

**SBIO – B106**  
**Biologie animale**  
**Invertébrés**

Titulaire:  
Prof. Karine Van Doninck

# SBIO B106

---

- **Cours théorique** en audiovisuel: outil multimédia informatisé sur les non vertébrés: [http://www.afd-ld.org/~fdp\\_zoologie/](http://www.afd-ld.org/~fdp_zoologie/) (logo Namur)  
+ des séances: résumé et questions/réponses

**Pr. K. Van Doninck**

- **Travaux pratiques**: 7 séances de 4h

Salle TP

3 groupes, horaire se trouve sur webcampus

**Assistants: Boris Hespeels et Marie-Laurence Hubin**

- **Calendrier:**

6-7h d'introduction: 31/1 (2h), 4/2 (1h), 7/2 (2h), 14/2 (2h)

Sem. 4 - Je. 21/2 (2h): résumé du chapitre Protistes

Sem. 4 - Je. 21 & ve. 22/2: TP1 Protistes

Sem. 5 - Je. 28/2 (2h): résumé du chapitre Spongiaires / Cnidaires

Sem. 5 - Je. 28 & ve. 29/2: TP2 Spongiaires / Cnidaires

Sem. 7 - Je. 14/3 (2h): résumé Plathelminthes

Sem. 7 - Je. 14 & ve. 15/3: TP3 Plathelminthes

Sem. 8 - Je. 21/3 (2h): résumé Nématodes / Rotifères

Sem. 8 - Je. 21/3 & ve. 22/3: TP4 Nématodes / Rotifères

Sem. 10 - Je. 18/4 (2h): résumé Mollusques

Sem. 10 - Je. 18/4 & ve. 19/4: TP5 Mollusques

Sem. 11 - Je. 25/4 (2h): résumé Annélides

Sem. 11 - Je. 25/4 & ve. 26/4: TP6 Annélides

Sem. 12 - Je. 2/5 (2h): résumé Arthropodes

Sem. 12 - Je. 2/5 & ve. 3/5: TP7 Arthropodes

Lu. 6/5 & lu. 13/5: analyse transversale des groupes taxonomiques (des systèmes)

# SBIO B106

---

- **Pratique:**

Cours théorique en B01

TP en salle TP (URBE)

Pour la partie audiovisuel

- Salle bioinfo disponible chaque vendredi matin: pools B02 et B03
- Si nécessaire les pools bioinfo sont également libres certains vendredis après-midi
- Des tablettes sont disponibles pendant l'heure du midi, à réserver chez Pr. Karine Van Doninck ([karine.vandoninck@fundp.ac.be](mailto:karine.vandoninck@fundp.ac.be))

- **Support:**

1 syllabus pour la théorie à imprimer (voir [http://www.afd-ld.org/~fdp\\_zoologie/](http://www.afd-ld.org/~fdp_zoologie/))  
et des notes pour le TP

Sur webcampus: forum de discussion, annonces, pdf des cours magistraux

# Multimédia

---

- **Allons sur le site:** [http://www.afd.be/~fdp\\_zoologie/](http://www.afd.be/~fdp_zoologie/)

Cours en auditoire

Cours audiovisuel avec l'arbre de la vie (simplifié)

Syllabus interactif: compléter grâce au cours audiovisuel et faire les schémas  
⇒ La matière à connaître se retrouve dans le syllabus

Travaux pratiques: avant chaque résumé de cours et de TP il est essentiel d'avoir suivi le cours audio-visuel, chez vous ou à l'Université

Nous prévoyons des quizz durant l'année: Identifier le groupe taxonomique (l'embranchement), reconnaître les diverses structures permettant à l'animal de respirer, manger, se déplacer, se reproduire,...

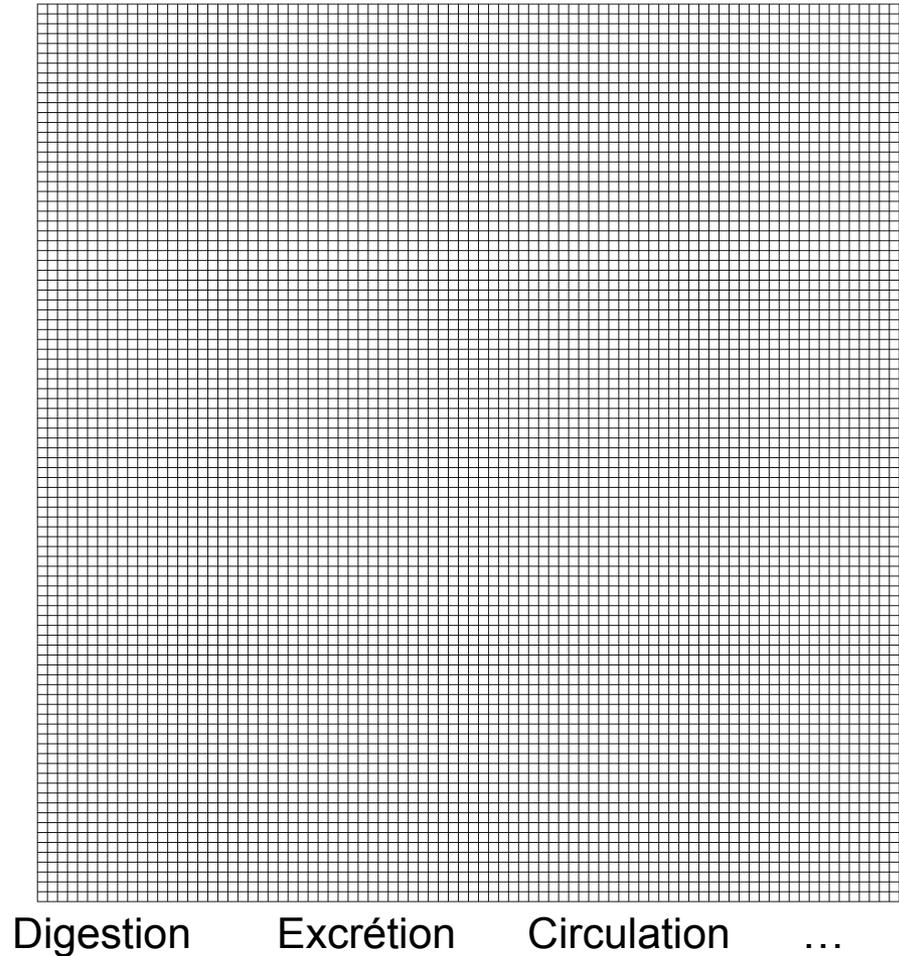
- **Organisation du cours**

Plathelminthes

Nématodes

Annélides

...



- **Objectifs finaux**

- ⇒ COMPRENDRE les principes de bases de la classification et la théorie de l'évolution
- ⇒ ANALYSER la structure et faite le lien avec leur physiologie pour les différents représentants du monde animal
- ⇒ COMPRENDRE le plan d'organisation des animaux et la liaison avec leur adaptation à l'environnement

# INTRODUCTION

Titulaire:  
Karine Van Doninck

# L'origine de la vie

---

L'origine de la terre: ~ 4.6 milliards d'années

L'origine de la vie: 4 grandes étapes

⇒ La synthèse abiotique de molécules organiques

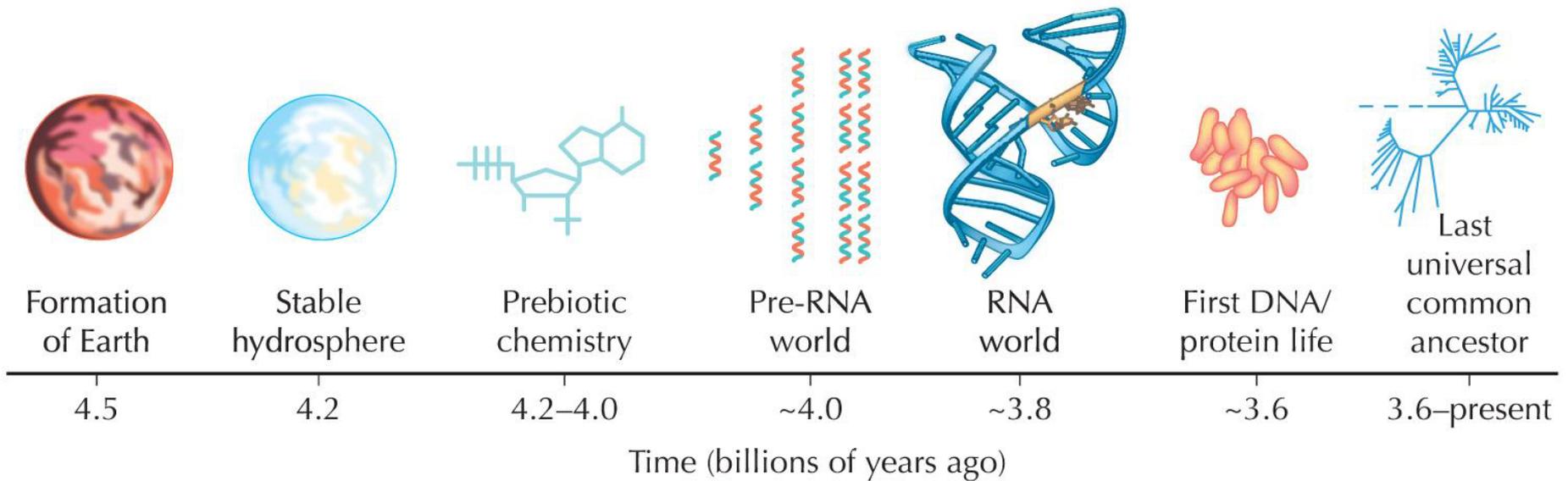
⇒ De monomères en polymères

⇒ Formation de protobiontes

⇒ Apparition de molécules capables d' autoréplication

L'origine de la vie: 3,6 milliards d'années l'ancêtre commun du monde vivant était présent sur terre

# L'origine de la vie



**FIGURE 4.4.** Steps in the origin of life.

# L'origine de la vie

---

Grâce aux **fossiles** on a pu reconstruire l'histoire de la vie.

- Les plus anciens fossiles connus sont des **procaryotes**, trouvés dans des tapis de pierre datant de 3,6 milliards d'années (Ma).

**Autotrophes**

**Hétérotrophes**



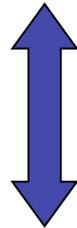
-3,6 à -2 milliards d'années

# L'histoire de la vie

L'histoire de la vie est un continuum...

= l'apparition des tout premiers organismes et l'évolution au cours du temps vers une diversité des formes de vie.

HISTOIRE DE LA TERRE



HISTOIRE DE LA VIE



# L'histoire de la vie

---

**Evolution biologique = descendance avec modification**

Toute la vie sur terre partage un **ancêtre commun**

De cet ancêtre commun, via le processus de **descendance avec modification**, une diversité de vie a évolué

# La classification

---

**Comment classer cette diversité de vie présente sur terre?**

# La classification

---

**Classer** = distinguer, identifier, nommer

**Classer:** établir des **regroupements** entre des objets sur la base d'un **critère donné**, afin de former des ensembles qui reflètent une cause sous-jacente.



# La classification

---

## La taxinomie (taxonomie)

Grec « *taxis* » = ordre, arrangement et « *nomos* » = loi

Proposé en 1813 par le botaniste Augustin-Pyramus de Candolle

⇒ La science des lois de la classification des formes vivantes

⇒ La science qui a pour objet de décrire les organismes vivants et de les regrouper en **taxons** afin de les identifier puis les nommer et enfin les classer

**La systématique, la nomenclature** = le résultat, le classement

## Brève histoire de la classification

- **Avant 1813**

Plusieurs botanistes classaient les plantes, en utilisant des critères de reconnaissance.

Pourquoi surtout les botanistes?

Les premières classifications du monde vivant de type **utilitaire**:

- Les arbres, les arbustes, les plantes médicinales, les plantes vénéneuses...
- On classe par ordre alphabétique

# La classification

---

## Brève histoire de la classification

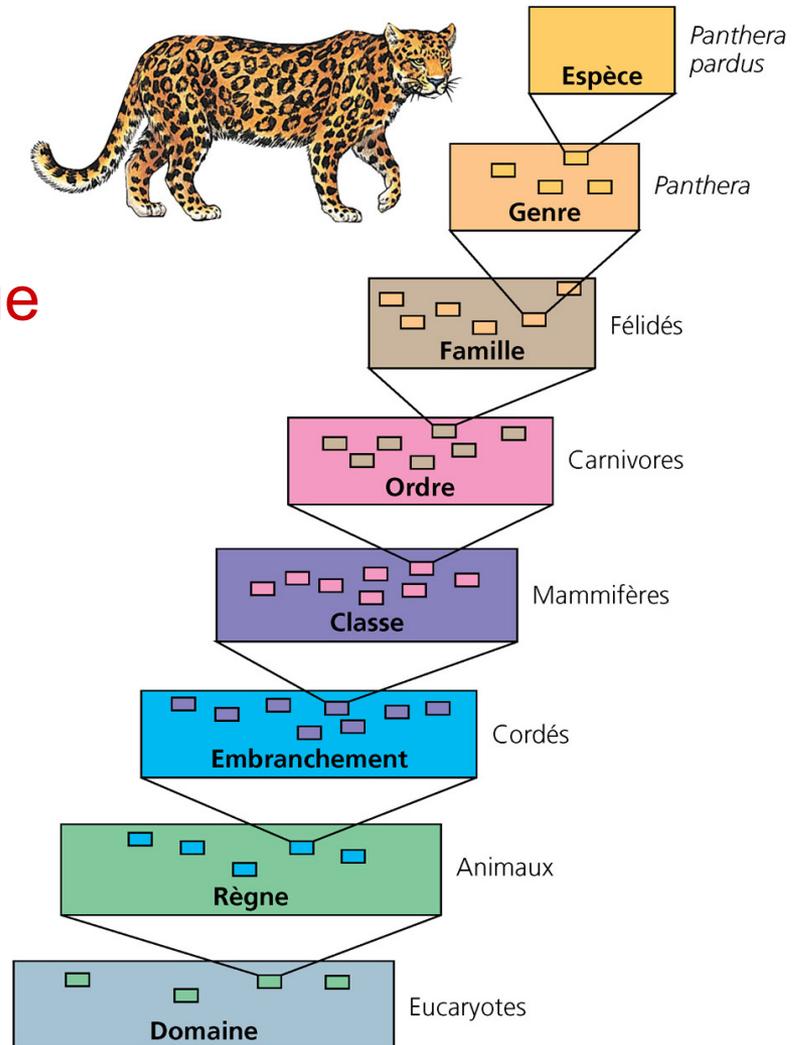
- **Carl von Linné** (1707-1778) médecin, naturaliste suédois
  - ⇒ Nomme et ordonne les animaux et plantes en utilisant les ressemblances morphologiques et les différences sans liens évolutifs (ouvrage *Systema naturae*)
  - ⇒ Il divise le monde en 3 règnes: minéral, animal, végétal
  - ⇒ Il introduit la **Nomenclature binominale (binomiale)**:  
ex. *Homo sapiens* (*Genre espèce*)
  - ⇒ Il introduit la **classification hiérarchique**



# La classification

## Brève histoire de la classification

⇒ la classification hiérarchique



▲ Figure 25.8 Classification hiérarchique.

# La classification

---

## Brève histoire de la classification

- **XVIII siècle**

⇒ Il semble exister une classification naturelle (au sein d'une classification artificielle) représentant un ordre intrinsèque à la Nature. L'ordre étant à l'époque la création divine.

⇒ Le travail du scientifique = inventaire de l'oeuvre divine.

⇒ Problème à l'époque: des croyances (non fondées)

**Génération spontanée:** apparitions d'animaux de la même espèce, à différents moments de l'histoire, par des événements de génération spontanée

**Métamorphose:** transformation d'un organisme adulte en un autre organisme adulte. Par ex., les anatifes (crustacés) pouvaient se transformer en canards; des arbres dont les feuilles se transformaient en poissons quand tombant dans l'eau d'une rivière ou en chauvesouris quand entraînées par le vent.

# La classification

---

## Brève histoire de la classification

- **Les Jussieu** (18<sup>e</sup> siècle): voulaient trouver une logique qui permette d'accéder à la classification naturelle.  
⇒ le principe de la subordination des caractères (**taxon définit par peu de caractères constants**)  
⇒ « **classification naturelle** », performante sur base d'un plan d'organisation
- **Georges Cuvier** (1769-1832) applique cette classification au règne animal: *Vertebrata*, *Arthropoda*, *Mollusca*, *Radiata*

# La classification

---

## Brève histoire de la classification

Les premières classifications étaient uniquement basées sur les ressemblances morphologiques

⇒ On **assemble ce qui se ressemble**, au sommet il y a l'homme

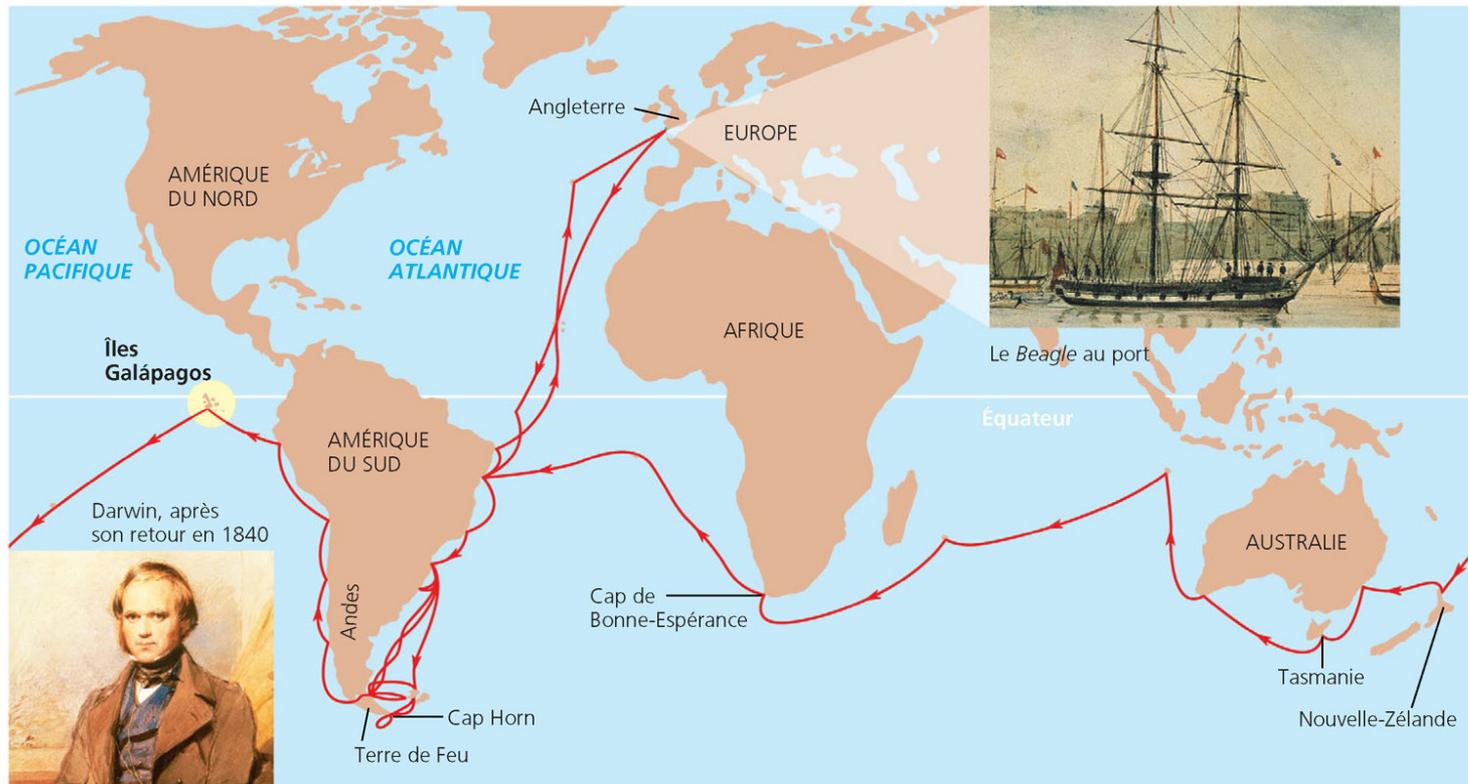
⇒ Pheno = “apparaître”

⇒ **Classification phénétique (avant Darwin)**

# La classification

## Brève histoire de la classification

- **Charles Darwin** (1809-1882): débute les études de médecine, pasteur, naturaliste



▲ Figure 22.5 Voyage du *Beagle*.

## Brève histoire de la classification

- **Charles Darwin** (1809-1882):
  - ⇒ Naturaliste: observe la **diversité**, collectionne des spécimens (l'essentialisme est incorrect)
  - ⇒ Classification selon Linné non cohérente
  - ⇒ Fossiles provenant d'espèces éteintes, différents selon les couches géologiques. Les espèces actuelles ne sont pas présentes dans les couches profondes
  - ⇒ Les espèces subissent des transformations, **évolue!**

## Brève histoire de la classification

- **Charles Darwin** (1809-1882):

⇒ Pourquoi, **malgré la variation**, les individus se ressemblent-ils?

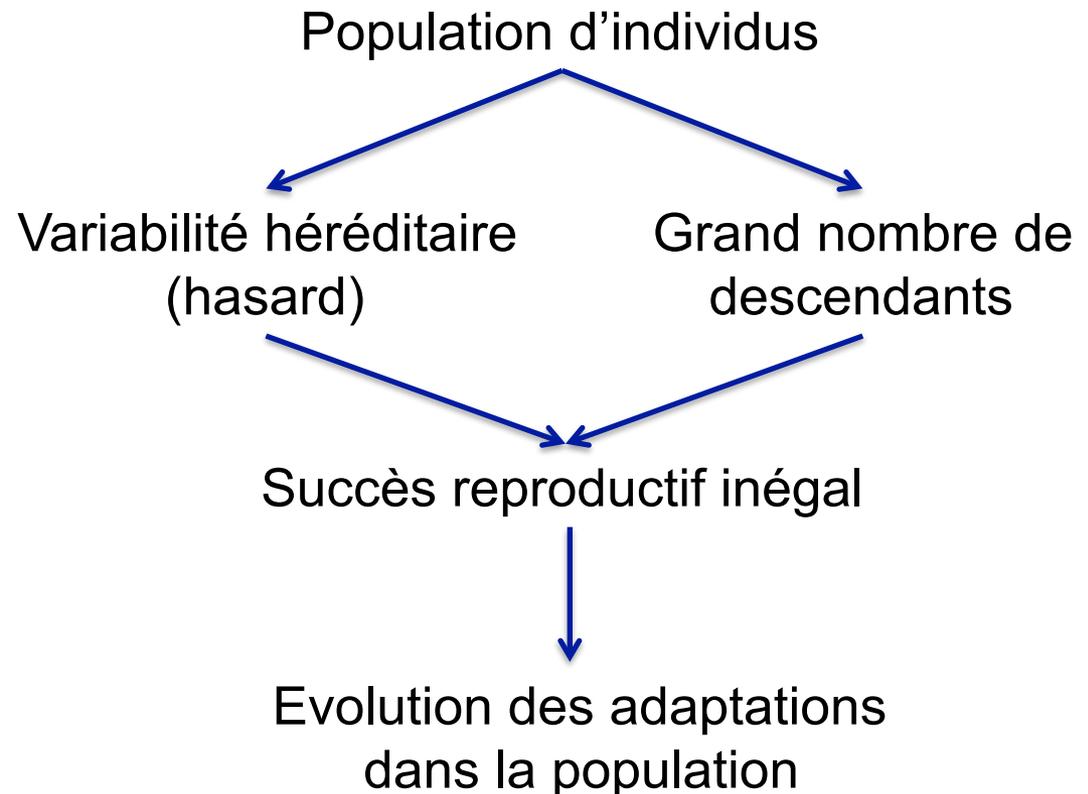
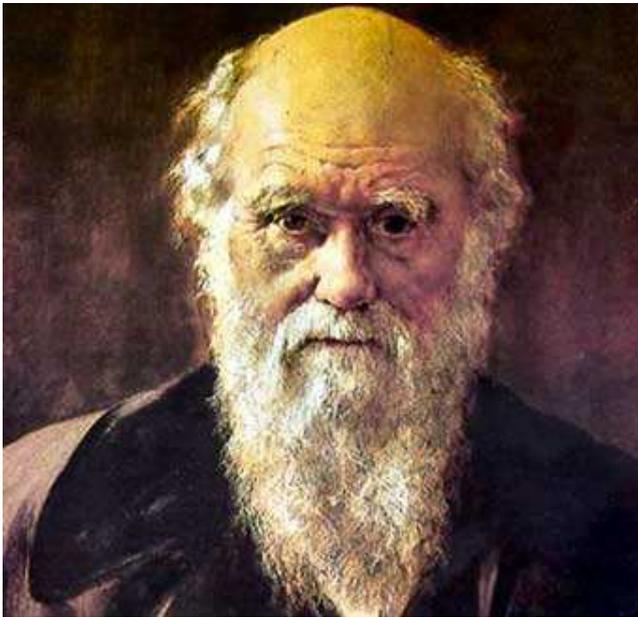
⇒ Il n'y a pas d'instruction divine mais la **sélection naturelle** : un caractère favorable à la survie sera sélectionné. Ces caractères apparaissent au hasard mais s'imposent au cours des générations.

⇒ **Sélection sexuelle** : important de survivre mais aussi de se reproduire. Il y a sélection de caractères qui augmentent le taux de reproduction, même si ils sont moins propice à la survie (ex. plume du paon, bois du cerf, couleur des oiseaux et insectes, ...)

# La classification

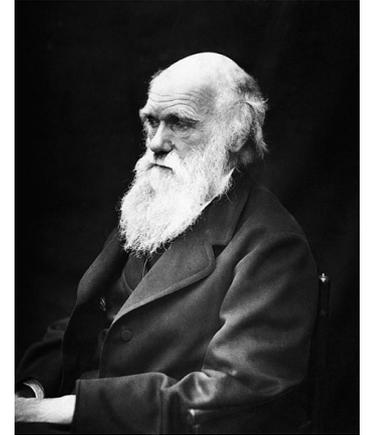
## Brève histoire de la classification

- **Charles Darwin** (1809-1882): théorie de la **sélection naturelle**



# La classification

---



## Brève histoire de la classification

- **Charles Darwin** (1809-1882): il arrive a l'idée-clé de **descendance avec modification**  
⇒ étudier les variations des **caractères**

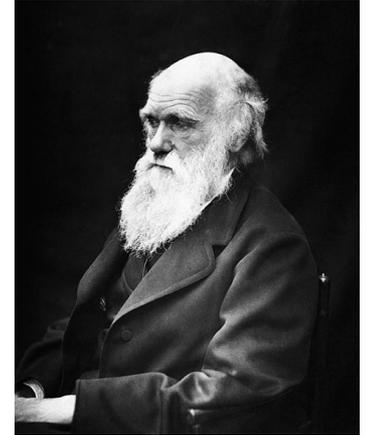
**héréditaires:** la ressemblance entre espèces est due aux caractères hérités de l'ancêtre

⇒ construire une classification fondée sur une recherche de parenté

⇒ la **phylo-génie**: « tribue » - « donner naissance »

# La classification

---



## Brève histoire de la classification

- **Charles Darwin** (1809-1882)

⇒ L'ordre de la nature est le reflet de l'histoire évolutive des organismes

⇒ **La classification naturelle tient compte de l'histoire**

<http://darwin-online.org.uk/life1.html>

**« Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution » [T.Dobzhansky, 1900-1975]**

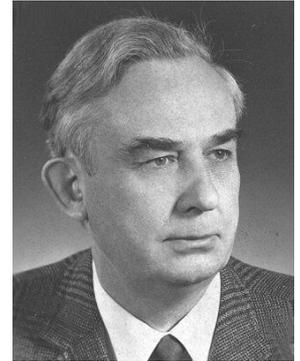
# La classification

---

## Brève histoire de la classification

- **Willi Hennig** (1913-1976):

Il applique l'idée de Darwin et développe (~1950) la **classification phylogénétique**



- ⇒ regrouper les organismes selon les **caractères hérités d'un ancêtre commun** qui les a transmis à tous ses descendants (= **la cladistique**)
- ⇒ construire des groupes **monophylétiques** dits *clades* qui incluent un ancêtre commun et l'ensemble de sa descendance, définit à partir d'un caractère dérivé propre, hérité de l'ancêtre

# La classification

---

## Brève histoire de la classification

- **Willi Hennig** (1913-1976):
  - ⇒ Retrouver les **parentés évolutives** entre espèces en les rassemblant en groupes monophylétiques
  - ⇒ Classer pour comprendre une histoire évolutive
  - ⇒ On classe à partir des caractères que les êtres vivants ont et pas sur ce qu'ils n'ont pas (invertébrés incorrect)

# La classification

---

**Quels caractères choisir pour la cladistique?**

# La cladistique

---

## Caractères phénotypiques

- Morphologie: caractères externes et internes (ex. os, plume, ...)
- Physiologie: fonctionnement d'un organe

## Caractères génotypiques

- Gène
- Génome entier

## Données fossiles

# La cladistique

---

## Caractères analogues (homéoplasies)

Les caractères ont une fonction commune mais ont évolué indépendamment (convergence évolutive)

⇒ Pas de signification évolutif

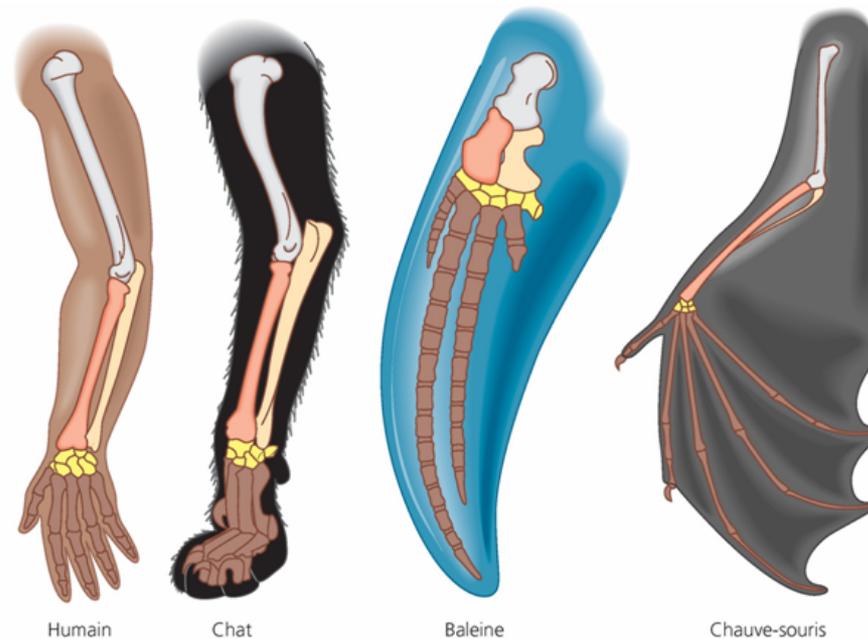


# La cladistique

## Caractères homologues

Les caractères proviennent d'un ancêtre commun

⇒ Signification évolutif

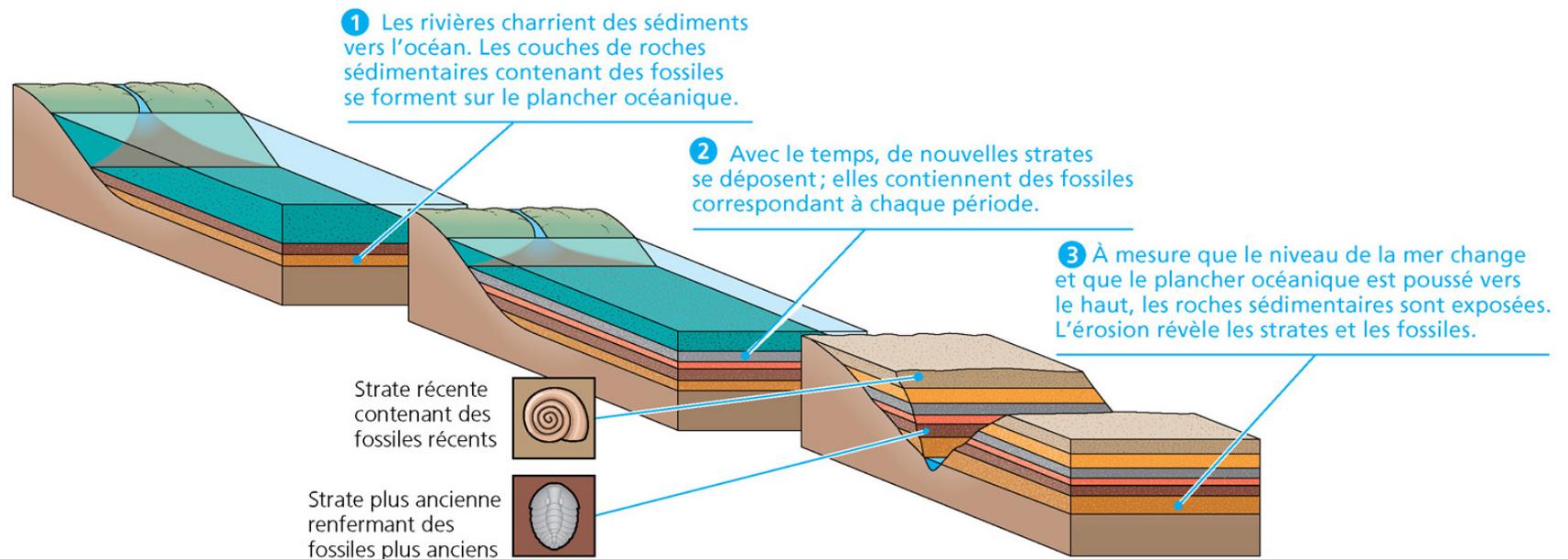


▲ Figure 22.14 Structures homologues des membres antérieurs des Mammifères.

# La cladistique

## Les données fossiles

Sont utilisées pour pouvoir dater diverses caractéristiques

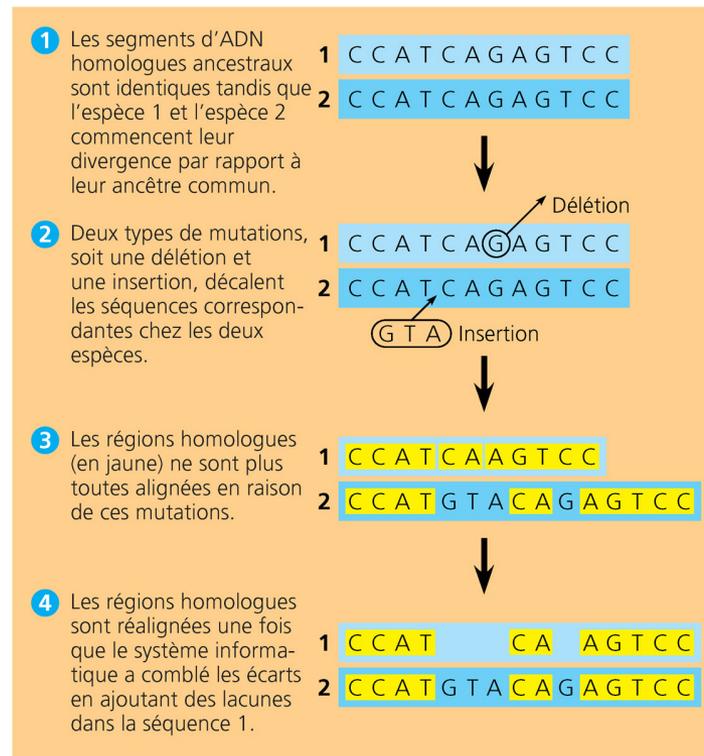


▲ Figure 25.3 Formation de strates contenant des fossiles.

# La cladistique

## Les homologues moléculaires

Comparaison des séquences ADN ou de génomes entiers



▲ Figure 25.6 Alignement des segments d'ADN.

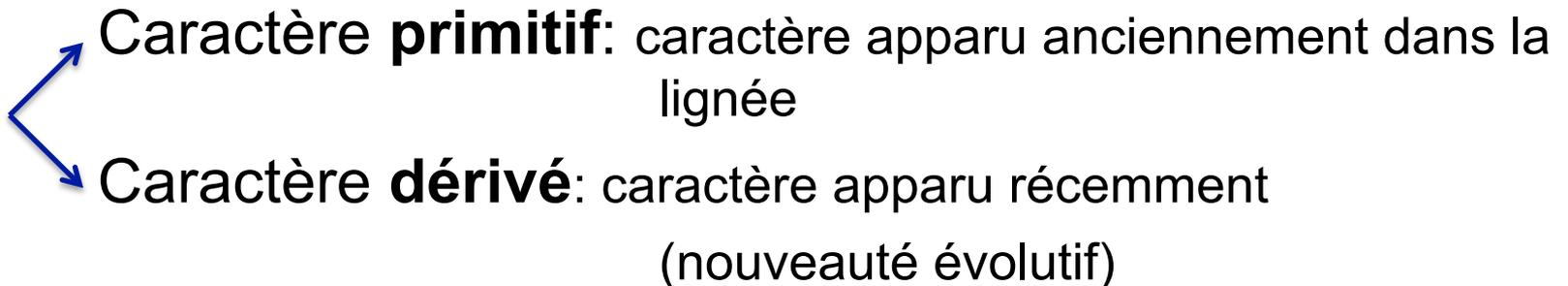
# La cladistique

---

## Les caractères choisis

⇒ **Analogues**: NON, sont des caractères qui ne viennent pas d'un ancêtre commun => inutilisable en classification phylogénétique

⇒ **Homologues**: OUI, caractères provenant d'un ancêtre commun



# La classification

---

**Comment choisir si un caractère est primitif  
ou dérivé?**

# La cladistique

---

## Les caractères choisis

⇒ **Les données fossiles** peuvent aider à savoir si un caractère est apparu récemment

-L'état primitif du caractère: apparu le plus anciennement dans le temps (de tous les caractères étudiés)

-L'état évolué du caractère: apparu le plus récemment

Attention, un caractère phénotypique peut être, selon les groupes étudiés, primitif ou dérivé: ex. les plumes

# La cladistique

---

## L'analyse cladistique

- ⇒ Reconstruire la phylogénie d'un groupe par distinction, au sein d'un caractère, de **l'état primitif** (*plésiomorphe*) de **l'état dérivé propre** (*apomorphe*): hiérarchiser les caractères comparés
- ⇒ Ajouter un groupe extérieur pour distinguer les caractères partagés dérivés des caractères partagés ancestraux

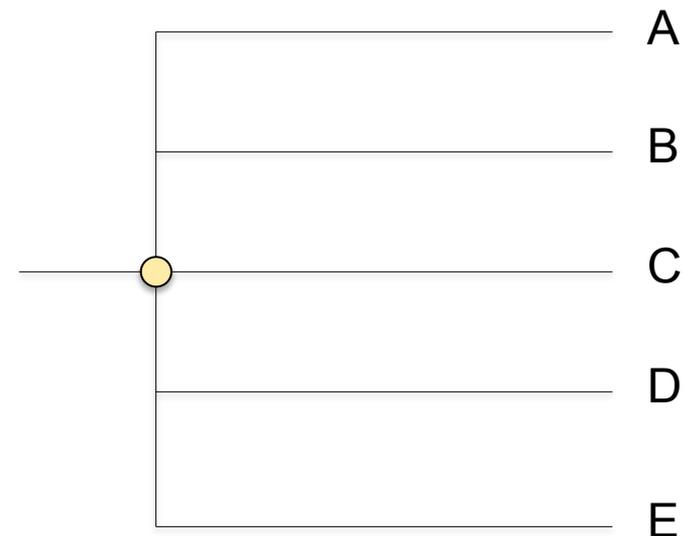
# La cladistique

## Exemple

1. Quels caractères choisir? Homologues et dérivés
2. Comment procéder?

Remplir une matrice avec les taxons à étudier et les caractères choisis  
Éliminer les caractères en commun

	A	B	C	D	E
Caractère 1	1	1	1	1	1



# La cladistique

## Exemple

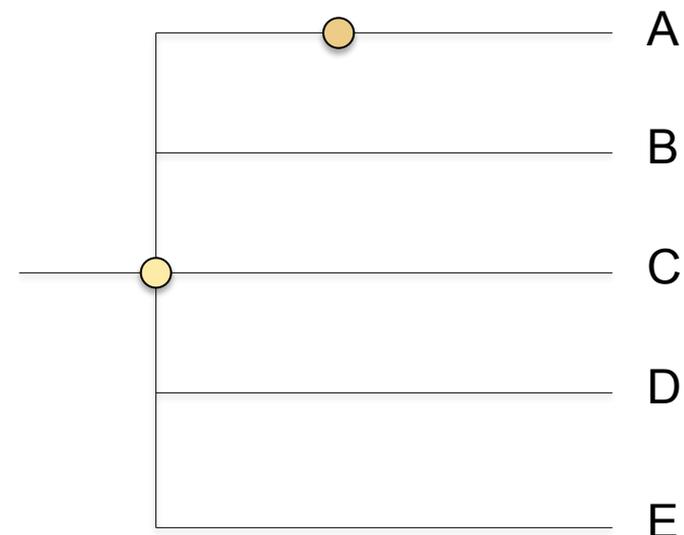
1. Quels caractères choisir? Homologues et dérivés
2. Comment procéder?

Remplir une matrice avec les taxons à étudier et les caractères choisis

Éliminer les caractères en commun

Éliminer les caractères spécifiques à un seul taxon

	A	B	C	D	E
Caractère 1	1	1	1	1	1
Caractère 2	1	0	0	0	0



# La cladistique

## Exemple

1. Quels caractères choisir? Homologues et dérivés
2. Comment procéder?

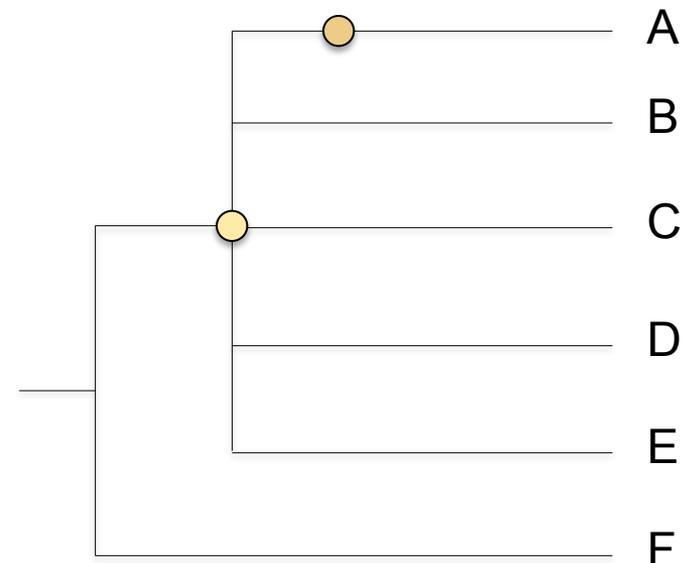
Remplir une matrice avec les taxons à étudier et les caractères choisis

Éliminer les caractères en commun

Éliminer les caractères spécifiques à un seul taxon

Ajouter un groupe extérieur: distinguer les caractères dérivés partagés

	A	B	C	D	E	F
Caractère 1	1	1	1	1	1	0
Caractère 2	1	0	0	0	0	0



# La cladistique

## Exemple

1. Quels caractères choisir? Homologues et dérivés
2. Comment procéder?

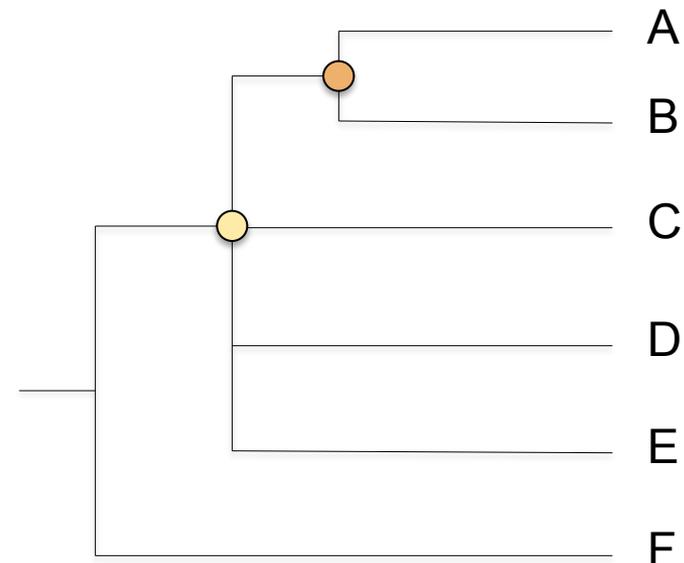
Remplir une matrice avec les taxons à étudier et les caractères choisis

Éliminer les caractères en commun

Éliminer les caractères spécifiques à un seul taxon

Ajouter un groupe extérieur: distinguer les caractères dérivés partagés

	A	B	C	D	E	F
Caractère 1	1	1	1	1	1	0
Caractère 2	1	0	0	0	0	0
Caractère 3	1	1	0	0	0	0



# La cladistique

## Exemple

1. Quels caractères choisir? Homologues et dérivés
2. Comment procéder?

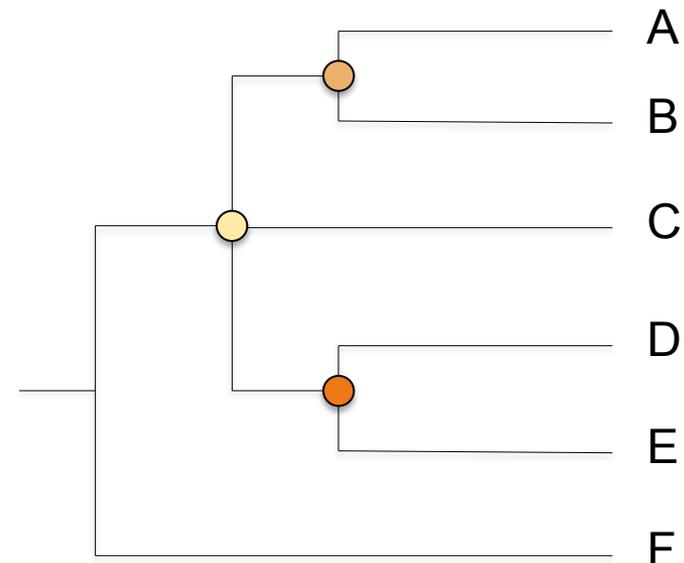
Remplir une matrice avec les taxons à étudier et les caractères choisis

Éliminer les caractères en commun

Éliminer les caractères spécifiques à un seul taxon

Ajouter un groupe extérieur: distinguer les caractères dérivés partagés

	A	B	C	D	E	F
Caractère 1	1	1	1	1	1	0
Caractère 2	1	0	0	0	0	0
Caractère 3	1	1	0	0	0	0
Caractère 4	0	0	0	1	1	0



# La cladistique

## Exemple

1. Quels caractères choisir? Homologues et dérivés
2. Comment procéder?

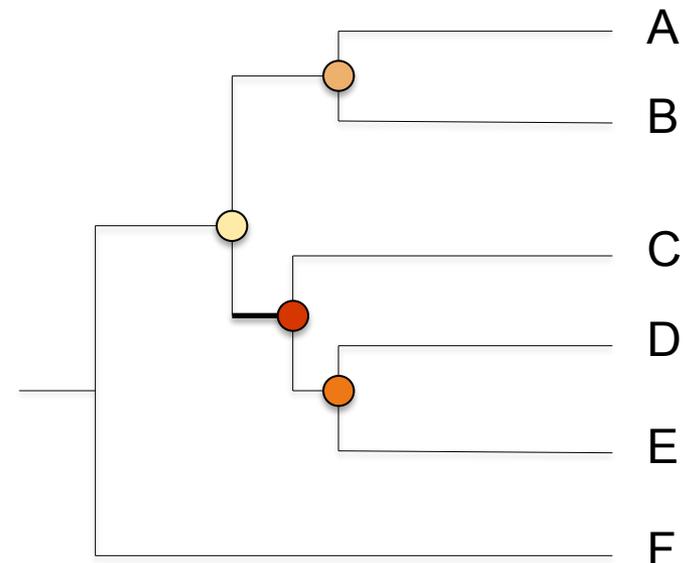
Remplir une matrice avec les taxons à étudier et les caractères choisis

Éliminer les caractères en commun

Éliminer les caractères spécifiques à un seul taxon

Ajouter un groupe extérieur: distinguer les caractères dérivés partagés

	A	B	C	D	E	F
Caractère 1	1	1	1	1	1	0
Caractère 2	1	0	0	0	0	0
Caractère 3	1	1	0	0	0	0
Caractère 4	0	0	0	1	1	0
Caractère 5	0	0	1	1	1	0



# La cladistique

---

## Exemple

1. Quels caractères choisir? Homologues et dérivés
2. Comment procéder?

Considérer un à un les caractères et utiliser leur signification évolutive pour construire le cladogramme: càd chaque noeud est l'apparition d'un caractère évolué (dérivé propre), une transformation évolutive  
⇒ Le temps (l'histoire évolutive) apparaît automatiquement

# La cladistique

## Le cladogramme (la cladistique)

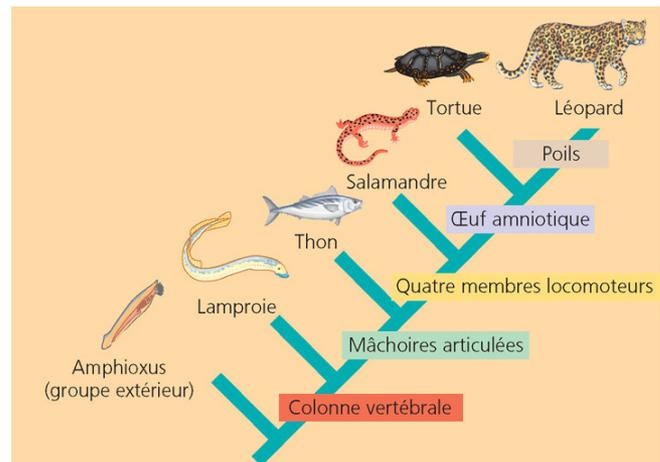
⇒ **Exemple:**

Construisons un cladogramme avec cinq vertébrés: léopard, tortue, salamandre, thon et lamproie (groupe intérieur)

**Groupe extérieur = amphioxus**

CARACTÈRES	ANIMAUX COMPARÉS					
	Amphioxus (groupe extérieur)	Lamproie	Thon	Salamandre	Tortue	Léopard
Poils	0	0	0	0	0	1
Œuf amniotique (avec coquille)	0	0	0	0	1	1
Quatre membres locomoteurs	0	0	0	1	1	1
Mâchoires articulées	0	0	1	1	1	1
Colonne vertébrale	0	1	1	1	1	1

(a) **Tableau des caractères.** L'information est codée selon un mode de calcul binaire : la mention 0 indique l'absence d'un caractère, et la mention 1, sa présence.



(b) **Cladogramme.** L'analyse de la distribution des caractères dérivés nous renseigne sur la phylogénèse des Vertébrés.

# La cladistique

---

## La cladistique

Utiliser que les caractères homologues et dérivés

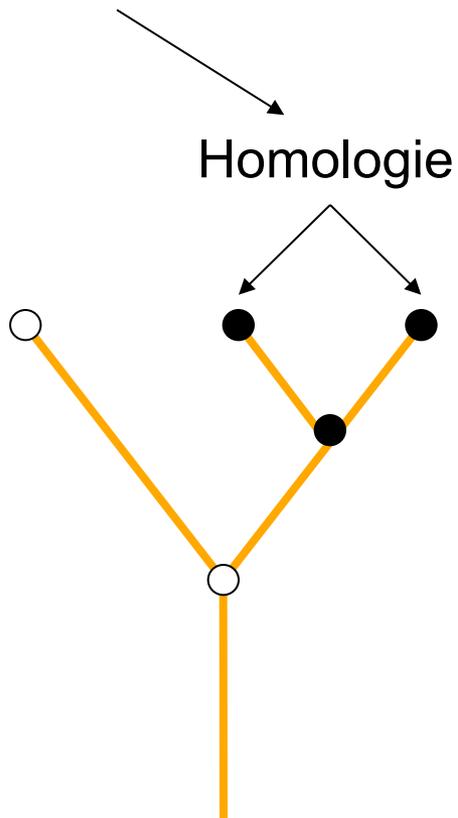
Homologie primaire = l'hypothèse d'homologie

Homologie confirmée par l'arbre = **homologie  
secondaire ou synapomorphie**

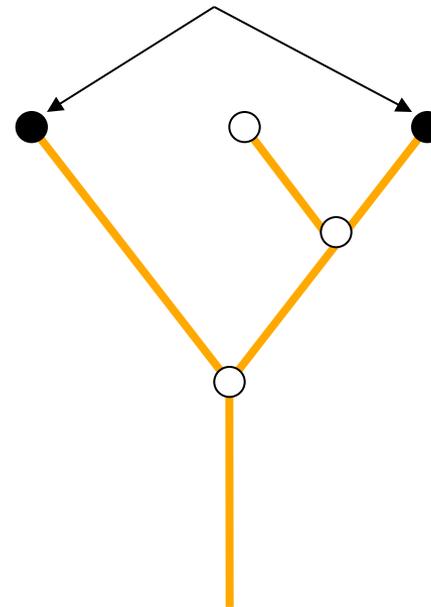
Homologie refutée = **homoplasie**

# La cladistique

## Homologie - homoplasie

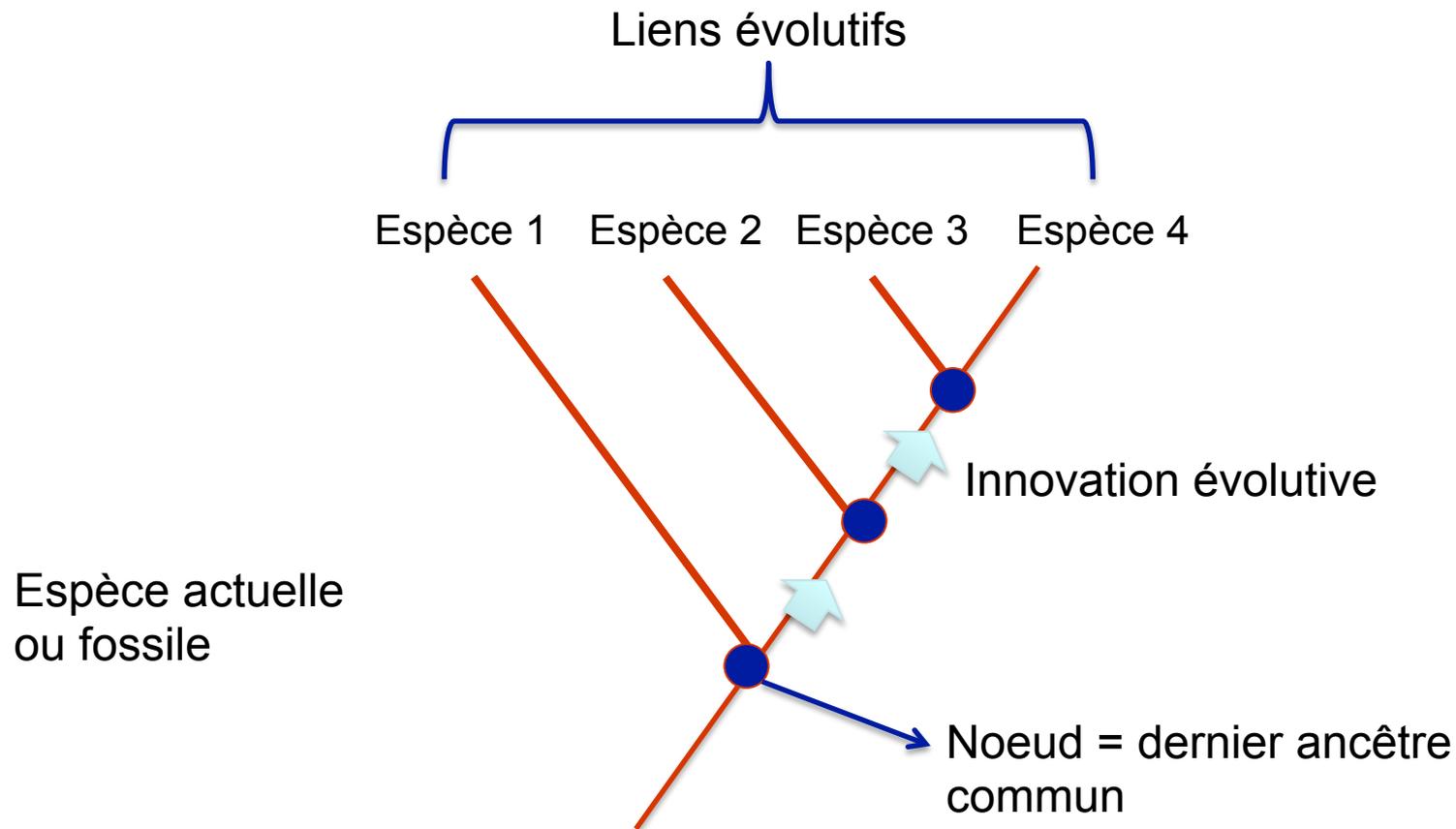


Analogie du à la  
convergence évolutive



# La cladistique

Utiliser que les **caractères dérivés propres**



# La cladistique

---

## Les caractères génotypiques

1. La séquence ADN = caractère

2. La mutation = l'état du caractère

Uniquement les différences dans les séquences sont informatifs

Matrice cladistique: alignement de séquences nucléotidiques ou protéiques

Ex. classer les primates en fonction des AA d'une protéine

# La cladistique

**Phylogène**  
 Fichier Observer Comparer Construire Classer Arbre Aide

Arbre  
 Matrice des distances  
 Ajouter des molécules  
 Aligner  
 Options

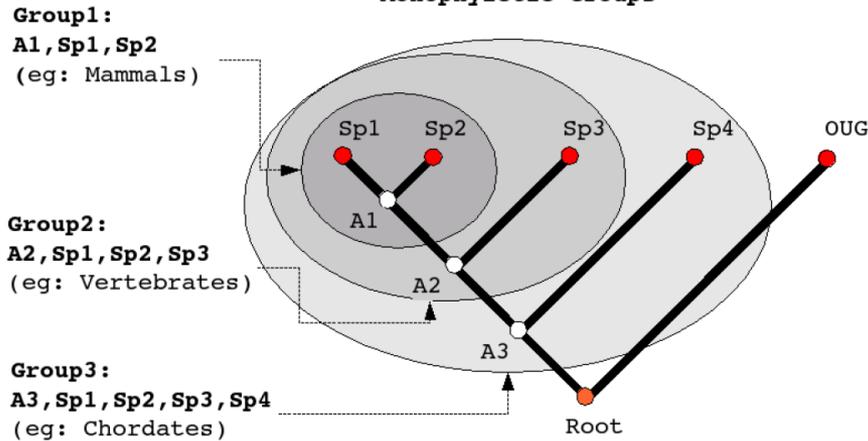
Fichier : cytcov2.ah

				5			10			15			20			25			30			35			40																			
BONOBO	M	A	H	A	A	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	I	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	C	F	L	V	L	Y	A	L	F	L
CHIMPAN	M	A	H	A	A	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	I	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	C	F	L	V	L	Y	A	L	F	L
HOMME	M	A	H	A	A	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	T	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	C	F	L	V	L	Y	A	L	F	L
GORILLE	M	A	H	A	A	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	T	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	C	F	L	V	L	Y	A	L	F	L
ORANOUT	M	A	H	R	A	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	V	I	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	C	F	L	V	L	Y	A	L	F	L
GIBBON	M	A	H	A	T	Q	V	G	L	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	I	S	F	H	D	H	A	L	M	I	I	F	L	I	S	F	L	V	L	Y	A	L	F	L
MAKI	M	A	Y	P	V	Q	L	G	F	Q	D	A	A	S	P	I	M	E	E	L	L	Y	F	H	D	H	T	L	M	I	M	F	L	I	S	S	L	V	L	Y	I	I	S	L
TARSIER	M	A	H	S	F	Q	L	G	F	Q	D	A	T	S	P	I	M	E	E	L	L	H	F	H	D	H	T	L	M	I	V	F	L	I	S	S	L	V	L	Y	I	I	T	L

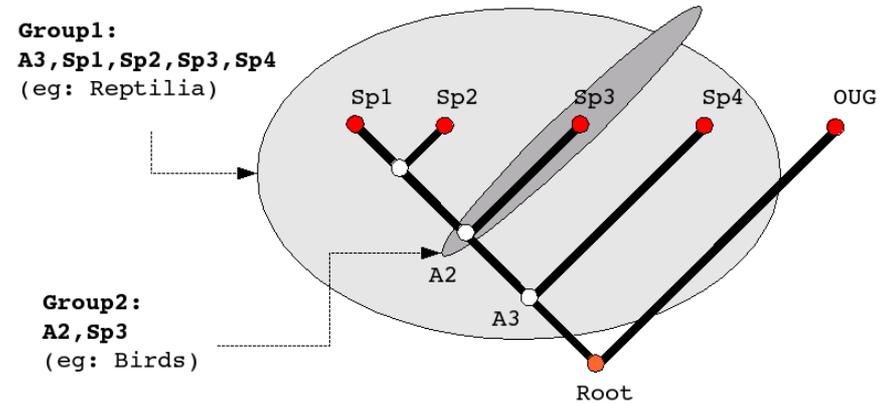
# La phylogénie

Les classifications phylogénétiques ne contiennent que des groupes **monophylétiques**

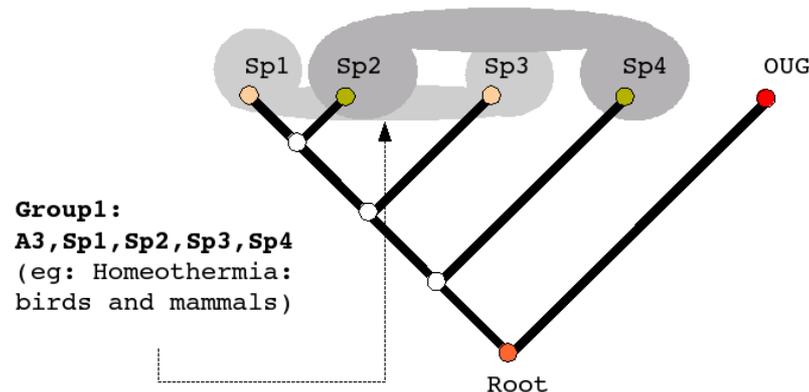
**Monophyletic Groups**



**Paraphyletic Groups**



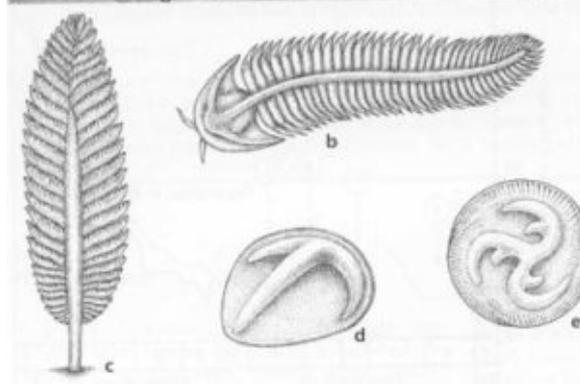
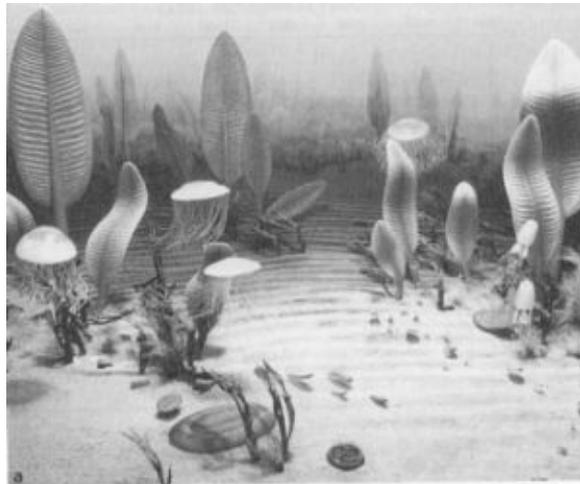
**Polyphyletic Groups**



ÉCHELLE GÉOLOGIQUE			Millions	HISTOIRE	
ÈRE	PÉRIODE	ÉPOQUE	d'années	DES ANIMAUX	
CÉNOZOÏQUE	Néogène	Holocène	0,01	Temps historique	
		Pléistocène	1,8	Apparition des humains	
		Pliocène	5,3	Apparition du genre <i>Homo</i>	
		Miocène	23	Apparition des hominidés (6-9 Ma)	
	Paléogène	Oligocène	34	Apparition de nombreux groupes primates (singes)	
		Eocene	56		
Paléocène		65,5	Importante radiation des mammifères, oiseaux et insectes pollinisateurs	<u>Extinction massive du Crétacé,</u>	
MÉSOZOÏQUE (SECONDAIRE)	CRÉTACÉ	145	Premiers mammifères placentaires	disparition des dinosaures	
	JURASSIQUE	200	Premiers oiseaux Division de la Pangée: Gondwana et Laurasia		
	TRIAS	250	Premiers dinosaures et mammifères	<u>Extinction massive a la fin du Permien (-250 Ma):</u> 70% du vivant disparu	
PALÉOZOÏQUE (PRIMAIRE)	PERMIEN	299	Formation du "super continent" Pangée		
	CARBONIFÈRE	360	Apparition des Reptiles		
	DÉVONIEN	415	Premiers vertébrés terrestres: <b>tétrapodes =&gt; amphibiens</b> Premiers insectes		
	SILURIEN	440			
	ORDOVICIEN	490	Colonisation de la terre par végétaux & Arthropodes Apparition des poissons a mâchoires		
	CAMBRIEN	542	<u>"Explosion cambrienne"</u> Premiers chordés: poissons sans mâchoires		
Protérozoïque (Pré-Cambrien)			1200	Premiers eucaryotes multicellulaires	<u>Faune d'Ediacara (- 630 Ma)</u>
			2000	Premiers eucaryotes: protozoaires	
			2500		
Archéen (Pré-Cambrien)			3500	Fossiles de procaryotes	
			4600		
				<u>Origine de la Terre</u>	

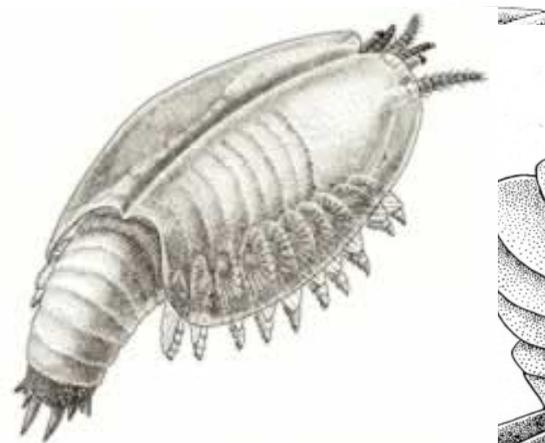
# L'origine des animaux

Durant la **période Ediacarien** est apparu la première faune marine d'invertébrés (~ 630 millions d'années).

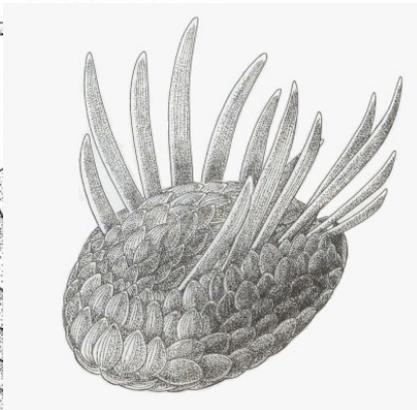


# L'origine des animaux

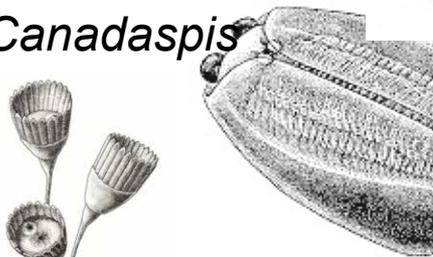
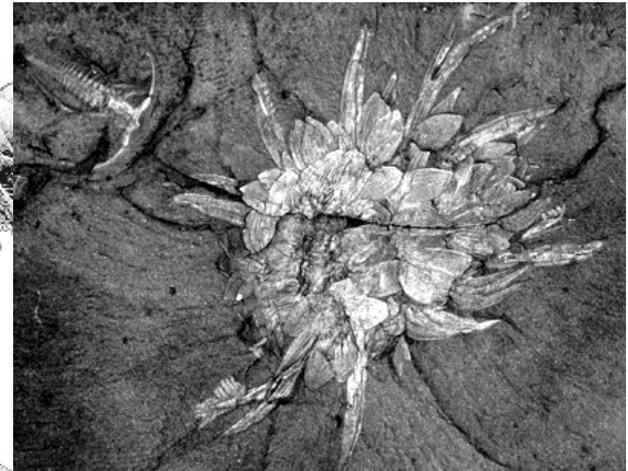
Durant l'**explosion Cambrienne** se sont mis en place les différents schémas d'organisation actuels.



*Canadaspis*



*Wiwaxia*



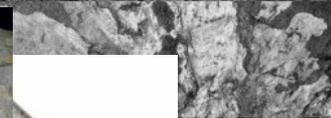
**ODARIA**  
(longueur : 6 à 15 cm)



*Odontogriphus*



101  
5 à



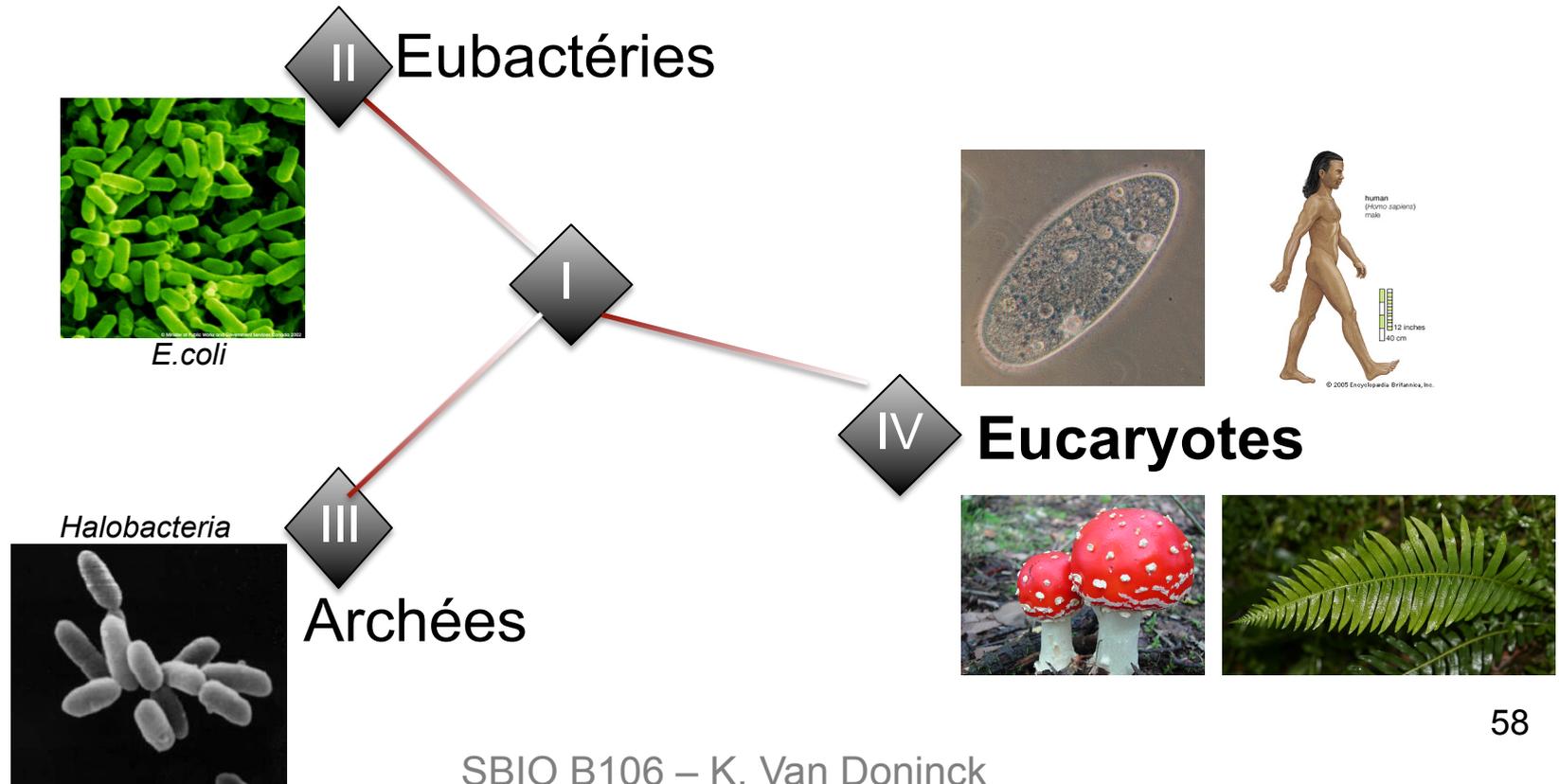
, 1991,

La Vie est belle, Éditions du Seuil.

# La cladistique

La cladistique est fondée sur le modèle évolutif et la notion d'ascendance commune (ou phylogénie)

⇒ Monde vivant: 3 clades



# La classification

---

**Combien d'espèces au sein de ces 3 clades  
de la vie?**

**Qu'est-ce que une espèce?**

# Espèce

Actuellement décrites: environ 1.440.000

Prédictions: 10.960.000

Species	Earth		Ocean	
	Catalogued	Predicted	Catalogued	Predicted
<b>Eukaryotes</b>				
Animalia	953,434	7,770,000	171,082	2,150,000
Chromista	13,033	27,500	4,859	7,400
Fungi	43,271	611,000	1,097	5,320
Plantae	215,644	298,000	8,600	16,600
Protozoa	8,118	36,400	8,118	36,400
<i>Total</i>	1,233,500	8,740,000	193,756	2,210,000
<b>Prokaryotes</b>				
Archaea	502	455	1	1
Bacteria	10,358	9,680	652	1,320
<i>Total</i>	10,860	10,100	653	1,320
<b>Grand Total</b>	<b>1,244,360</b>	<b>8,750,000</b>	<b>194,409</b>	<b>2,210,000</b>

Mora et al. 2011. Plos Biology

# Espèce

---

Historiquement:

Instinct

Ressemblance

2 noms, depuis Linné



Aye-Aye  
(*Daubentonia madagascariensis*)



*Paradisea minor*

Oiseaux de Nouvelle-Guinée  
Papous 110 noms  
Ornithologistes 120 espèces

# Espèce

---

Historiquement:

Instinct

Ressemblance

Critère de interfécondité

(hybrides stériles)



Le ligre



Le zorse

# Espèce

---

Historiquement:

**Instinct**

**Ressemblance**

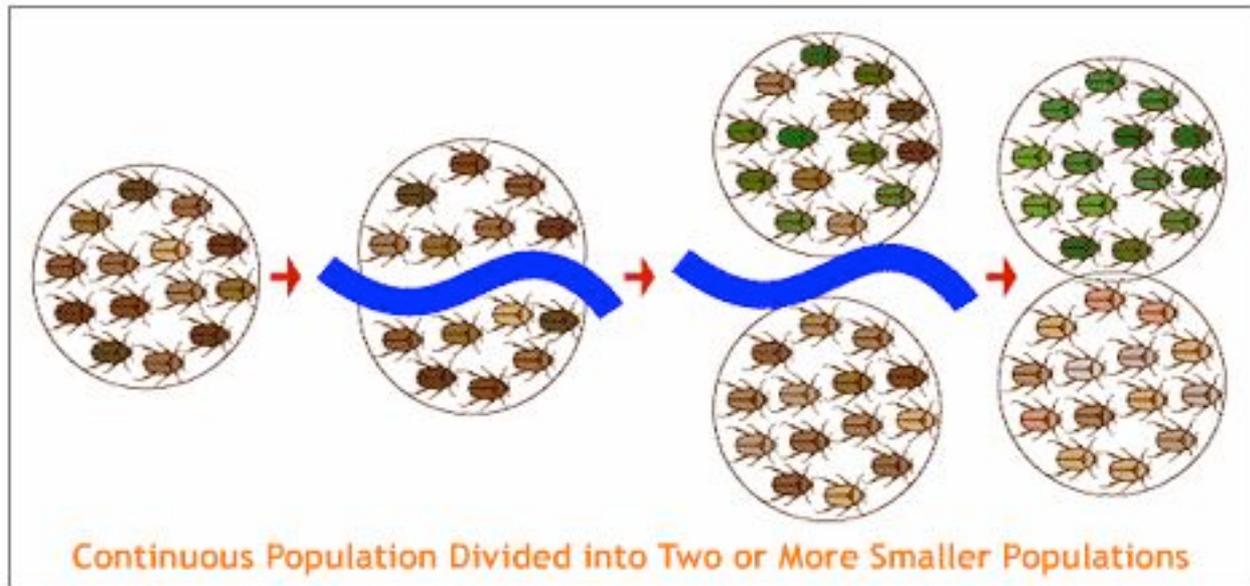
**Critère de interfécondité:** une communauté d'ascendance au sein de laquelle tout individu est interfécond avec les autres et donnera une descendance fertile

**Processus d'isolement:** la disparition d'interfécondité peut mener à l'existence d'espèces

**Diminution du flux de gènes:** des individus dans une population qui sont loin l'un de l'autre et qui subissent une pression de sélection différente peuvent ne plus se reproduire

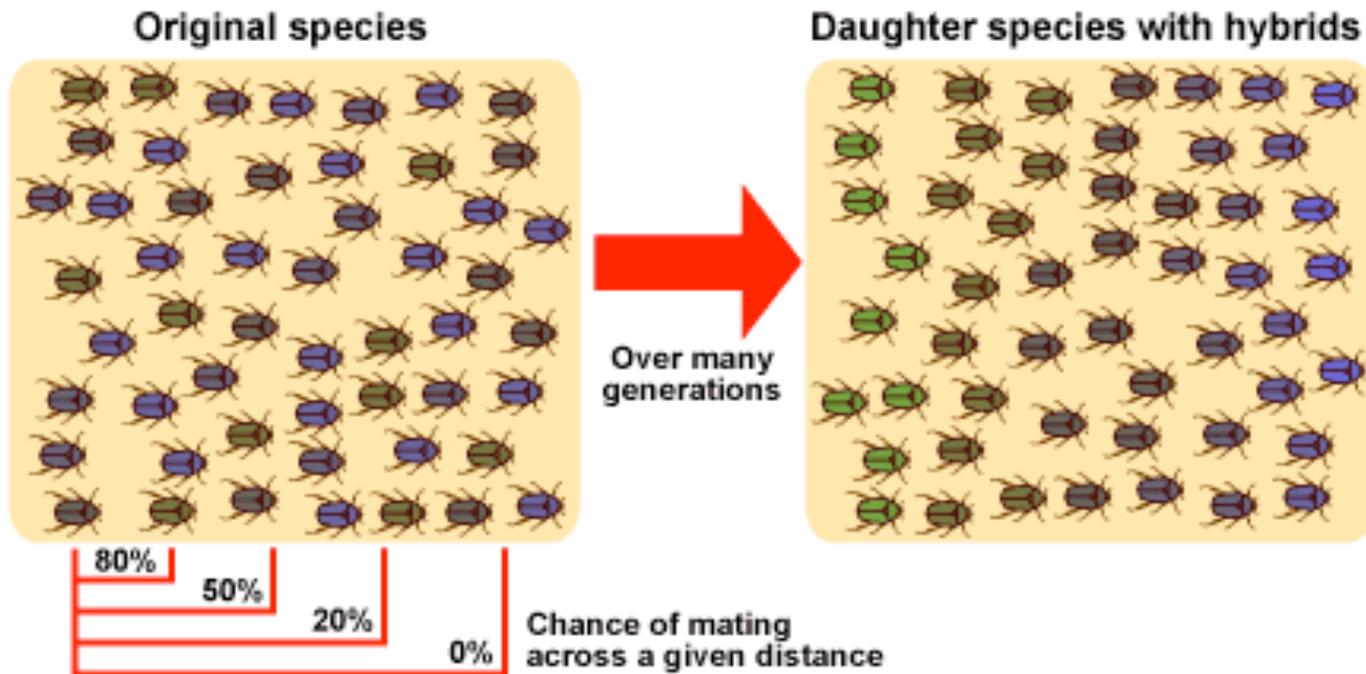
# Espèce

## Processus d'isolement



# Espèce

## Diminution du flux de gènes



## **Processus d'isolement**

La spéciation est le processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent

**Spéciation allopatrique:** populations isolées géographiquement

**Spéciation sympatrique:** populations non isolées géographiquement, spécialisation à différentes niches + sélection naturelle

# Espèce

---

## Définition espèce

Ensemble des individus capables de se croiser entre eux avec une descendance féconde, dans un site donné

# Evolution

---

**Quels sont les mécanismes de l'évolution?**

## L'évolution

La définition d'Ernst Mayr

**“Changes in the diversity and adaptation of  
populations of living organisms”**

*In: Evolution and the diversity of life, Harvard University Press, 1997.*

# Evolution

## Mécanismes d'évolution

### Mutation

(du au hasard => neutre, délétère et avantageuse)

### Selection naturelle

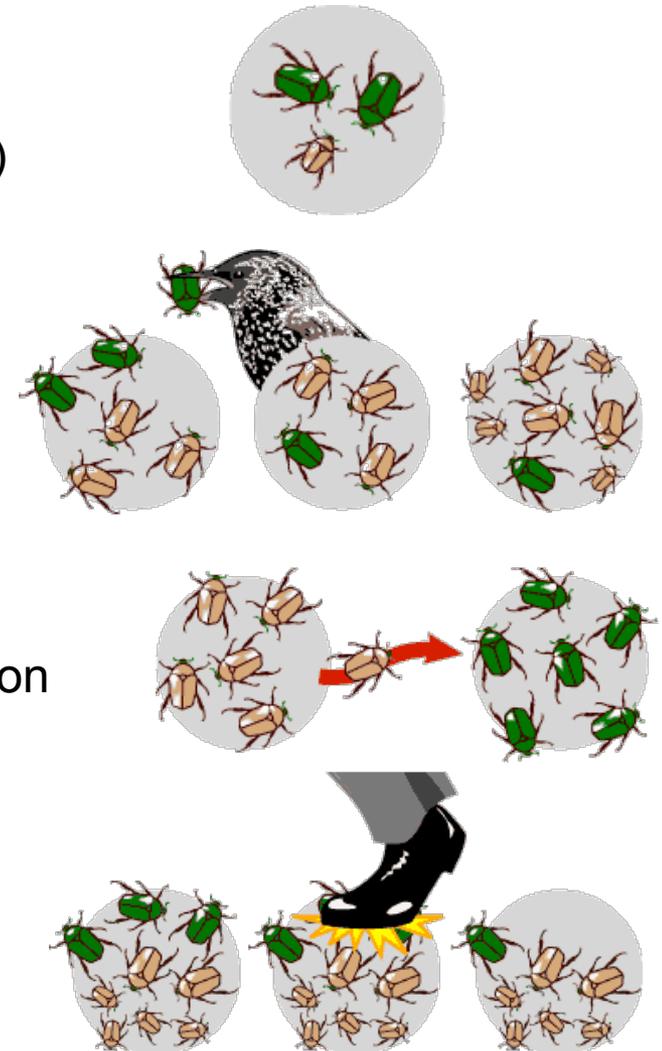
(sélectionne les mutations avantageuses)

### Migration

(migration avec retour ou colonisation) => spéciation

### Dérivé génétique

(modification par le hasard)



## **Mécanismes d'évolution**

Sans variation génétique la sélection naturelle et la dérive génétique ne sont pas opérationnels

**Qu'est ce qui cause la variation génétique?**

## 1. Les mutations

Les gènes portés par les chromosomes (constitués d'ADN) subissent des mutations à cause des:

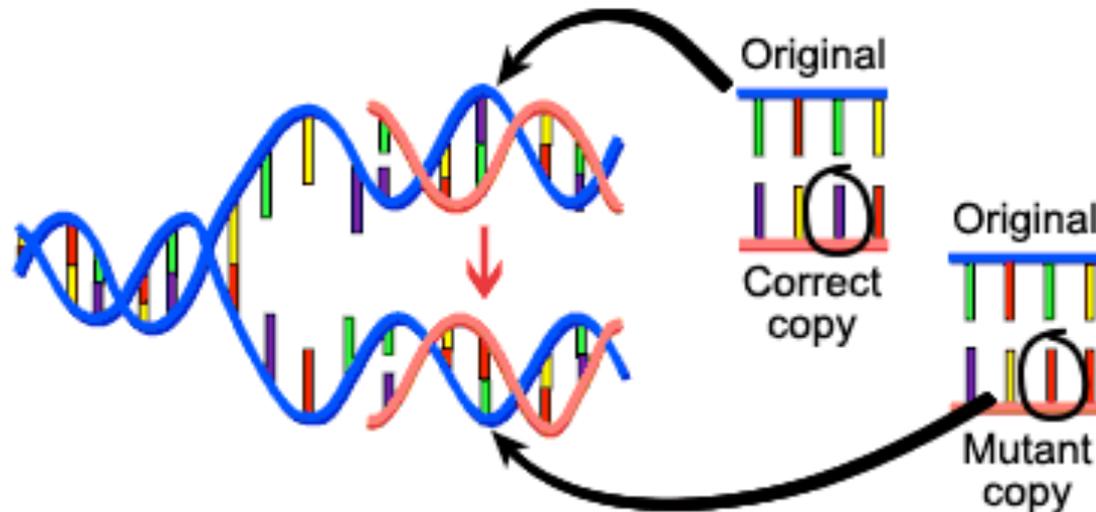
- Rayons X, alpha, UV
- Mutagènes chimiques
- Virus
- Transposons (une séquence AND capable de se déplacer et de se multiplier de manière autonome dans un génome)
- Erreurs lors de la méiose ou de la réplication de l'ADN (mitose)
- Erreurs lors de la réparation de l'ADN mal transcrit ou traduit.

**Les mutations sont aléatoires!**

## 1. Les mutations

Les gènes portés par les chromosomes (constitués d'ADN) subissent des mutations à cause des:

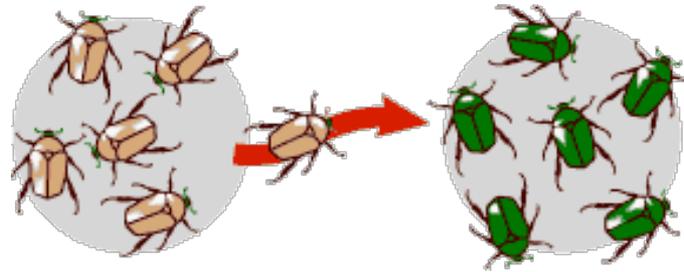
- Erreurs lors de la réplication de l'ADN (mitose)



## 2. Le flux de gènes

Flux de gènes = migration

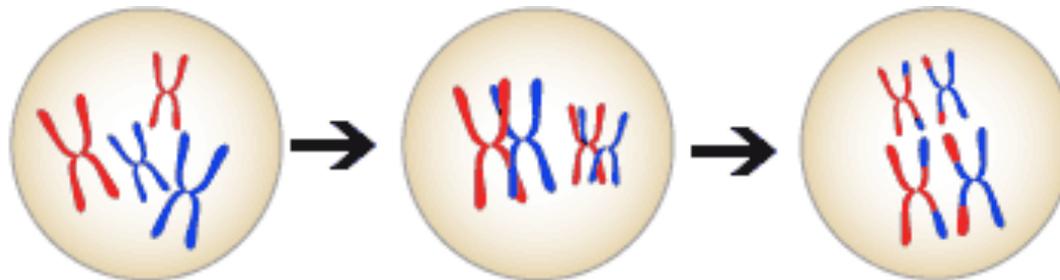
Le mouvement de gènes d'une population vers une autre  
=> source importante de variation génétique



## 3. La reproduction sexuée

- La méiose crée de nouveaux gamètes (**aucun gamète est identique**)
- La reproduction sexuée crée de nouvelles combinaisons de gènes à chaque génération (= **fertilisation aléatoire de gamètes différents**)

**Méiose + fertilisation => source importante de variation génétique**



# Evolution

---

## Dérive génétique

= **modification de la fréquence d'un allèle ou d'un génotype, au sein d'une population**, indépendamment des mutations, de la migration, de la sélection naturelle.

La dérive génétique concerne surtout les allèles neutres c'est-à-dire qui ne confèrent ni avantage ni désavantage sélectif.

Se produit quand une grande partie d'une espèce a disparu, est éliminée ou est isolée:

- Épidémie
- Crise climatique
- Catastrophe naturelle
- Isolation causée par une montée de la mer (isolation terre, formation île)
- Morcèlement du territoire (route,...)

# Evolution

## Sélection naturelle

1. Il y a variation dans le caractère
2. Différence reproductive
3. Caractère hérédité
4. Changement (adaptation) dans la population



# Evolution

---

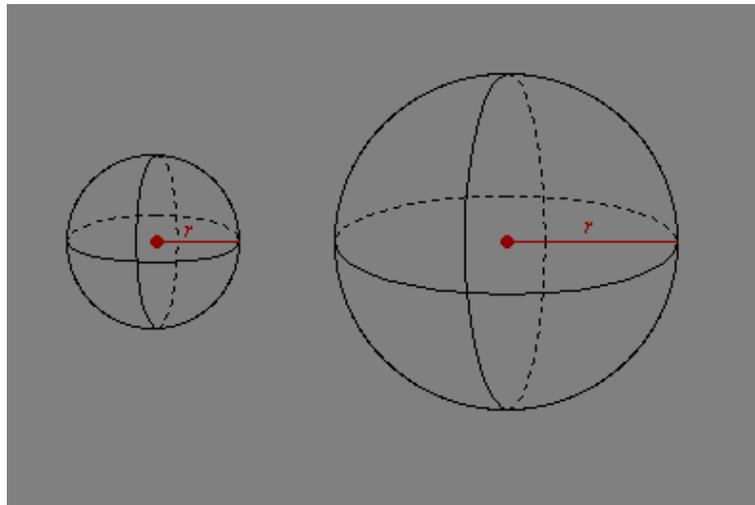
**La transition des unicellulaires vers les multicellulaires.**

## Le rapport surface – volume

Pour un organisme **unicellulaire** (ou **une cellule**), la surface est une interface importante entre l'organisme et l'environnement. L'échange de matière se fait souvent par **diffusion**, un transport passif. Si le **volume** est trop large en fonction de la **surface**, la diffusion sera insuffisante pour que les molécules atteignent rapidement toutes les parties de la cellule.

$$S = 4\pi r^2$$

$$V = (4\pi r^3)/3$$



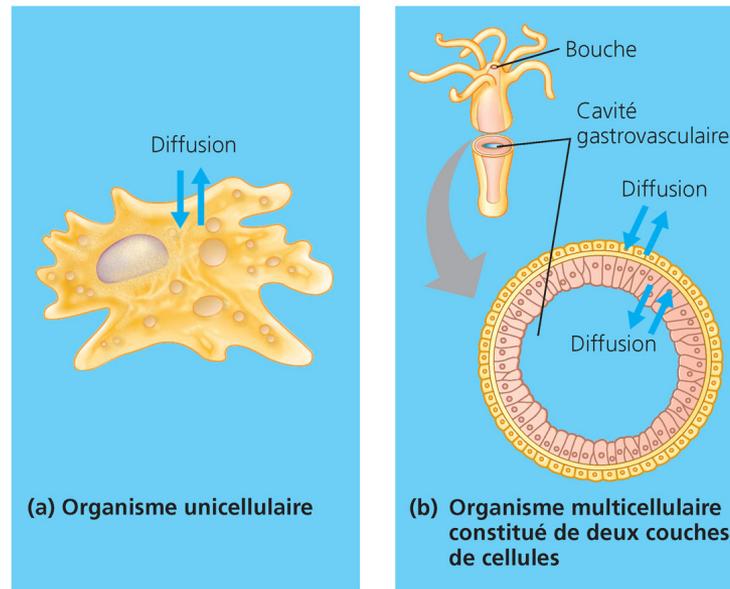
# Plan d'organisation corporelle

## Le rapport surface – volume

La taille d'un animal a des effets directs sur les échanges de matière avec le milieu. Par conséquent:

⇒ La taille ne peut pas augmenter indéfiniment (**S** ↔ **V**)

⇒ Le plan d'organisation corporelle d'un animal est structuré de manière que **chaque cellule baigne dans un milieu aqueux**.



▲ Figure 40.3 Contact avec le milieu.

## Évolution chez les eucaryotes

**unicellulaires** ⇒ **multicellulaires** ⇒ **multicellulaires avec tissus spécialisés**

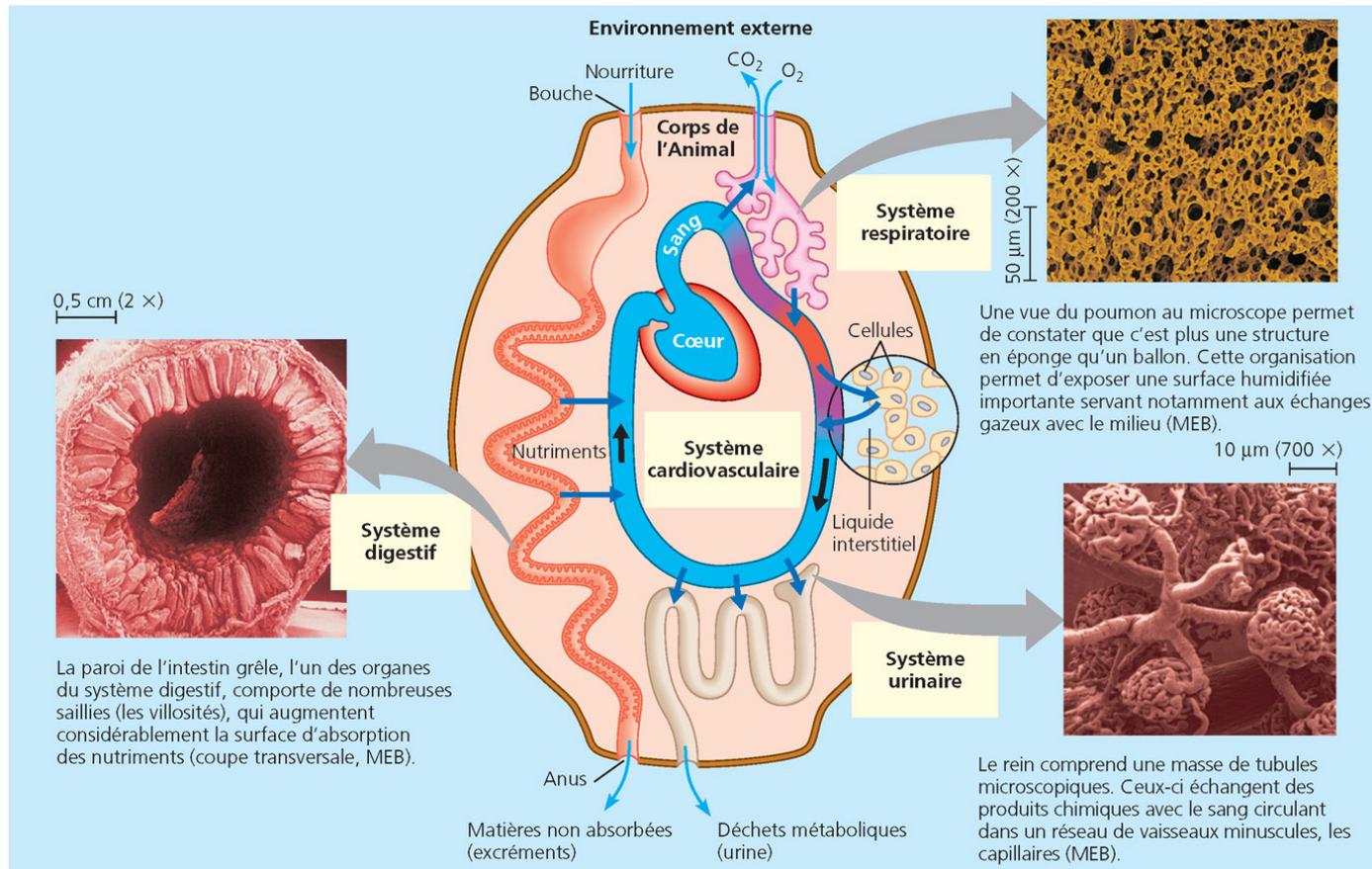
1. L'étape des **colonies**: ensembles de cellules qui se répliquent de façon autonome.
2. **Spécialisation** de certaines cellules au sein des colonies
3. Division et différenciation cellulaires ⇒ formation de **tissus spécialisés** et organes

## Le rapport surface - volume chez les multicellulaires

- ⇒ Les **multicellulaires** ou métazoaires sont composés de nombreuses cellules
- ⇒ Toutes les cellules doivent avoir accès à un milieu aqueux approprié
- ⇒ **Solutions:**
  - Devenir long et mince ou long et plat
  - Les organismes deviennent plus complexes: utiliser des mécanismes de transport interne (**systeme circulatoire**) pour transporter les nutriments, l'oxygène, les déchets etc. vers toutes les cellules du corps.

# Plan d'organisation corporelle

## Le rapport surface – volume: les multicellulaires – système circulatoire interne



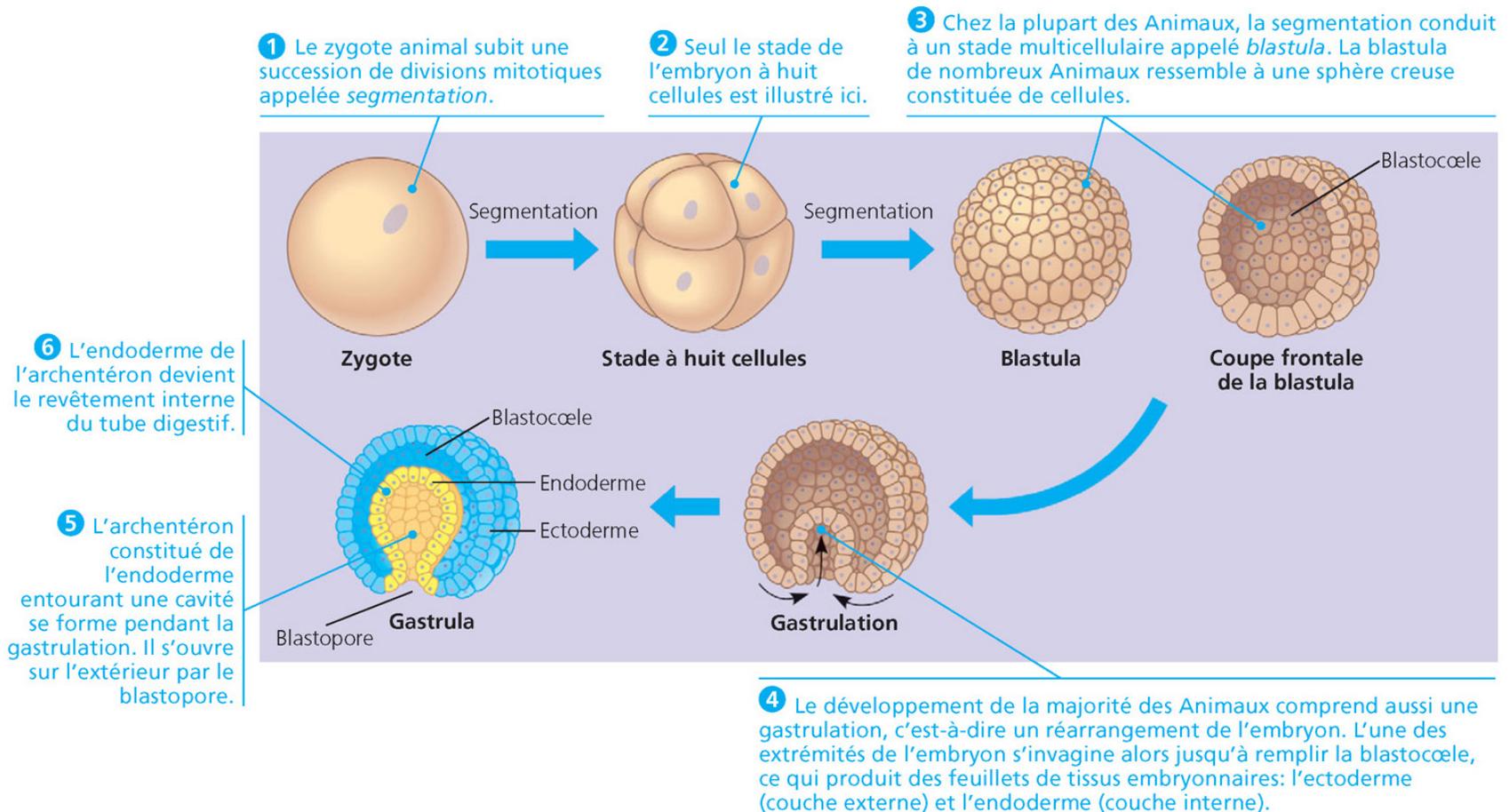
▲ Figure 40.4 Surfaces d'échanges internes des Animaux complexes.

## Le rapport surface – volume: les multicellulaires

Durant les stades du développement de l'embryon des métazoaires, la complexité aurait été possible grâce à l'apparition de **plusieurs feuilletts embryonnaires** ⇒ formation de **tissus spécialisés** et organes (dont le système circulatoire interne)

# Développement

## Développement embryonnaire chez les métazoaires

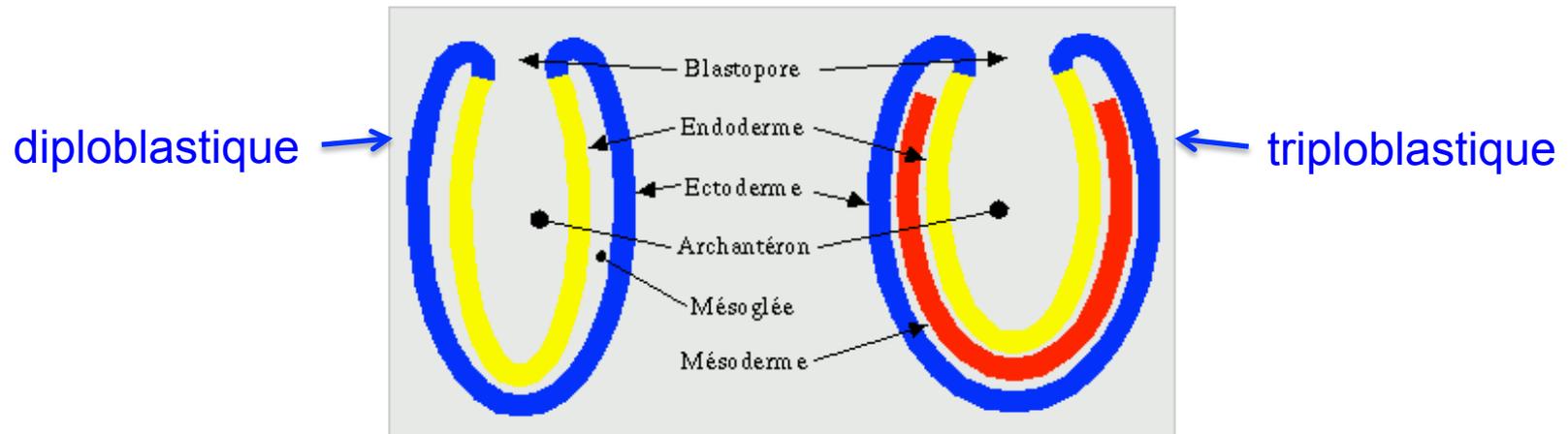


▲ Figure 32.2 Premiers stades du développement embryonnaire chez les Animaux.

# Diploblastiques

## Animaux diploblastiques

- ⇒ Ne possèdent que **2 feuillets embryonnaires: l'ectoderme** (devient épiderme et système nerveux) **et l'endoderme** (devient système digestif).
- ⇒ L'espace qui sépare ces 2 feuillets de cellules est rempli de substance gélatineuse: la **mésoglée**



# Diploblastiques

---

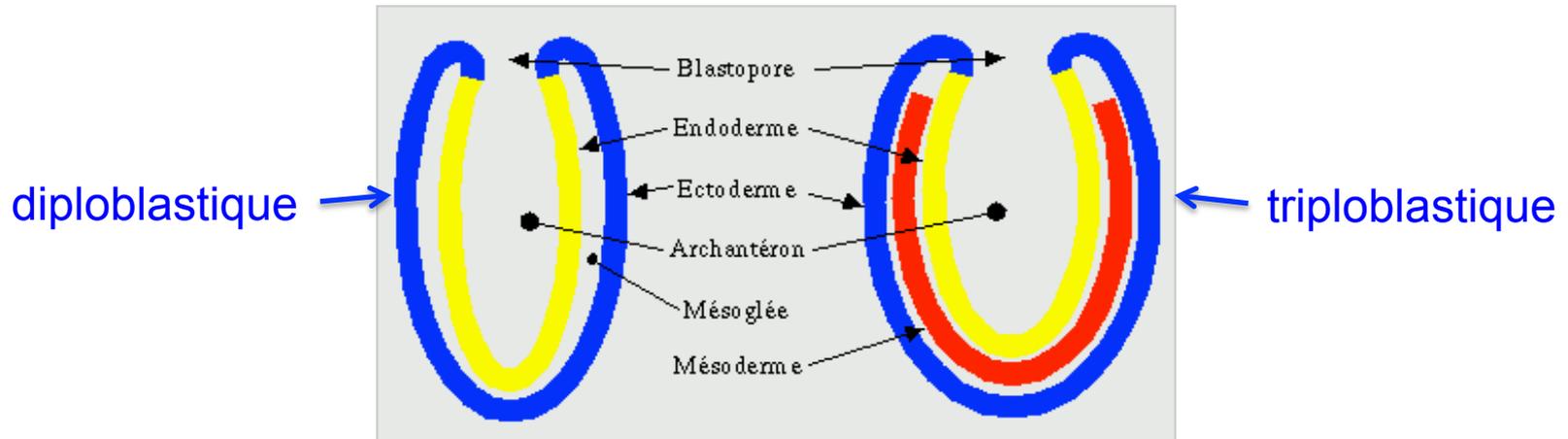
## **Animaux diploblastiques**

- ⇒ Que peu d'animaux semblent être diploblastiques: les Cnidaires (méduses, coraux et hydres) et les Cténophores
- ⇒ Ces groupes ont divergé très tôt des autres animaux métazoaires

# Triploblastiques

## Animaux triploblastiques

⇒ **3 feuillets embryonnaires: l'ectoderme et l'endoderme + le mésoderme** (entre ectoderme et endoderme). Les différents organes des Animaux se développent à partir de ces 3 feuillets embryonnaires.



⇒ **Tous les animaux à symétrie bilatérale:** des vers plats aux Vertébrés en passant par les Arthropodes + Échinodermes (symétrie radiaire au stade adulte) **sont triploblastiques.**

# Triploblastiques

---

## Animaux triploblastiques

⇒ Une étape majeure de la complexification des Métazoaires concerne pourtant, après l'apparition de la multicellularité, la mise en place de la **symétrie bilatérale** qui caractérise la grande majorité des Métazoaires. Il est remarquable en effet que la diversité des plans de structure du corps ainsi que la diversité en espèces ait explosé à partir du moment où les animaux ont acquis la bilatéralité (et ce 3<sup>ième</sup> feuillet embryonnaire): parmi les Triploblastiques, on retrouve plus de 30 phyla distincts correspondant chacun à un plan de corps différent, et plus de 41 millions d'espèces décrites alors que les Métazoaires plus primitifs (Eponges, Placozoaires, Cténophores et Cnidaires) ne regroupent qu'à peu près 30,000 espèces.

# Triploblastiques

---

## Animaux triploblastiques

- ⇒ L'apparition du mésoderme et du coelome (sauf perte secondaire) a probablement augmentée le potentiel évolutif des animaux
- ⇒ Cette cavité remplie de liquide (**le coelome**) s'est développée entre le tube digestif et l'enveloppe corporelle à partir de tissus provenant du mésoderme

### Avantages du coelome:

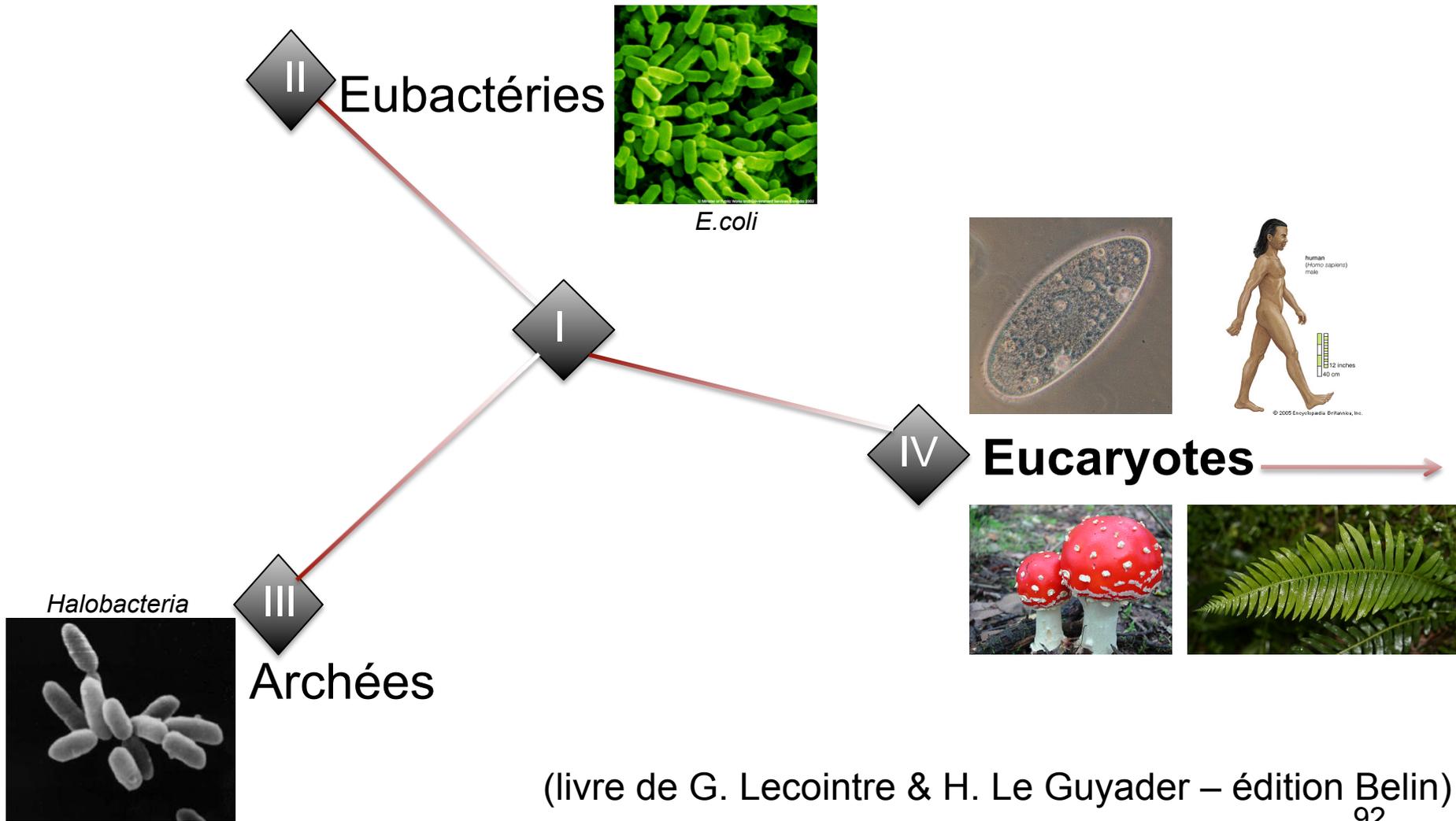
- Le liquide du coelome protège les organes et amortit les chocs
- Fait office de squelette hydrostatique (ex. mouvement des vers)
- Tube interne (digestif) formé par l'endoderme est libéré (expansion possible dans la cavité corporelle)
- Développement de nouvelles structures (ex. chambres de stockage pour les gamètes)

# Evolution

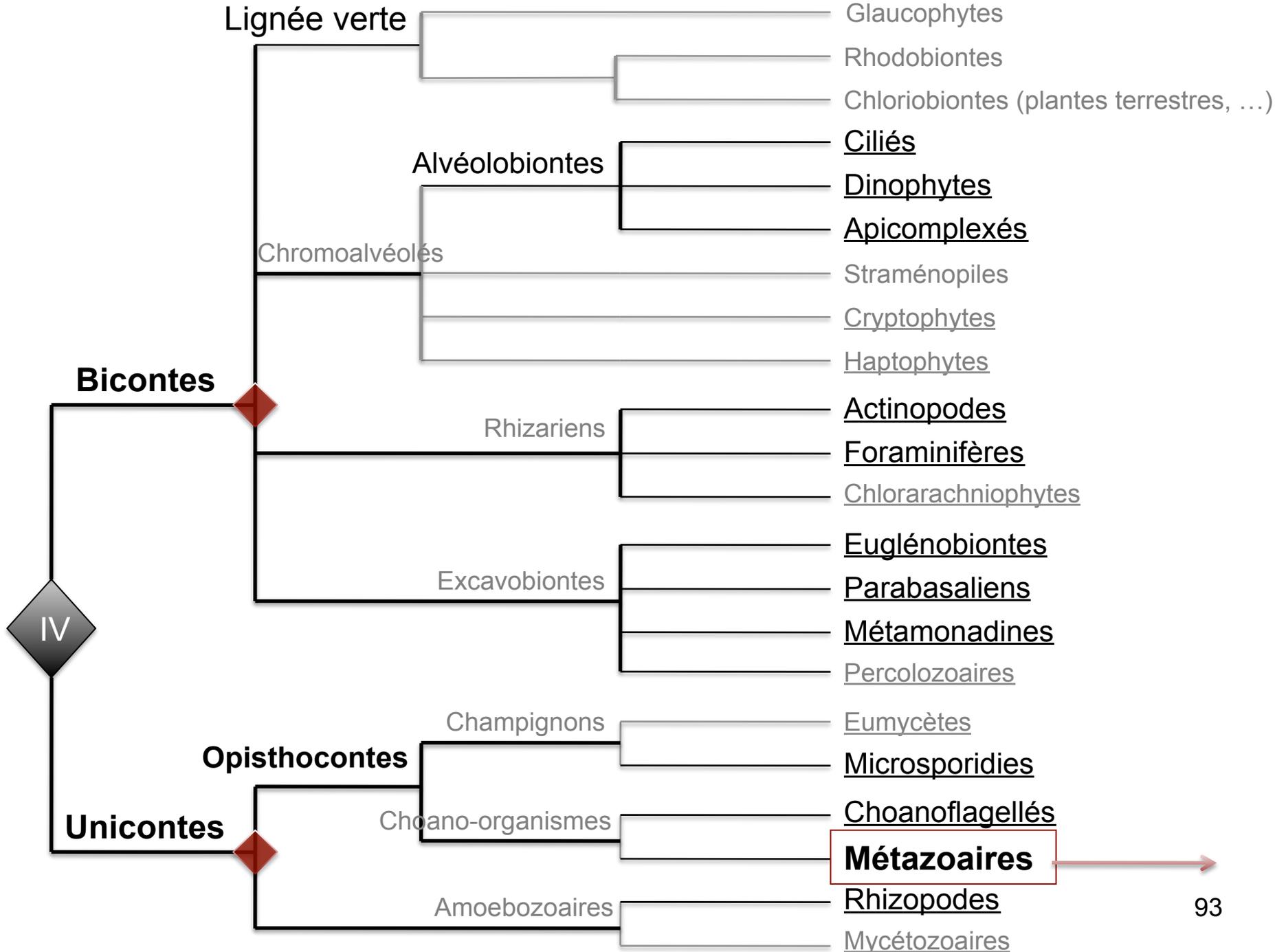
---

**Retournons à l'arbre de la vie**

# Classification du vivant



(livre de G. Lecointre & H. Le Guyader – édition Belin)



## ◆ Métazoaires: pluricellulaires mobiles, hétérotrophes

### Caractères dérivés propres:

- **Collagène**: protéine fondamentale de la matrice extracellulaire
- Structure unique du **spermatozoïde**
- **Centriole** à la base des cils et des flagelles
- Contiennent de la **fibronectine** et/ou **intégrines**
- **Méiose** → **gamètes** + 1 des 4 cellules femelles est fonctionnelle et contient les réserves
- Présence de **desmosomes**: jonctions membranaire

### Plus anciens fossiles:

- La faune précambrienne d'Ediacara (~ 650 M.a.)

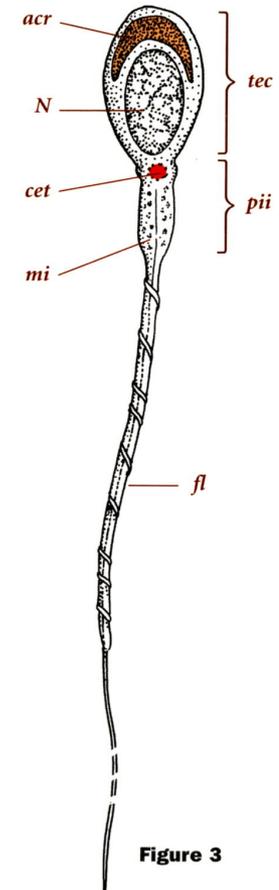
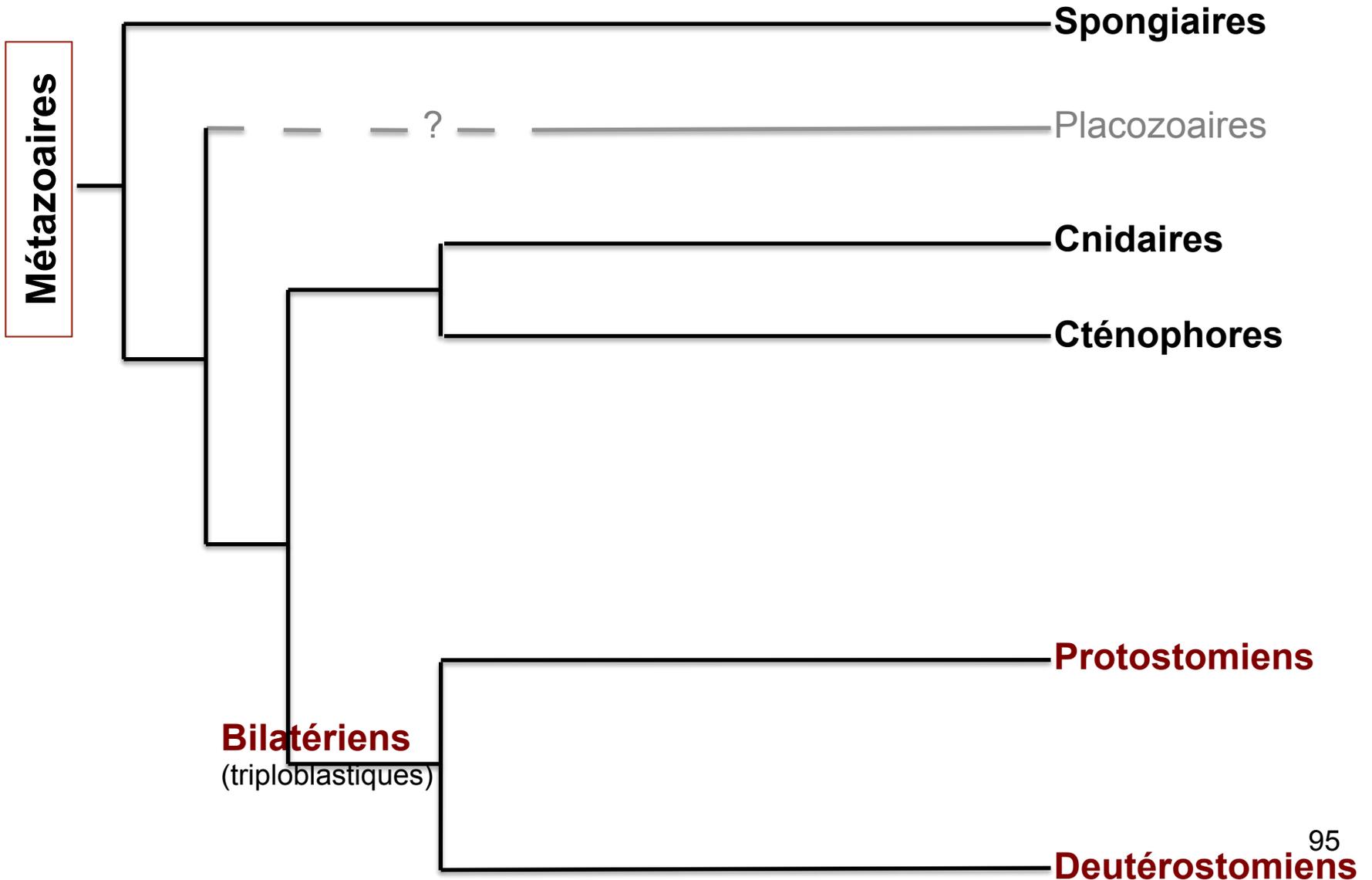


Figure 3

# Classification du vivant



## ◆ Bilatériens

### Caractères dérivés propres:

- **Triploblastiques:** 3 feuilletts
- ⇒ mésoderme apparaît et comporte une cavité, le coelome (sauf pertes secondaires!)
- **Symétrie bilatérale:** 2 axes de polarité
- Axe de polarité antéro-postérieure // sens de déplacement
- **Céphalisation** : organes des sens autour de la bouche (**tête**)
- Blastopore donne un des orifices du **tube digestif**
- **Système nerveux central** autour d' un ganglion céphalique
- Système excréteur : **protonéphridies**
- Gènes de développement *Hox* sont groupés en un complexe.

## ◆ Protostomiens (nouvelle classification grâce au 18S et gène *Hox*)

- **Blastopore devient bouche**
- **Cœlome formé par schizocœlie**
- **Segmentation spirale**
- **Système nerveux ventral**

## ◆ Lophotrochozoaires

Larve de type trochophore ou animaux possédant lophophore (couronne de tentacules autour de la bouche)

## ◆ Ecdysozoaires

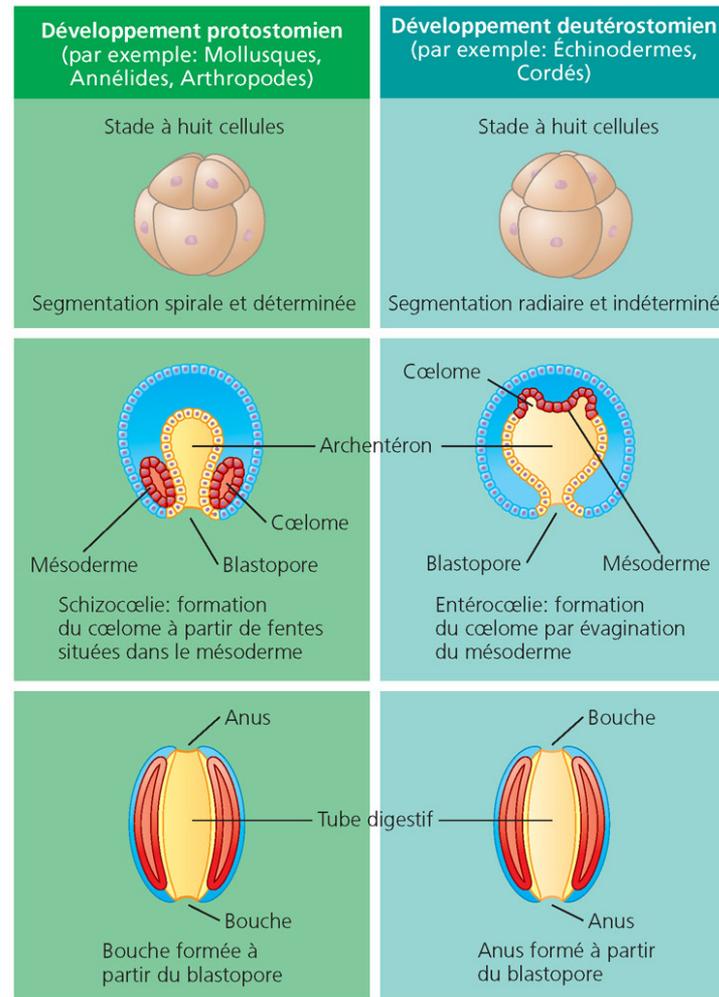
- Ecdysis: croissance par des mues
- Cuticule de chitine  $\alpha$  est formée de 3 couches

## ◆ Deutérostomiens (nouvelle classification grâce au 18S et gène *Hox*)

- **Blastopore devient anus, bouche formée secondairement**
- **Cœlome formé par entérocoélie**
- **Segmentation radiaire**
- **Système nerveux dorsal**

# Classification du vivant

On différencie les **protostomiens et deutérostomiens**: mode de développement est différent a 3 niveaux  
 ⇒ segmentation  
 ⇒ formation du coelome  
 ⇒ destinée du blastopore



**(a) Segmentation.** La majorité des Protostomiens subissent une segmentation spirale et déterminée, tandis que la plupart des Deutérostomiens subissent une segmentation radiaire et indéterminée.

**(b) Formation du coelome.** La formation du coelome se produit pendant le stade de la gastrula. Dans le développement protostomien, le coelome se forme par schizocœlie, c'est-à-dire à partir de fentes situées dans le mésoderme. Dans le développement deutérostomien, il se forme par entérocoœlie, c'est-à-dire par évagination du mésoderme depuis la paroi de l'archentéron.

**(c) Destinée du blastopore.** Le blastopore devient la bouche chez les Protostomiens, tandis que c'est l'ouverture du côté opposé qui devient la bouche chez les Deutérostomiens.

▲ Figure 32.9 Comparaison des modes de développement protostomien et deutérostomien.

**Protostomiens**

**Lophotrochozoaires**

Trochozoaires  
(larve trochophore)

Spiraliens

Lophophorates  
(Lophophore)

**Ecdysozoaires**

Panarthropodes

- Rotifères
- Acanthocéphales
- Cycliophores
- Entoproctes
- Plathelminthes
- Némertes
- Mollusques
- Siponcles
- Annélides
- Ectoproctes
- Brachiopodes
- Phoronidiens
- Chaetognathes
- Gastrotriches
- Onychophores
- Tardigrades
- Euarthropodes
- Nématodes
- Nématomorphes
- Kinorhynches
- Loricifères 100
- Priapuliers

