

# **Le rasoir d'Occam ou principe de parcimonie s'applique mal à l'étude du monde vivant**

**Virginie Courtier  
Cours 5 – 13 mars 2023**



**COLLÈGE  
DE FRANCE**  
—1530—



**Fondation  
Jean-François & Marie-Laure  
de Clermont-Tonnerre**

# Le principe de parcimonie

**Les entités biologiques sont souvent plus complexes que ce qu'on imagine**



**Les explications ne sont pas toujours les plus simples**



**Quelles solutions pour comprendre le vivant ?**

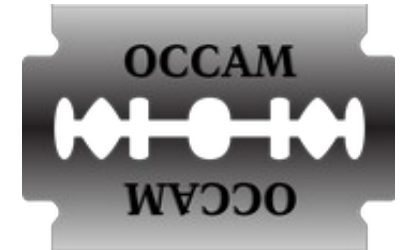
# Le principe de parcimonie



« *Les multiples ne doivent pas être utilisés sans nécessité* »

« *Pluralitas non est ponenda sine necessitate* »

Guillaume d'Ockham, 1319



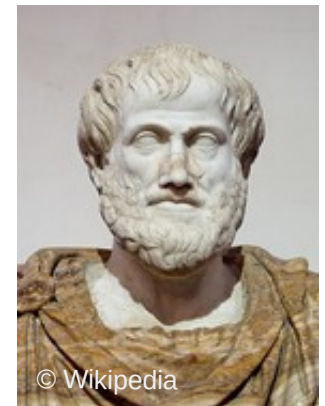
© Fred the Oyster

## Rasoir d'Ockham ou rasoir d'Occam

Raser = éliminer les explications improbables d'un phénomène

La meilleure explication est celle qui fait intervenir le plus petit nombre d'hypothèses ad hoc, c'est-à-dire hypothèses non documentées.

« *Il vaut mieux prendre des principes moins nombreux et de nombre limité.* »  
Aristote, La Physique, vers 340

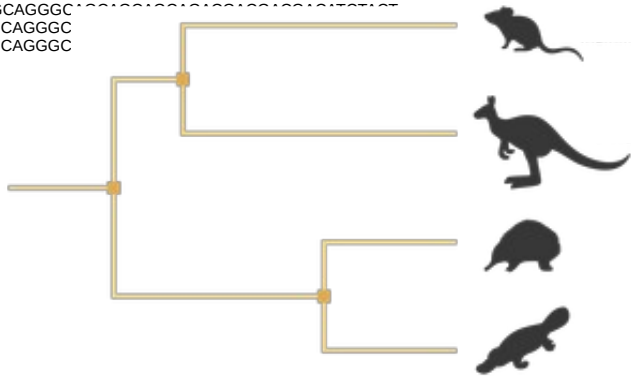


© Wikipedia

# Le principe de parcimonie pour analyser de gros jeux de données

## Arbres phylogénétiques

```
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACATCTACT  
AACACGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACATCTACT  
AACACGCAGGGCTGCAGCAGCAGACGACGACGACATCTACT  
AACACGCAGGGCAGCAGCAGCTGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACACGCAGGGCAGCAGCAGCTGACGACGACGACATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCTGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACGCGCAGGGC  
AACACGCAGGGC  
AACACGCAGGGC
```



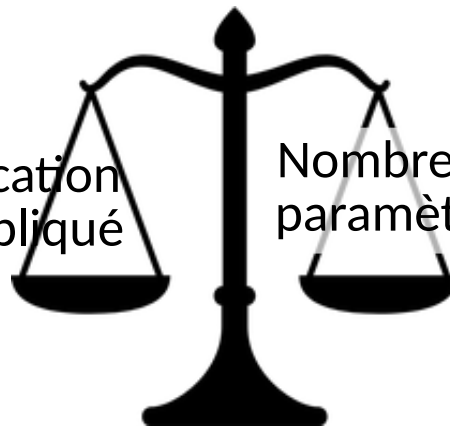
## Cartographie génétique

```
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACATCTACT  
AACACGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACATCTACT  
AACACGCAGGGCTGCAGCAGCAGACGACGACGACATCTACT  
AACACGCAGGGCAGCAGCAGCTGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCAGACGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACACGCAGGGCAGCAGCAGCTGACGACGACGACATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGCAGCTGACGACGACGGC-CATCTACT  
AACGCGCAGGGCAGCAGC/  
AACACGCAGGGCAGCAGC/  
AACACGCAGGGCAGCAGC/
```

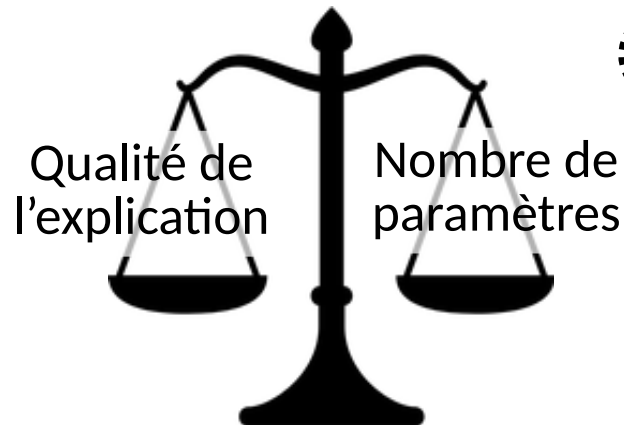
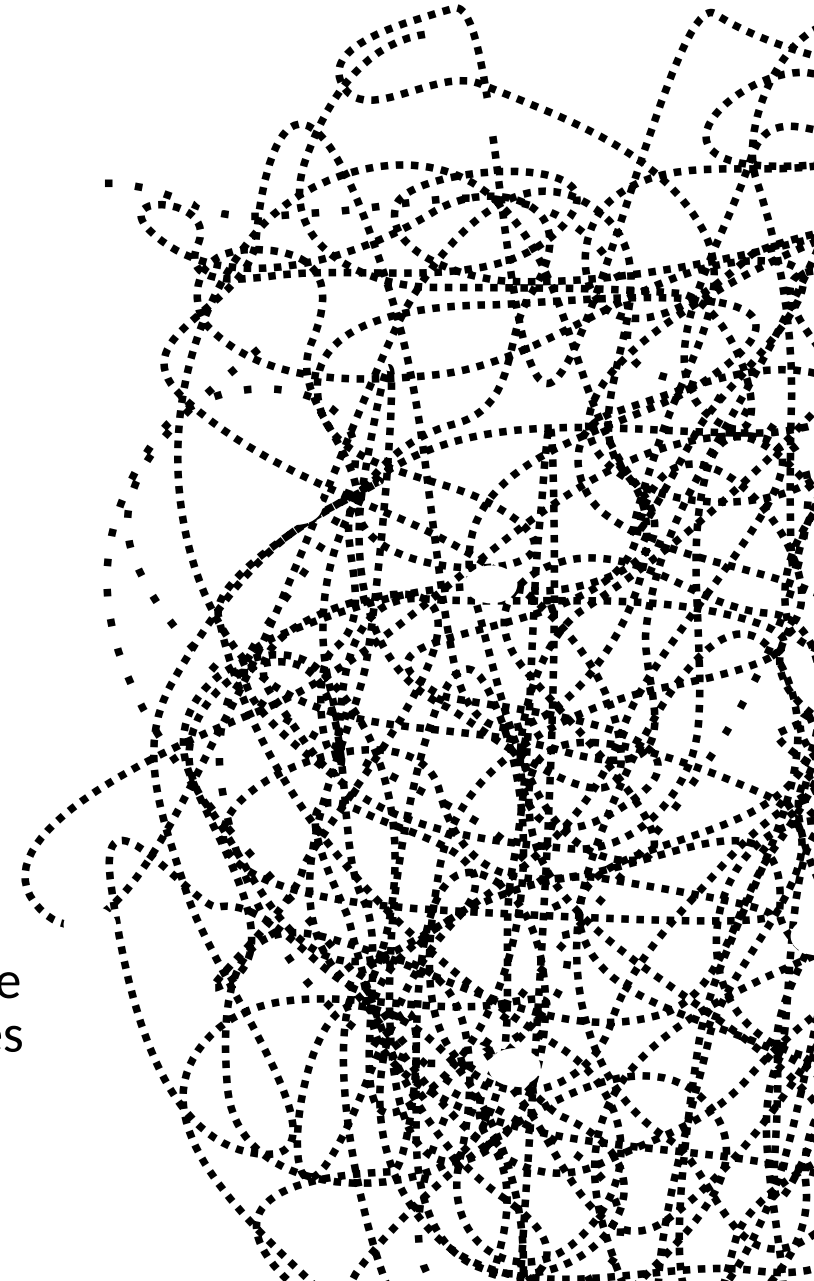


Qualité de l'explication  
% de variance expliqué

Nombre de  
paramètres



# Le nombre d'indices varie selon les questions et les approches



« Si le rasoir d'Occam est un outil utile en physique, il peut être un **instrument très dangereux en biologie**. Il est donc très téméraire d'utiliser la simplicité et l'élégance comme guide dans la recherche biologique.

Si l'élégance et la simplicité sont, en biologie, des guides dangereux vers la bonne réponse, quelles contraintes peuvent être utilisées comme guide dans la jungle des théories possibles ? Il me semble que les seules contraintes vraiment utiles sont contenues dans les preuves expérimentales. »

Francis Crick, 1988

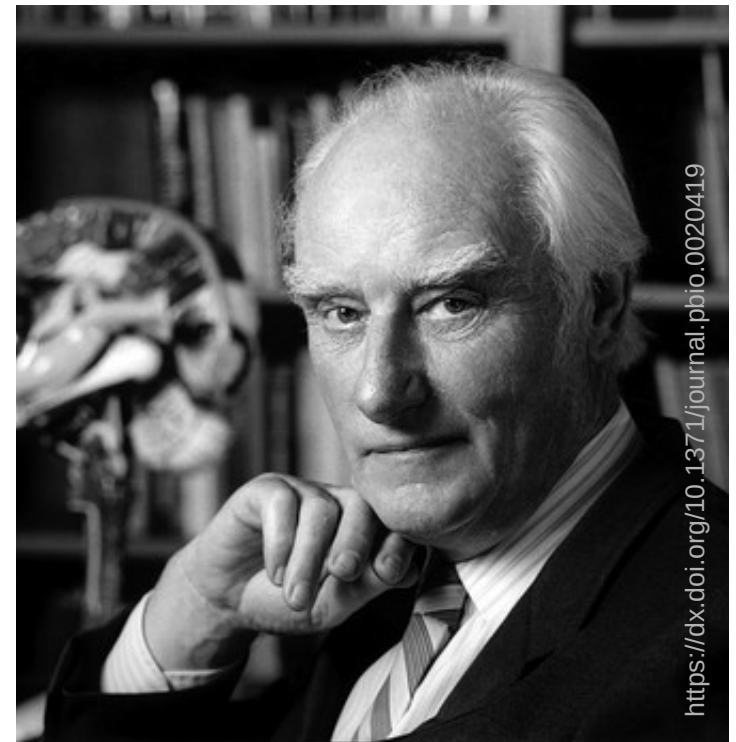
Francis Crick

*What  
Mad  
Pursuit*

A Personal View  
of Scientific Discovery



© Wikipedia



<https://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0020419>

## Le principe de parcimonie

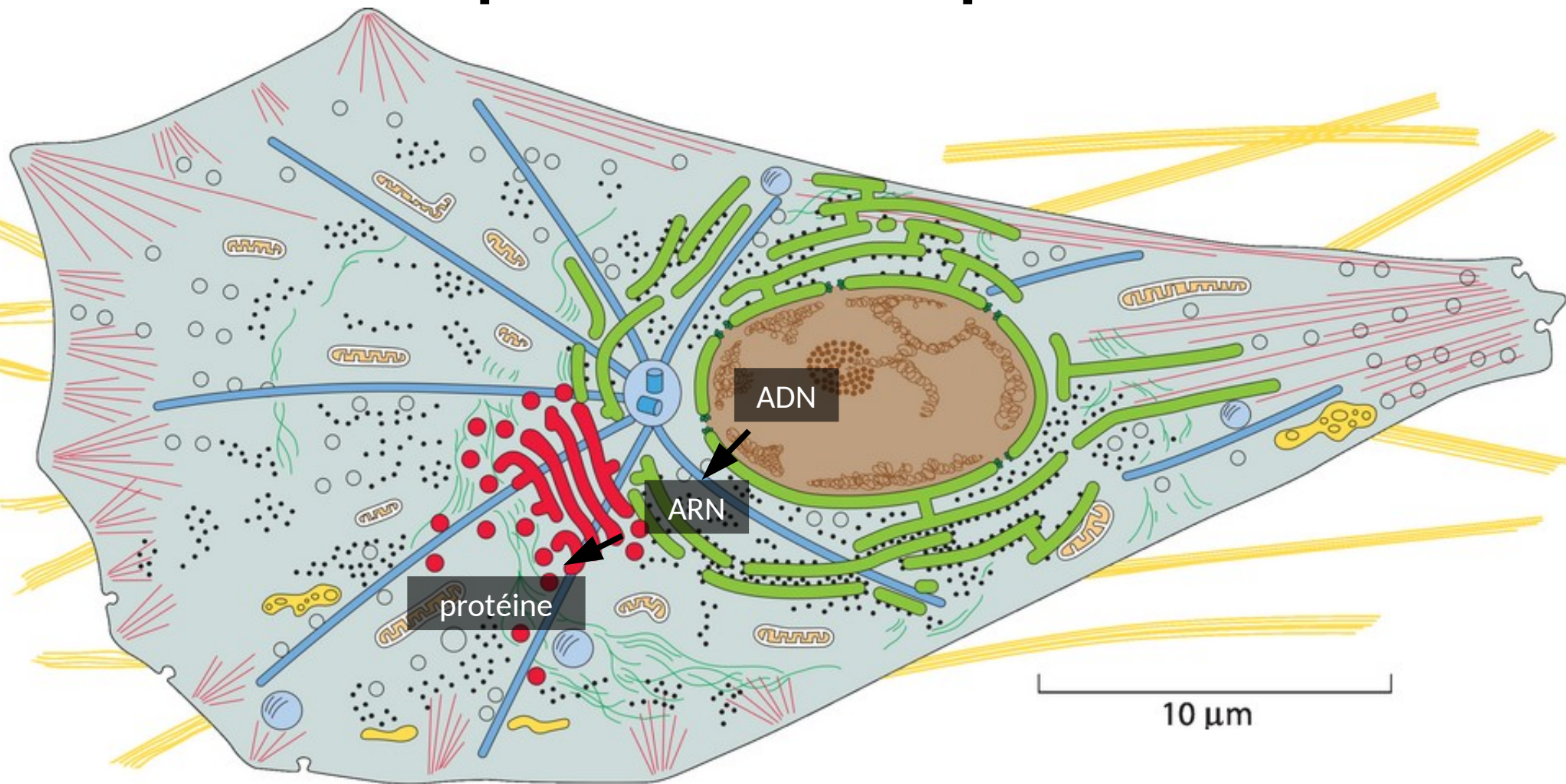
**Les entités biologiques sont souvent plus complexes que ce qu'on imagine**



Les explications ne sont pas toujours les plus simples

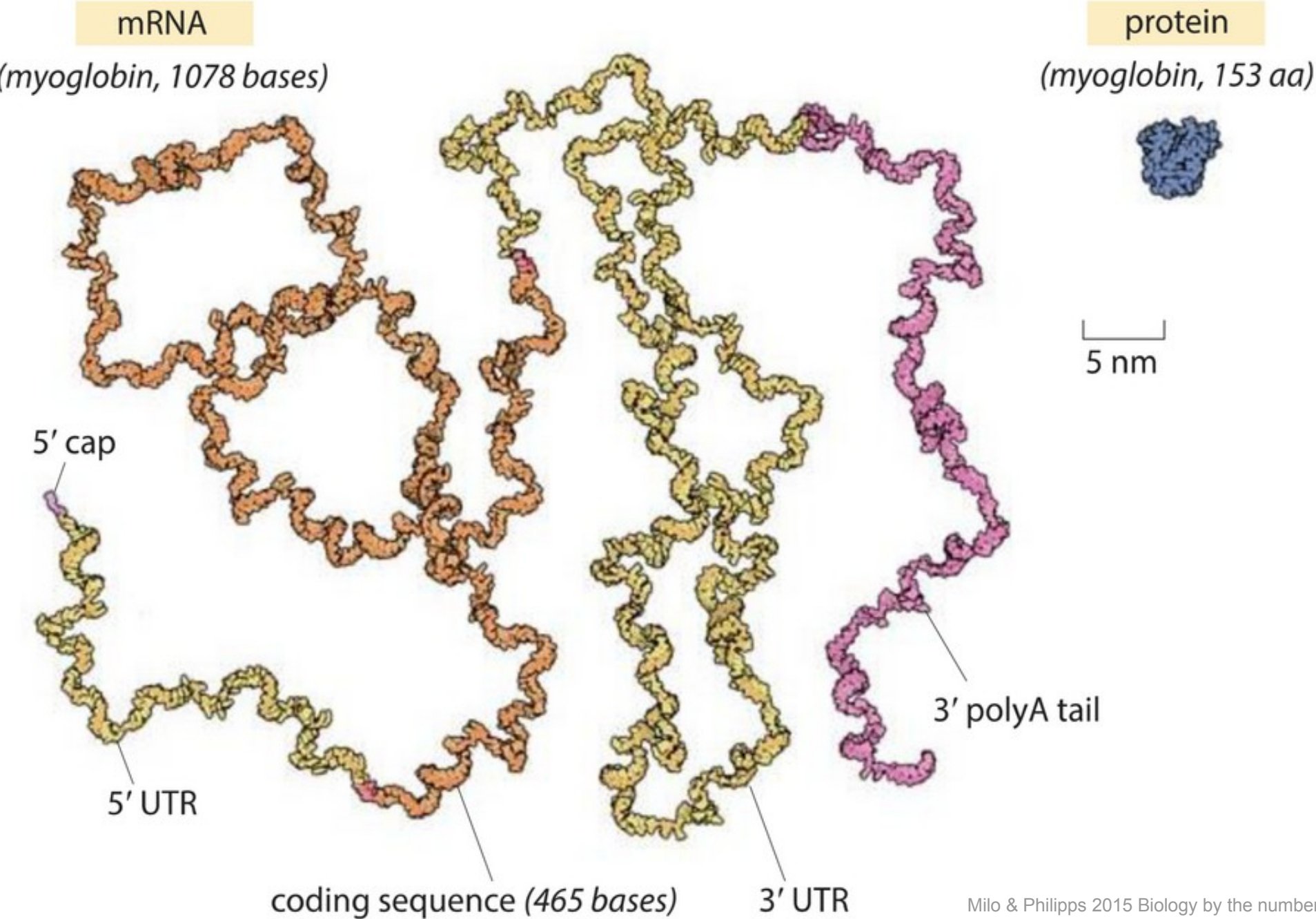
Quelles solutions pour comprendre le vivant ?

Qui est le plus gros :  
l'ARNm ou la protéine codée par cet ARNm ?





# L'ARNm est bien plus gros que la protéine qu'il code



# Les entités biologiques sont souvent plus complexes que ce qu'on imagine



# Découverte des ADNs sauteurs

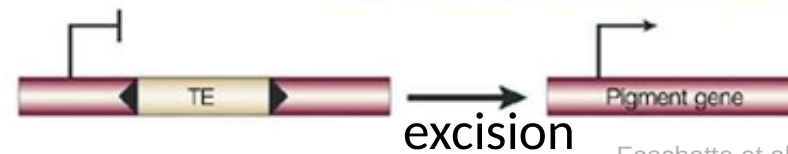


Spot : excision au cours du développement du grain



Élément excisé dans la lignée germinale

Pas d'excision



# CHROMOSOME ORGANIZATION AND GENIC EXPRESSION

BARBARA McCLINTOCK

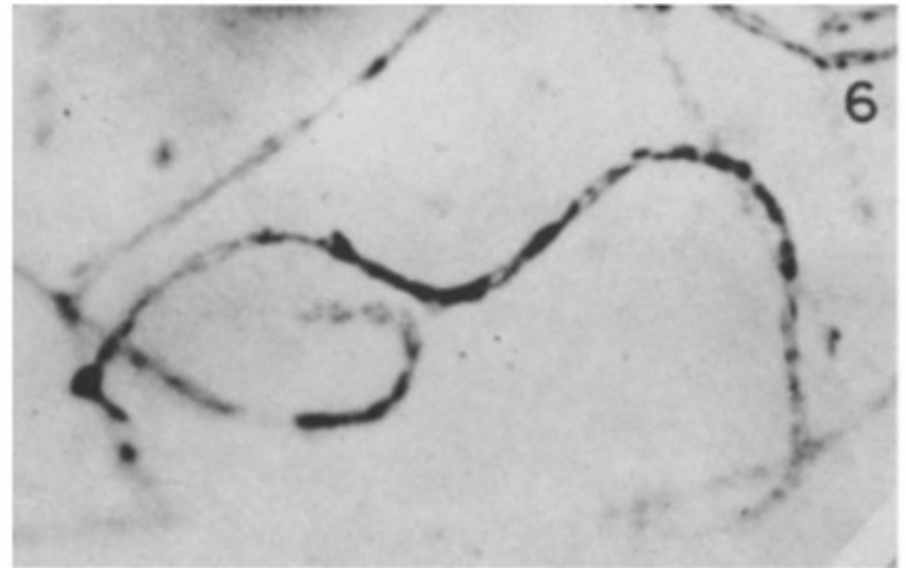
1951

Department of Genetics, Carnegie Institution of Washington, Cold Spring Harbor, N. Y.

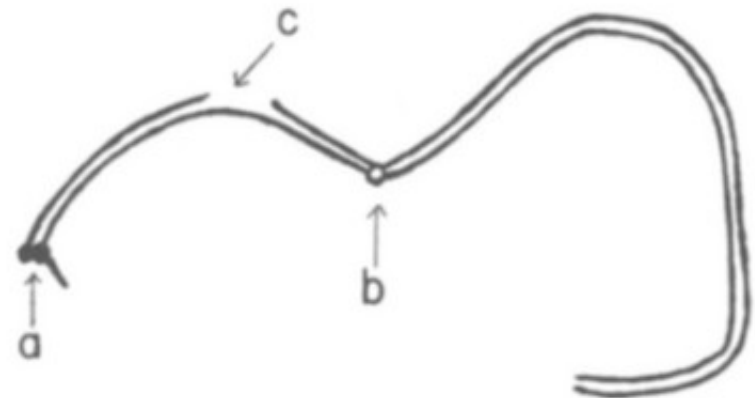


© The Scientist

A. H. H. H. H.



6a



Dear John:

Your letter of May 2 inviting me to attend a workshop on "paramutation" this coming September was much appreciated. I wish that I might attend but already my commitments for the next few months are so many and so demanding that I dare not add to them.

I am truly sorry not to attend as I recognize the degree to which many aspects of my reports are not comprehended by many of those working with my materials or with similar or related ones. Much of this is my fault. I stopped publishing detailed reports long ago when I realized, and acutely, the extent of disinterest and lack of confidence in the conclusions I was drawing from the studies. With the literature filled to the exhaustion of all of us, I decided it was useless to add weight to the biologist's wastebasket. Instead, I decided to use the added time to enlarge experiments and thus increase my comprehensions of the basic phenomena. The time has come, however, when a more detailed exposition could be effective. At least it would indicate the quantity and range of the studies that have contributed to summary statements appearing in my reports. I had hoped that these summary statements would suffice, at least for a time, but they did not in most instances.

All of the above is not intended as a complaint. Rather, it is t

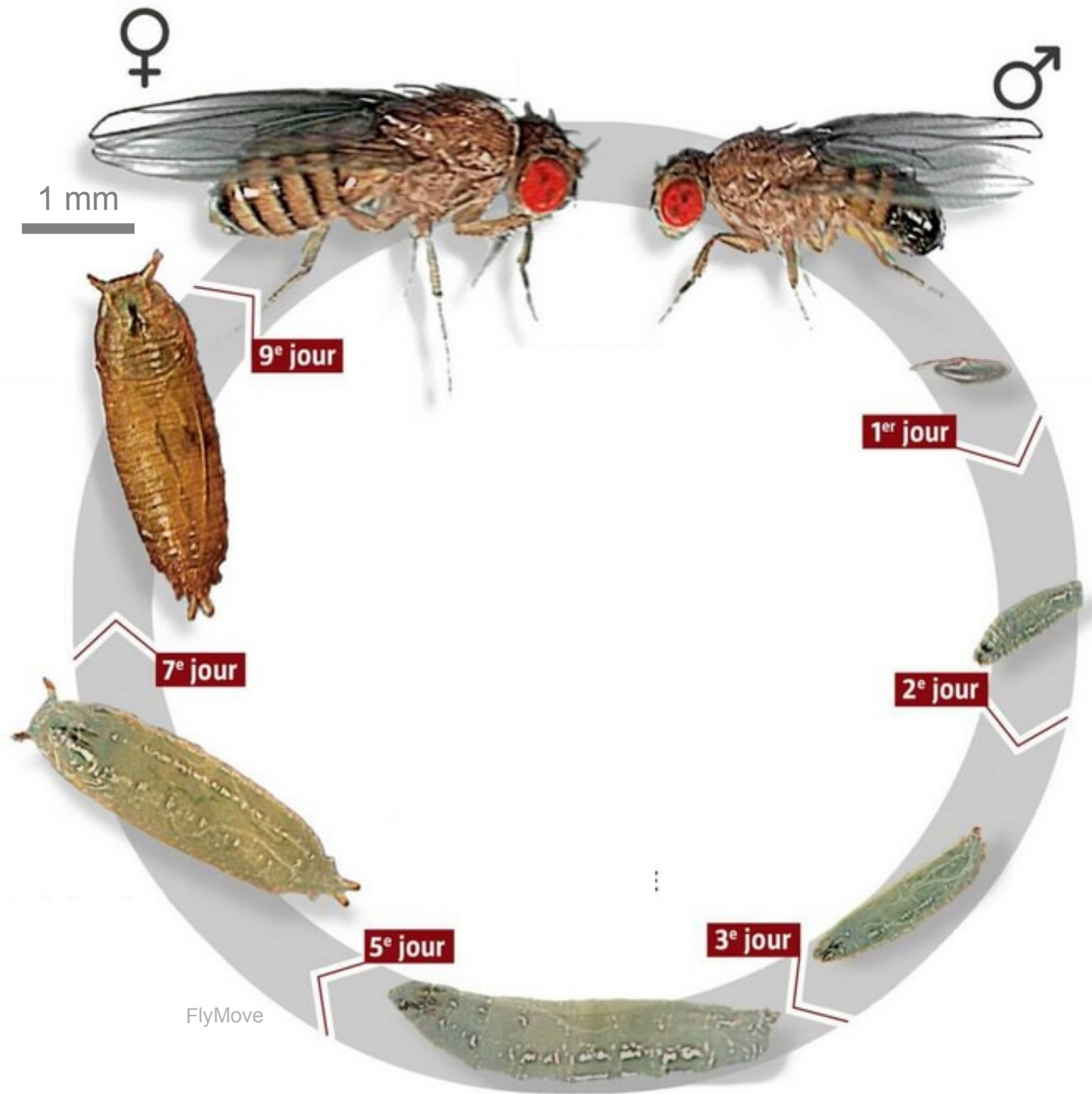
Barbara McClintock, 1973



[www.gephebase.org](http://www.gephebase.org)

Plus de 2500 mutations identifiées  
contribuant à des différences observables  
chez les animaux et les plantes.

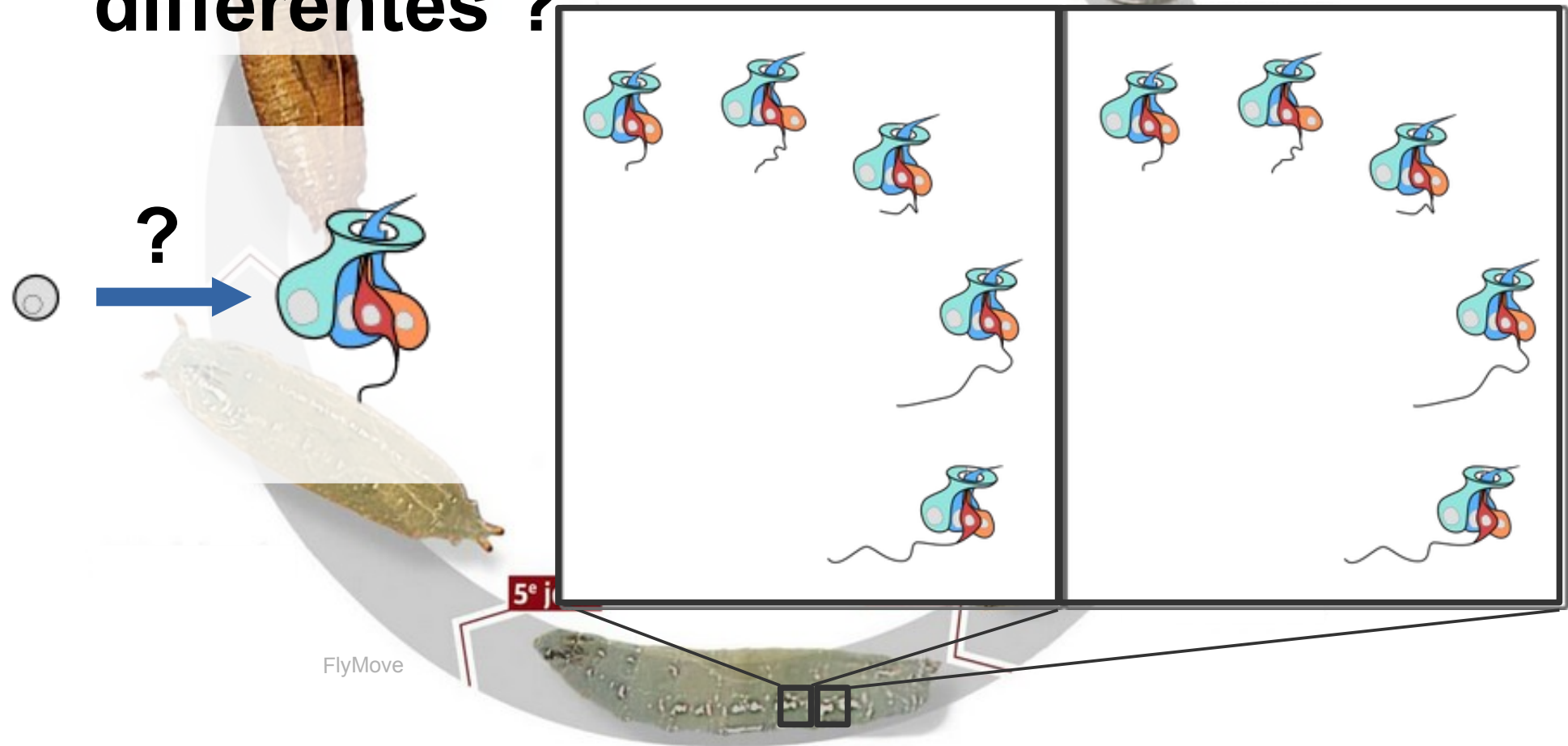
**5% sont liées à des éléments transposables !**



♀

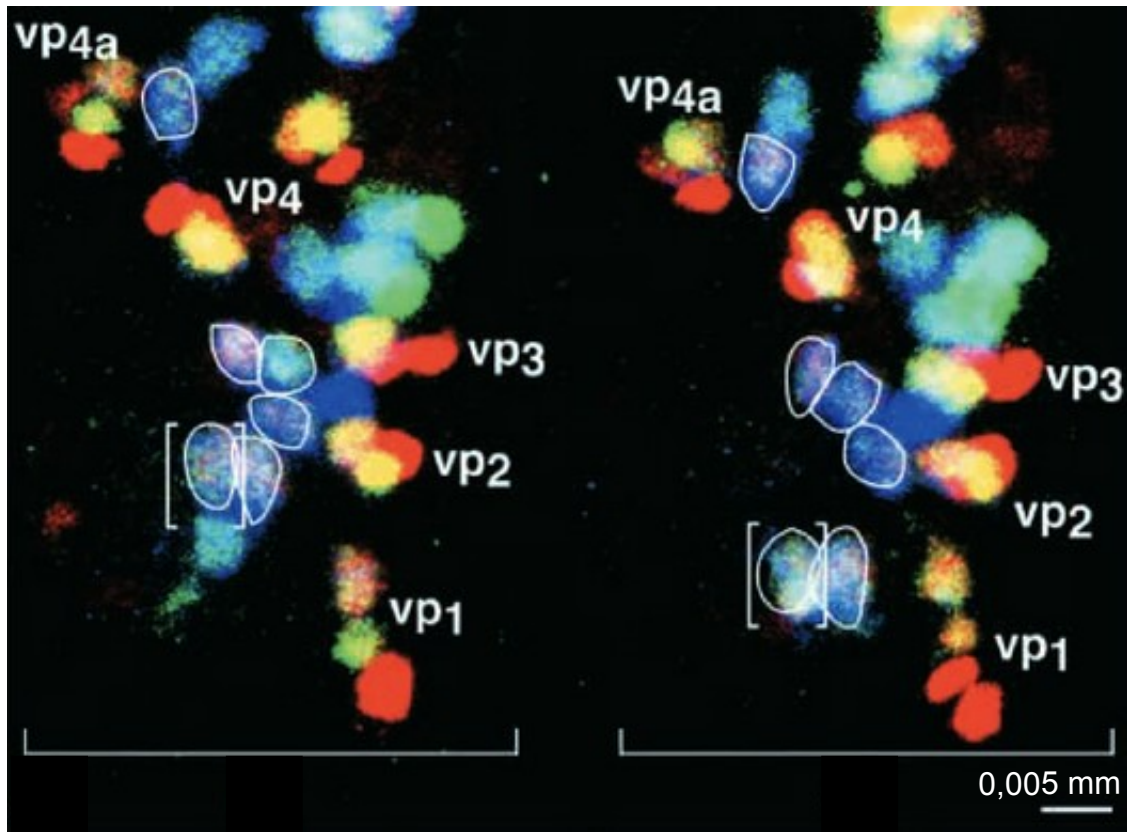
♂

# Comment une cellule produit-elle des cellules différentes ?



FlyMove

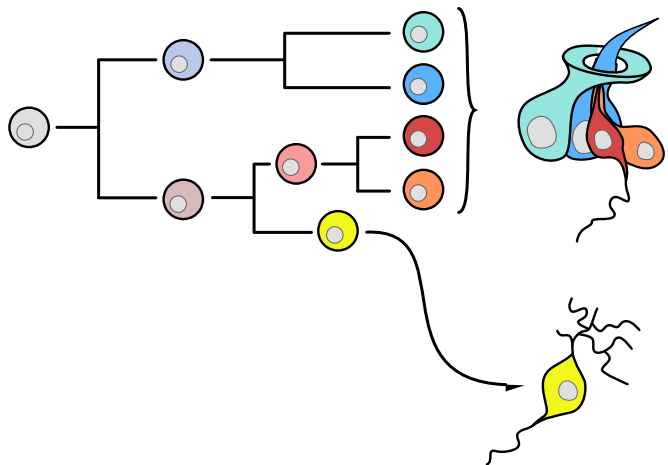




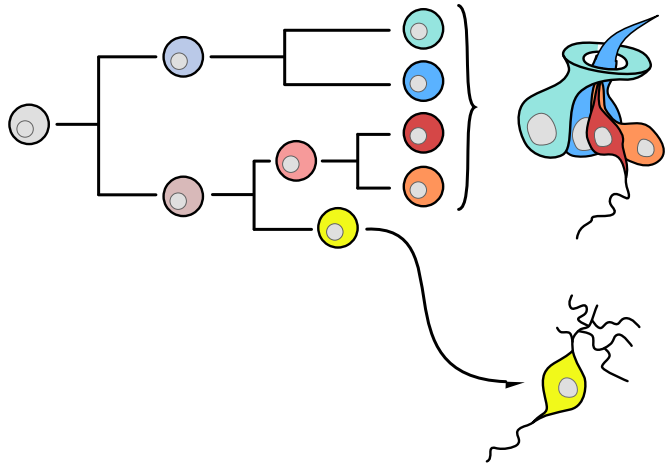
Orgogozo et al. 2001 Dev



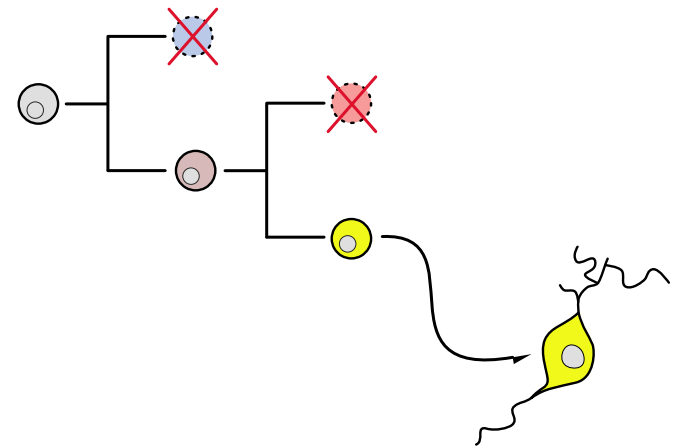
## Production d'une autre cellule



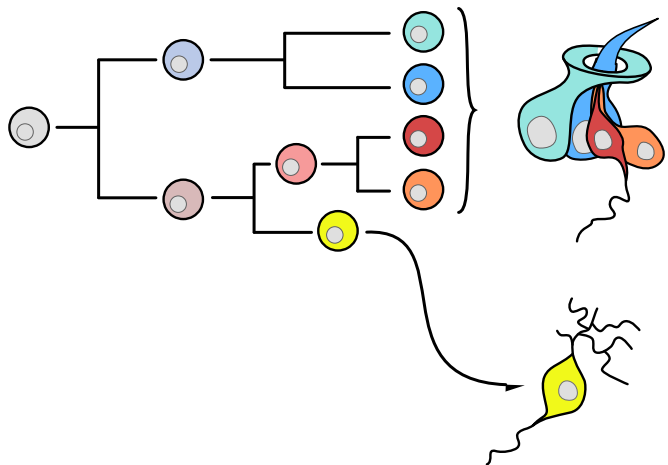
## Production d'une autre cellule



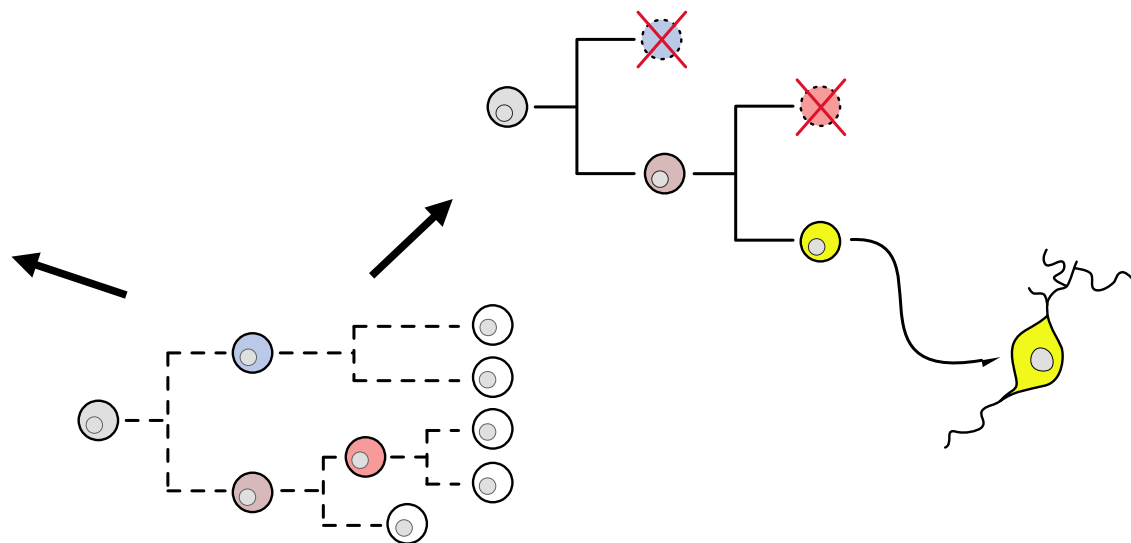
## Mort de deux cellules



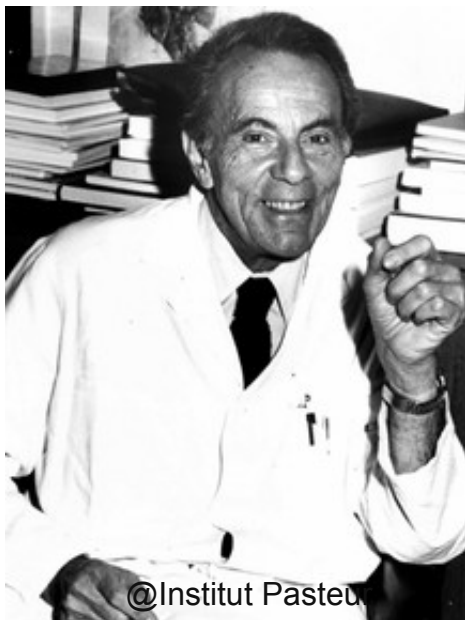
## Production d'une autre cellule



## Mort de deux cellules

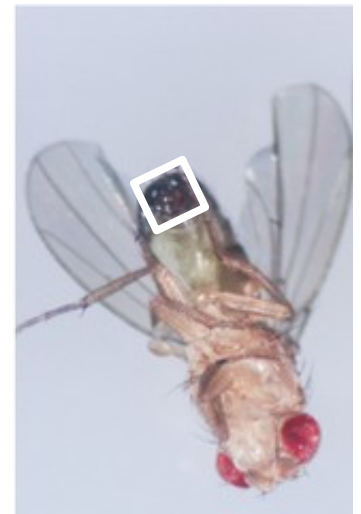
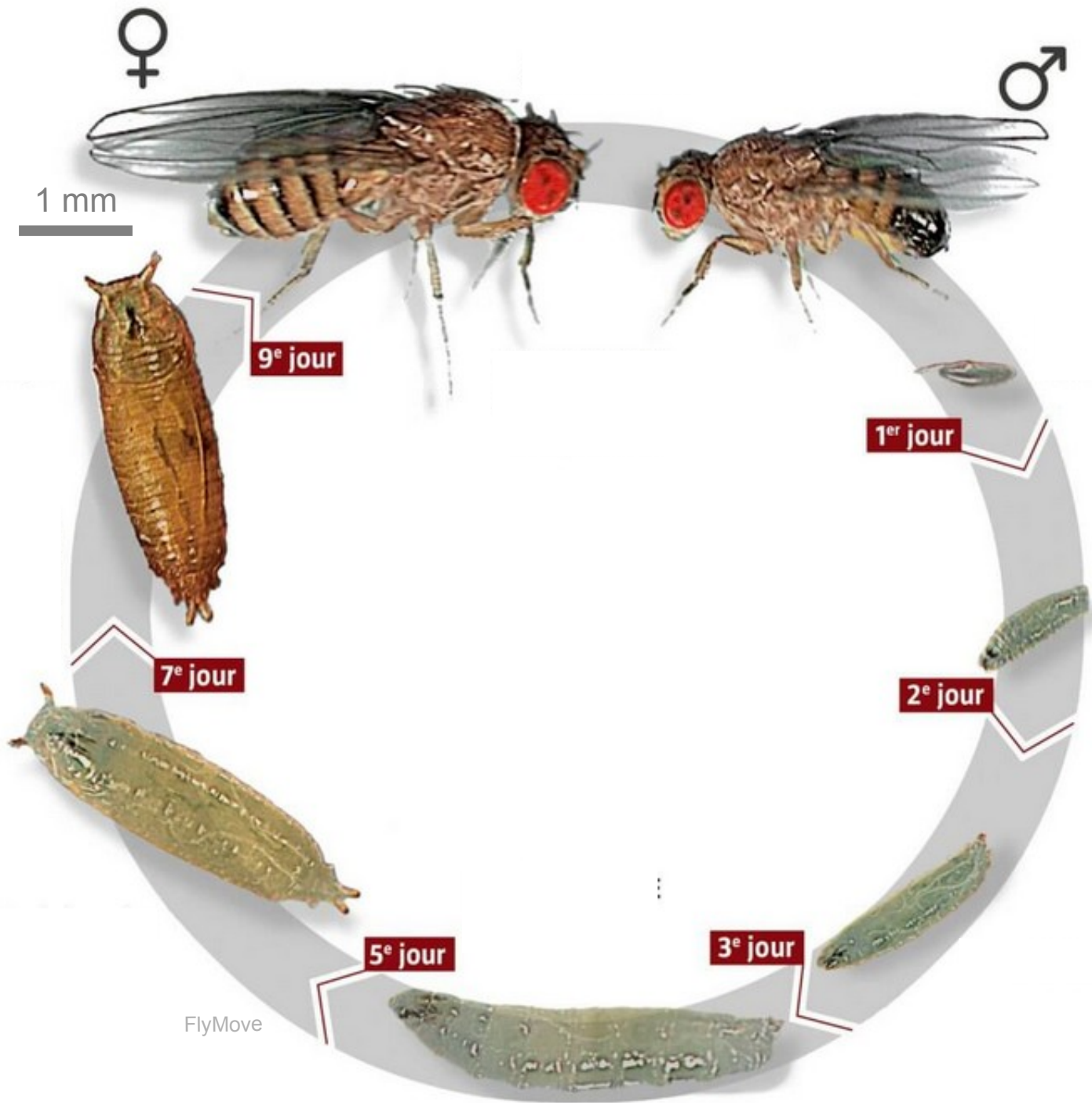


## Un module de base



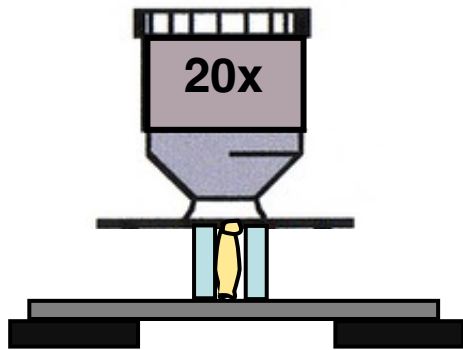
« *Bricolage de l'évolution* »

François Jacob, 1977



*Drosophila melanogaster*

# Les parties génitales tournent de 360° !



0°



90°



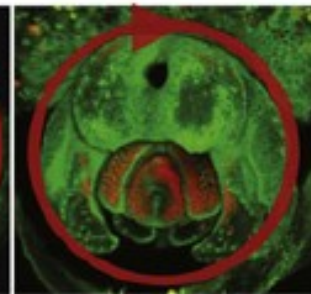
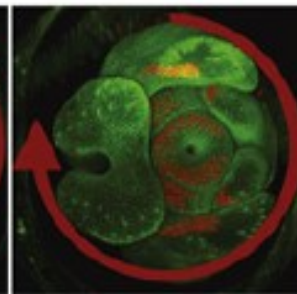
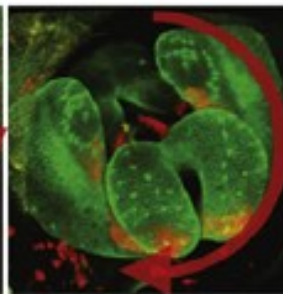
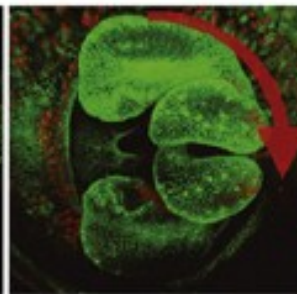
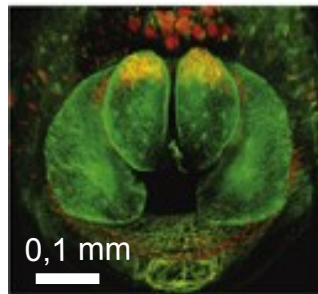
180°



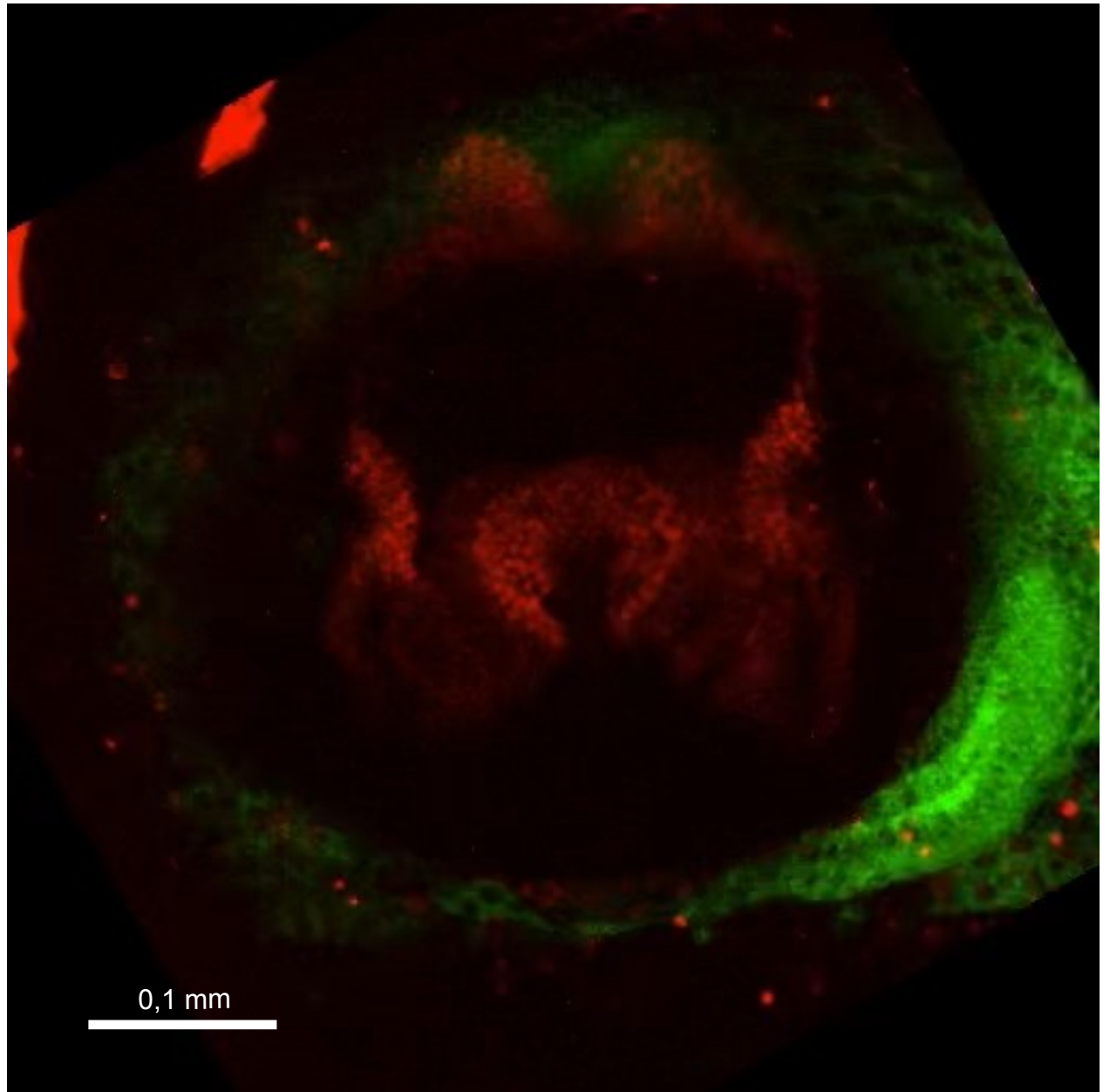
270°



360°



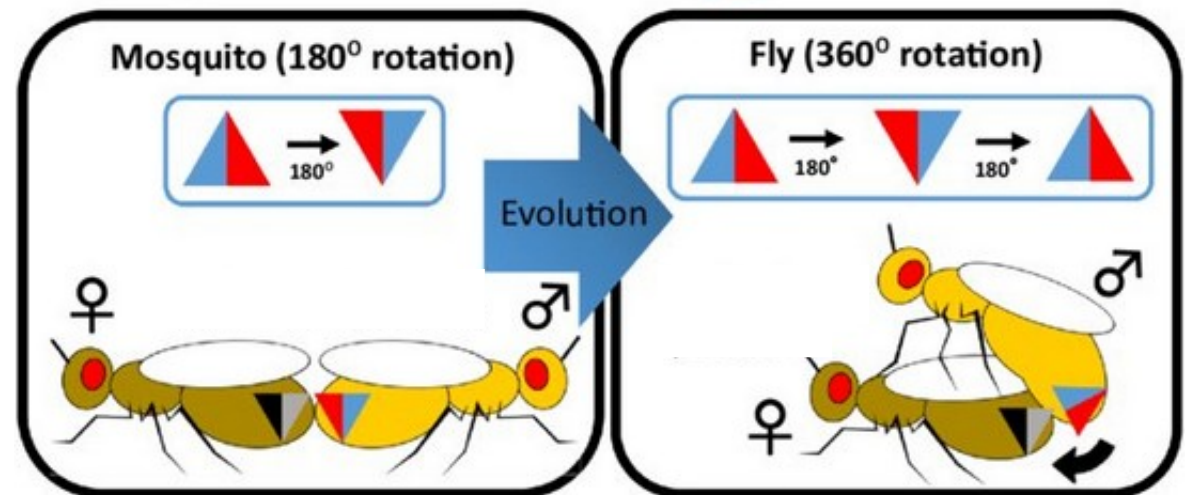
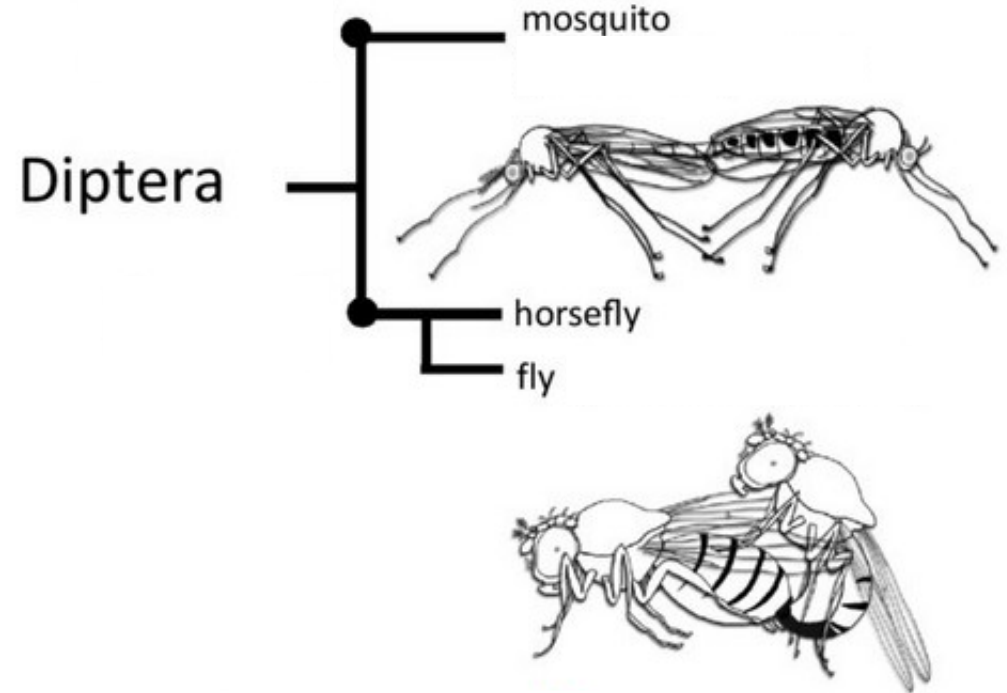
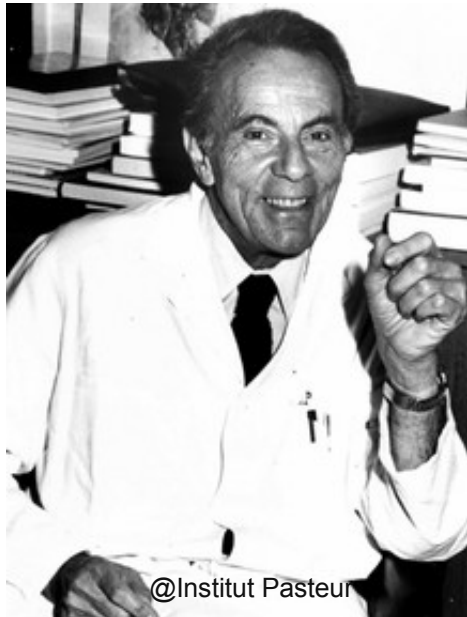
*D. melanogaster*  
*AbdB > CD8-GFP ; hh-DsRed*  
Une image toutes les 15 min  
de 25h AFP à 40h AFP



# Cette rotation a plus de sens à la lumière de l'évolution

« *Bricolage de l'évolution* »

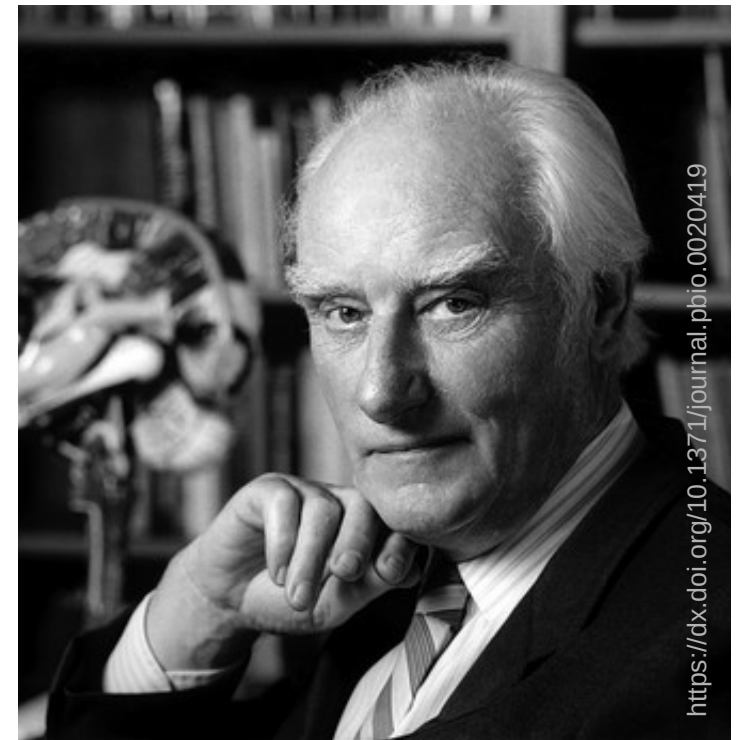
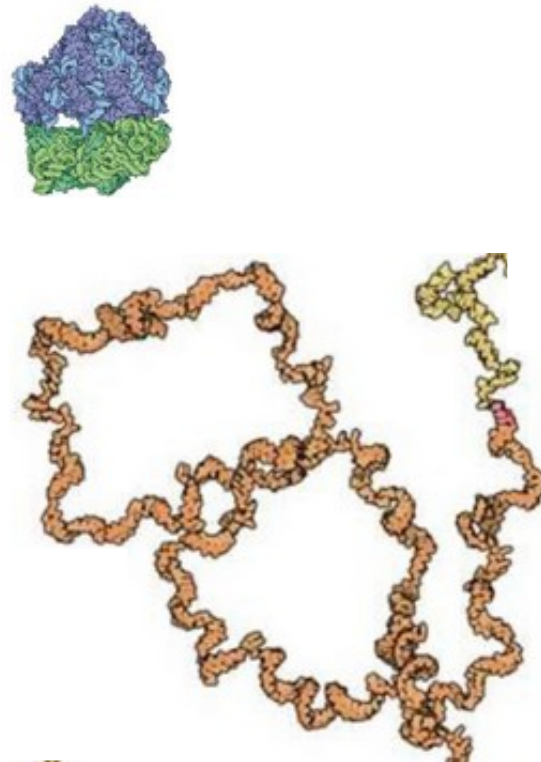
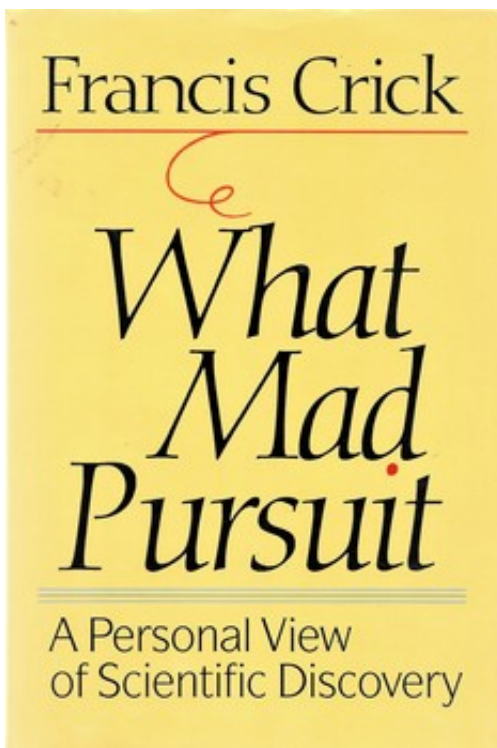
François Jacob, 1977





« Qui aurait eu l'audace de dire que l'ARN [ribosomique] que nous avons vu là n'était pas le messenger, mais que le messenger était un autre type d'ARN ? (...) Pourtant, nous étions parfaitement conscients que quelque chose n'allait pas et nous cherchions continuellement à savoir ce que c'était. C'est cette insatisfaction à l'égard de nos idées qui nous a permis de repérer l'erreur. Si nous n'avions pas été aussi consciencieux en nous attardant sur ces contradictions, nous n'aurions jamais vu la réponse. »

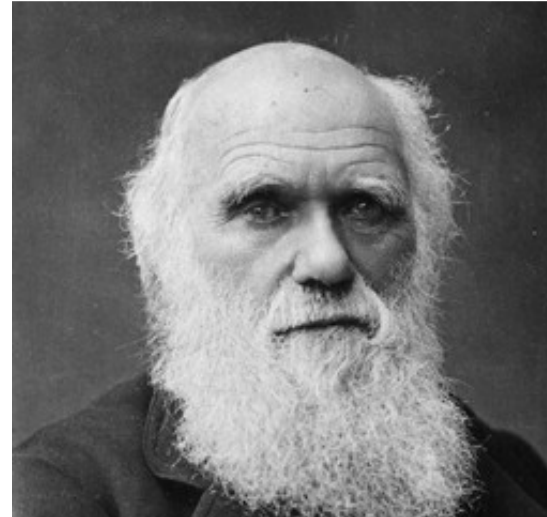
Francis Crick 1988



# Les entités biologiques sont souvent plus complexes que ce qu'on imagine

AAAAA  
AAAAAAA  
AAAAAAAAA  
AAAAAAAAAAA  
AAAAAAàAAAAA  
AAAAAAV VAAAAA  
AAAAAAV VAAAAA  
AAAAAAV VAAAAA  
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA  
AAAAAAAAAAAAAAAAÄÄAAAAAAAAA  
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA進  
AAAAAAV VAAAAA  
AAAAAAV VAAAAA  
AAAAAAV VAAAAA  
AAAAAAV VAAAAA

# Les explications ne sont pas toujours les plus simples





© F.C. Franklin - Wikipedia

***Erithacus rubecula***  
**Rouge-gorge familier**

Présent d'octobre à mars en Europe  
puis discret en période de reproduction

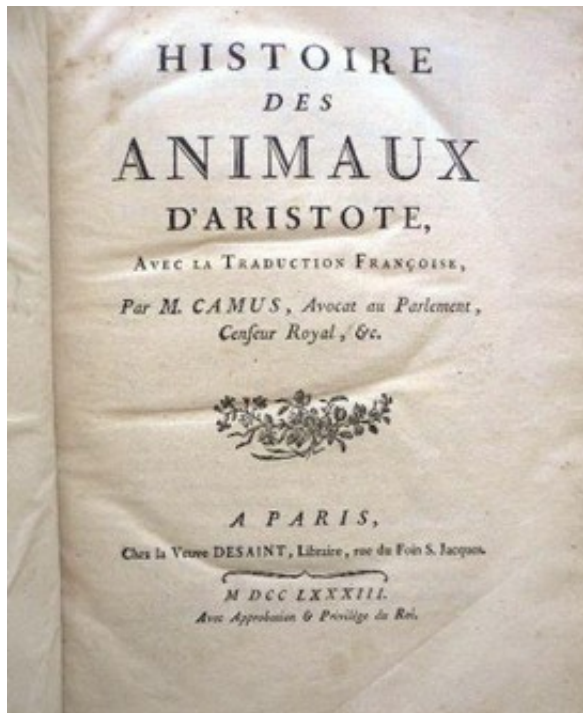


© Cyril Lecoanet

***Phoenicurus ochruros***  
**Rougequeue noir**

Présent de mars à août en Europe

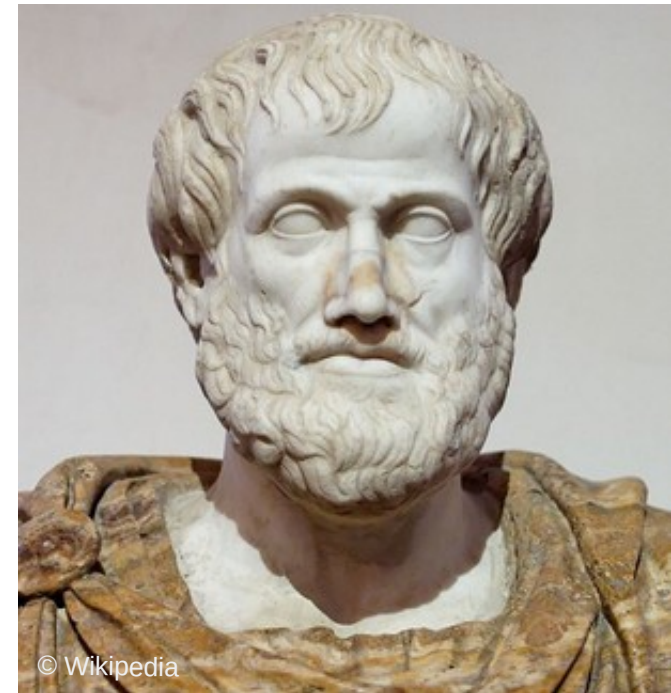
« L'erithacus (ou rouge-gorge) et le rougequeue se transforment l'un en l'autre ; le premier est un oiseau d'hiver, le second un oiseau d'été, et la différence entre eux se limite pratiquement à la coloration de leur plumage. (...) Ces oiseaux ne diffèrent également l'un de l'autre que par la couleur et la note ; que ces oiseaux, deux en nom, ne sont qu'un en réalité est prouvé par le fait qu'à l'époque où le changement est en cours, chacun a été vu avec le changement encore incomplet. »



Aristote, vers 340

Version anglaise :  
Livre VIII, IX, 49B

Version française :  
Livre IX, chapitre XXXVIII, 3



© Wikipedia

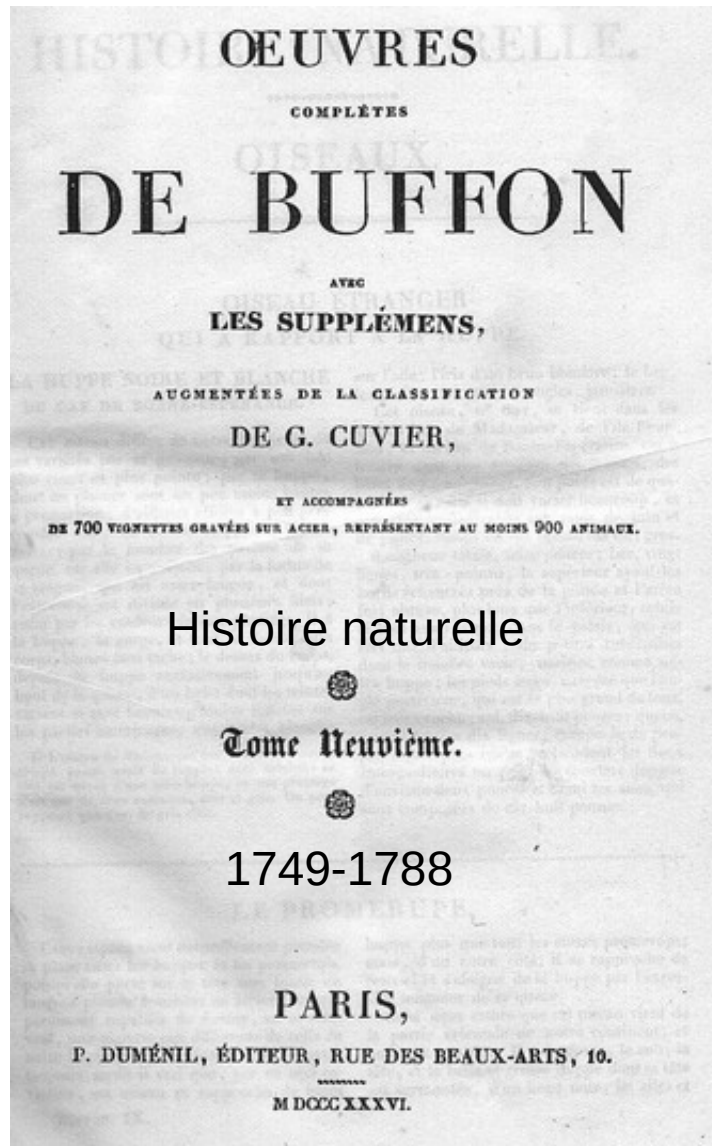


© Wikipedia

Histoire et nature des peuples du Nord  
par l'archevêque suédois Olaus Magnus, 1555

Des hirondelles  
avec les poissons !

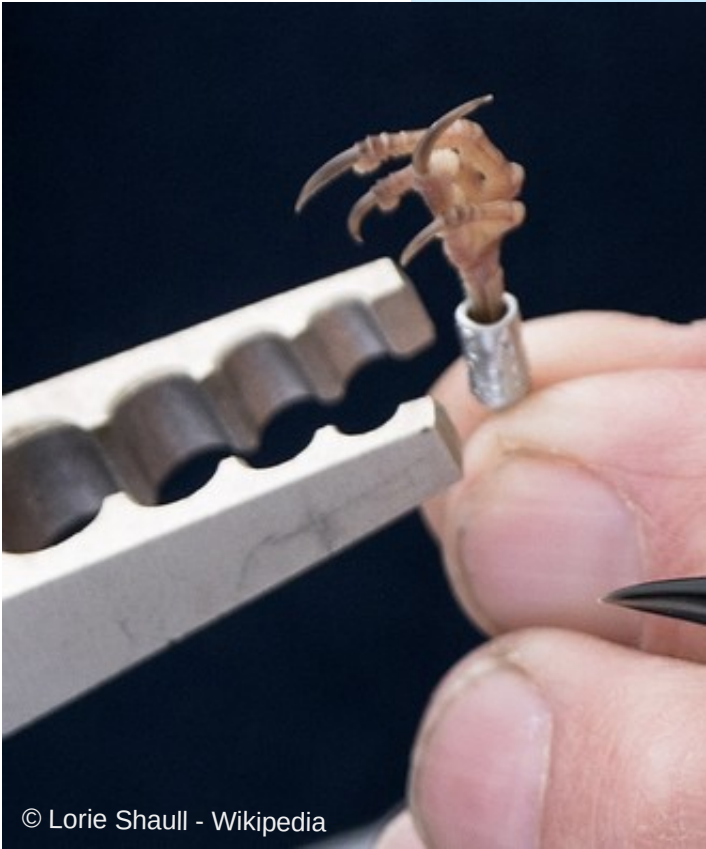
Buffon consacre plusieurs pages à montrer que les hirondelles n'hibernent pas.



# Baguage des oiseaux



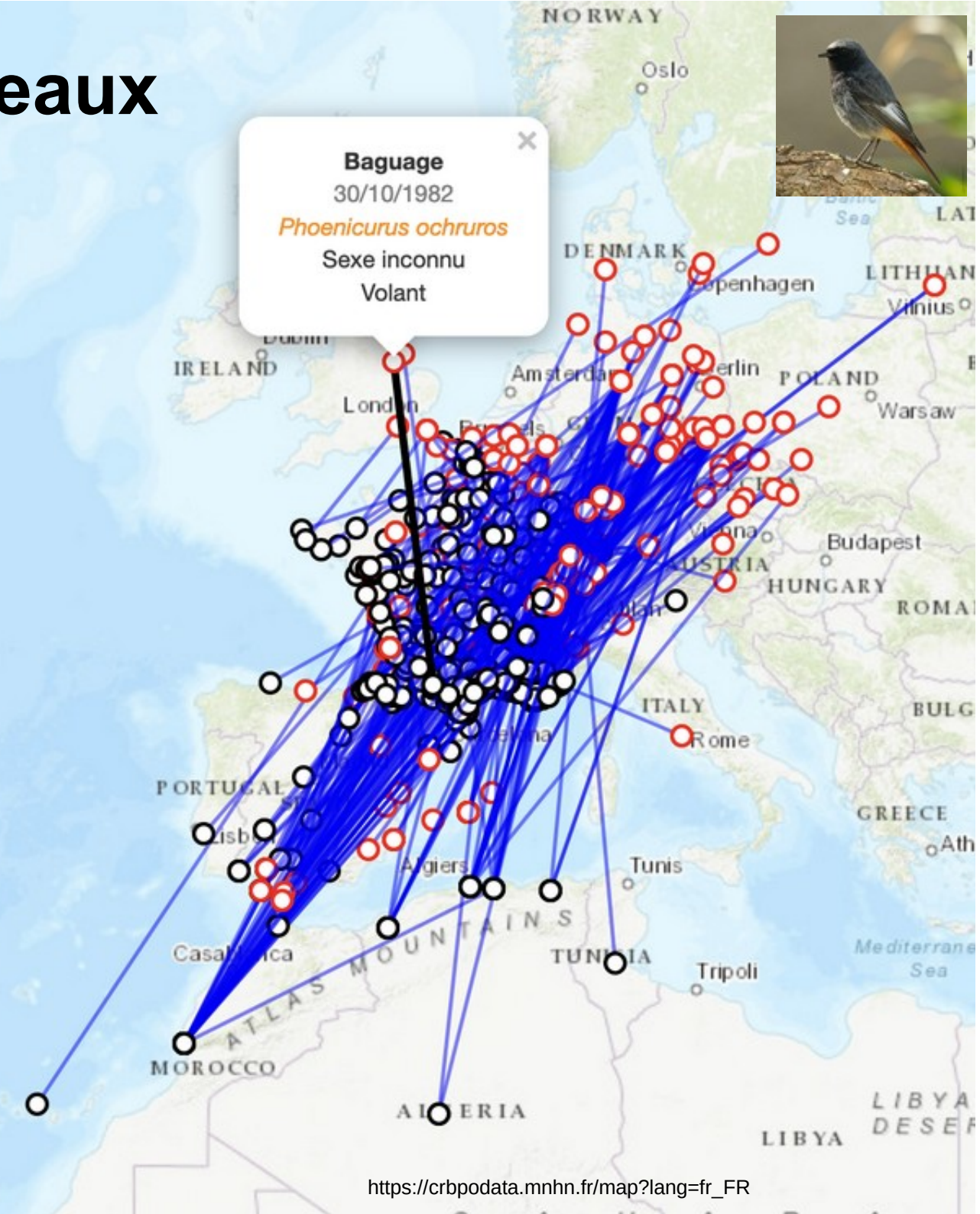
**Baguage** ✕  
30/10/1982  
*Phoenicurus ochruros*  
Sexe inconnu  
Volant



© Lorie Shaull - Wikipedia

Légende

- Baguage
- Contrôle
- Mort (reprise)





# GPS

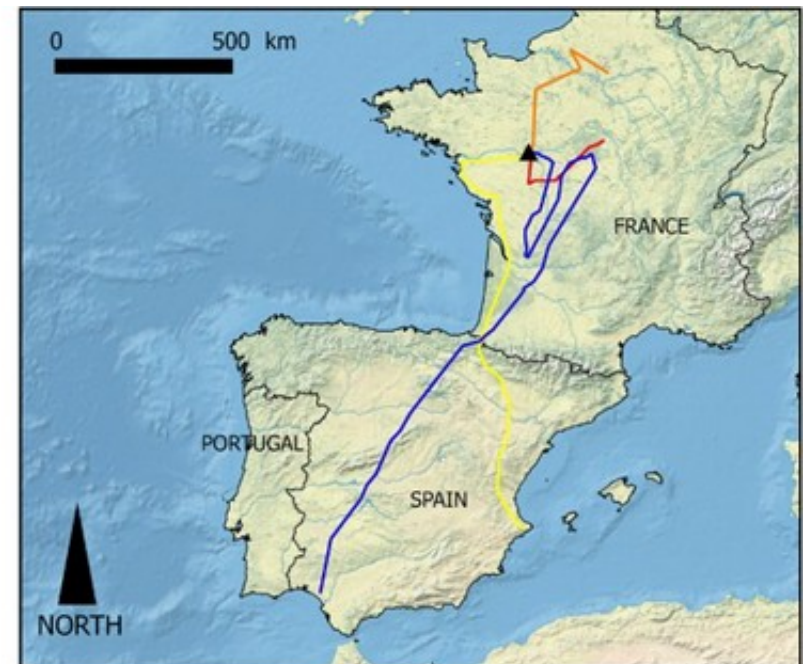


Cigognes noires



Balises Argos de 45g

Trajet de 4 frères et soeurs entre juillet 2006 et février 2007





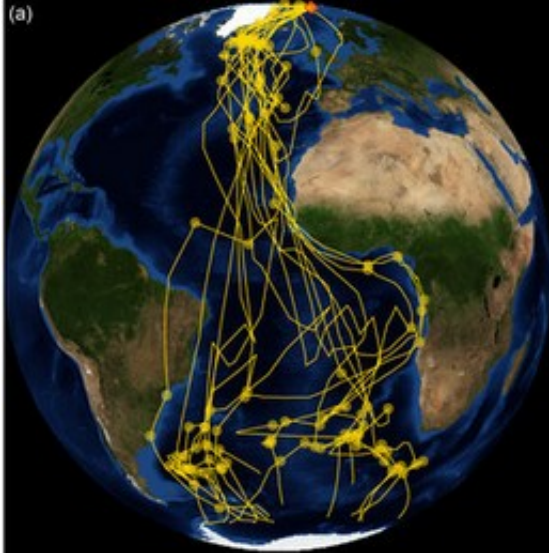
<https://www.pathtrack.co.uk/species/arctic-tern/>

# Sternes arctiques



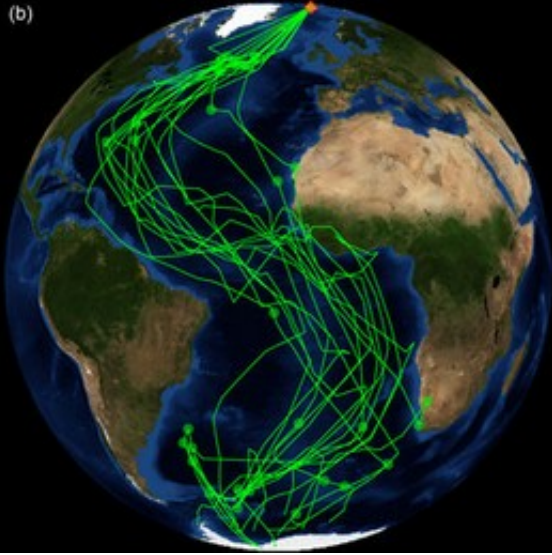
© Sara Maxwell/University of Washington

Vers le Sud  
en 80 jours



23 000 km

Vers le Nord  
en 50 jours

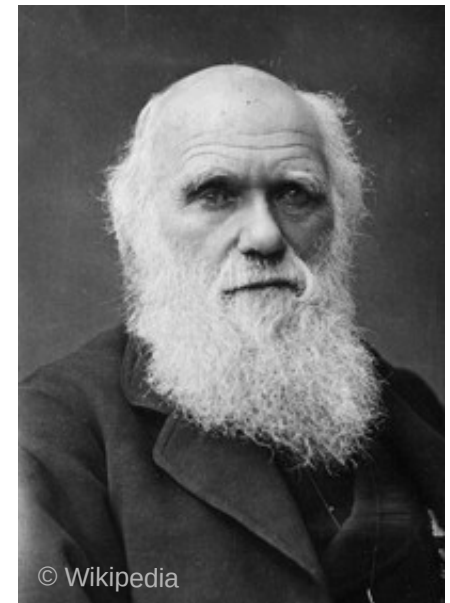


23 000 km

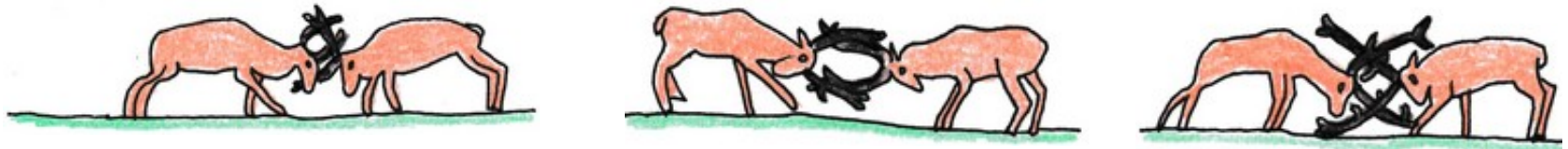
# La théorie de l'évolution

Nouvelle explication de la diversité du vivant

Une plus grande variété de traits de caractère  
De nombreux individus ne survivent pas



Lamarck



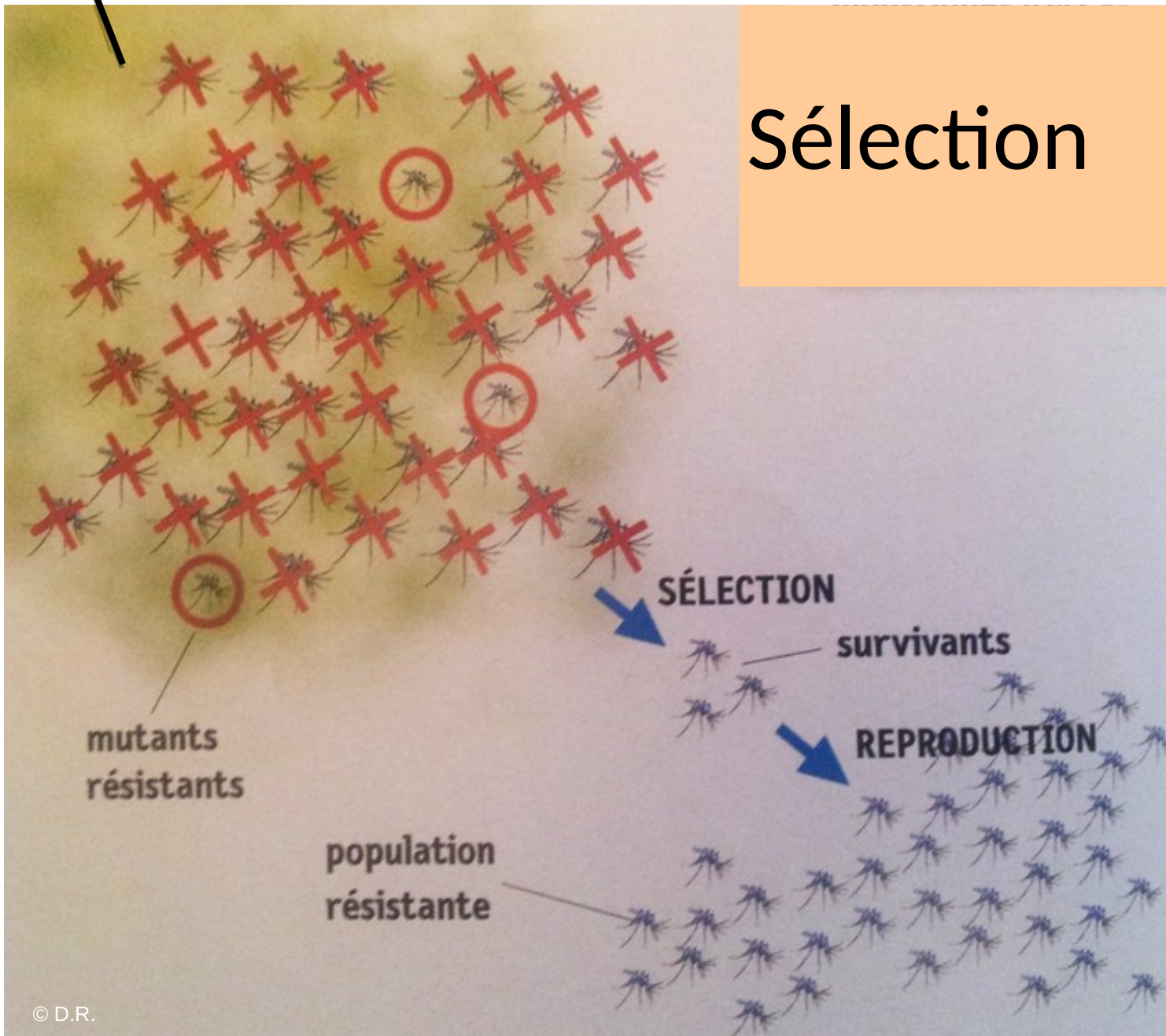
Darwin  
&  
Wallace



© V.C.

Insecticide

# Sélection



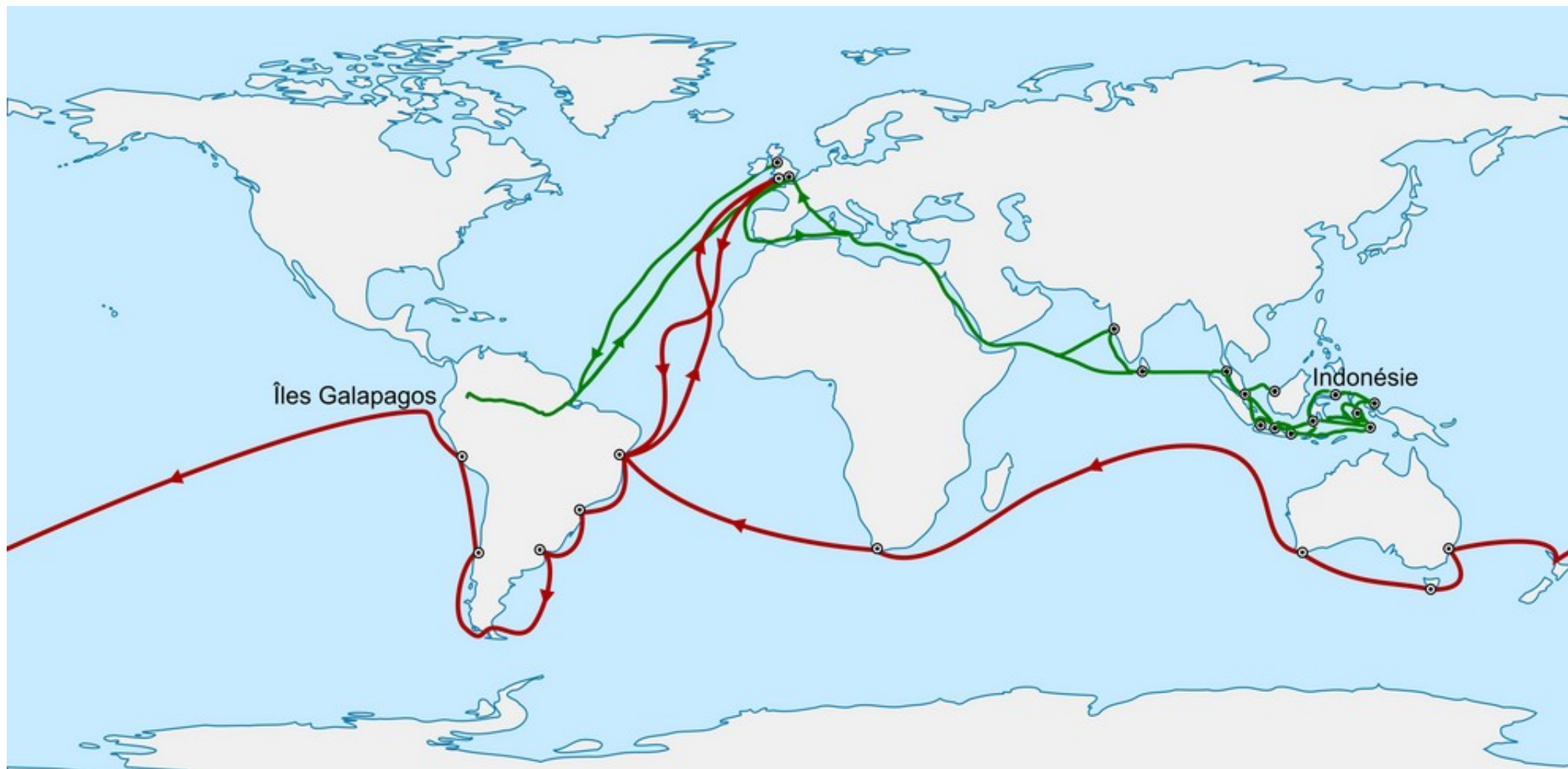
# La théorie de l'évolution



Charles Darwin (1809-1882)



Alfred R. Wallace (1823-1913)



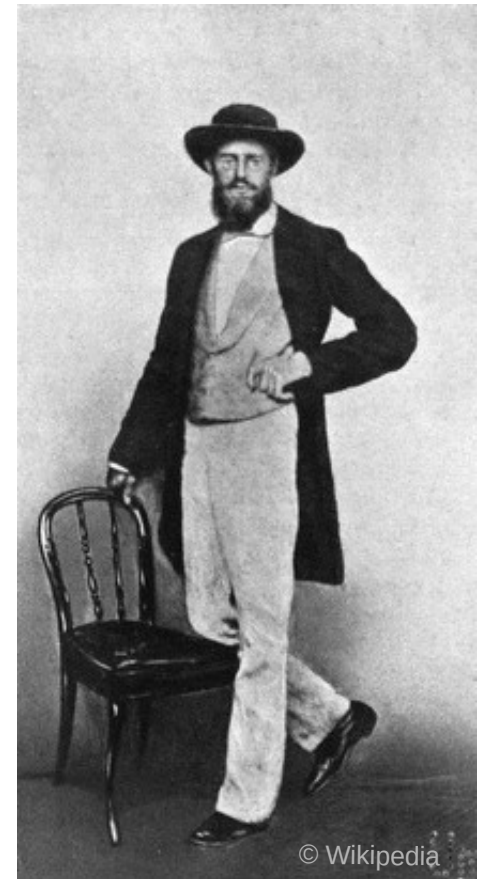
Adapté de Wikipedia

- Darwin : 5 ans sur le Beagle (1831-1836)
- Wallace : Brésil (1848-1852), Malaisie et Indonésie (1854-1862)

*« Des lieux distants de moins de cinquante ou cent miles abritent souvent des espèces d'insectes et d'oiseaux différentes. Il doit y avoir une frontière qui détermine l'aire de répartition de chaque espèce; une ligne marquée par une spécificité particulière qu'aucune ne franchit. »*

*« Tous les ouvrages d'histoire naturelle regorgent de détails sur la merveilleuse adaptation des animaux à leur nourriture, à leurs moeurs et aux milieux dans lesquels ils vivent. Mais les naturalistes commencent à regarder au-delà et à penser qu'il doit exister un autre principe qui contrôle les formes infiniment variées de la vie animale. »*

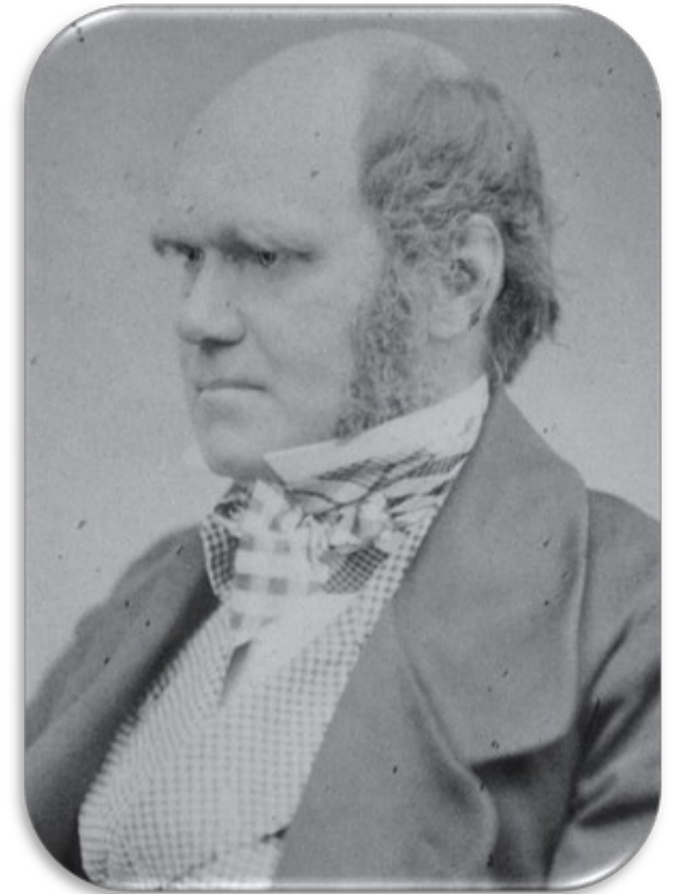
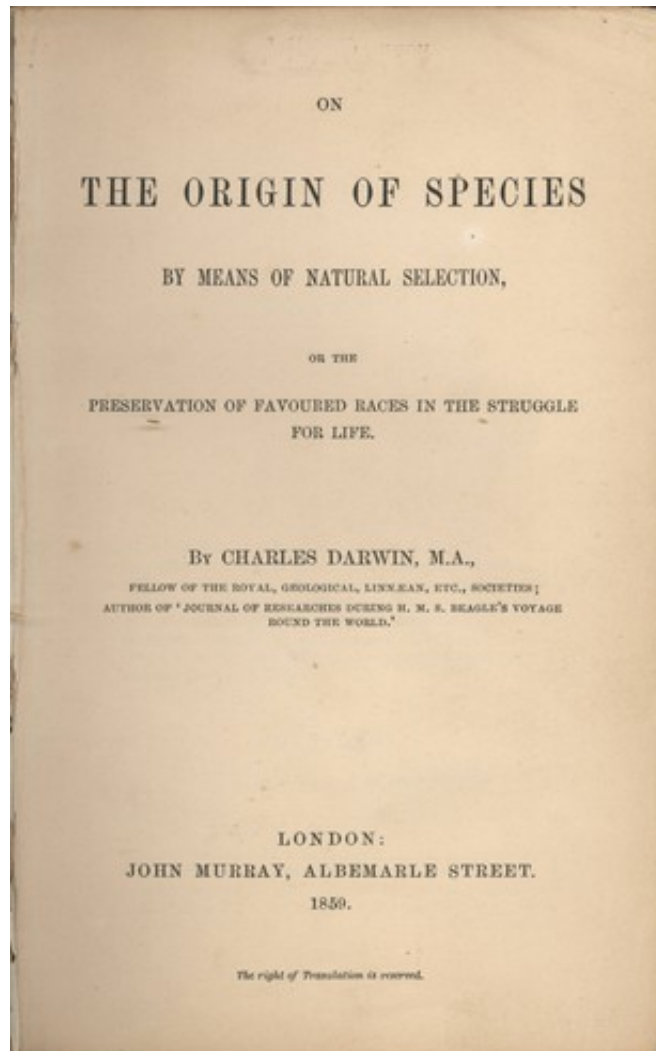
Alfred R. Wallace



Charles Darwin

1859

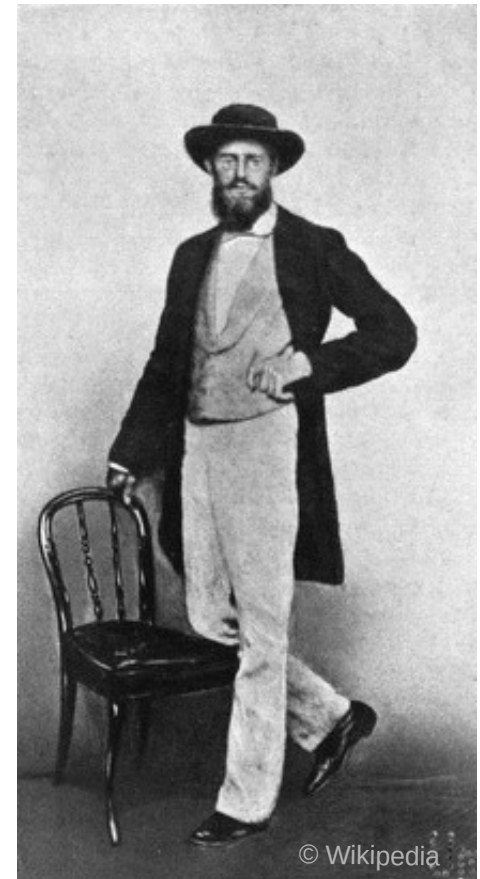
« L'origine des espèces »





*« Je n'aurais jamais pu approcher la perfection de cet ouvrage, sa vaste accumulation de preuves, sa puissante argumentation, son ton et son esprit admirables. Je suis heureux de ne pas avoir eu la charge de livrer la théorie au monde entier. »*

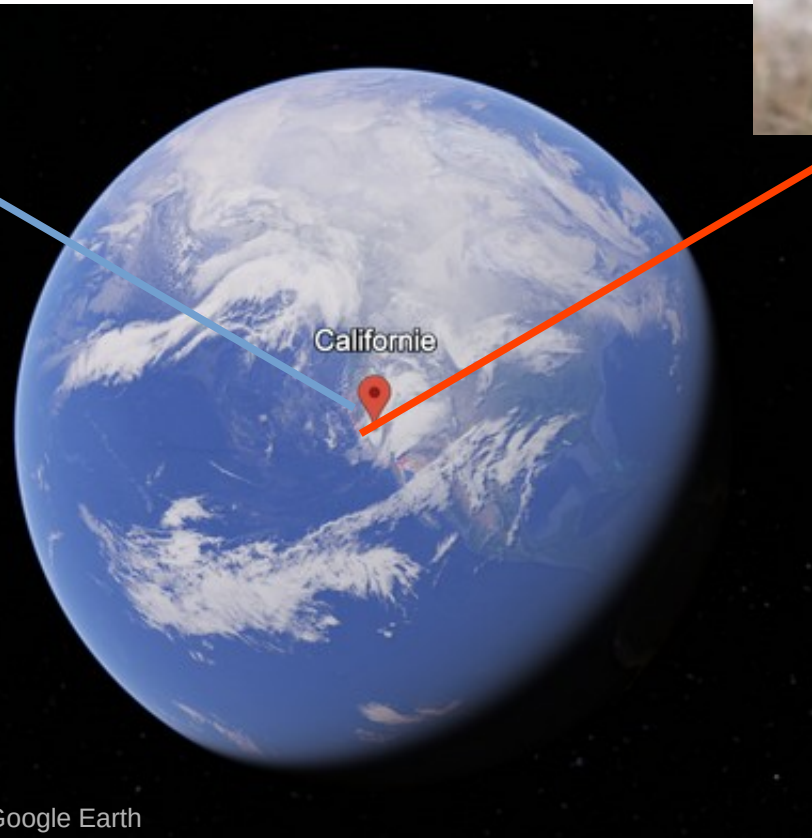
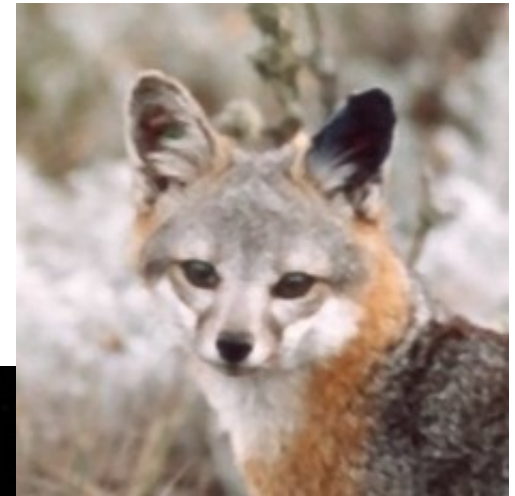
Lettre d'Alfred R. Wallace à un ami



Quel est le rôle des  
loutres de mer ?



Pourquoi les renards insulaires  
disparaissent-ils  
des Channel Islands ?





# Kelp Forest Ecosystem

Consommateurs

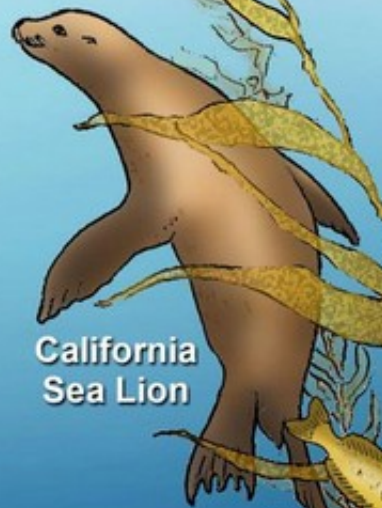


Sea Otter

Kelp Bass

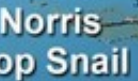


Giant Kelp



California Sea Lion

Norris Top Snail



Giant Kelpfish



Producteurs primaires

California Sheephead



Red Algae



Brouteurs

Garibaldi Fish



Sea Urchin



Rockfish



Sunflower Sea Star



Sea Hare

Sea Mussels

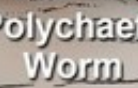


Abalone



Détritivores

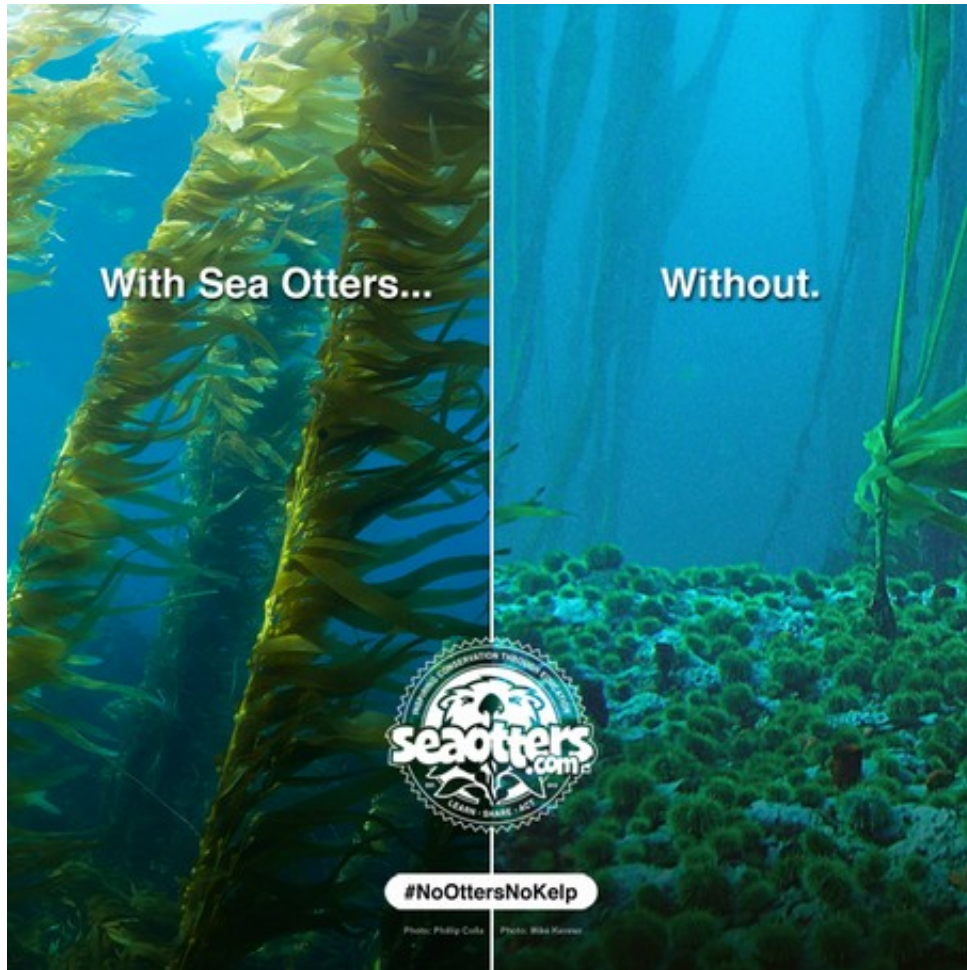
Polychaete Worm



Brittle Star



# Commerce des fourrures de loutre XVIII-XIXe siècles



© Lynn Lee – Watson et Estes 2011

Atmospheric carbon pool  
 $1530 \text{ g C m}^{-2}$

Kelp NPP  
 $313\text{--}900 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

Respiration\*  
 $156\text{--}897 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

Kelp carbon pool  
 $101\text{--}180 \text{ g C m}^{-2}$

Deep ocean transport\*  
 $3\text{--}450 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

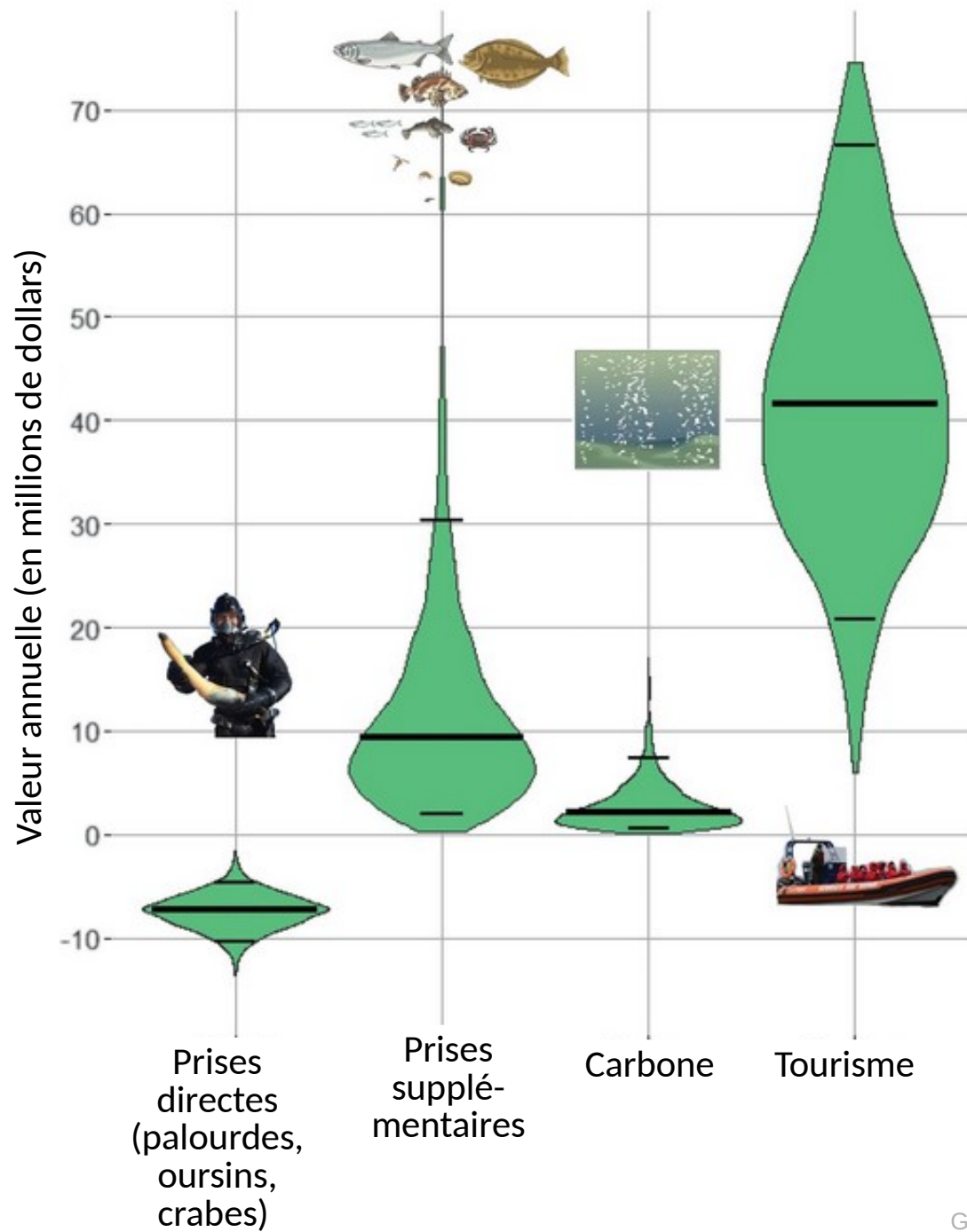
Atmospheric carbon pool  
 $1530 \text{ g C m}^{-2}$

Kelp NPP  
 $25\text{--}70 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

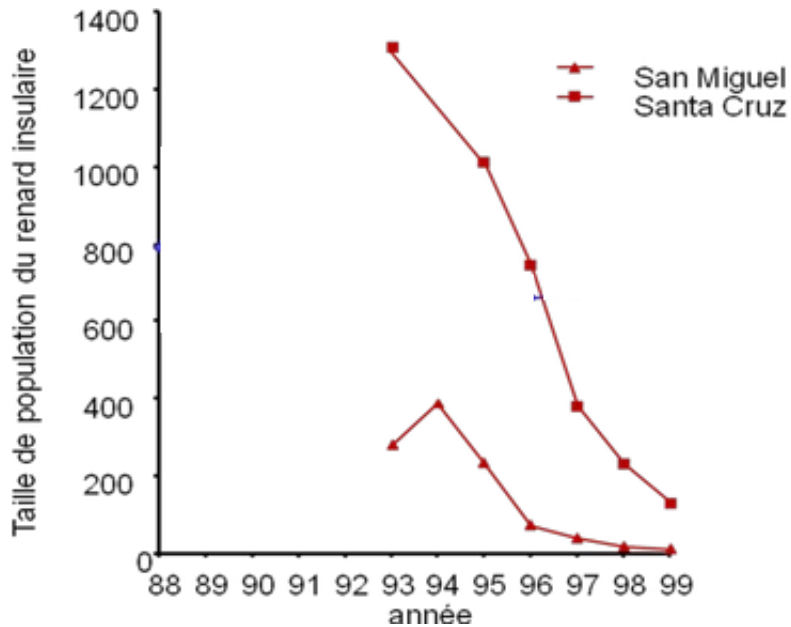
Respiration\*  
 $12.5\text{--}69.75 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

Kelp carbon pool  
 $8\text{--}14 \text{ g C m}^{-2}$

Deep ocean transport\*  
 $0.25\text{--}35 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

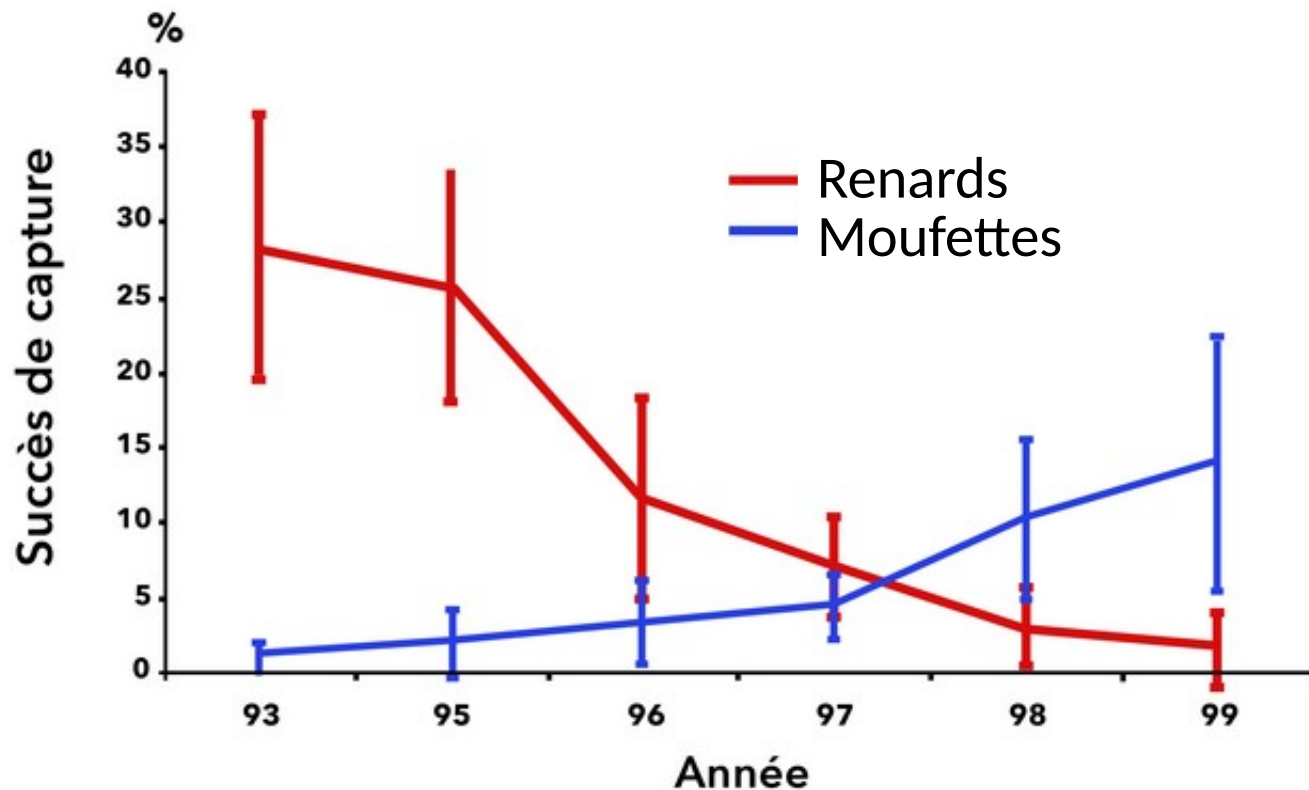


# Pourquoi les renards insulaires disparaissent-ils des Channel Islands ?





# Augmentation du nombre de mouffettes tachetées



Or le renard se place nettement au-dessus de la mouffette pour la compétition pour la nourriture, constituée essentiellement de souris.

# Augmentation du nombre d'aigles royaux

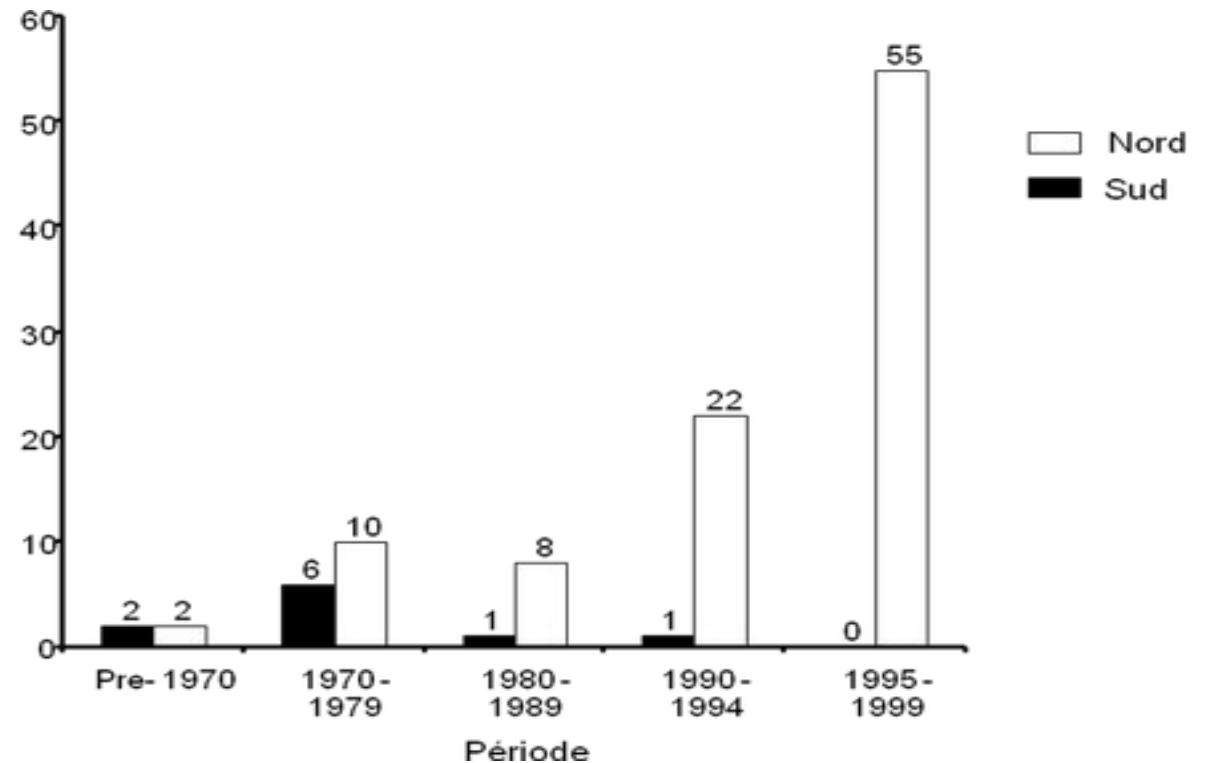
Carcasses de renard avec marques de griffes ou de serres



Les pygargues à tête blanches ont disparu



Nombre d'observations d'aigles royaux



# Augmentation du nombre de cochons sauvages

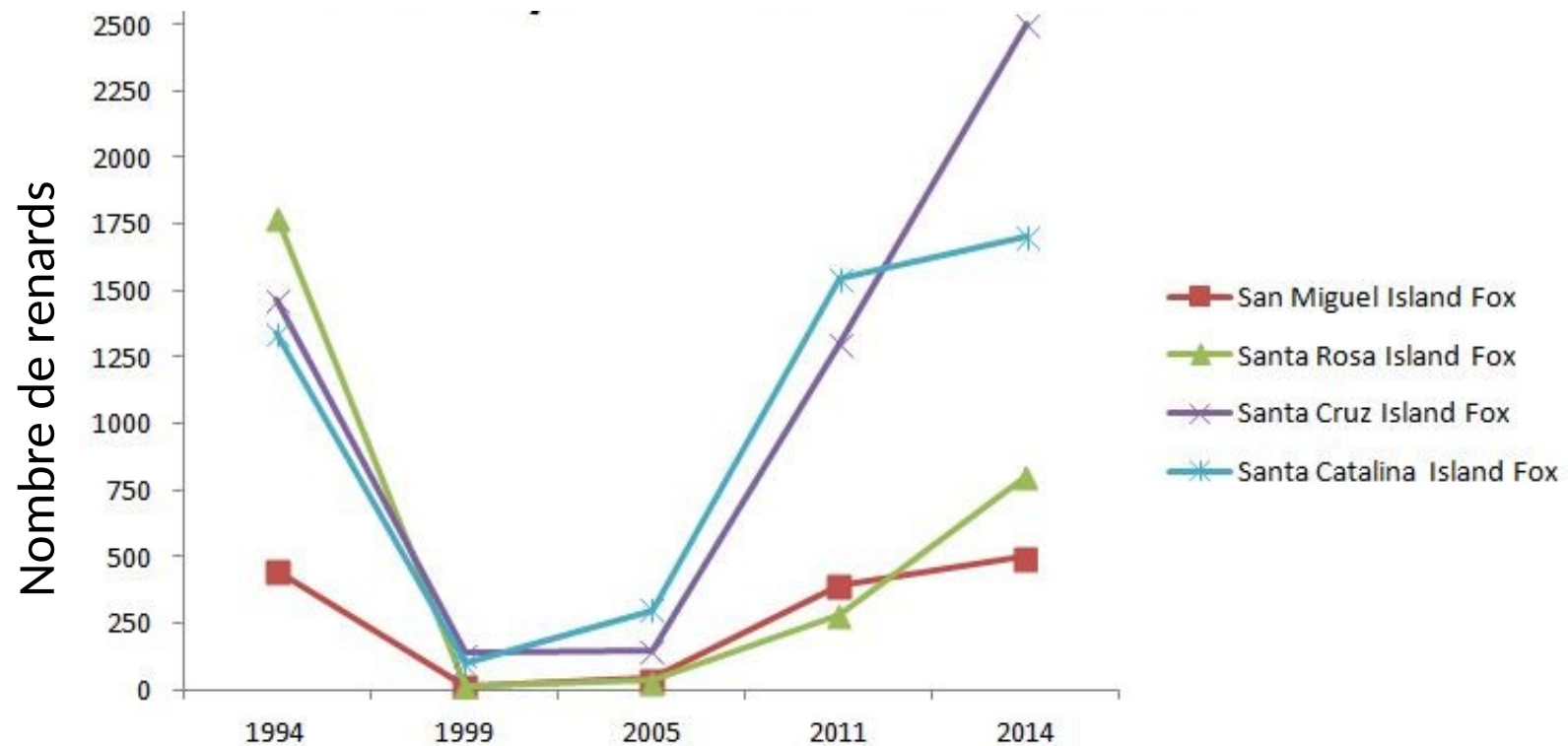


# Succès des mesures de conservation

Élimination des cochons, moutons, chèvres

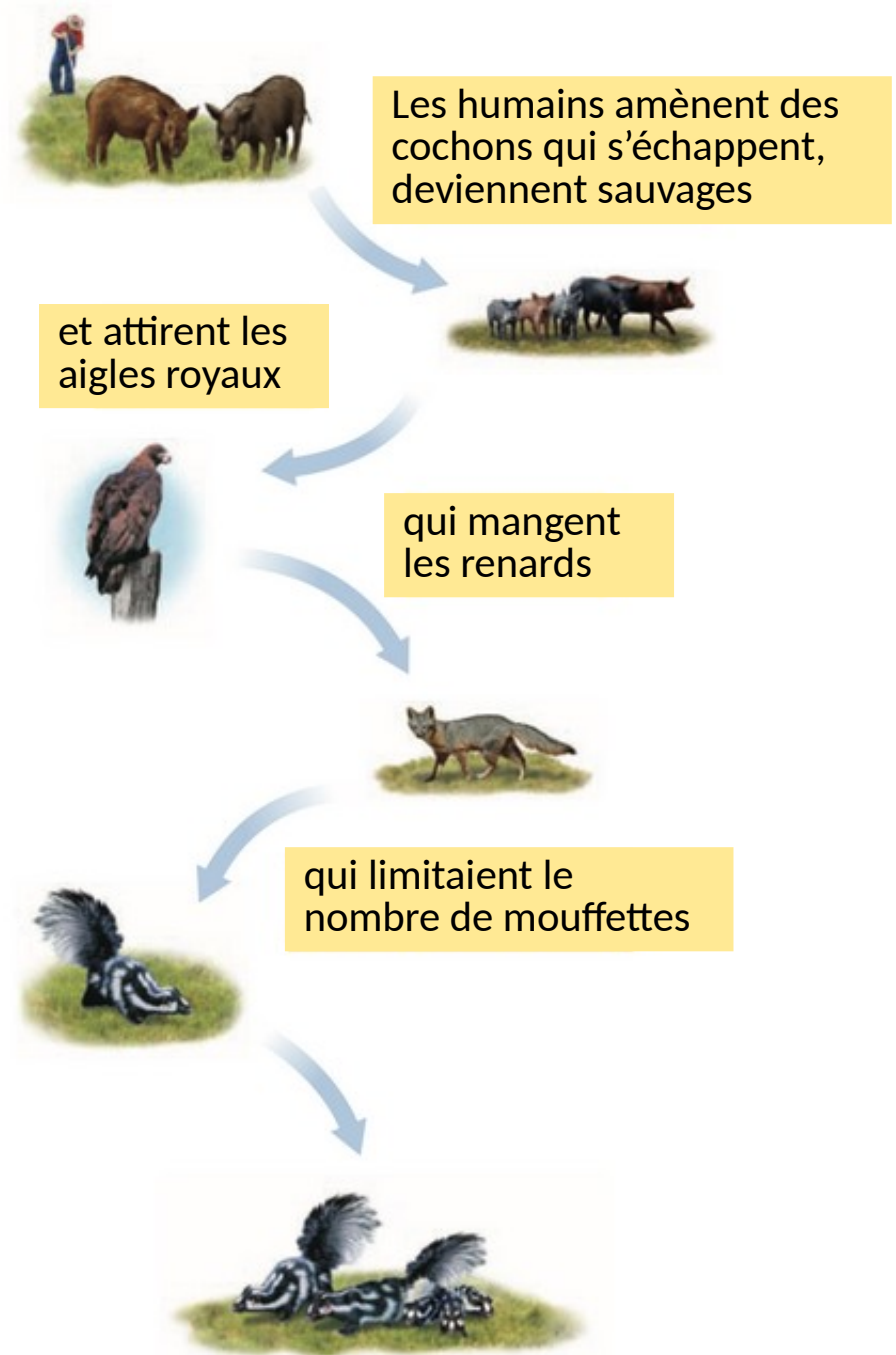
Déplacement des nids d'aigles royaux, réintroduction des pygargues à tête blanche

Arrêt du DDT



# Explication impliquant au moins 4 espèces

- + pygargues à tête blanches
- + DDT
- + poissons



# Le principe de parcimonie

**Les entités biologiques sont souvent plus complexes que ce qu'on imagine**



**Les explications ne sont pas toujours les plus simples**



**Quelles solutions pour comprendre le vivant ?**

*« De nombreux scientifiques acceptent et appliquent ce principe dans leurs travaux, même s'il s'agit d'une hypothèse entièrement métaphysique. Il existe peu de preuves empiriques que le monde est réellement simple ou que les récits simples ont plus de chances d'être vrais que les récits complexes. Notre attachement à la simplicité est en grande partie un héritage de la théologie du XVIIe siècle. »*

## ARTICLE

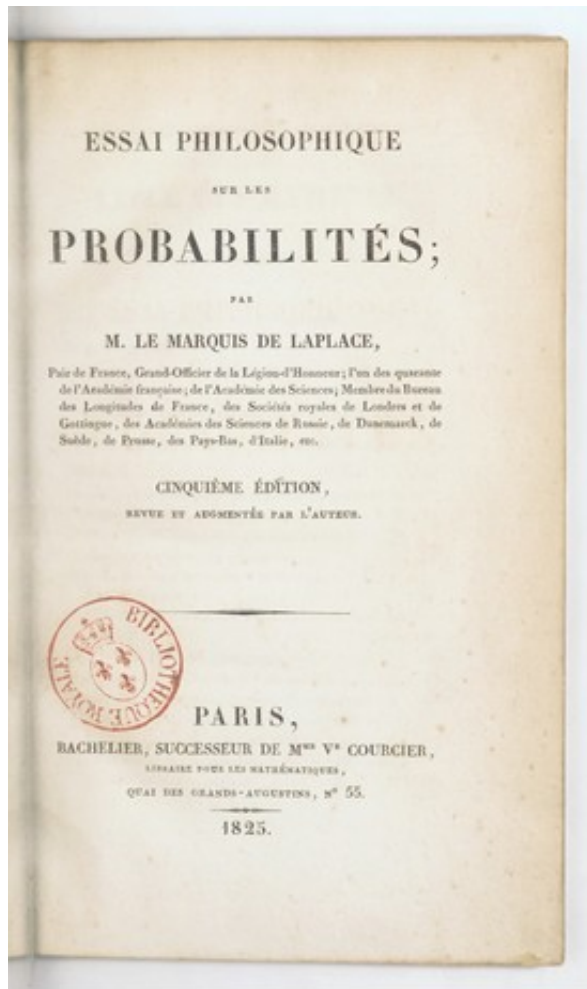
---

# **Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences**

Naomi Oreskes,\* Kristin Shrader-Frechette, Kenneth Belitz

« Nous sommes si loin de connaître tous les agents de la nature et leurs divers modes d'action, qu'il serait peu philosophique de nier les phénomènes, uniquement parce qu'ils sont inexplicables dans l'état actuel de nos connaissances. Seulement, nous devons les examiner avec une attention d'autant plus scrupuleuse qu'il paraît plus difficile de les admettre. »

Pierre-Simon de Laplace, 1825



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



© Wikipedia



## Affirmation (observation)



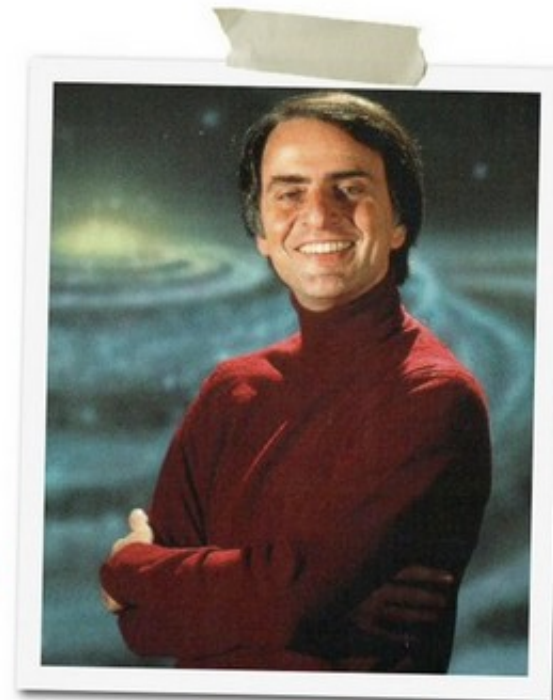
Garr Reynolds  
@presentationzen



"Extraordinary claims require extraordinary evidence." - Carl Sagan

**“What counts is not what sounds plausible, not what we would like to believe, not what one or two witnesses claim, but only what is supported by hard evidence rigorously and skeptically examined. Extraordinary claims require extraordinary evidence.”**

**— Carl Sagan**



# Extraordinary claims on Covid-19's origin require extraordinary evidence

10 Jun 2021 | Richard Harrison

*Affirmation (proposition, hypothèse)*

SHARE



# Origine du coronavirus SARS-CoV-2

## What are the hypotheses?

### Lab Leak

- Bioweapon
- Chimeric virus
- Culture
  - Gain of Function research (tissue culture or animals)
  - Natural virus
- Sampling of bats for research purposes (zoonosis)
- Contaminated sample brought to the lab (zoonosis)

### Natural Emergence

- Zoonotic spillover

Kristian Andersen



© Don Boomer

 THE ROYAL  
SOCIETY

# Philosophical Transactions

of The Royal Society

**Biological Sciences**

2001

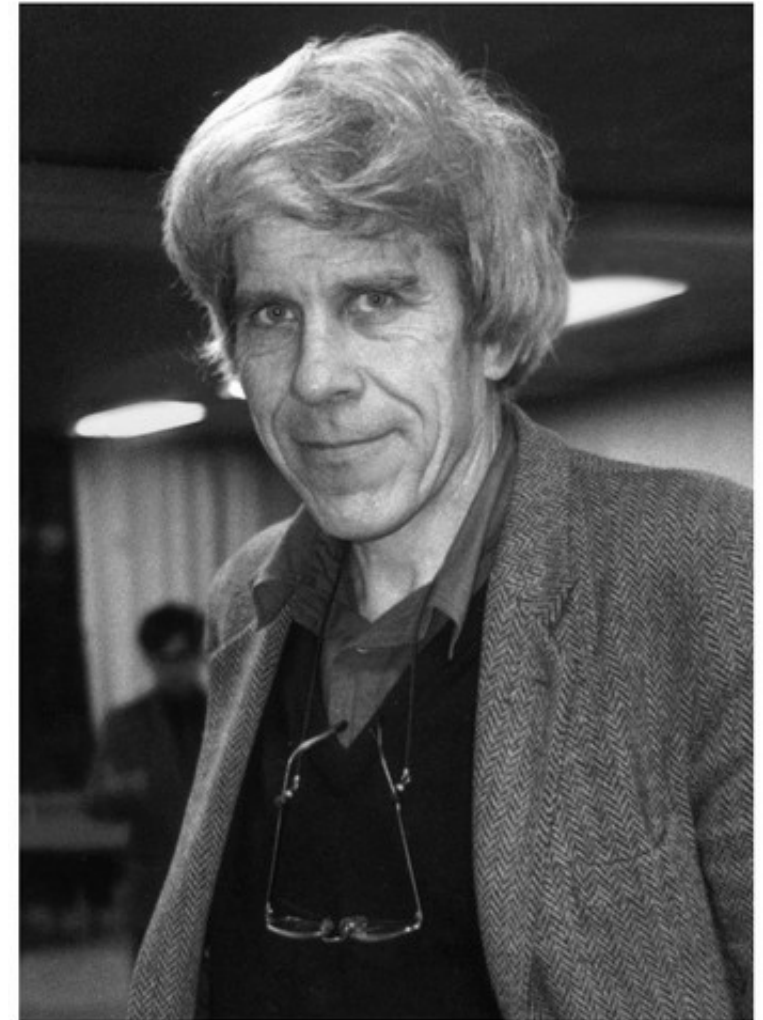
Special Issue

**Origins of HIV and the AIDS epidemic**

Papers of a Discussion Meeting organized by

W. Hamilton, R. A. Weiss and S. Wain-Hobson

and edited by R. A. Weiss and S. Wain-Hobson



*W.D. Hamilton*

Bill Hamilton

## Conclusion

Les entités biologiques sont souvent plus complexes que ce qu'on imagine.  
Les meilleures explications ne sont pas toujours les plus simples.

Solutions pour comprendre le vivant :

Envisager d'autres hypothèses, même si elles sont plus compliquées, et les tester.

Garder l'esprit ouvert.



2020



1859

