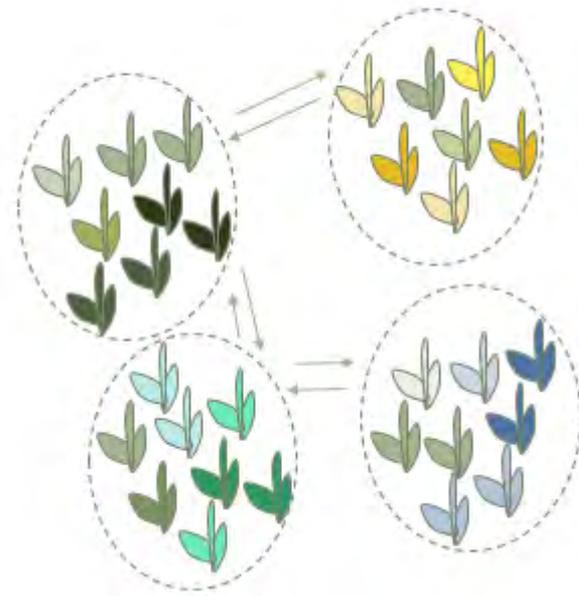


Bruno Le Cam INRAE

Feurtey et al. Mol Ecol 2021

Feurtey et al. Mol Ecol 2017

Nikolai Vavilov



Domestication des champignons du fromage



Penicillium camemberti

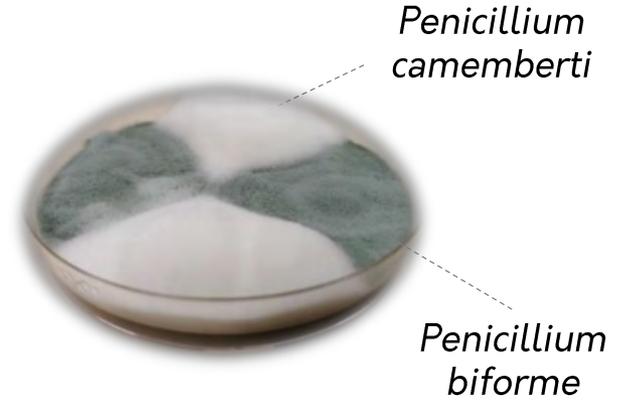
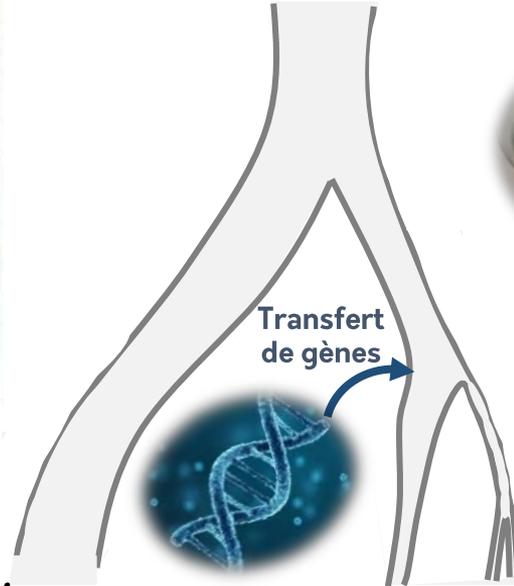


Penicillium roqueforti

Domestication de *Penicillium camemberti*



« Symphonie des fromages en brie majeur
Nature morte au fromage »
Justin Marie Jules
1847-1891



Croissance
Couleur
Perte de toxine

***Penicillium
fuscoglaucum***

***Penicillium
bifforme***

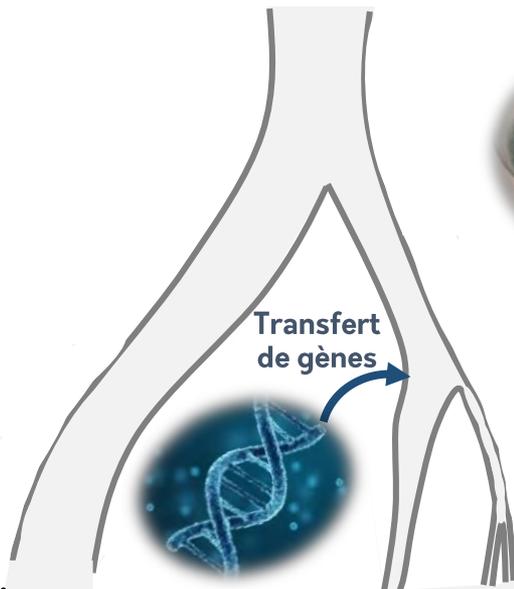
***Penicillium
camemberti***



Domestication de *Penicillium camemberti*



« Symphonie des fromages en brie majeur
Nature morte au fromage »
Justin Marie Jules
1847-1891



Penicillium fuscoglaucum

Penicillium bifforme

Penicillium camemberti

Croissance

Couleur

Perte de toxine

Perte de diversité

Perte de production de spores

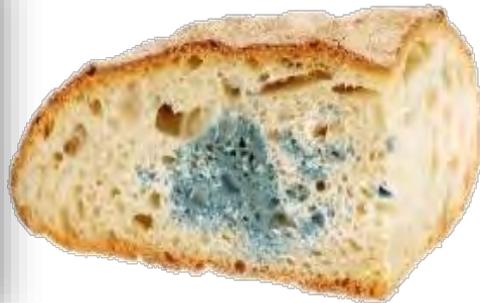
Perte de reproduction sexuée

Penicillium camemberti

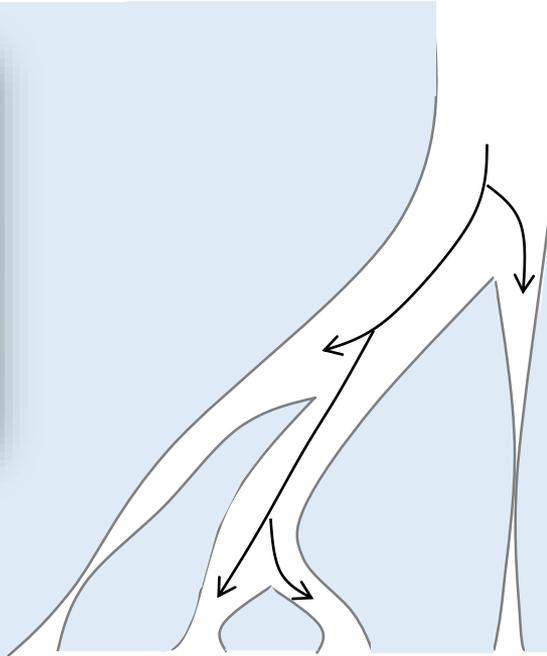
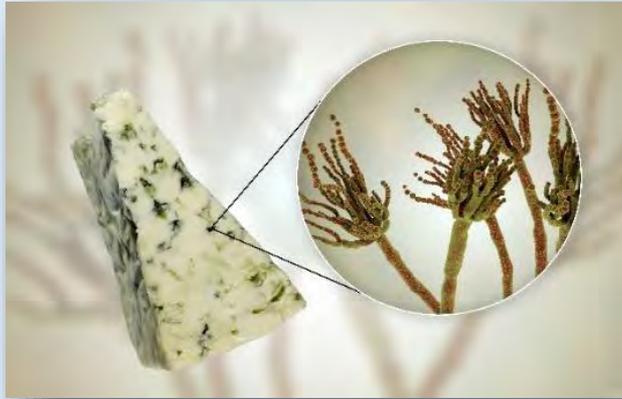
Penicillium bifforme



Domestication de *Penicillium roqueforti*



Domestication de *Penicillium roqueforti*



Fromage Roquefort

Ensilage



Contaminant alimentaire



Fromages bleus non-Roquefort



Cheeseman et al. (2014) Nat Com
Ropars et al. (2015) Current Biology
Dumas et al. (2020) Mol Ecol
Ropars et al. (2020) CRAS

Domestication de *Penicillium roqueforti*



Croissance
Couleur
Arômes

Transfert
de gènes

Croissance
Couleur
Perte de toxine
Arômes



**Fromage
Roquefort**

Ensilage



**Contaminant
alimentaire**

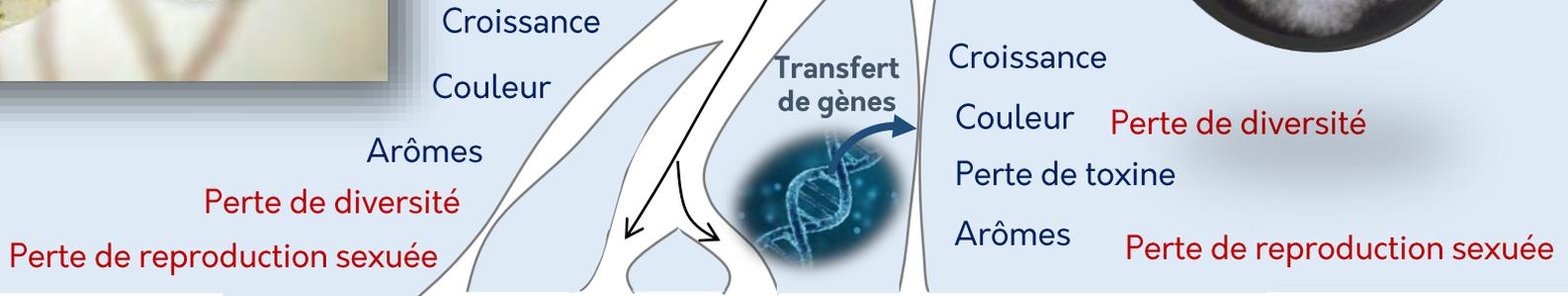
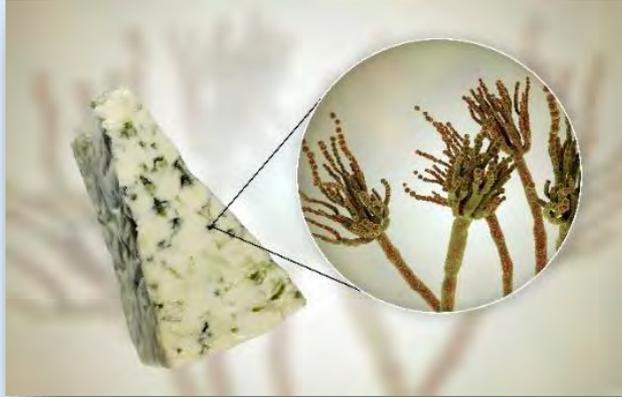


**Fromages bleus
non-Roquefort**



- Cheeseman et al. (2014) Nat Com
- Ropars et al. (2015) Current Biology
- Dumas et al. (2020) Mol Ecol
- Ropars et al. (2020) CRAS

Domestication de *Penicillium roqueforti*



Fromage Roquefort



Ensilage



Contaminant alimentaire



Fromages bleus non-Roquefort



Cheeseman et al. (2014) Nat Com
Ropars et al. (2015) Current Biology
Dumas et al. (2020) Mol Ecol
Ropars et al. (2020) CRAS





Services écosystémiques

Support, production

Régulation des flux,
maladies, perturbations

Approvisionnement

Culture, plaisir, éthique



Valeur de la biodiversité et des services écosystémiques



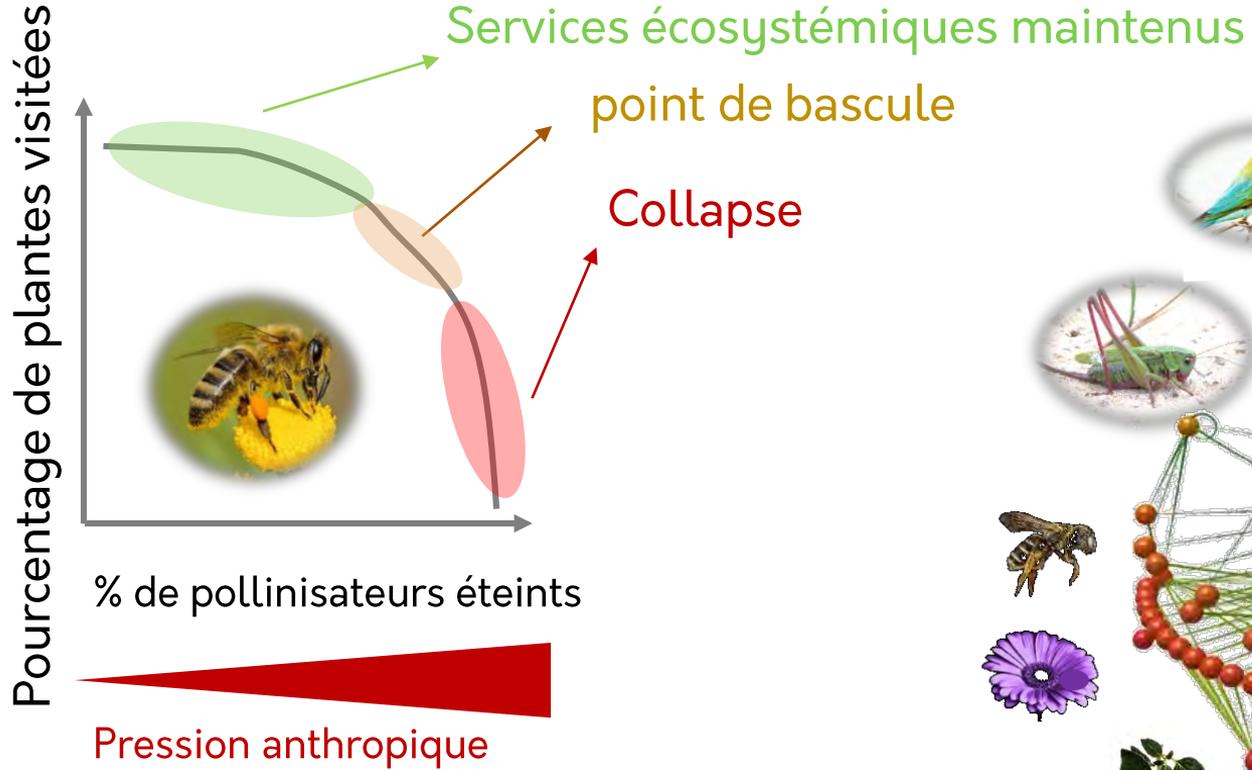
A photograph of a library aisle. The shelves are filled with books, and several light bulbs hang from the ceiling, creating a warm, dimly lit atmosphere. The perspective is from the end of the aisle, looking down its length.

Biodiversité=Bibliothèque?
Perte d'une espèce = perte d'un livre?

Perte d'une espèce
= perte d'un rivet



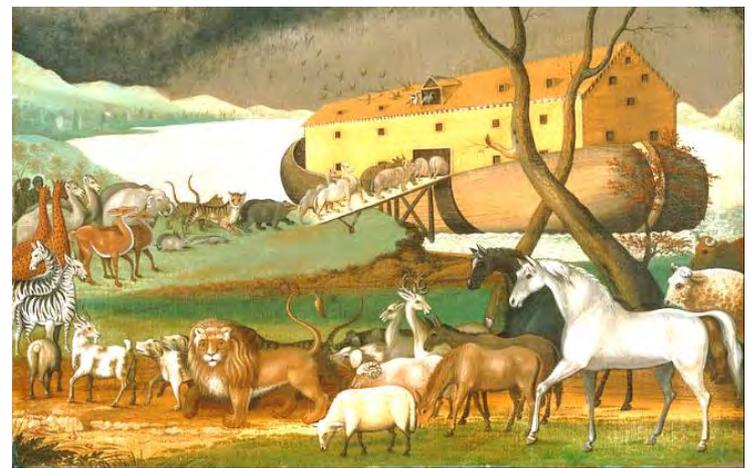
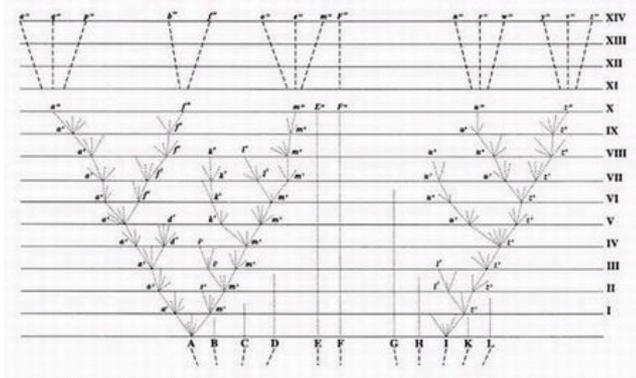
Perte d'une espèce = perte d'un rivet



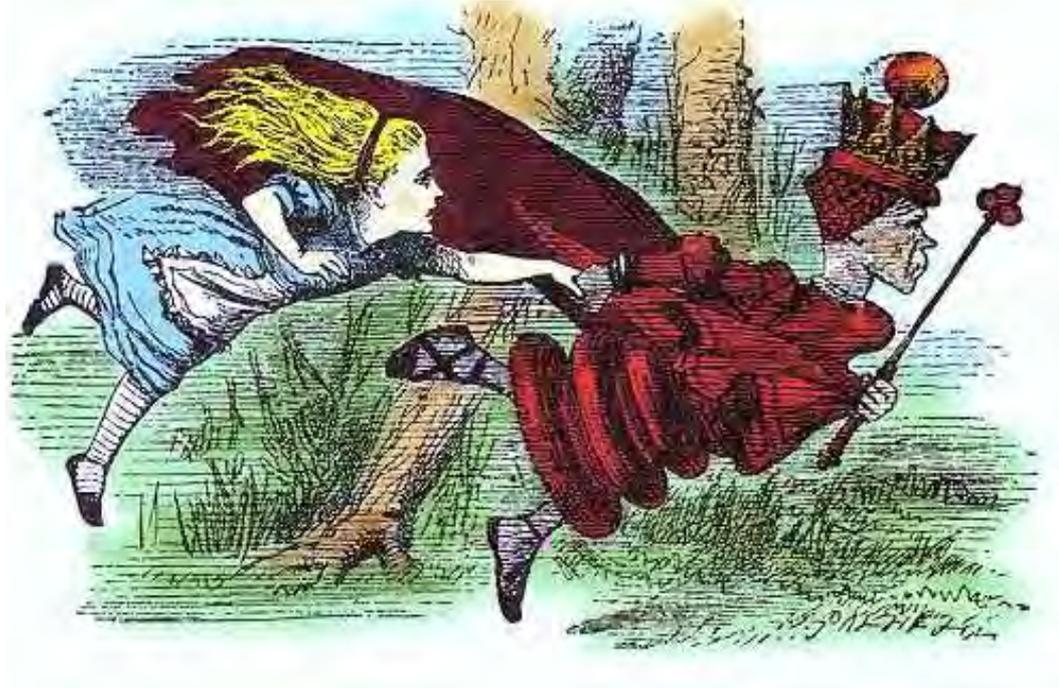
Perte d'une espèce = perte d'un rivet



La biodiversité est un équilibre dynamique,
et un système complexe, pas une collection de timbres



La biodiversité est un équilibre dynamique



Alice et la Reine Rouge :
« Ici il faut courir pour rester à la même place »

Biodiversité : évolution, menaces actuelles, importance



1-Qu'est-ce que la biodiversité?

2-L'évolution de la biodiversité

3-Menaces actuelles sur la biodiversité

4-Services écosystémiques



Biodiversité et écosystèmes



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —



Fondation
Jean-François et Marie-Laure
de Clermont-Tonnerre



Iconographie:
IPBES ; Pexels

“Evolution” Bergstöm and Dugatkin Norton
© Noé SARDET/Christian SARDET/Tara Océans/CNRS Photothèque