

A composite image featuring a landscape with mountains, a field with a goat, flying pterosaurs, and a colorful DNA double helix. The background shows a valley with green fields and brown mountains under a cloudy sky. In the foreground, a brown and white goat is visible on the left. On the right, a colorful DNA double helix structure is superimposed over the landscape. Several pterosaurs are flying in the sky above the mountains.

**Peut-on prédire  
l'évolution ?**

**Virginie Courtier-Orgogozo  
Institut Jacques Monod  
Paris**

DALL-E

**Qu'est-ce que l'évolution ?**

**L'évolution : aléatoire ou prédictible ?**

**Si on relançait l'évolution sur Terre,  
obtiendrait-on le même monde vivant ?**

**Qu'est-ce que l'évolution ?**

L'évolution : aléatoire ou prédictible ?

Si on relançait l'évolution sur Terre,  
obtiendrait-on le même monde vivant ?

# Sélection artificielle, domestication

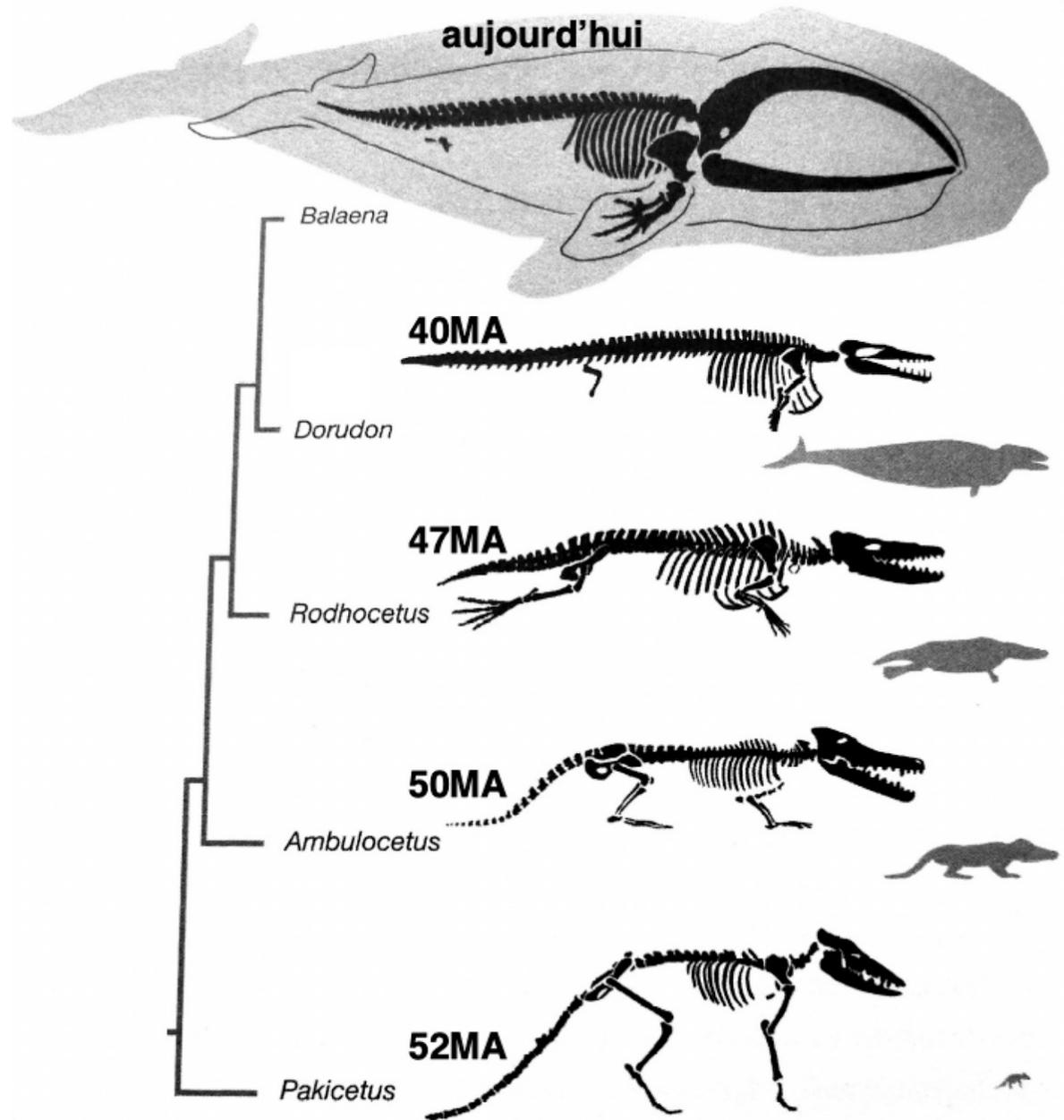


*Culex pipiens* f. *molestus*  
Moustique du métro de Londres

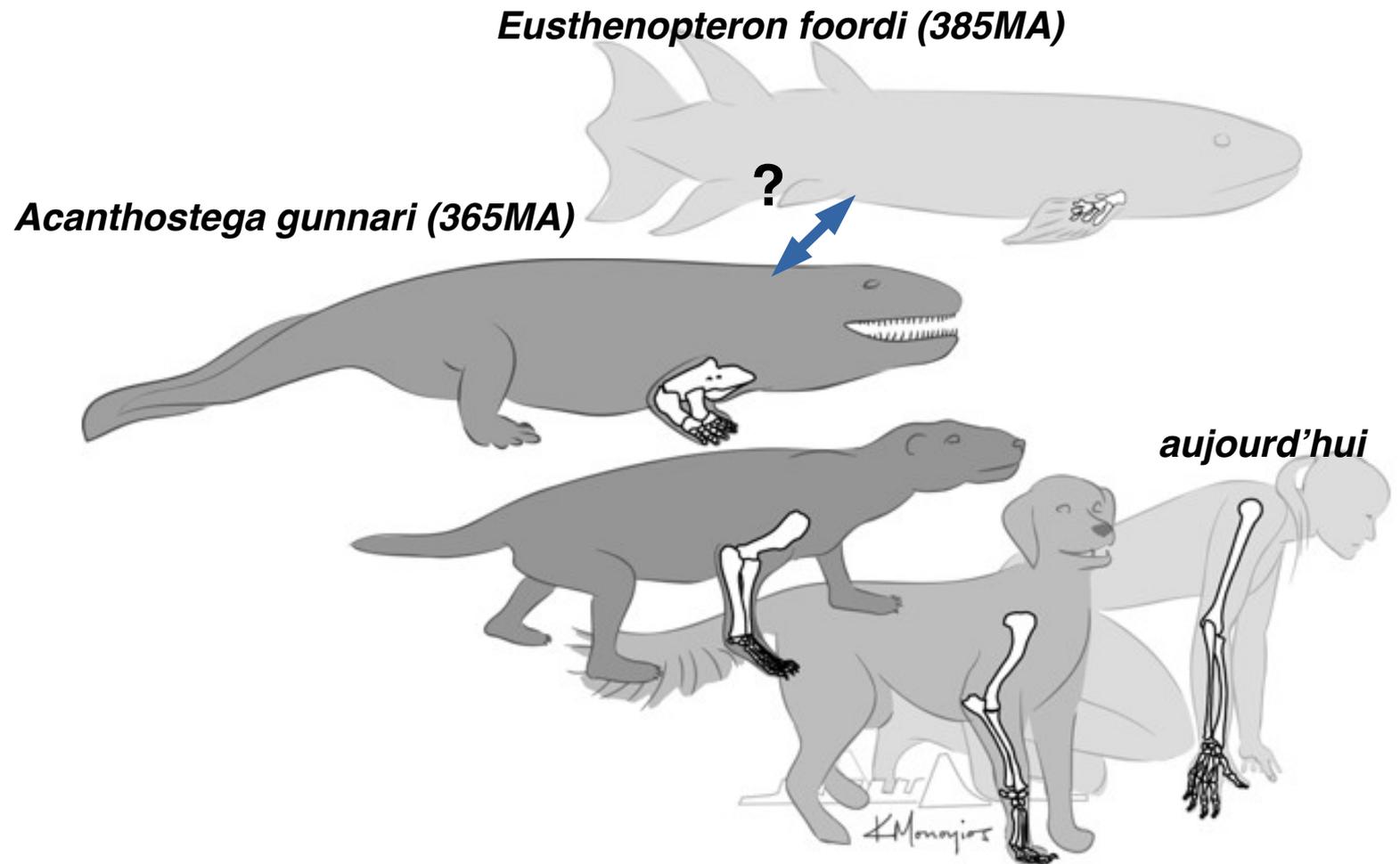
**ENCORE PLUS AGRESSIF !**

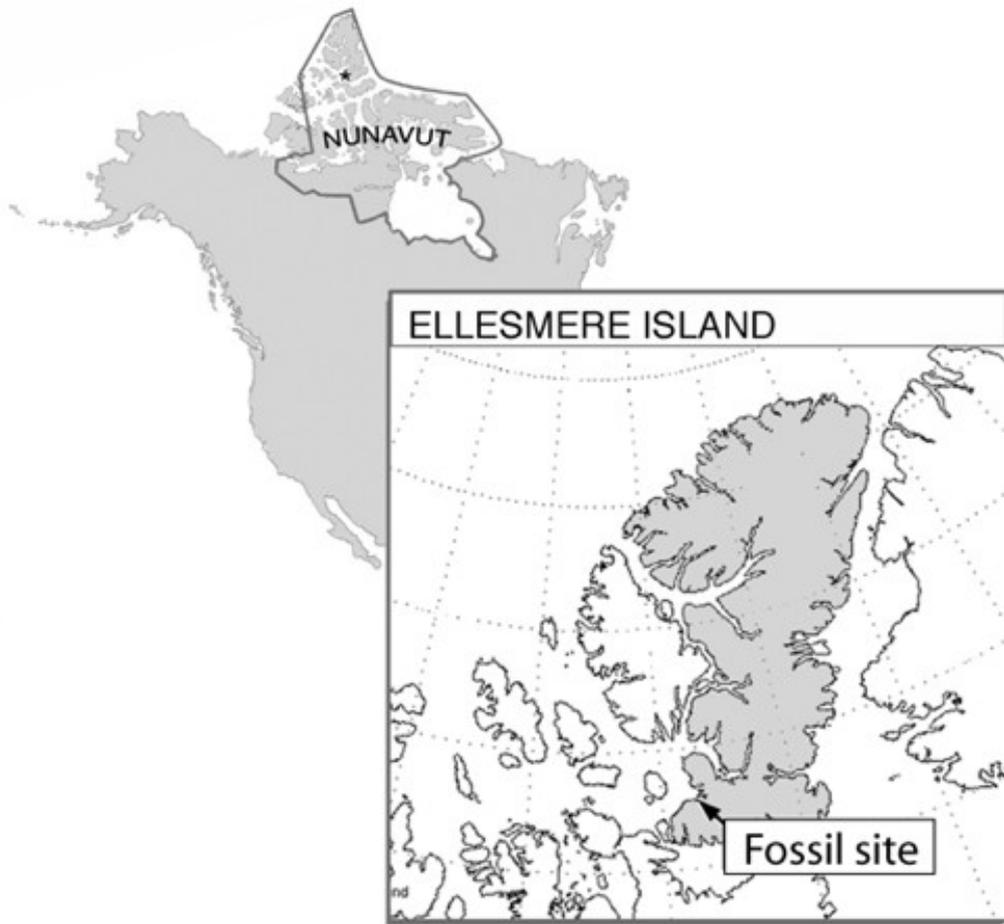


# Evolution des baleines



# Sortie de l'eau des Vertébrés





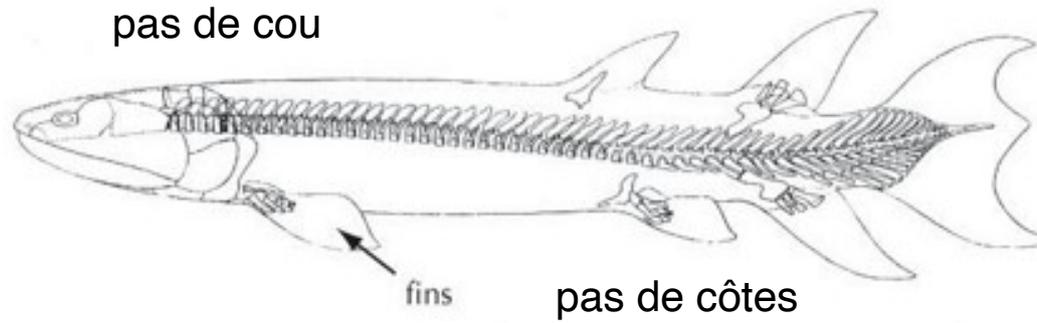
**375MA**





# POISSON

385MA

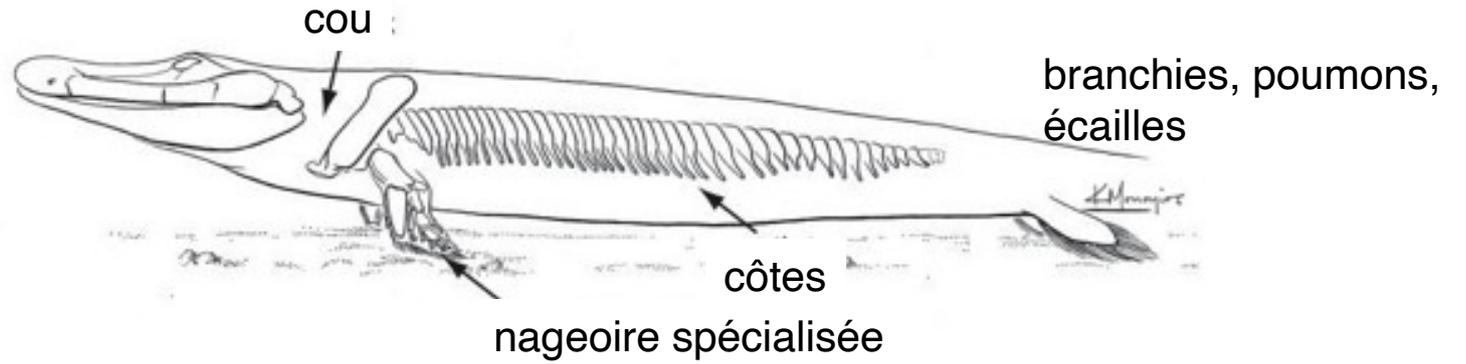


# TIKTAALIK

375MA

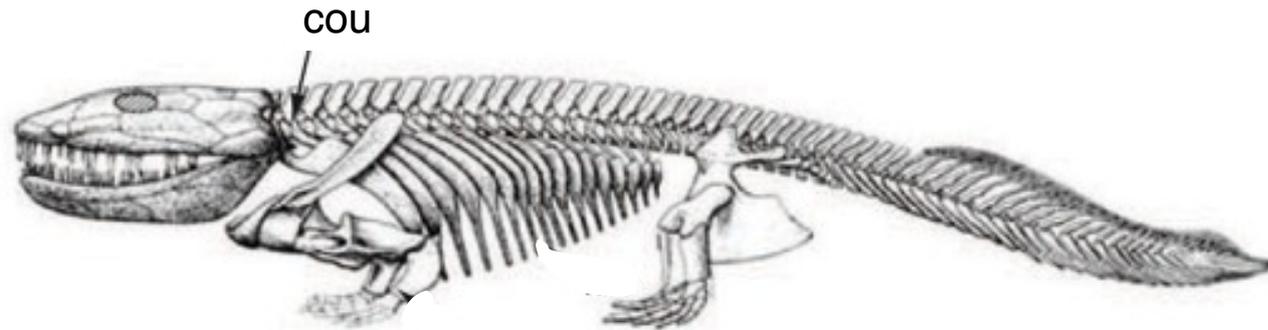


(Daeschler et al. 2006)



# TÉTRAPODE

365MA

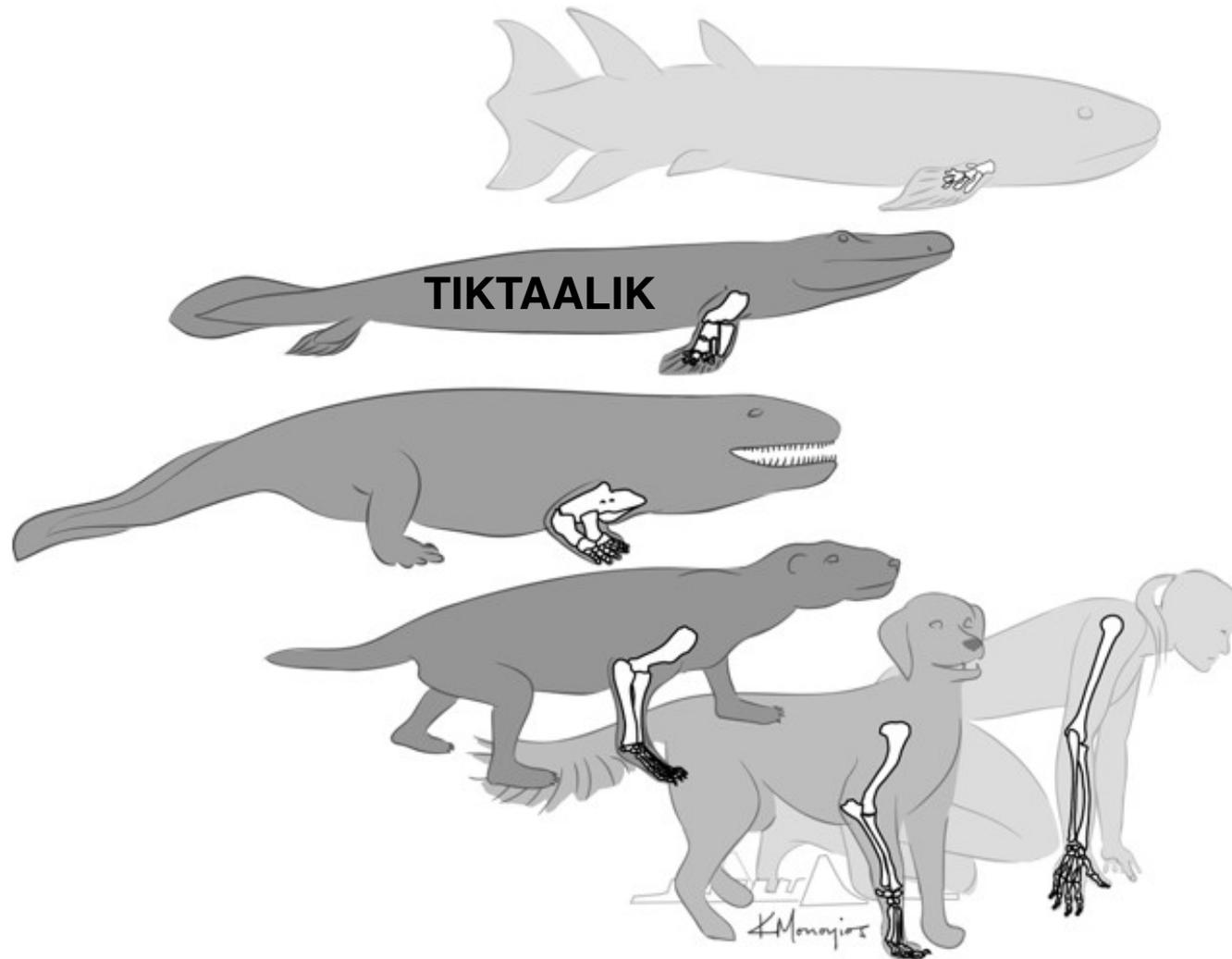


Neil Shubin  
préface d'Yves Coppens

# Au commencement était le poisson

L'homme : 3,5 milliards d'années d'évolution

Robert Laffont



Neil Shubin   
Shubin

*Your Inner Fish*

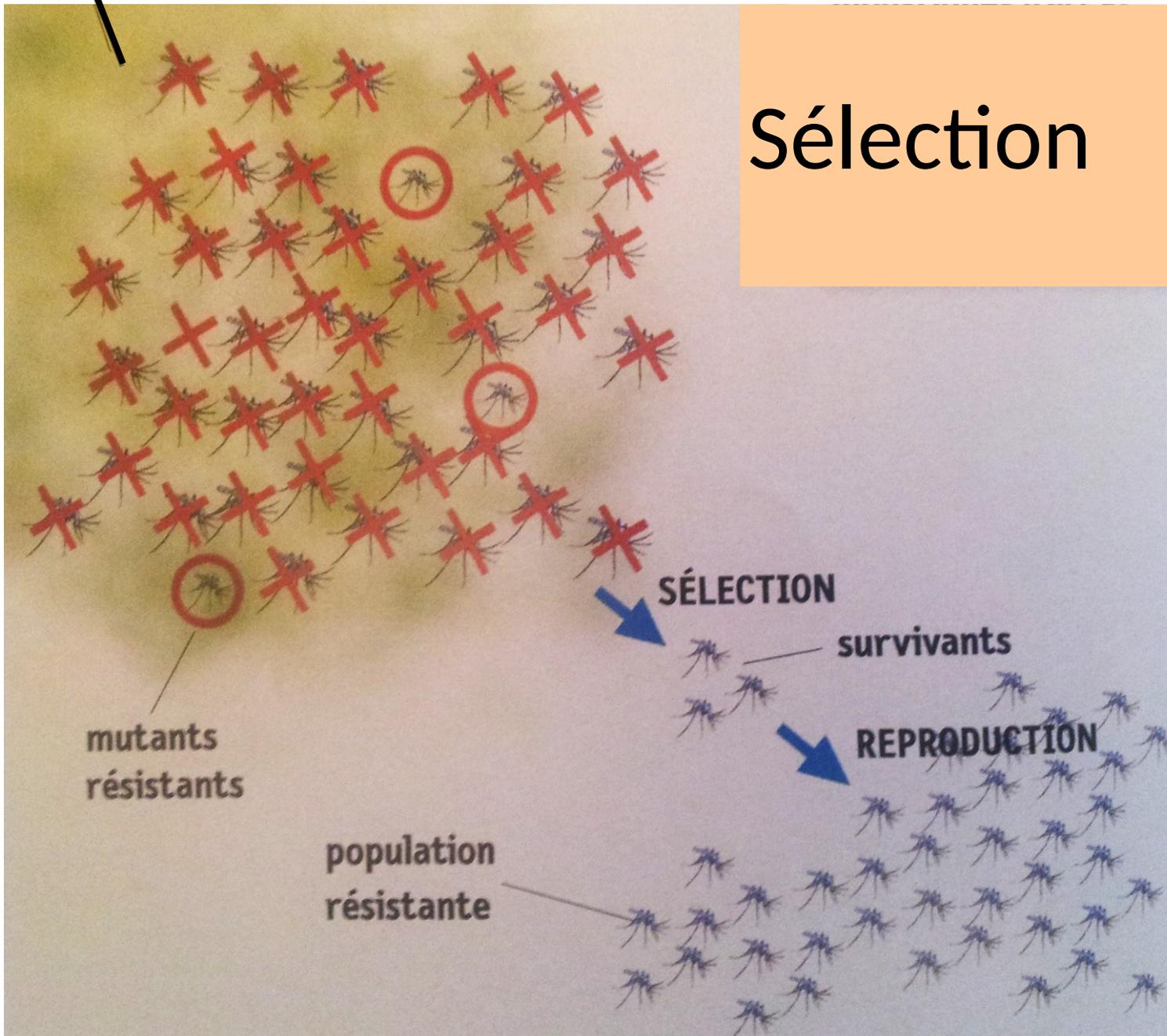
The amazing discovery of  
our 375-million-year-old ancestor



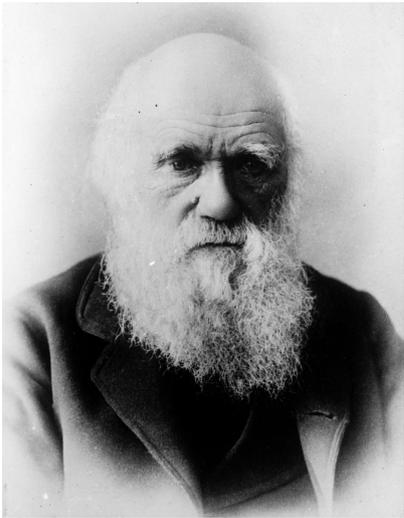
'This would be  
Darwin's book of the year'  
SUNDAY TELEGRAPH

Insecticide

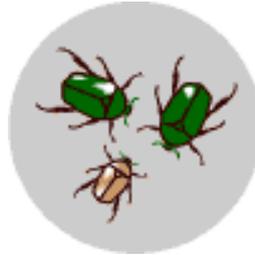
# Sélection



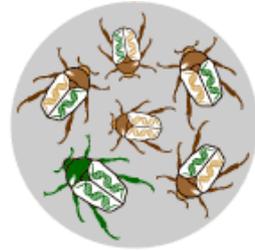
# Les trois piliers de l'évolution



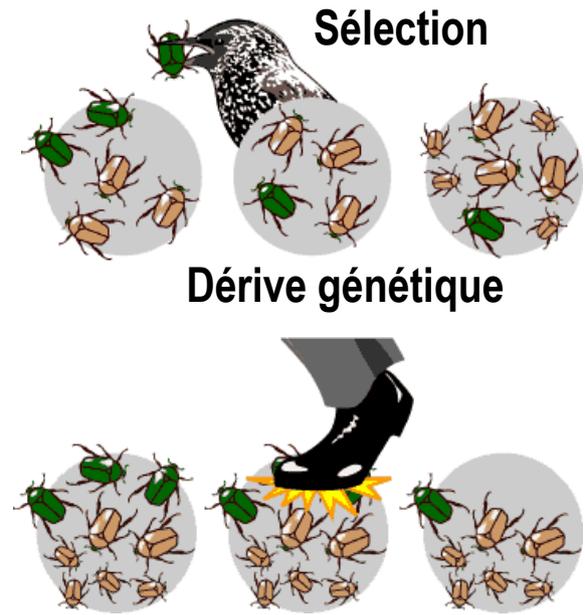
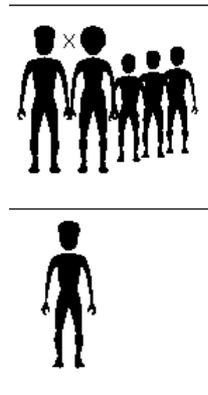
Variation



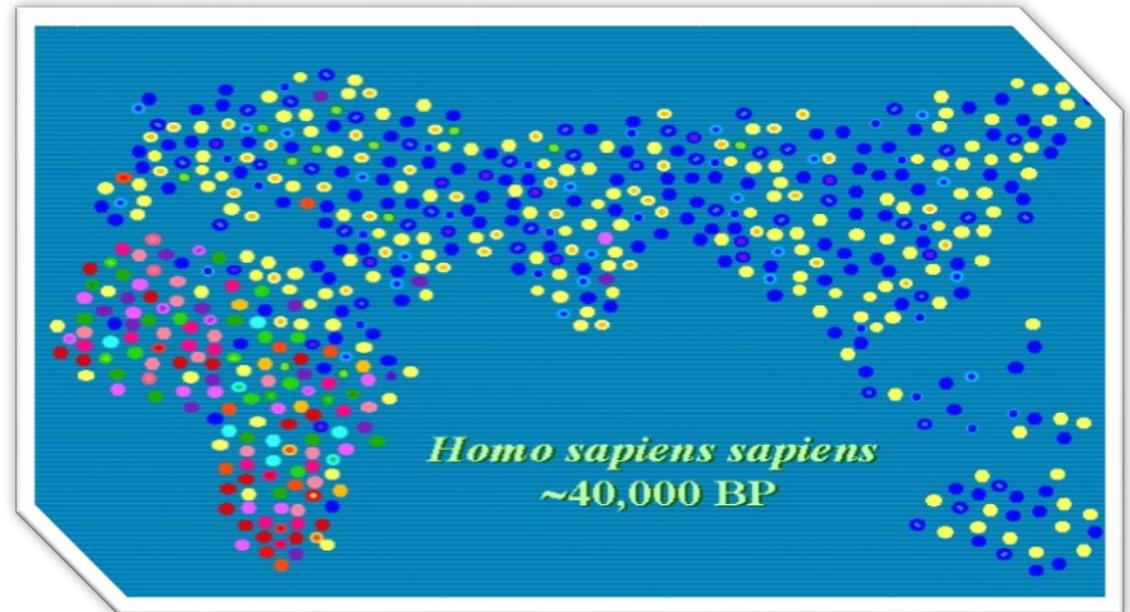
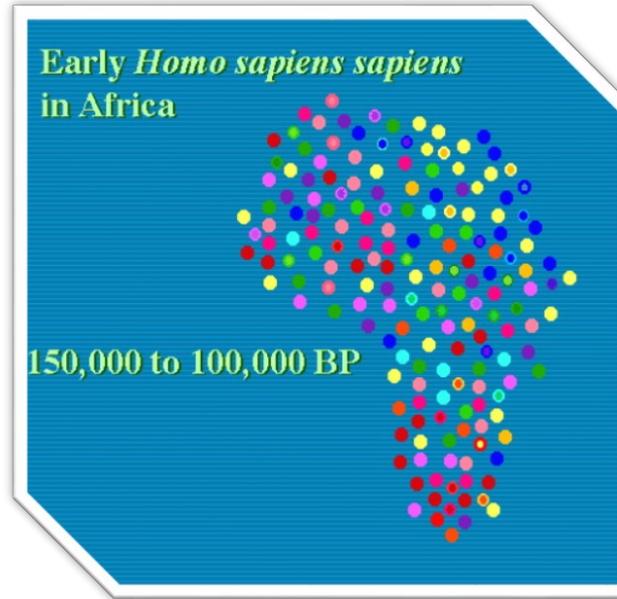
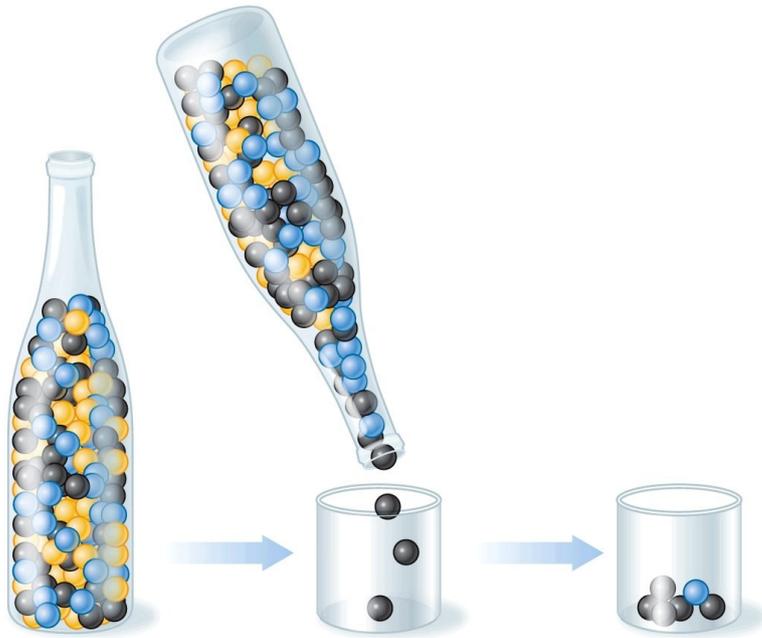
Transmission



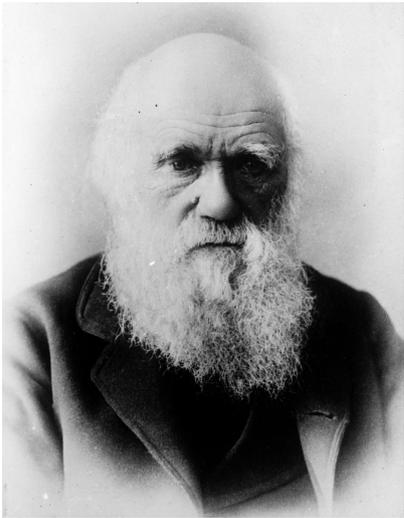
Reproduction  
différentielle



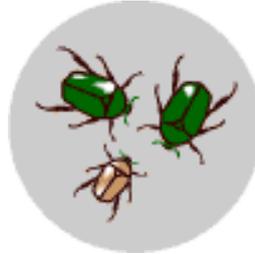
# Goulets d'étranglement



# Les trois piliers de l'évolution

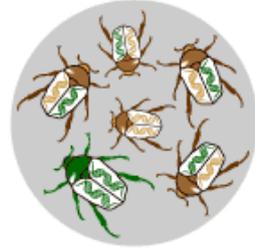


Variation

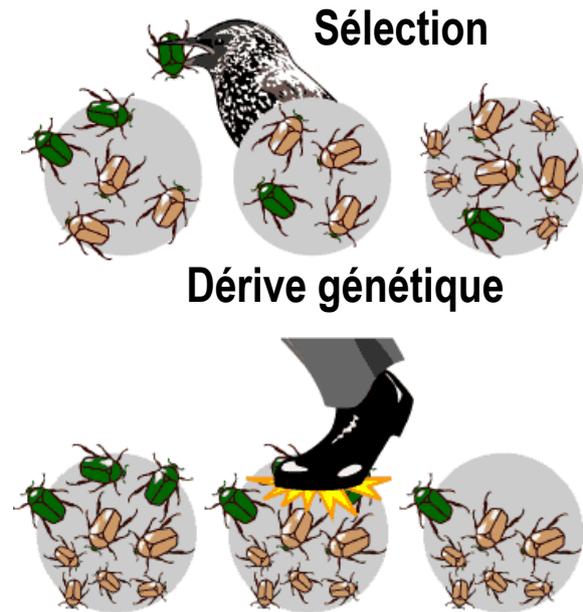
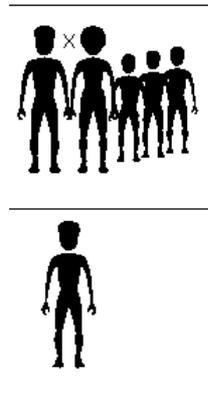


Mutations de l'ADN

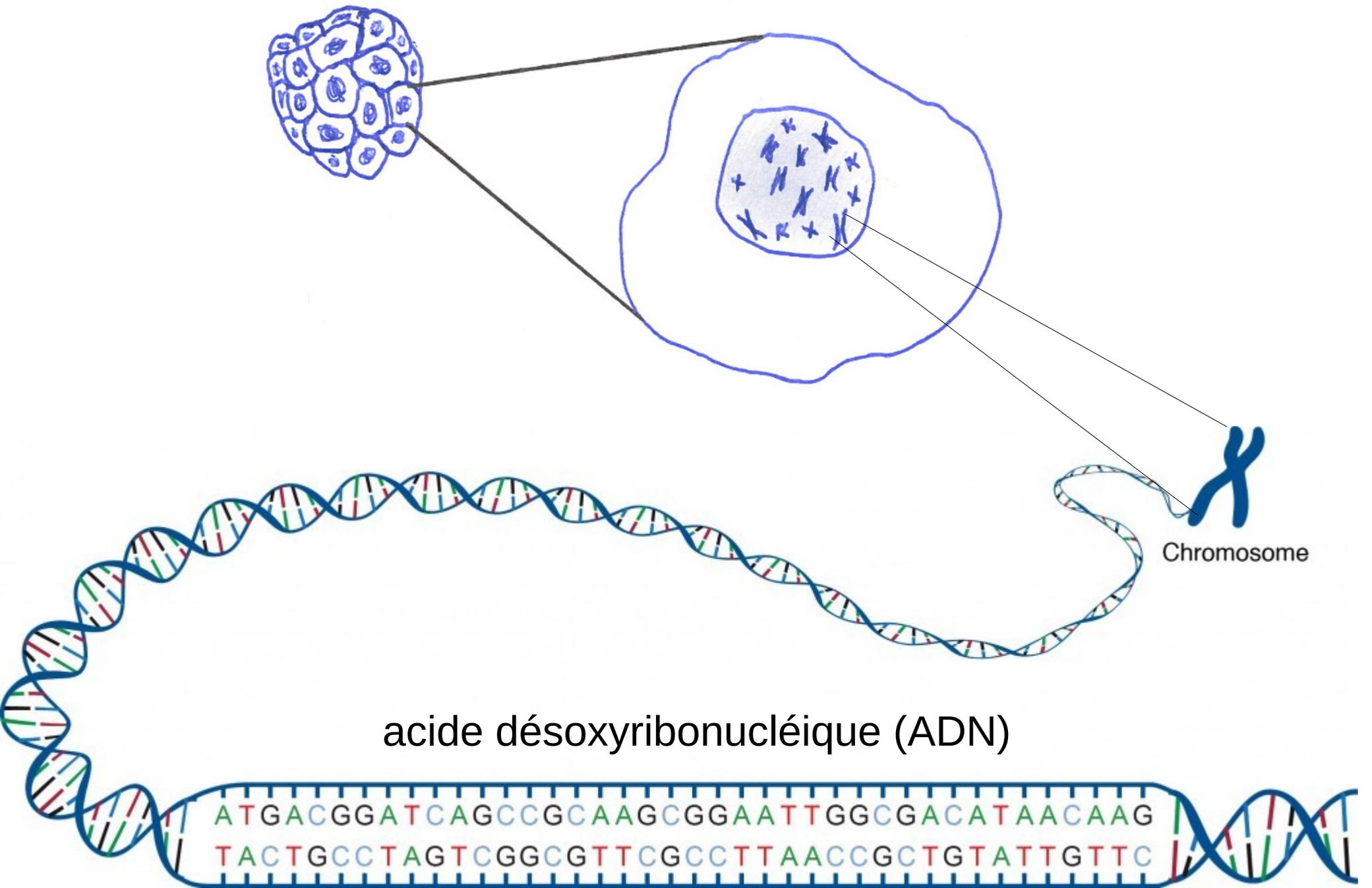
Transmission

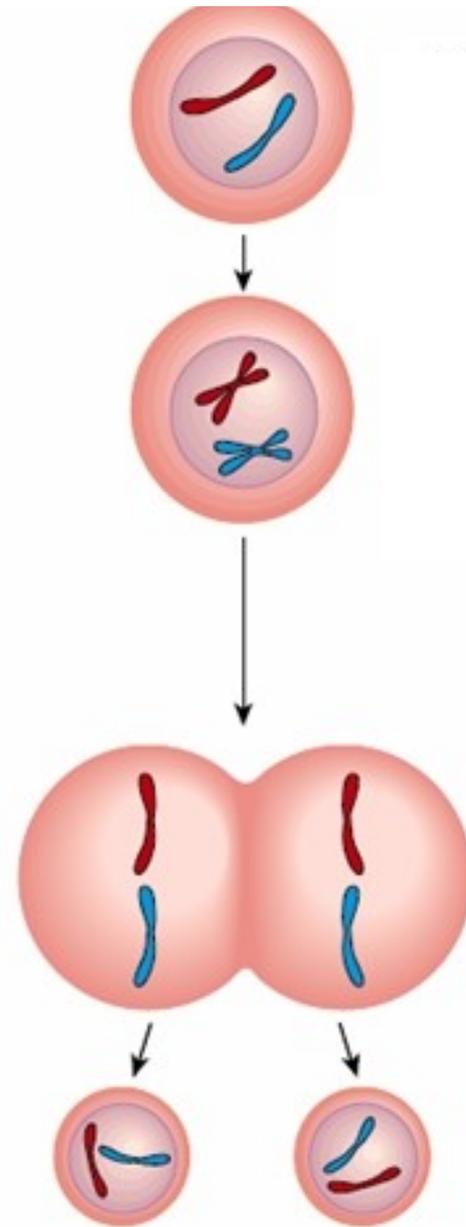
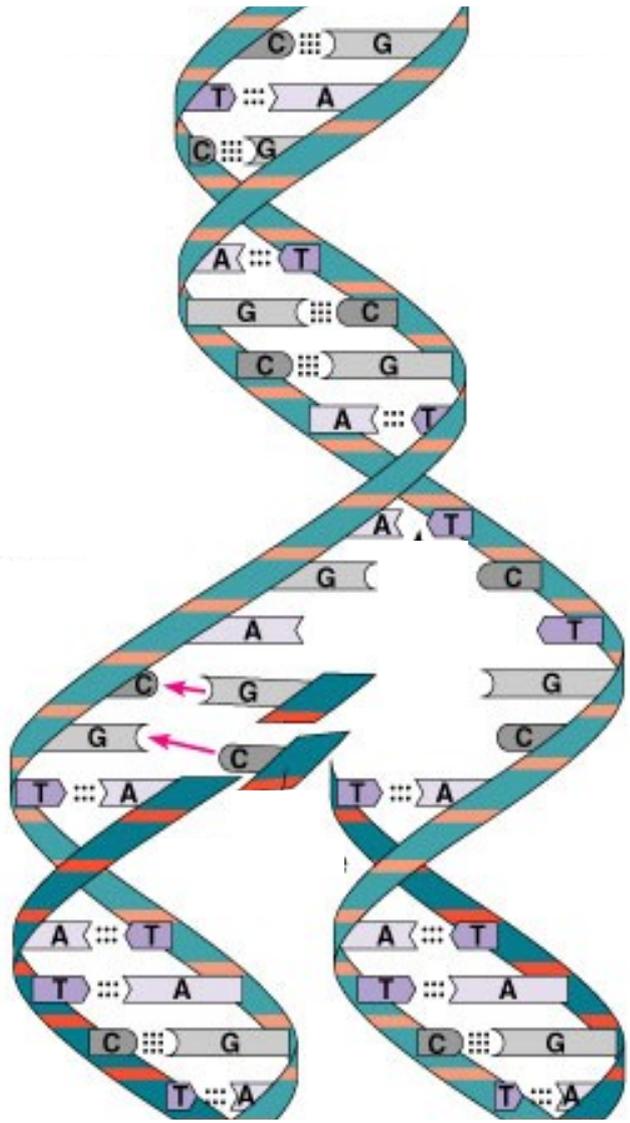


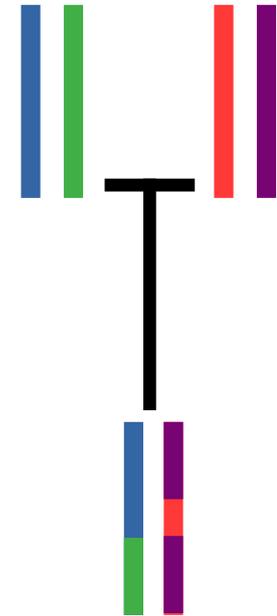
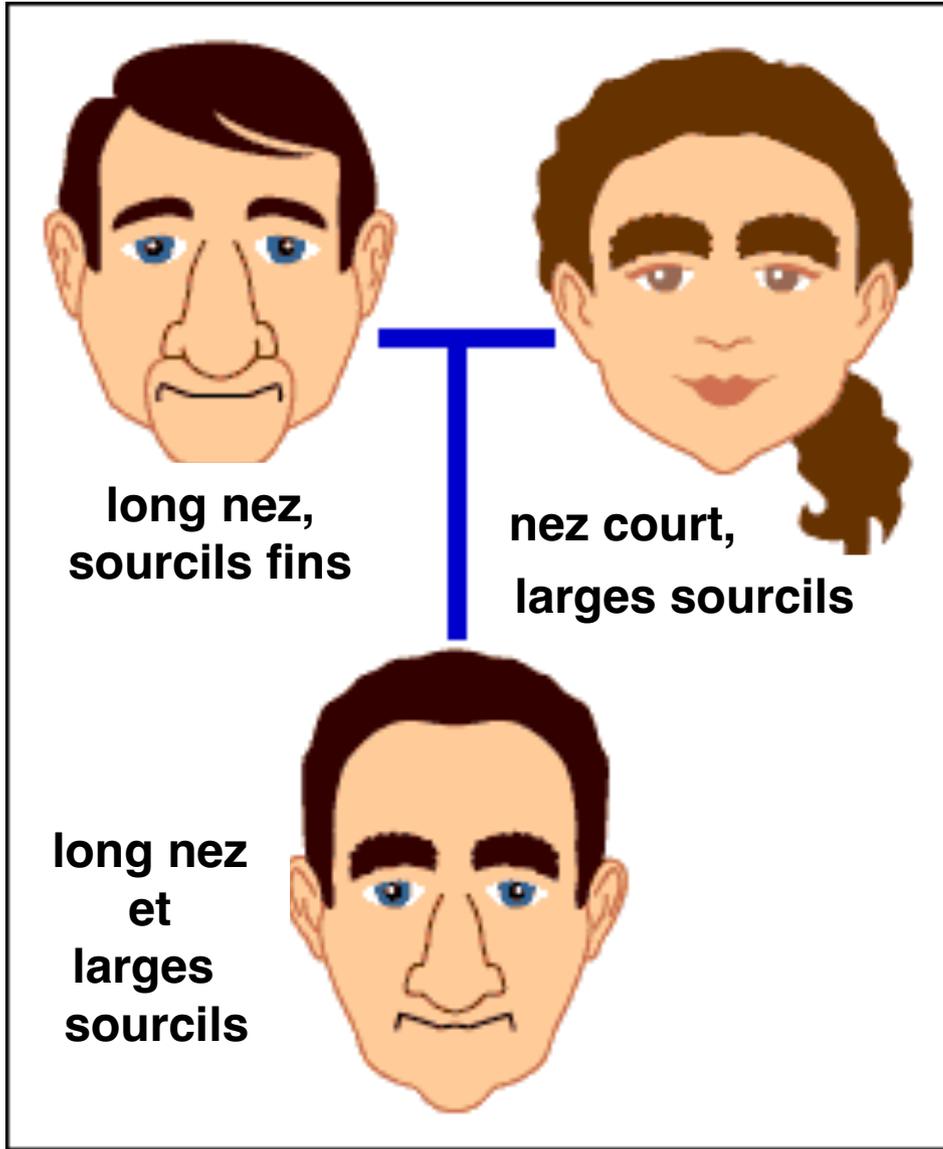
Reproduction  
différentielle







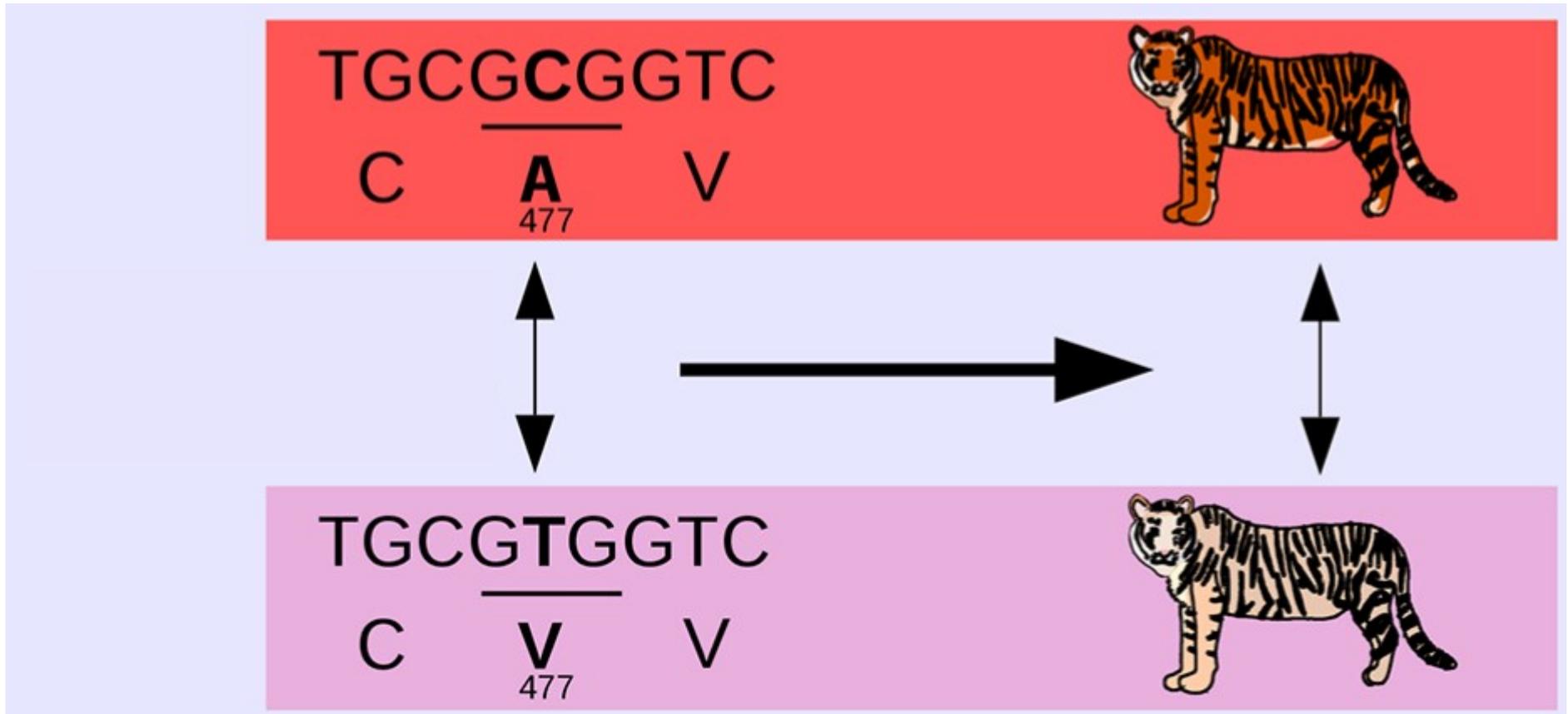






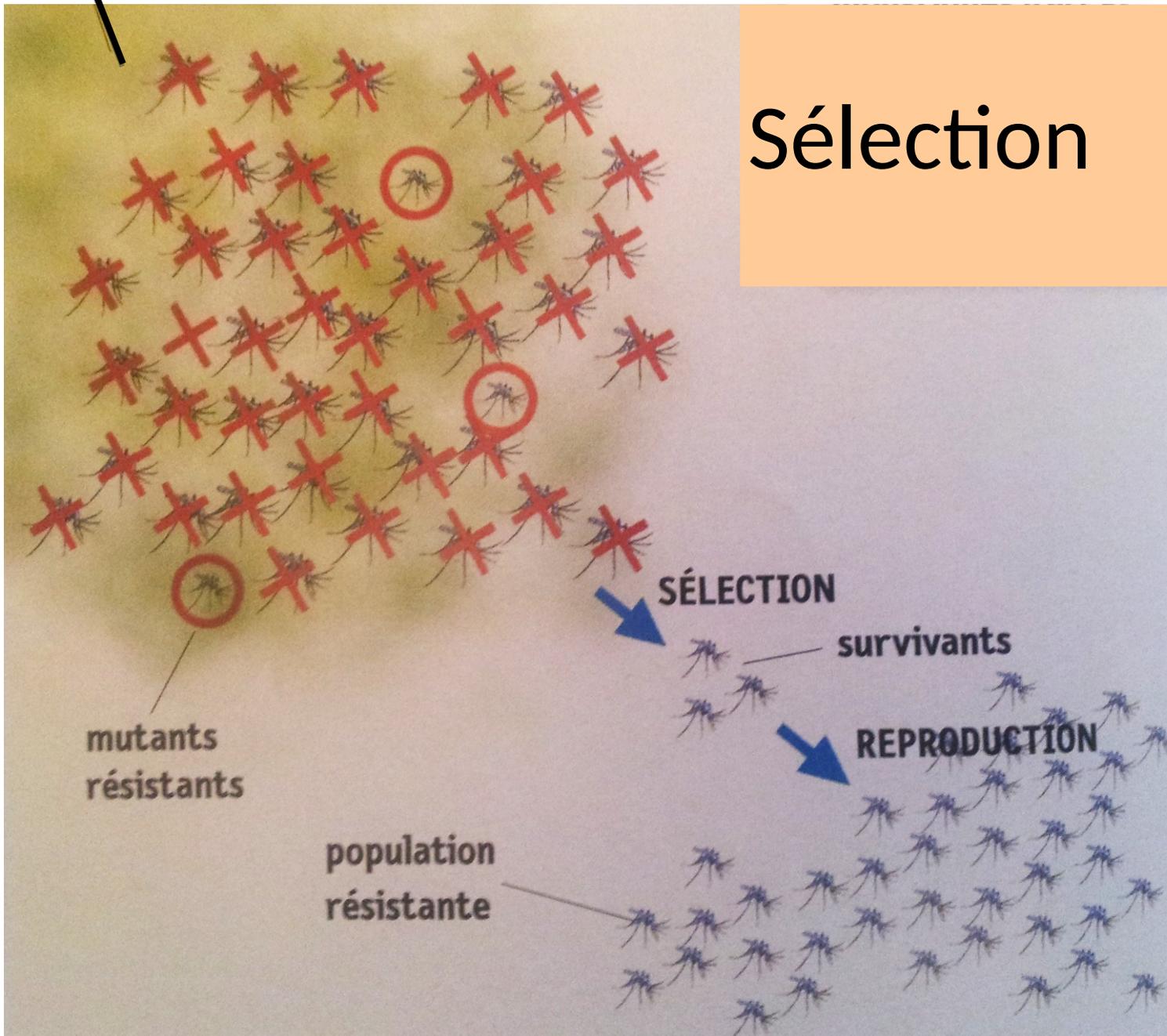


# Un changement d'une seule lettre de l'ADN !



Insecticide

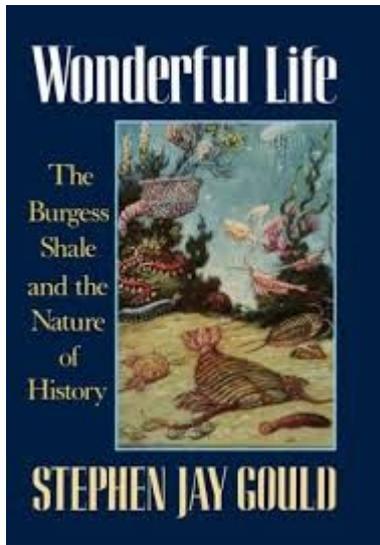
# Sélection



Qu'est-ce que l'évolution ?

**L'évolution : aléatoire ou prédictible ?**

Si on relançait l'évolution sur Terre,  
obtiendrait-on le même monde vivant ?

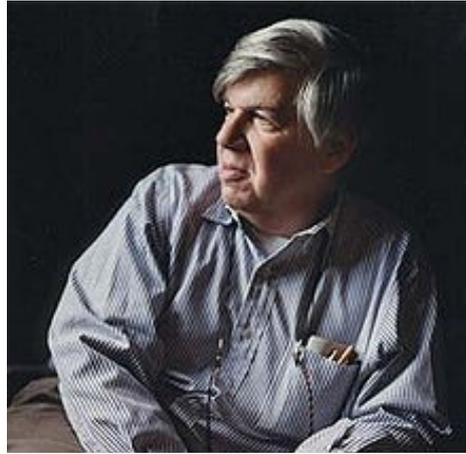


1989

**Stephen Jay Gould  
(1941-2002)**

**ALÉATOIRE ?**

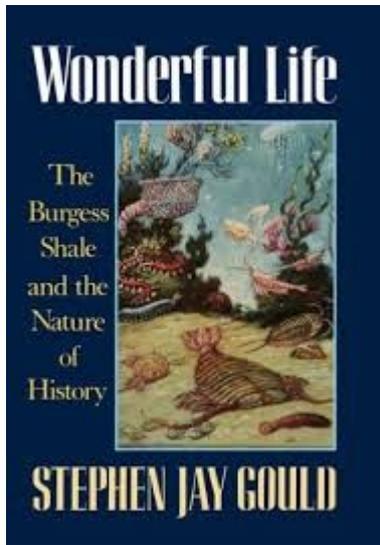
## L'évolution



*Des événements rares  
aux conséquences majeures*

*La plupart des mécanismes  
de base de l'évolution  
sont aléatoires*

*De nombreuses possibilités  
non explorées*



1989

**Stephen Jay Gould  
(1941-2002)**

*Des événements rares  
aux conséquences majeures*

*De nombreuses possibilités  
inexplorées*

*La plupart des mécanismes  
de base de l'évolution  
sont aléatoires*

**ALÉATOIRE ?**



**PRÉVISIBLE ?**

## L'évolution



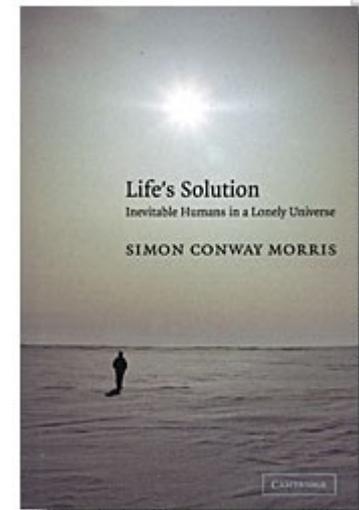
**Simon  
Conway Morris**

*Des événements pas  
si rares*

*Multiples convergences*

<http://www.mapoflife.org>

*Exploration de presque  
toutes les possibilités*



2003

ALÉATOIRE ?



**La vie il y a 500 millions d'années**

ALÉATOIRE ?



# Liée à d'importants changements de l'environnement

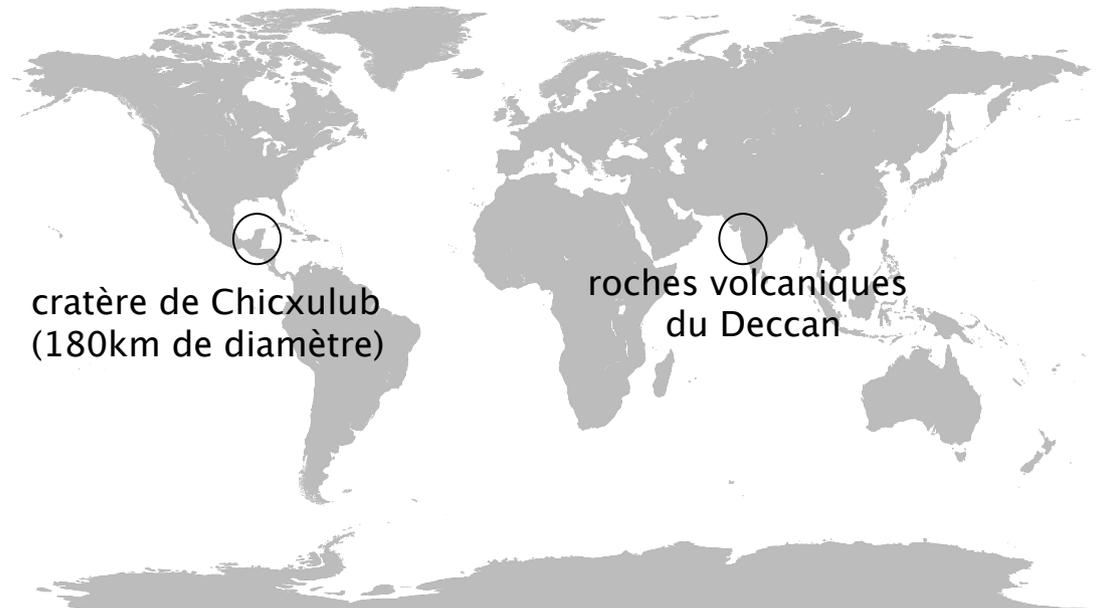


après 65MA

couche 65MA : 1000 fois plus d'iridium

avant 65MA

Roche du Wyoming (États-Unis)



cratère de Chicxulub  
(180km de diamètre)

roches volcaniques  
du Deccan



PRÉVISIBLE ?

# Des événements pas si rares La sortie de l'eau des poissons

Les gobies Oxudercinae



PRÉVISIBLE ?

# Des événements pas si rares

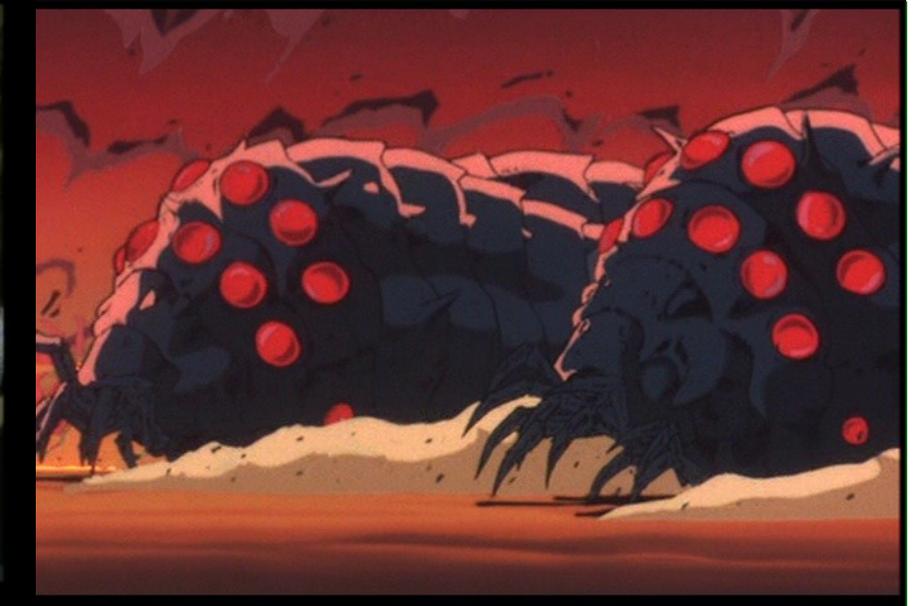
## Le retour dans l'eau des mammifères

Le chevrotain aquatique



**ALÉATOIRE ?**

# De nombreuses possibilités non explorées



Nausicaa de la vallée du vent - Miyazaki

**ALÉATOIRE ?**

# De nombreuses possibilités non explorées



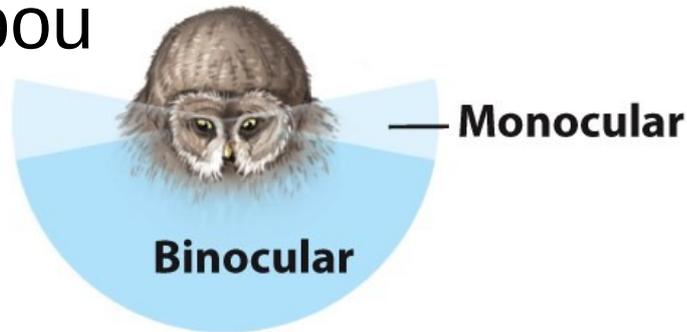
Nausicaä de la vallée du vent - Miyazaki

PRÉVISIBLE ?

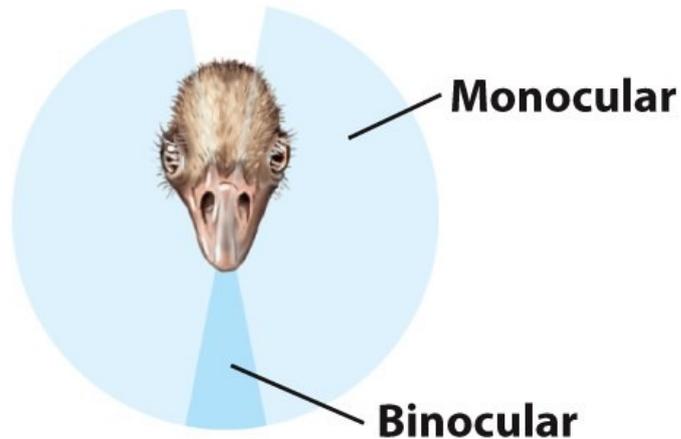
# Exploration de toutes les possibilités

## Limites physiques, compromis

hibou

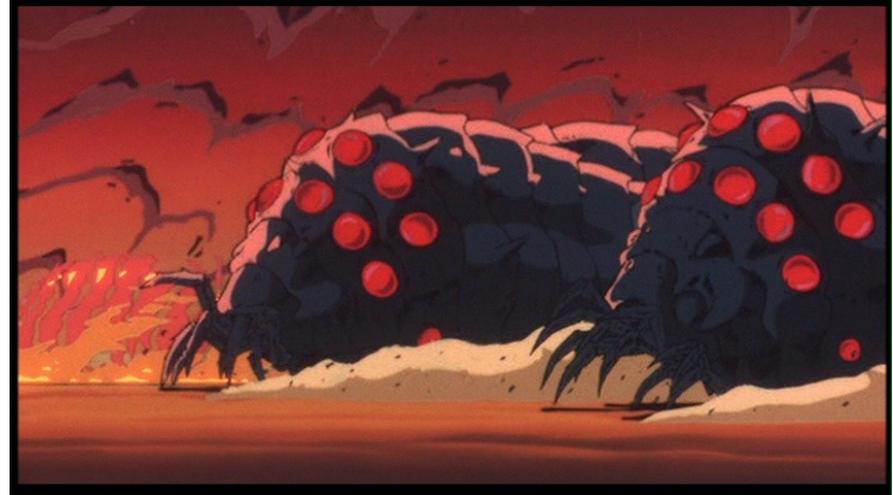


autruche



# Comment imaginer d'autres possibilités?

1. combiner des caractères



2. faire varier un paramètre  
nombre d'yeux, gravité, etc.

3. analogie avec des objets non vivants



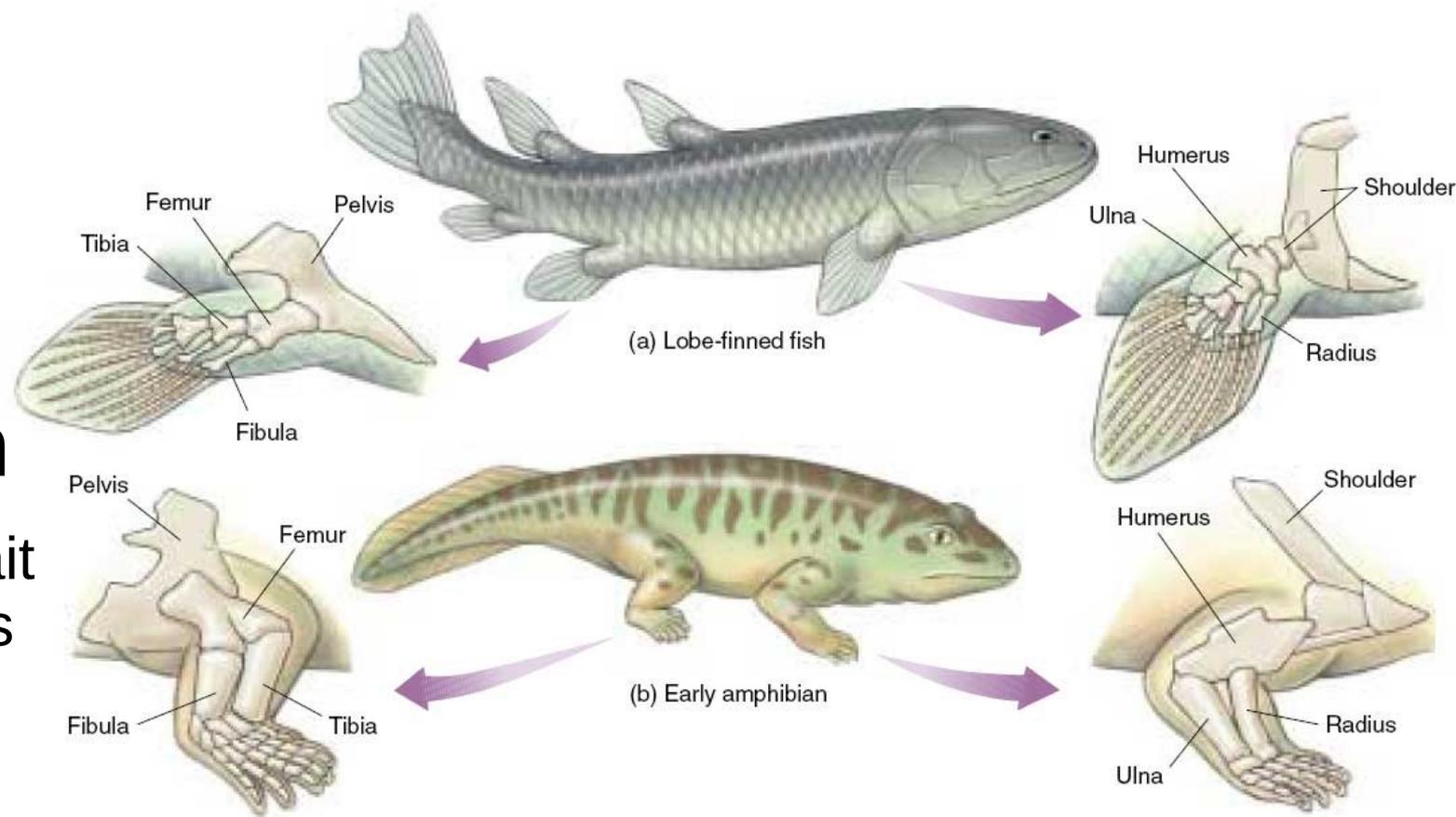
*Nous imaginons toujours à  
partir de ce que nous  
connaissons.*

ALÉATOIRE ?

# Bricolage de l'évolution

« 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; un bricoleur qui ne sait pas encore ce qu'il va produire, mais récupère tout ce qui lui tombe sous la main. »

(François Jacob, Le Jeu des possibles, 1981)



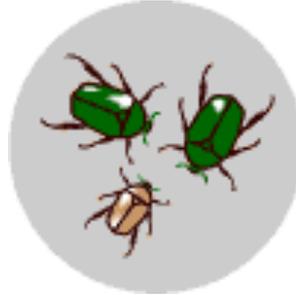
## Exaptation

évolution d'un trait de caractère vers une nouvelle fonction

# La plupart des mécanismes de base de l'évolution sont aléatoires

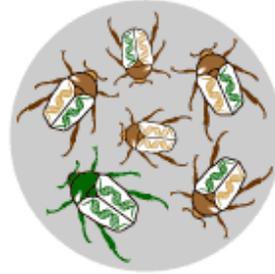
1

Variation



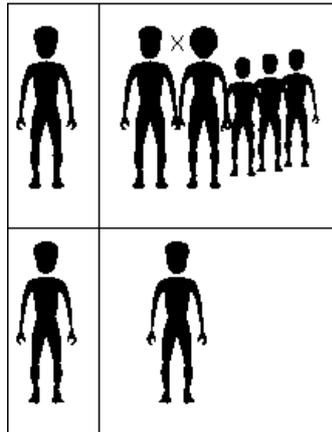
2

Transmission à la génération suivante



3

Reproduction différente selon les individus

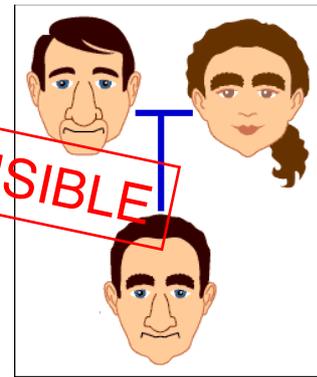


Mutations de l'ADN

IMPRÉVISIBLE

Hérédité

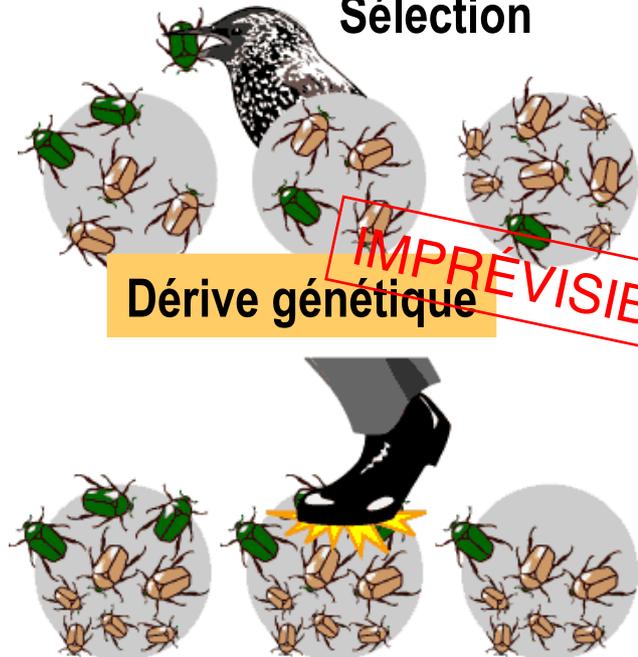
IMPRÉVISIBLE



Sélection

Dérive génétique

IMPRÉVISIBLE



# Même évolution dans les mêmes conditions

PRÉVISIBLE ?

	Placentaires Amérique du Nord et du Sud	Marsupiaux Australie
<b>Niche</b>		
<b>Burrower</b>	Mole 	Marsupial mole 
<b>Anteater</b>	Lesser anteater 	Numbat (anteater) 
<b>Mouse</b>	Mouse 	Marsupial mouse 
<b>Climber</b>	Lemur 	Spotted cuscus 
<b>Glider</b>	Flying squirrel 	Flying phalanger 
<b>Cat</b>	Ocelot 	Tasmanian "tiger cat" 
<b>Wolf</b>	Wolf 	Tasmanian wolf 

Euphorbes

Asie, Australie, Afrique



Cactées

Amérique du Nord et du Sud



<http://commons.wikimedia.org/>



# Le thylacine : un animal disparu

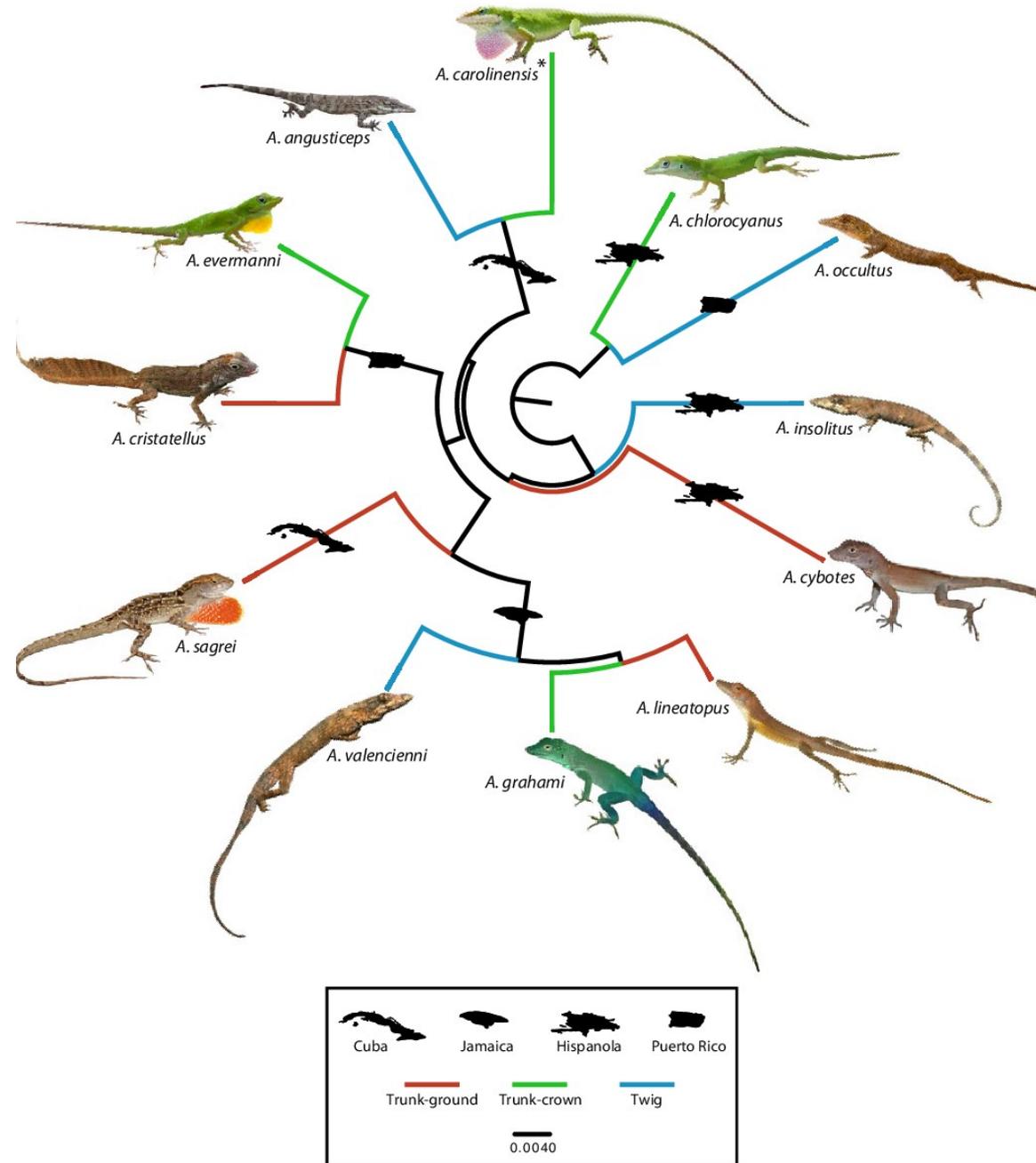
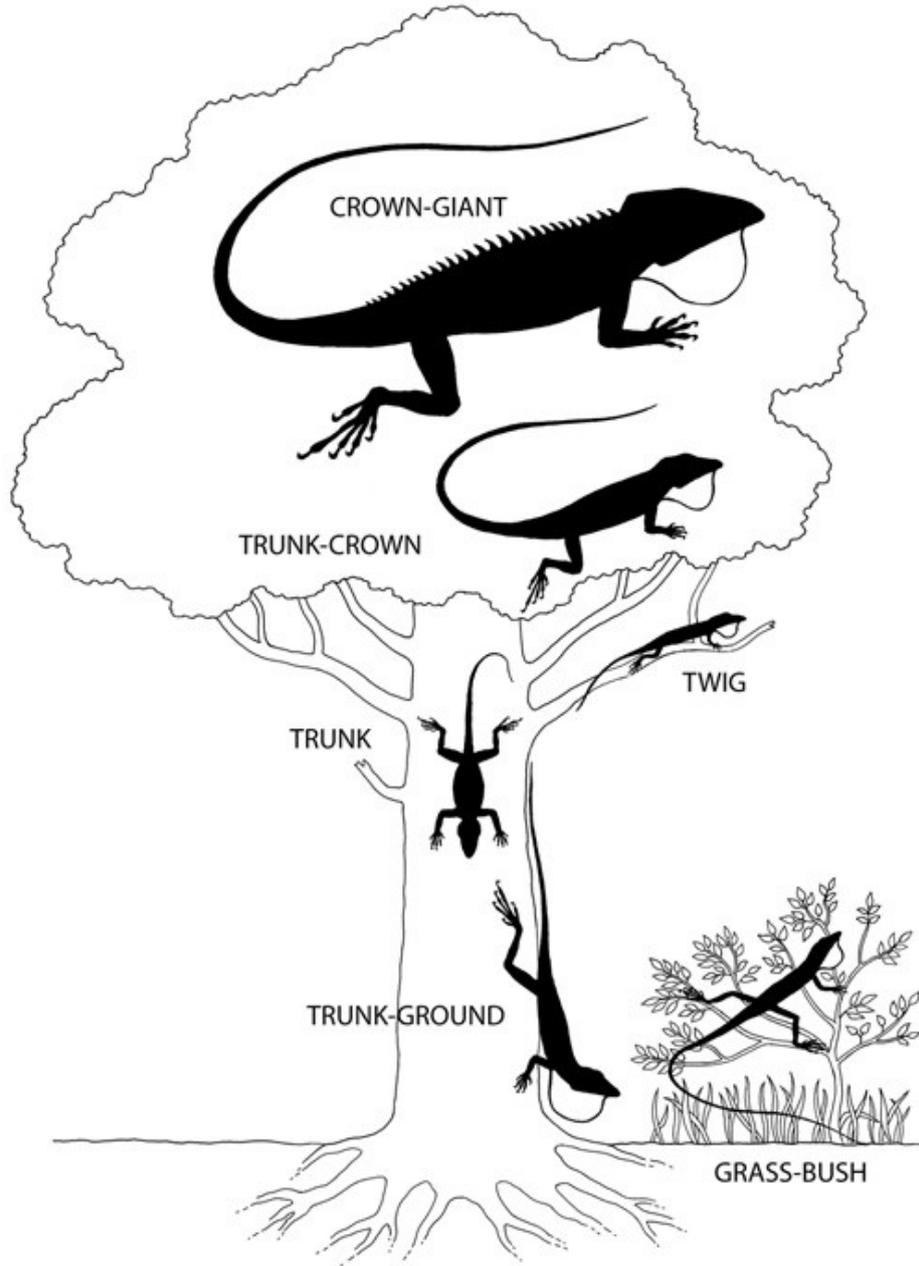


1935

<https://www.youtube.com/watch?v=5RPap1BWYns>

# Evolution convergente

PRÉVISIBLE ?



# L'évolution se répète

PRÉVISIBLE ?

Traits de caractère dans certain environments



Gènes responsables de l'évolution naturelle

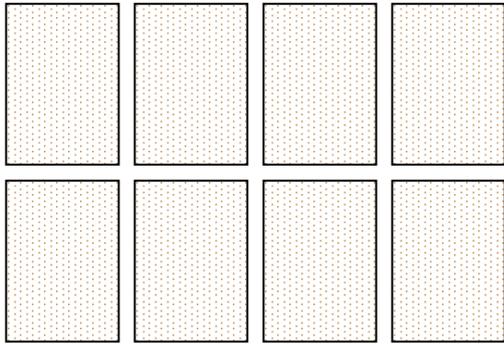


Gènes responsables de l'évolution en laboratoire

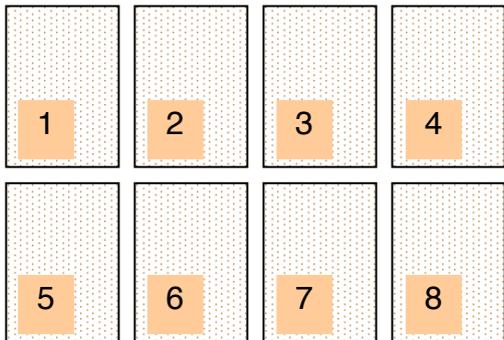
# Evolution au laboratoire



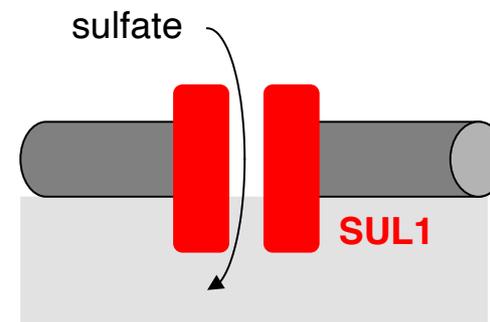
8 flacons **indépendants**  
contenant 10 milliards de levures



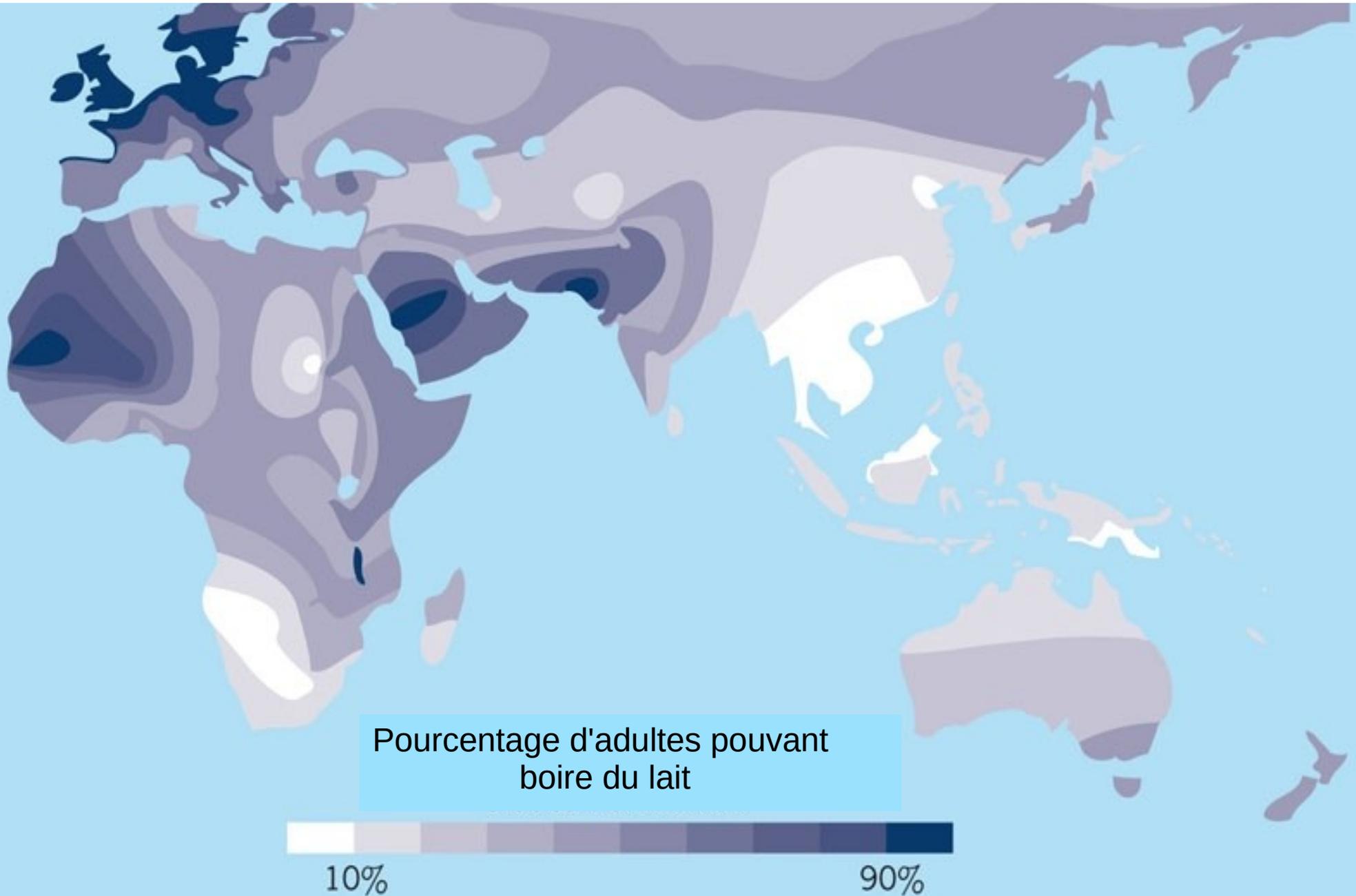
évolution  
sur milieu pauvre en sulfates  
pendant 240 générations



## 8 mutations différentes dans le même gène

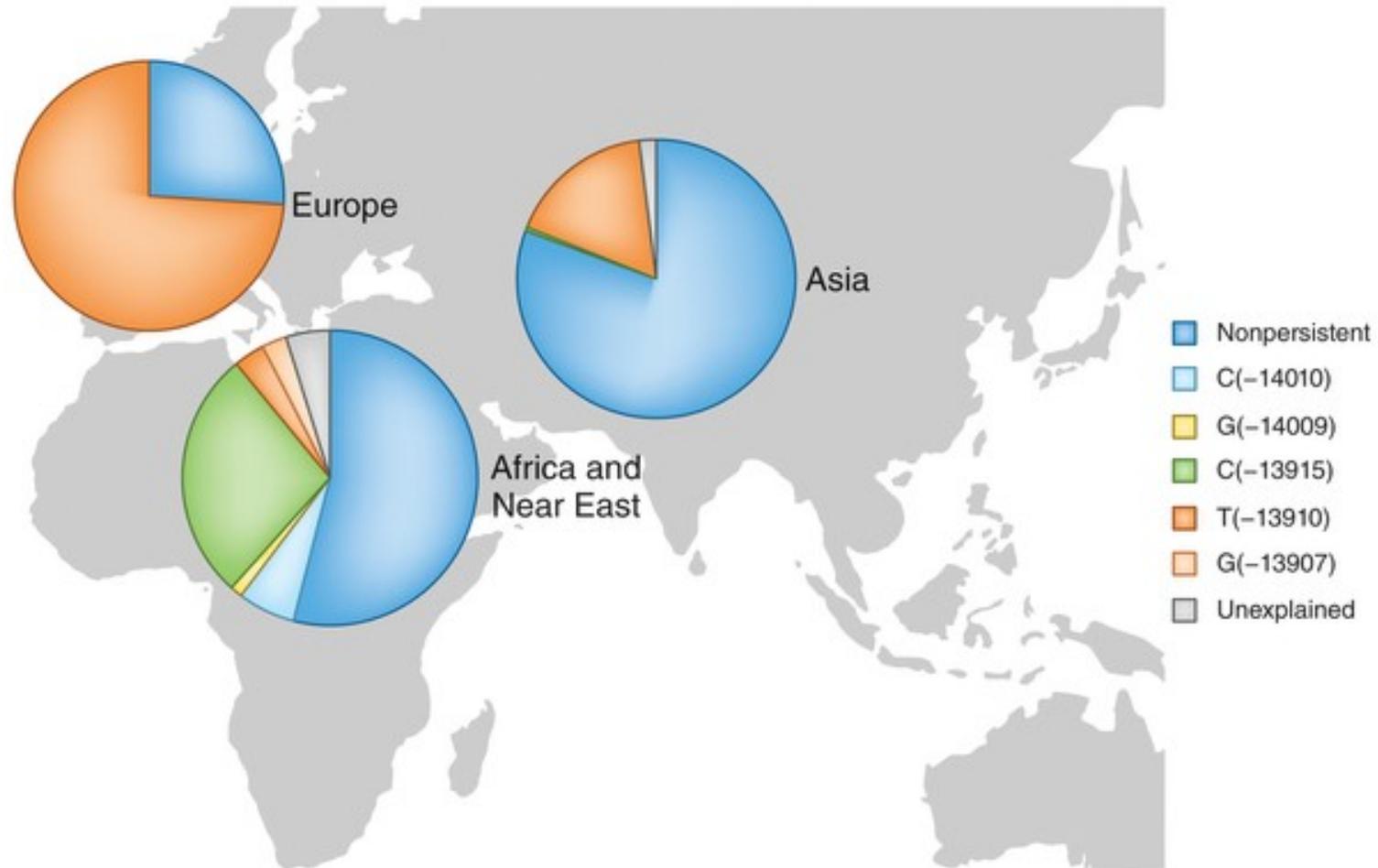


# Evolution récente chez l'humain



PRÉVISIBLE ?

# 5 mutations différentes dans le même gène



# Une espèce, 200 formes différentes



*Harmonia axyridis*

Gautier 2018  
Ando 2018

PRÉVISIBLE ?

# Injection de RNAi dans les larves



A



sauvage

B



C



D



E



*pannier*  
RNAi

F



G



H



(7/7)

(6/6)

(4/4)

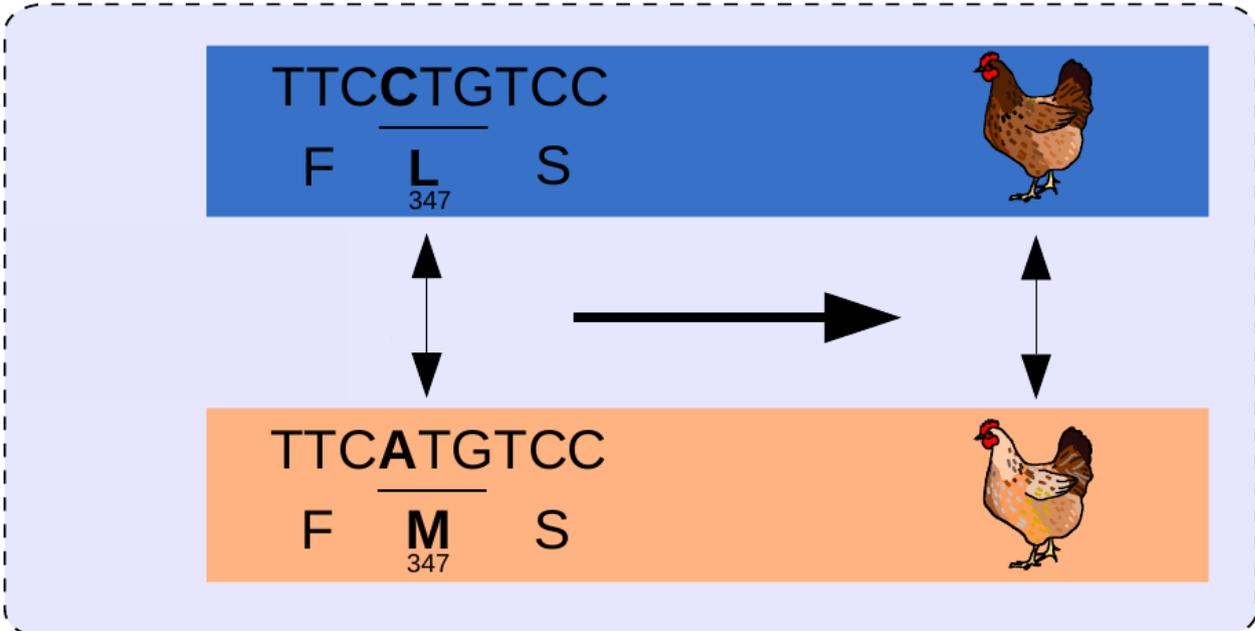
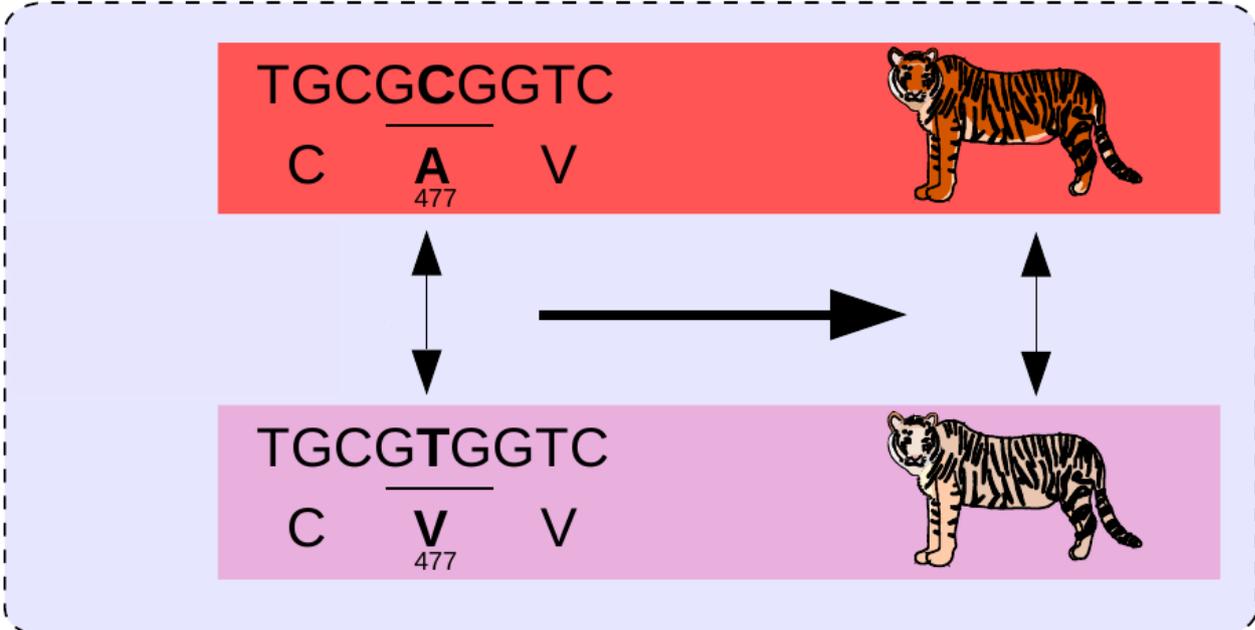
(4/4)

## Des mutations différentes dans *Pannier*

# Mutations dans le même gène

## *SLC45A2*

PRÉVISIBLE ?



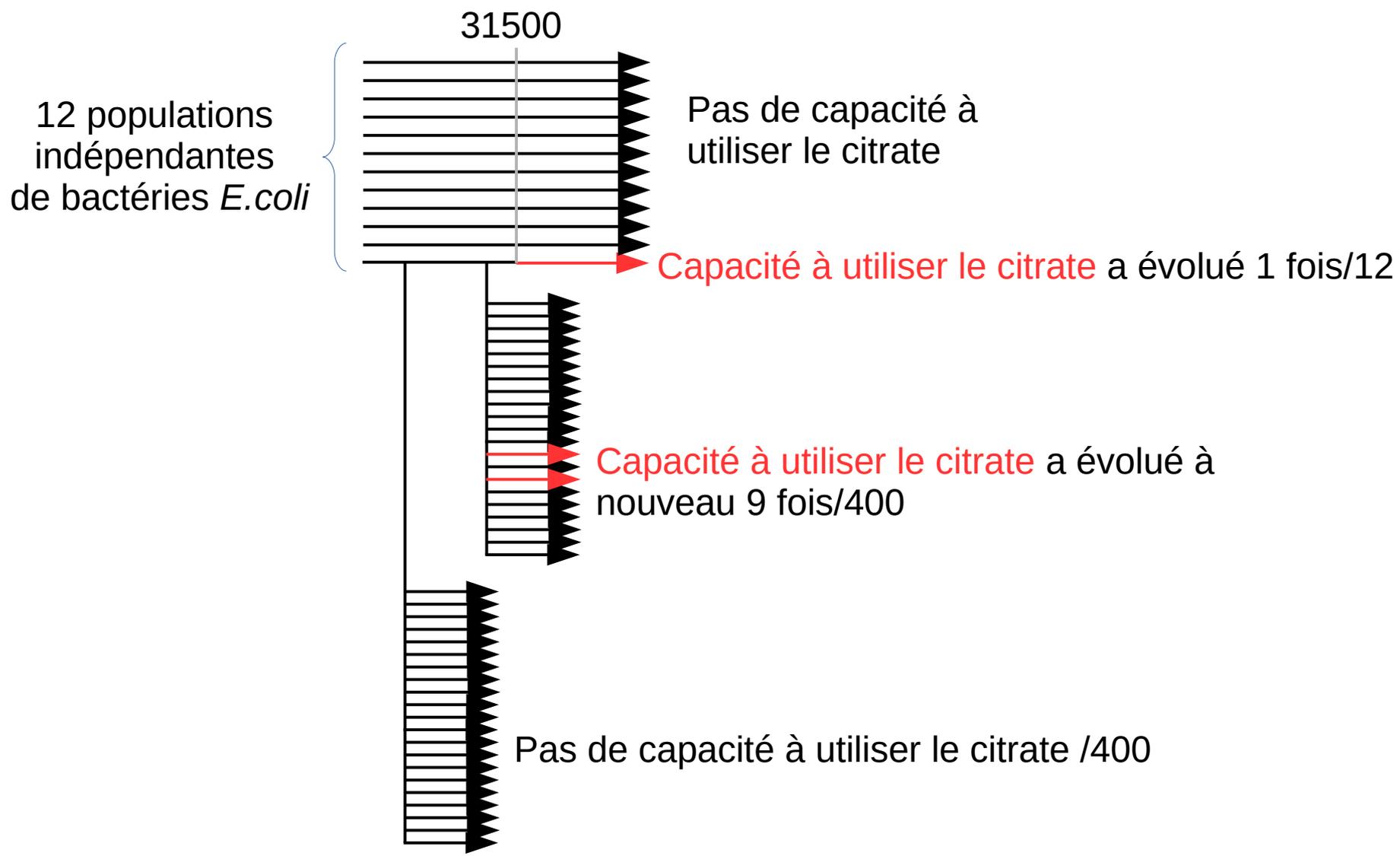
Et aussi chez les:  
Cailles  
Pigeons  
Chevaux  
Souris  
Humains



ALÉATOIRE ?

# Influence de la contingence

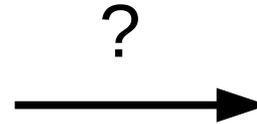
PRÉVISIBLE ?





# De phénomènes aléatoires peuvent émerger des phénomènes prévisibles

Phénomènes aléatoires  
à court terme



Evolution prédictible  
à long terme

Mutations

Ségrégation des chromosomes

Croisements

Compétition des gamètes pour la fécondation

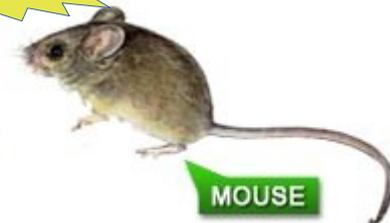
Durée de vie

Changements environnementaux (météorite, etc.)

...



VKORC1



# De phénomènes aléatoires peuvent émerger des phénomènes prévisibles

Phénomènes aléatoires  
à l'échelle de l'individu



Phénomènes prédictibles  
à l'échelle de la population



Prévisions d'affluence :

FAIBLE

MOYENNE

FORTE

FERMÉ

Attention, il peut y avoir une différence entre les prévisions d'affluence mentionnées dans le tableau ci-dessous et la fréquentation réelle qui varie quotidiennement. Les prévisions d'affluence sont données à titre d'information.

	10H / 11H	11H / 12H	12H / 14h	14H / 17H	17H / 19H	19H / 21H	21H / 23H
LUNDI	FAIBLE	FORTE	MOYENNE	MOYENNE	MOYENNE	FAIBLE	FAIBLE
MARDI	FERMÉ						
MERCREDI	FAIBLE	FORTE	MOYENNE	MOYENNE	MOYENNE	FAIBLE	FAIBLE
JEUDI	FAIBLE	FORTE	FORTE	FORTE	FORTE	MOYENNE	MOYENNE
VENDREDI	FAIBLE	FORTE	FORTE	FORTE	FORTE	MOYENNE	FAIBLE

<https://fr.stillinparis.com/quefaire/expos/pompidou/>

# Phénomènes aléatoires

# Phénomènes prévisibles

à l'échelle de l'individu



à l'échelle de la population

Prévisions d'affluence : FAIBLE MOYENNE FORTE FERMÉ

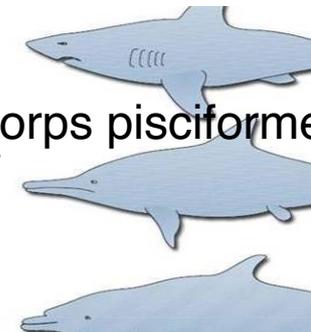
Attention, il peut y avoir une différence entre les prévisions d'affluence mentionnées dans le tableau ci-dessous et la fréquentation réelle qui varie quotidiennement. Les prévisions d'affluence sont données à titre d'information.

	10H / 11H	11H / 12H	12H / 14h	14H / 17H	17H / 19H	19H / 21H	21H / 23H
LUNDI	FAIBLE	FORTE	MOYENNE	MOYENNE	MOYENNE	FAIBLE	FAIBLE
MARDI	FERMÉ						
MERCREDI	FAIBLE	FORTE	MOYENNE	MOYENNE	MOYENNE	FAIBLE	FAIBLE
JEUDI	FAIBLE	FORTE	FORTE	FORTE	FORTE	MOYENNE	MOYENNE
VENDREDI	FAIBLE	FORTE	FORTE	FORTE	FORTE	MOYENNE	FAIBLE
SAMEDI	ADHÉRENTS UNIQUEMENT	FORTE	FORTE	FORTE	FORTE	MOYENNE	FAIBLE
DIMANCHE	ADHÉRENTS UNIQUEMENT	FORTE	FORTE	FORTE	FORTE	FAIBLE	FAIBLE

Évolution à court terme

Mutations  
Hérédité  
etc.

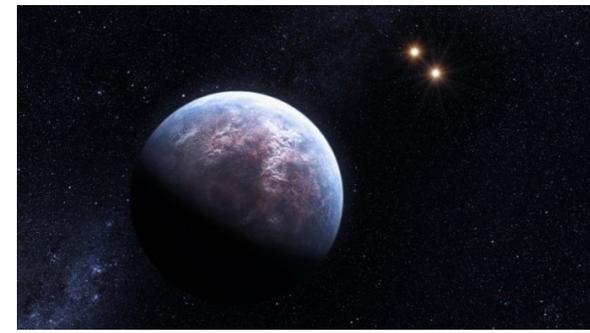
Évolution à long terme



# Quels êtres vivants

..sur une autre planète ?

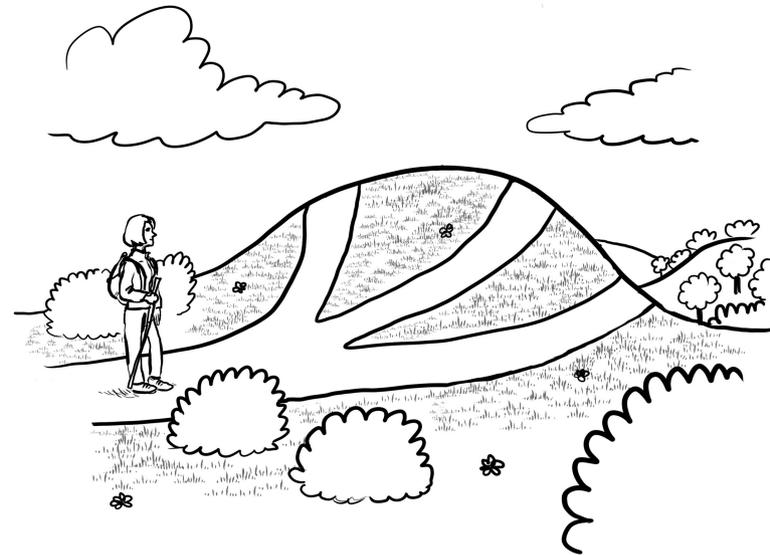
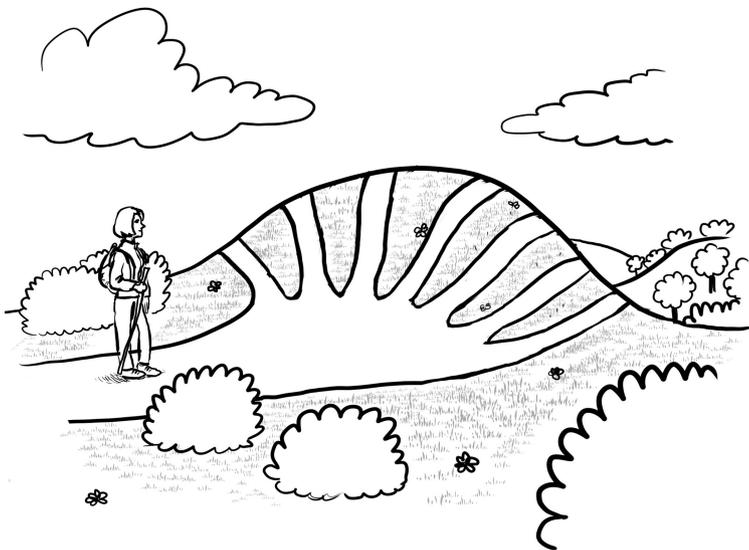
..sur la Terre si on recommençait à zéro?



Monde vivant  
très différent



Monde vivant  
très semblable



# Conclusions

L'évolution se répète.  
Mêmes changements, mêmes gènes  
Au moins une part de l'évolution est prédictible.



Virginie Courtier-  
Orgogozo  
Biodiversité et écosystèmes

Chaire annuelle | Professeur sur chaire annuelle  
2022 - aujourd'hui

COLLÈGE  
DE FRANCE  
— 1530 —



virginie.courtier@ijm.fr

