

## I. Evolution des structures et des fonctions

1. Type de symétrie
2. Tégument
3. Squelette
4. Mouvement (locomotion)
5. Circulation et respiration
6. Excrétion et osmorégulation
7. Système nerveux
8. Digestion
- 9. Développement**
  - \* **Nombre de feuilletts embryonnaires**
  - \* **Cavités cœlomiques**
  - \* **Segmentation**

## Buts :

- 1) Comment la morphologie et la physiologie du groupe sont-elles adaptées à son mode de vie et à son environnement?
- 2) Comment la morphologie et la physiologie du groupe reflètent-elles l'origine évolutive du groupe et ses relations phylétiques aux autres taxons?

**Tissu?** Agrégation de cellules morphologiquement et physiologiquement similaires pour réaliser une fonction donnée

**Eumétazoaires** Les tissus se mettent en place pendant le développement embryonnaire

2 ou 3 tissus :

**Ectoderme** : Les cellules qui forment le revêtement externe de l'embryon

**Endoderme** : Les cellules formant le revêtement interne

**Mésoderme** : Les cellules formant le tissu intermédiaire

**Diblastiques**  
Cnidaire,  
Cténophore

**Triblastiques**  
Tous les autres

Il existe une constance remarquable entre tous les euMétazoaires concernant le destin de ces trois lignées cellulaires :

**Ectoderme : forme le système nerveux, l'épiderme et tous ses dérivés, le système excréteur (avec le mésoderme)**

**Endoderme : forme la portion centrale du tube digestif et tous ses structures associées**

**Mésoderme : forme les cavités cœlomiques et leur revêtement (péritoine,...), le système circulatoire, la musculature, le système reproducteur, le tissu conjonctif, et la plupart des structures de support interne**

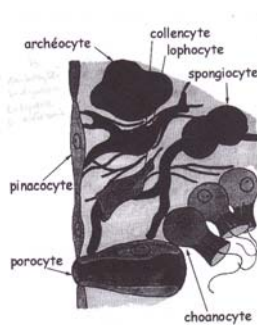
Quelles sont les différences entre mésoglée, mésoderme et mésenchyme, parenchyme ?



Les mêmes mots sont utilisés de façon confuse pour désigner différentes choses, entre embryologistes et zoologistes des invertébrés, versus des vertébrés

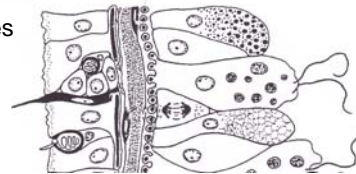
### Mésoglée

- \* Tissu conjonctif, présent chez l'adulte
- \* Dérivé entièrement ou principalement d'ectoderme
- \* Situé entre ectoderme et endoderme
- \* Formé d'une matrice acellulaire de protéines gélatineuses (fibres de collagène,...), et de cellules
- \* Cellules archéocytes, amiboïdes,... des Spongiaires
- \* Cellules interstitielles reproductrices des Diblastiques



Spongiaires

Cnidaires



Quelles sont les différences entre mésoglée, mésoderme et mésenchyme, parenchyme ?

- Mésoderme**
- \* Tissu embryonnaire dense (type «parenchyme»)
  - \* Dérivé entièrement de l'endoderme (entérocoelie) ou de blastomères particuliers dont le devenir est défini très tôt au cours du développement (4d, schizocoelie)
  - \* Situé entre ectoderme et endoderme
  - \* Entièrement cellulaire
  - \* À l'origine de la majorité des systèmes des triblastiques: circulatoire, excréteur, ...

Quelle sont les différences entre mésoglée, mésenchyme et mésoderme?

Ce qui prête à confusion :

1) Est-ce que la mésoglée est vraiment très distincte du mésoderme?

Distinction plutôt confuse, car:

- Position entre ectoderme et endoderme similaire
- Présence et migration de cellules similaire
- Spécialisation de types cellulaires dans la mésoglée imitant la formation de tissus dérivant du mésoderme (cellules reproductrices des Cnidaires,...)

→ On n'a pas de réponse définitive concernant l'homologie ou l'analogie entre mésoglée et mésoderme

Quelle sont les différences entre mésoglée, mésenchyme et mésoderme?

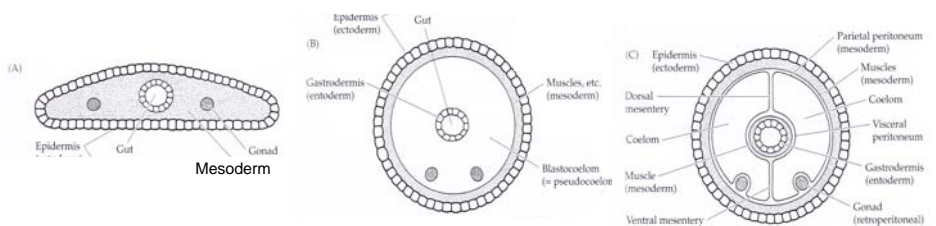
Ce qui prête à confusion :

- 2) **Mésenchyme** = utilisation « histologique » du terme: ensemble des tissus et organes dérivés du mésoderme, chez l'adulte désignant les tissus peu organisés (tissus conjonctifs, vaisseaux sanguins, cellules sanguines, cœur, rein).. Chez les zoologistes étudiant les Vertébrés!  
Mais on parle de mésenchyme de Spongiaires également... qui n'ont pas de mésoderme.
  
- 3) **Mésenchyme** = parenchyme, quand sa composition cellulaire s'accroît et que le tissu devient dense (parenchyme des Platyhelminthes... qui est dérivé du mésoderme)

Pourquoi est-ce que le mésoderme est important à considérer?

L'apparition du mésoderme a grandement contribué à augmenter le potentiel évolutif de complexification des métazoaires

1) Apparition de cavités coelomiques dans le mésoderme



Acoelomate: mésoderme plein ou avec petites lacunes (Platyhelminthes)

Pseudocoelomate: cavité (blastocoelome) dérivée du blastocoele de l'embryon, entourée de mésoderme extérieurement uniquement (Nématodes,...)

Coelomate: cavité (coelome) entourée de mésoderme intérieurement et extérieurement (péritoine des Annélides, Echinodermes,...)

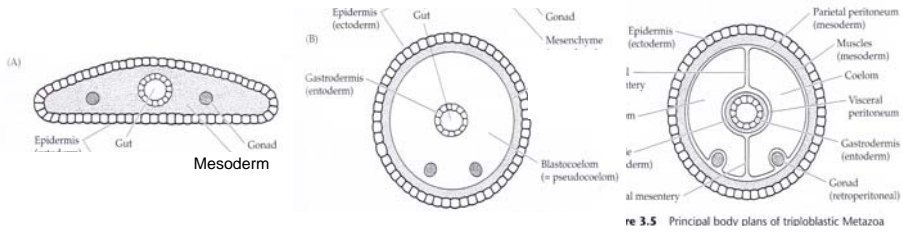
Ces distinctions ne correspondent pas à des transitions évolutives (voir plus loin)

Pourquoi est-ce que le mésoderme est important à considérer?

2) Mise en place d'un tube (digestif) dans un tube (tégument)

\* Le tube digestif ne doit plus être attaché au tube tégumentaire (sauf à ses extrémités)

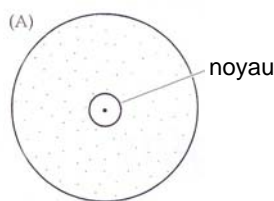
\* L'espace entre les deux tubes sert de: zone de différenciation de structures (systèmes reproducteur, circulatoire, excréteur); hydrosquelette,...



Les grands plans de développement des euMétazoaires

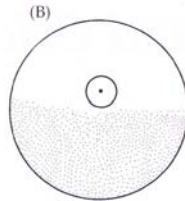
1) Œuf

Contient l'embryon et le vitellus (nutriments pour le développement)



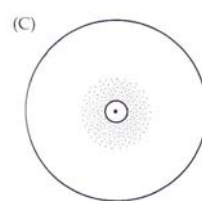
Œuf isolécithe

Mammifère (oligolécithe), amphioxus



Œuf télolécithe

Amphibien, oursin (hétérolécithe), platy, annélide, mollusque, poisson, reptile, oiseau



Œuf centrolécithe

Arthropode (œuf « télolécithe » des Insectes)

Polarisation:

\* pôle végétatif où se concentre le vitellus, et l'endomésoderme

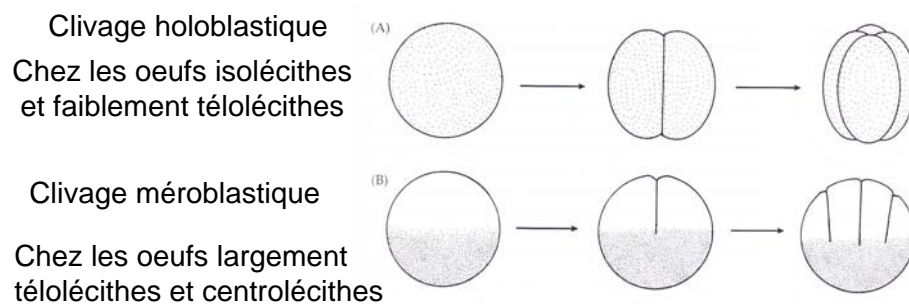
\* pôle animal de l'autre côté, où se met en place l'ectoderme

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage

Premières divisions cellulaires formant des blastomères

Le clivage total ou partiel de l'œuf dépend de la quantité de vitellus



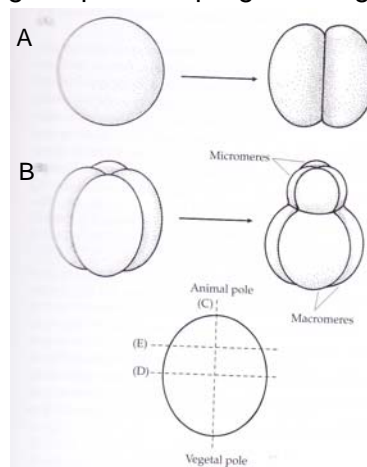
## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage

L'orientation des plans de clivage dépend du programme génétique

\* Clivages égal (A) ou inégal (B, produisant micro- et macro-mères)

\* Clivages longitudinal (méridional C) selon l'axe A-V, et transversal (équatorial D, ou latitudinal E)



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage

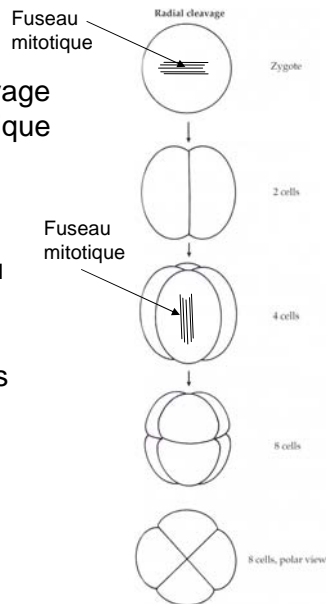
L'orientation des plans de clivage dépend du programme génétique

#### \* Clivage radiaire

Fuseaux mitotiques des blastomères sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe A-V

Les blastomères sont arrangés en lignes ou en colonnes parallèles à l'axe A-P

Vu des pôles, la symétrie est radiaire



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage

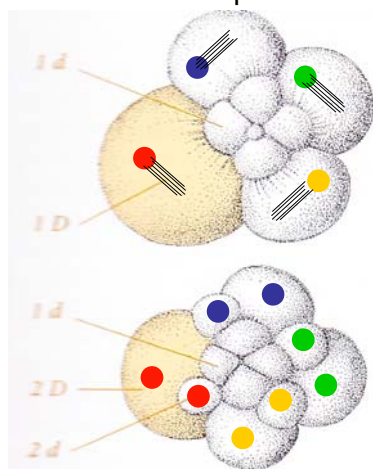
L'orientation des plans de clivage dépend du programme génétique

#### \* Clivage spiralé

Dès la première division, les fuseaux mitotiques des blastomères sont **en diagonale** par rapport à l'axe A-P

Chaque blastomère supérieur (micromère: 2d) est positionné entre deux blastomères inférieurs (macromère: 2D, 2C)

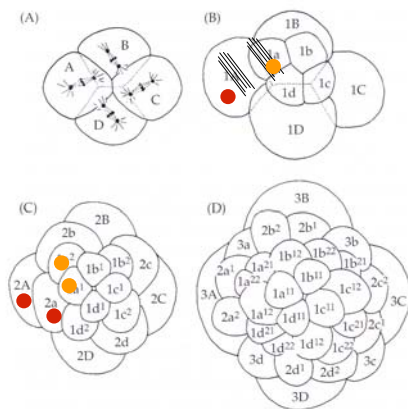
Vu des pôles, la symétrie est spirale



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage \* Clivage spiralé

L'orientation des plans de clivage dépend du programme génétique

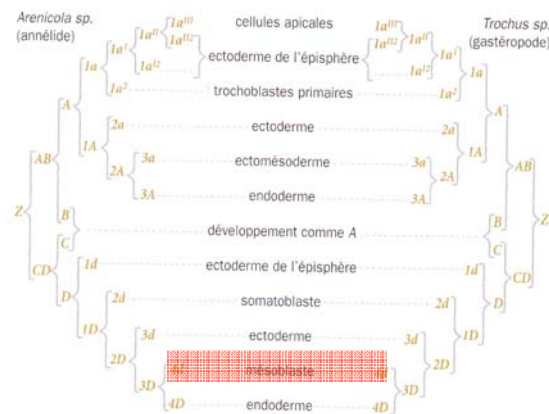


Aux étapes de division suivantes (8 vers 16 cellules,...), les fuseaux mitotiques alternent entre diagonales gauche et droite

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage \* Clivage spiralé

L'orientation des plans de clivage dépend du programme génétique

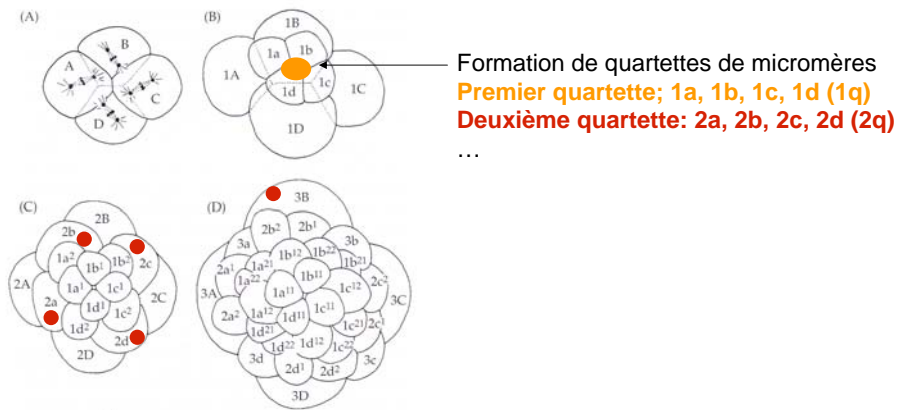


Codage de Wilson (1892) pour suivre le destin développemental des différentes lignées de cellules



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

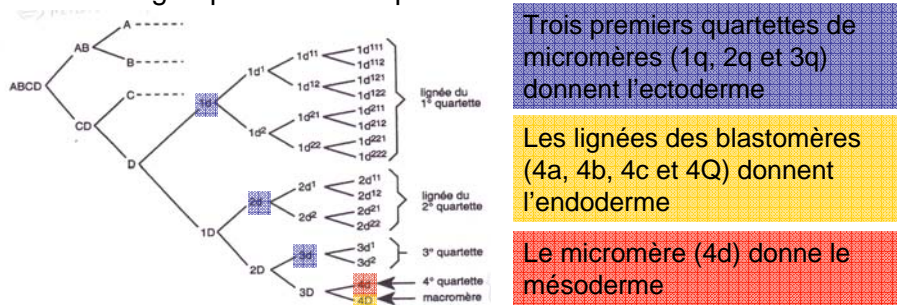
### 2) Clivage \* Clivage spiralé



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage Clivage spiralé

En général, les blastomères des différentes divisions successives (quartettes de micromères et de macromères) donnent les mêmes tissus entre groupes taxonomiques:



→ Origine phylétique vraisemblablement unique pour les groupes se développant par clivage spiralé!

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage

Le « destin » des cellules souches (leur devenir dans l'adulte) est fixé tôt, tard ou jamais pendant le développement

\* Clivage **déterminé** si la différenciation de la cellule est fixée tôt

\* Clivage **indéterminé** si la différenciation de la cellule est régulé par sa position en cours de développement (signalisation intercellulaire)



La relation entre le clivage spiral ou radial et le devenir déterminé ou indéterminé des blastomères reste peu testé expérimentalement. Les différentes combinaisons ont été observées chez différents invertébrés.

Le clivage produit un nombre déterminé ou indéterminé de cellules

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 2) Clivage

Le « destin » des cellules souches (leur devenir dans l'adulte) est fixé tôt, tard ou jamais pendant le développement

Pourquoi étudier le devenir des blastomères en cours de développement?



Dans le cas de détermination précoce du destin des blastomères, le suivi du destin des cellules pendant le développement permet de tester si les lignées de cellules, et donc les systèmes qui en découlent, sont homologues ou non entre taxa.

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### Résumé: types d'œufs, clivage, et groupe taxonomique

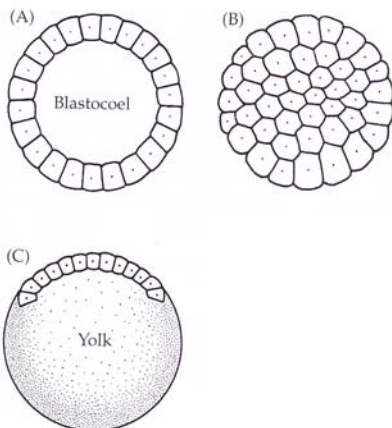
*Types of Eggs and Cleavage Patterns*

Type of Egg	Basic Cleavage Pattern	Specific Cleavage Pattern	Examples
Isolecithal (Homolecithal)	Holoblastic	Radial	Many echinoderms, amphioxus, mammals
Telolecithal, moderate yolk	Holoblastic	Radial Spiral	Amphibians Some flatworms, most annelids, most molluscs
Telolecithal, much yolk	Meroblastic	Discoidal	Cephalopods, most fishes, reptiles, birds
Centrolecithal	Meroblastic	Superficial	Most arthropods

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 3) Blastula

Etape du développement qui précède la formation des tissus embryonnaires



Le clivage holoblastique donne soit:

(A) Coeloblastula (blastocoele, une couche de cellules)

(B) Stereoblastula (remplie de cellules)

Le clivage méroblastique donne:

(C) Discoblastula (embryon PA)

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 4) Gastrulation

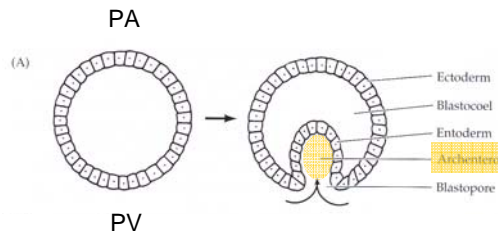
Etape du développement où les mouvements morphogénétiques sont entamés

Coeloblastula et variantes:

A) **Invagination** du PV dans le blastocœle, ouvrant une cavité archentérique connectée à l'extérieur par le blastopore.

Ectoderme = tissu extérieur  
Endoderme = tissu intérieur couvrant l'archenteron

➡ Coelogastrula



Cas habituel

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 4) Gastrulation

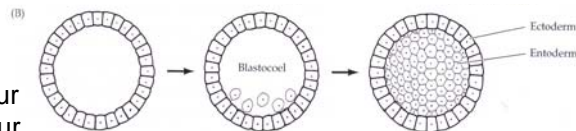
Etape du développement où les mouvements morphogénétiques sont entamés

Coeloblastula et variantes:

B) **Ingression** de certaines cellules de la paroi pour remplir la cavité

Ectoderme = tissu extérieur  
Endoderme = tissu intérieur remplissant la gastrula

➡ Stéréogastrula



Cas de nombreux Cnidaires

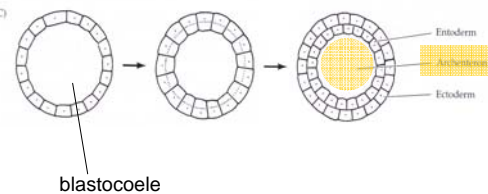
## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 4) Gastrulation

Etape du développement où les mouvements morphogénétiques sont entamés

Coeloblastula et variantes:

- C) **Délamination** de cellules de la paroi provenant de divisions mitotiques perpendiculaires à la paroi, pour remplir la cavité  
 Ectoderme = tissu extérieur  
 Endoderme = tissu intérieur remplissant ou non la gastrula



➔ Coelogastrula ou Stéréogastrula

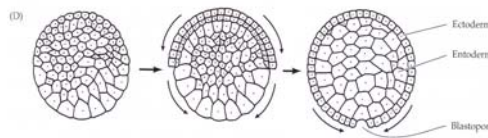
## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 4) Gastrulation

Etape du développement où les mouvements morphogénétiques sont entamés

Stéréoblastula :

- D) **Epibolie**: il n'y a pas de cavité permettant une invagination, ingression ou délamination. Les cellules extérieures formant le futur ectoderme recouvrent par l'extérieur depuis le PA la masse de cellules internes formant le futur endoderme. L'archenteron se forme secondairement dans l'endoderme.



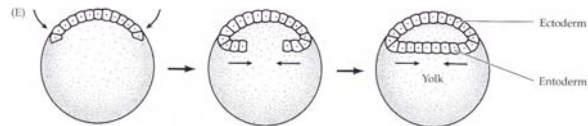
## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 4) Gastrulation

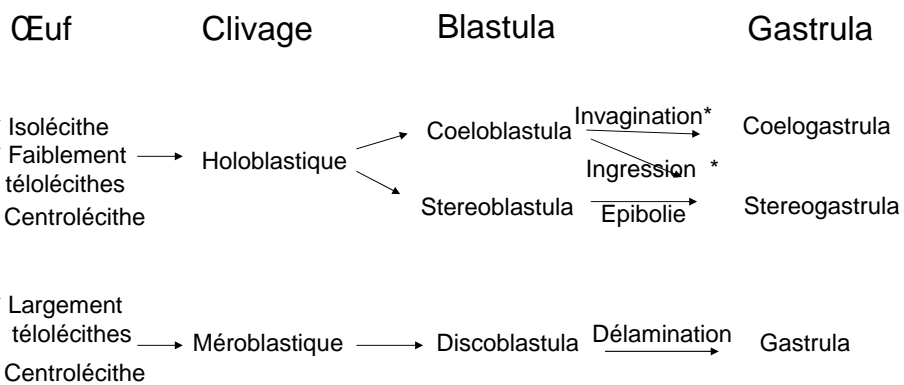
Etape du développement où les mouvements morphogénétiques sont entamés

Discoblastula :

E) **Involution**: les cellules au bord du disque se multiplient et glissent sous le disque, formant l'endoderme. Les cellules en surface forment l'ectoderme



### Résumé



\* Ou Involution

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 5) Mésoderme et cavités cœlomiques

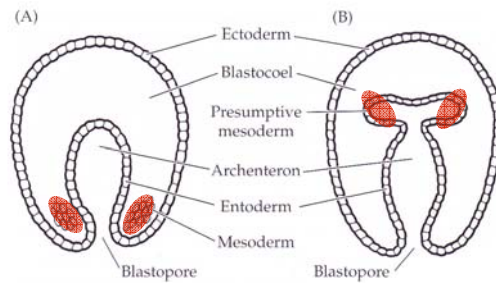
Pendant ou juste après la gastrulation

Formation d'une troisième couche entre ecto- et endo-dermes :

\* d'origine ectodermique pour les Diblastiques (leur mésoglée)

\* d'origine endodermique pour les Triblastiques (véritable mésoderme):

« Spiralia » :  
mésoderme  
provient de la  
cellule 4d



Deutérostomiens  
(clivage radiaire) :  
mésoderme  
bourgeonne de la  
paroi de  
l'archenteron

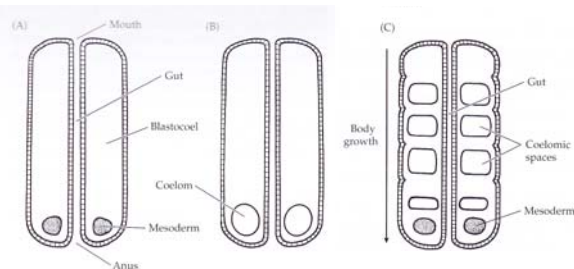
## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 5) Mésoderme et cavités cœlomiques

Pendant ou juste après la gastrulation

Chez les « Coelomates » ; des cavités cœlomiques se forment à partir du mésoderme:

Schizocœlie :



Les paquets de mésoderme pleins de part et d'autre de l'archentéron du côté du pôle végétatif, grandissent et se creusent, formant des cavités cœlomiques paires. Qui se multiplient vers le PA de l'animal, en bourgeonnant de nouveaux paquets.

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

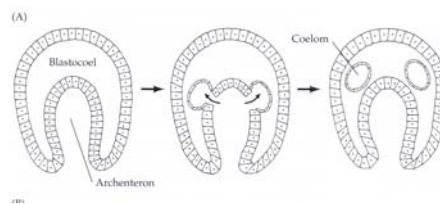
### 5) Mésoderme et cavités cœlomiques

Pendant ou juste après la gastrulation

Chez les Coelomates; des cavités cœlomiques se forment à partir du mésoderme:

#### Entérocoelie

Le mésoderme s'évaginant de l'archentéron forme une paire ou plus de poches dont la paroi forme le mésoderme et les cavités sont cœlomiques



On a souvent trois paires de cavités nommées proto-, méso-, et méta-cœles

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### Résumé: types d'œufs, clivage, et groupe taxonomique

Developmental differences between protostomes and deuterostomes, and some representative phyla.

#### PROTOSTOMES

- 2) Spiral cleavage
- 1) Blastopore becomes mouth
- 6) Nerve cords of central nervous system ventral
- 3) Mesoderm derived from mesentoblast (usually the 4d cell)  
Subepidermal musculature derived, at least in part, from 4d mesoderm
- 4) Schizocoelous coelom formation
- 5) Embryogeny results in adult coeloms as a single pair or metamericly arranged pairs, or adult coelom reduced

Examples: Nemertea, Sipuncula, Echiura, Annelida, Onychophora, Arthropoda, Mollusca

#### DEUTEROSTOMES

- Radial cleavage
- Blastopore does not become mouth (often becomes the anus)
- Nerve cords of central nervous system not ventral
- Mesoderm arises from wall of archenteron
- Sheets of subepidermal muscles derived, at least in part, from archenteric mesoderm
- Enterocoelous coelom formation
- Embryogenesis results in tripartite arrangement of body cavities (protocoel, mesocoel, and metacoel),

Examples: Echinodermata, Hemichordata, Chordata

Note: Some authors regard the acoelomate flatworms (Platyhelminthes) as protostomes because they show all the developmental traits of the latter, except they do not possess a coelom, do not have a circumenteric nervous system, and lack an anus.



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 6) Morphogénèse

Les cellules embryonnaires acquièrent leur disposition dans l'embryon et la structure de base du plan du corps sont définies très rapidement  
 Ex: aux environs du stade 10,000 cellules, en deux jours, chez l'humain

Ensuite, ces cellules commencent à se différencier et à produire tissus et organes = morphogénèse

Celle-ci est encore peu comprise:

- \* les molécules de signalisation diffusent entre cellules (hormones, facteurs de croissance)
- \* les cellules adhèrent les unes aux autres physiquement et migrent par contact entre cellules successives

## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 7) Segmentation

Une structure **métamérique** provient de la segmentation répétée du mésoderme pendant le développement, se creusant de **cavités coelomiques**, autour desquelles s'organisent les éléments répétés du système nerveux, digestif, circulatoire,...

4 Cas dans votre syllabus:

Larve trochophore d'Annélide

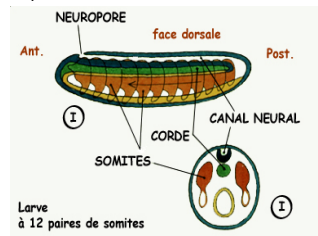


Origine unique ou multiple de la métamérisation?

Larve « Nauplius » de crustacé (p. 256 syllabus)

Larve Echinoderme (p. 288 syllabus)

Larve de *Branchiostoma* (Céphalocordé)



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 7) Segmentation

Pourquoi les strobiles de Scyphozoaires et les proglottis de Cestodes ne sont-ils pas des structures métamériques?

#### 1) Les strobiles (Cnidaire)

Un strobile « mûr » est en fait un empilement de minuscules méduses que l'on appelle des « éphyrules » et qui sont encore solidaires les unes des autres

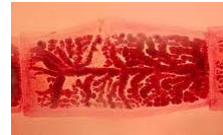
→ Pas de mésoderme, pas de cavités coelomiques



#### 2) Les proglottis (Platyhelminthe)

Chacun des segments d'un Cestode, contenant essentiellement des structures de reproduction

→ Pas de cavités coelomiques



## Les grands plans de développement des euMétazoaires

### 8) Développements direct et indirect

\* **indirect**: stade larvaire libre distinct morphologiquement de l'adulte, la larve se nourrit (larve planctonique) ou pas (larve lécitotrophique) et atteint le stade juvénile / adulte suite à une métamorphose

\* **direct**: les embryons sont pris en charge par les parents (nourrissage, encapsulation) et émergent en tant que juvénile morphologiquement proches des adultes

\* **mixte**: direct, puis indirect

I. Evolution des structures et des fonctions

NB:

Le « **plan corporel** » inclut les éléments suivants:

- 1) Type de symétrie
- 2) Nombre de feuillet embryonnaires
- 3) Cavités cœlomiques
- 4) Structure et disposition du tube digestif
- 5) Disposition du système nerveux (céphalisation, hygoneurien,...)
- 6) Segmentation

*Plan*

I. Evolution des structures et des fonctions

**II. Les relations phylétiques : certitudes et incertitudes actuelles**

1. Principes
2. Caractères stables, potentiellement homologues
3. Les relations phylétiques: consensus actuel
4. Les relations phylétiques: les points qu'il reste à éclaircir

III. Incertitudes phylétiques: quelles conséquences ?

Quels critères pour établir les relations phylétiques entre phyla?

Recherche de caractères **homologues** et donc comparables:  
les seuls caractères permettant de définir l'histoire évolutive des  
organismes



De quels types de critères dispose-t-on?

### 1) Critères morphologiques:

« Autrefois », seuls caractères disponibles. Parmi tous les systèmes et  
caractères discutés, certains sont **stables**, d'autres **non**.

Un caractère stable est **conservé pour (presque) toutes les espèces d'un  
taxon**, tandis qu'un caractère labile varie grandement entre espèces /  
taxons apparentés.

Utiliser les caractères stables pour discuter des **relations phylétiques**. Les  
autres caractères sont (sans doute) liés plus fortement au mode de vie des  
organismes.

### 1) Critères morphologiques

Quels sont les caractères vraisemblablement les plus stables?

1. **Type de symétrie**
2. Tégument
3. **Squelette**
4. Mouvement (locomotion)
5. Circulation
6. Respiration
7. **Excrétion**
8. **Système nerveux**
9. Digestion
10. Mode de reproduction
11. **Développement**
  - \* **Types de clivage**
  - \* **Blastulation**
  - \* **Gastrulation**
  - \* **Nombre de feuilletts embryonnaires**
  - \* Cavités coelomiques
  - \* Segmentation

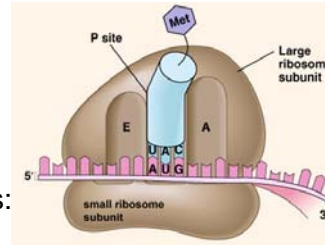
Quels critères pour établir les relations phylétiques entre phyla?

## 2) Critères moléculaires

Apparus les 30 dernières années:  
\* ARN ribosomique nucléaire 18S

Puis nombreux autres marqueurs moléculaires:

- \* Génomes mitochondriaux
- \* Familles de gènes de signalisation (*Wnt*,...)
- \* Transcriptomes
- \* Génomes complets,...

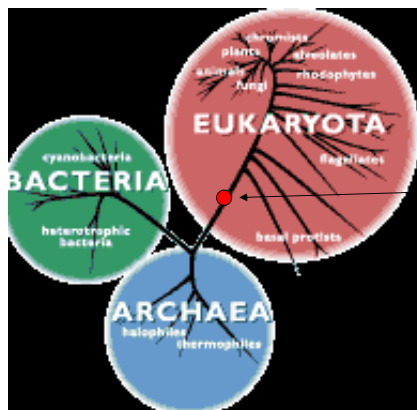


Ont confirmé ou infirmé les relations phylétiques.  
Grands changements ces 8 dernières années

→ **Solution** ? Considérer l'**ensemble** des caractères disponibles pour établir les relations entre taxa

## 1) Synapomorphies unissant les Eucaryotes

Phylogénie (**phylogénomique**) basée sur le séquençage de génomes (ADN) complets de 1000 eubactéries, 100 archées et 100 eucaryotes (mars 2010) soutient la **monophylie** des **Eucaryotes**

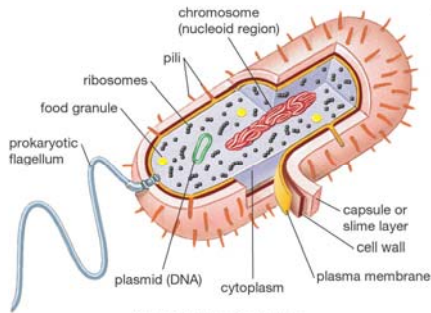


Les eucaryotes ont un ancêtre unique en commun, ils forment donc un clade monophylétique (origine: 1,9 milliards d'années.. ou plus!)

(Origine des Procaryotes: plus de 3 milliards d'années)

### 1) Synapomorphies unissant les Eucaryotes

#### Cellule procaryote



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

#### Cellule eucaryote

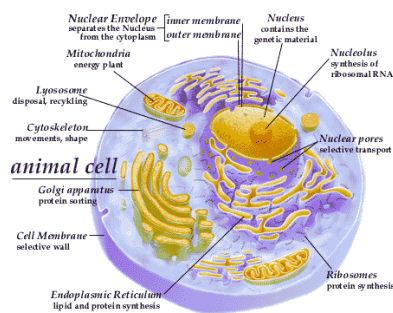
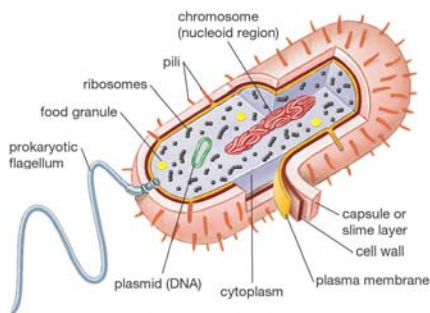


Illustration: Urban Frank

- 1) Cellule **1000 x plus grosse**
- 2) L'ADN est contenu dans un **noyau** délimité par une membrane nucléaire
- 3) **Compartmentalisation** interne complexe: appareil de Golgi, chloroplastes et mitochondries, lysosome, reticulum endoplasmique,...

### 1) Synapomorphies unissant les Eucaryotes

#### Cellule procaryote



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

#### Cellule eucaryote

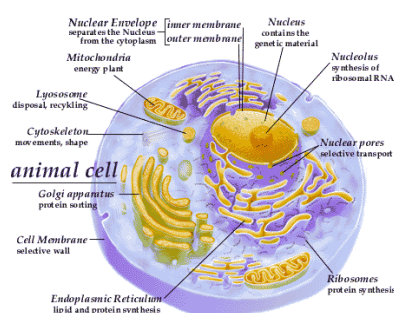


Illustration: Urban Frank

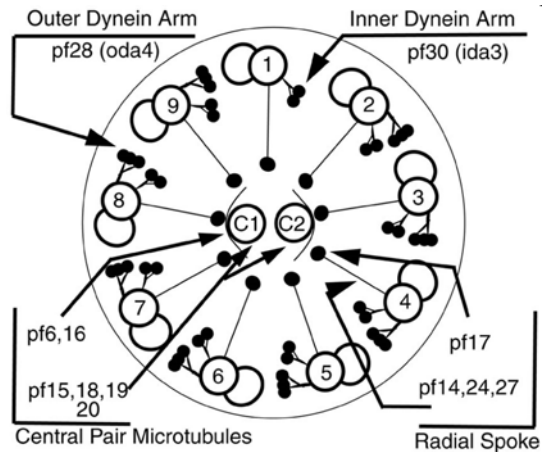
- 4) Des **mitochondries** sont présentes, qui assurent la respiration. Leur absence dans une cellule eucaryote résulte toujours d'une perte secondaire
- 5) En cas de division cellulaire, on observe une **mitose (avec centrioles et fuseaux)** et l'ADN est compacté en (plus d'un) **chromosomes non circulaires**
- 6) Véritable **sexualité**, chaque type sexuel apportant une part égale du matériel génétique à la génération suivante

## 1) Synapomorphies unissant les Eucaryotes

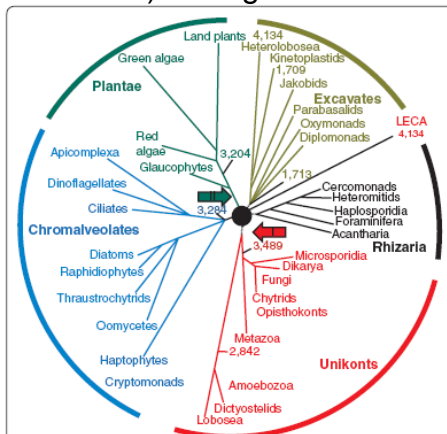
7) **Flagelle** ou **cil** de structure unique: 9 doublets périphériques et un doublet central de **microtubules**, qui associés à la **dynéine**, produisent la courbure des cils/flagelles.



Flagelles de *Chlamydomonas* (algue unicellulaire)



## 2) Les lignées évolutives au sein des Eucaryotes



**Figure 1. Evolution of the eukaryotes.** The relationship between the five eukaryotic supergroups - Excavates, Rhizaria, Unikonta, Chromalveolates and Plantae - are shown as a star phylogeny with LECA placed in the center. The 4,134 genes assigned to LECA are those shared by the free-living excavate amoeboid flagellate *Naegleria gruberi* with representatives of at least one other supergroup [67]. The numbers of these putative ancestral genes retained in selected lineages from different supergroups are also indicated. Branch lengths are arbitrary. Two putative root positions are shown: I, the Unikont-Bikont rooting [56,57]; II, rooting at the base of Plantae [60].

1) Les eucaryotes (dont tous les protistes) forment 5 clades majeurs (supra-règnes):

- **Plantae** (ou Archeoplastida) incluant les plantes, les algues vertes et algues rouges, *Chlamydomonas*
- **Excavates** incluant les kinétoplastides (*Trypanosoma*, *Leishmania*, *Trichomonas*, *Euglena*, *Giardia*)
- **Rhizaria** incluant les foraminifères
- **Unikonts** incluant les métazoaires et les champignons: Microsporidie *Nosema*,...
- **Chromalveolates** incluant les Diatomées, les Dinoflagellés, les Ciliés (*Paramecium*), les Apicomplexes (*Plasmodium*),...

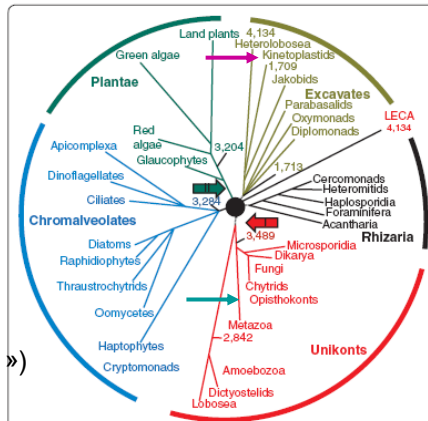
Koonin, Genome Biol (2010)

### 3) Les Protistes au sein des Eucaryotes

- 215,000 espèces décrites
- 1) Les regroupements en **protophytes** (protistes autotrophes) et en **protozoaires** (protistes hétérotrophes) ne reflètent pas les relations évolutives entre taxons. Ils forment chacun un groupe polyphylétique.
- 92,000 espèces de « Protozoaires » (« eucaryotes mobiles », type « animal »)

Exemples de protozoaires décrits dans votre manuel de TP:

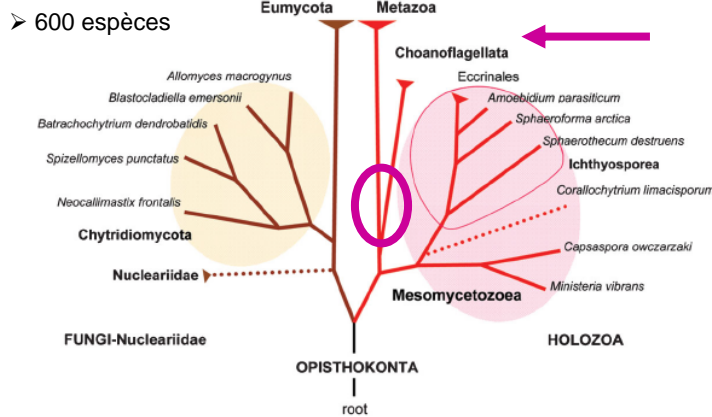
- 1) Les « Flagellés »
  - Kinétoplastides
  - Choanoflagellés



**Figure 1. Evolution of the eukaryotes.** The relationship between the five eukaryotic supergroups - Excavates, Rhizaria, Unikonta, Chromalveolates and Plantae - are shown as a star phylogeny with LECA placed in the center. The 4,134 genes assigned to LECA are those shared by the free-living excavate amoeboflagellate *Naegleria gruberi* with representatives of at least one other supergroup [67]. The numbers of these putative ancestral genes retained in selected lineages from different supergroups are also indicated. Branch lengths are arbitrary. Two putative root positions are shown: I, the Unikont-Bikont rooting [56,57]; II, rooting at the base of Plantae [60].

### Pourquoi les Choanoflagellés nous intéressent-ils tant?

Parce qu'ils sont les plus proches des Métazoaires! (« taxon sœur »)  
 Choanoflagellés = « premier animal » !



**Figure 2.** A phylogenomic tree of the Opisthokonta. Monophyly of the Holozoa is well supported by individual and multiple gene-based phylogenetic analyses.<sup>(4-7,10,31-34)</sup> Phylogenomic data alone produce statistically significant support for the monophyly of Metazoa + Choano-Choanoflagellata,<sup>(4-7,10,34)</sup> Ichthyosporea + *C. owczarzaki*,<sup>(8)</sup> *C. owczarzaki* + *M. vibrans*,<sup>(10)</sup> and Chytridiomycota.<sup>(9)</sup> Sister positions of Nucleariidae to fungi and *C. limacisporum* to Mesomycetozoa are suggested by analyses of individual published genes.<sup>(9)</sup>

Mikhailov, Bioessays (2009)

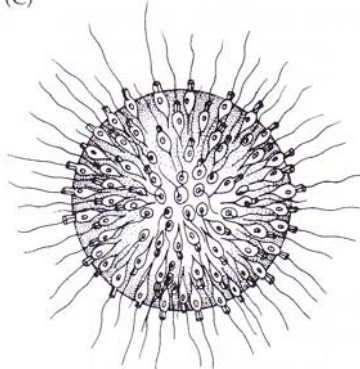


#### 4) Origine des Métazoaires:

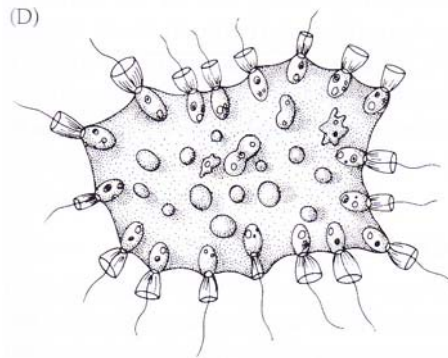
Pourquoi les Choanoflagellés nous intéressent-ils tant?

Parce qu'ils sont les plus proches des Métazoaires! (« taxon sœur »)  
Choanoflagellés = « premier animal » !

A quoi ressemblait l'ancêtre des Métazoaires?



*Proterospongia*



*Sphaeroeca*

#### 4) Origine des Métazoaires:

Jusqu'il y a peu, on pensait que tous les taxa métazoaires actuels apparaissent en  $\sim 30 \cdot 10^6$  ans il y a environ 600 millions d'années:



1/ Faune de Burgess (à partir de  $530 \cdot 10^6$  années)

Hypothèse traditionnelle: Etant donnée le délai de temps très court ayant généré cette explosion de diversité, les animaux sont donc sans doute apparus à partir d'un ancêtre unique

Une seconde faune, très différente des Métazoaires actuels, a existé plus tôt:

2/ Faune d'Ediacara ( $600 - 544 \cdot 10^6$  années)

Paris, 30 JUIN 2010

## Découverte de l'existence d'une vie pluricellulaire datant de plus de deux milliards d'années !

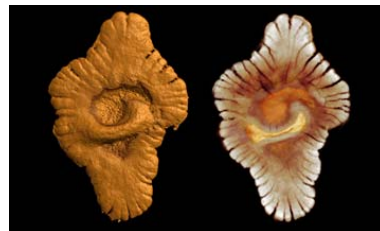


**Pour la première fois, la preuve de l'existence d'organismes pluricellulaires il y a 2,1 milliards d'années. Une avancée capitale : jusqu'à présent, les premières formes de vie pluricellulaire remontaient à 600 millions d'années environ.**

Site fossilifère gabonais où ont été découverts dans des sédiments vieux de 2,1 milliards d'années, des macrofossiles de plusieurs cm

El Albani et al (2010) Nature

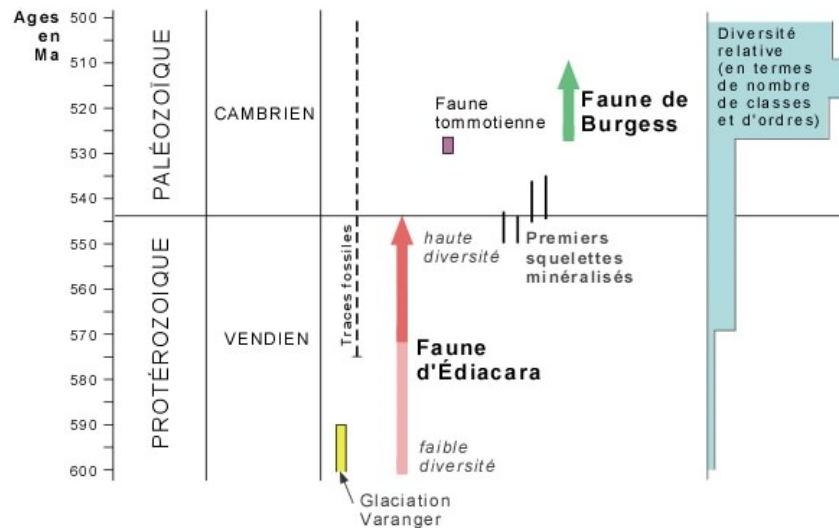
- \* Plus de 250 fossiles récoltés à ce jour
- \* De 10 à 12 centimètres, trop grands et trop complexes pour être des procaryotes ou des eucaryotes **unicellulaires**
  - Ces organismes vivaient en colonies : apparition des organismes pluricellulaires
- \* Eucaryotes ou procaryotes? Les plus anciens eucaryotes connus jusqu'à présent ont 1,9 milliards d'années
  - Pourraient être les eucaryotes les plus anciens jamais décrits.
- \* Vivaient dans un environnement marin d'eau peu profonde (20 à 30 mètres), soumise à l'influence des marées, vagues et tempêtes



Reconstruction virtuelle de la morphologie externe (à gauche) et interne (à droite) d'un spécimen fossile du site gabonais.

El Albani et al (2010) Nature

### Faunes d'Édiacara et de Burgess:



Édiacara: 600 - 544 millions d'années, Australie puis tous les continents

Burgess: à partir de 528 millions d'années, Amérique du Nord puis autres continents

### Faune d'Édiacara



1) Découverte dans les monts Édiacara en Australie, puis dans une vingtaine de sites répartis sur les cinq continents.

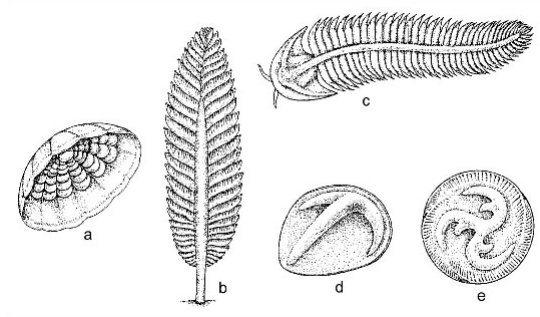
→ Il ne s'agit pas d'un assemblage d'organismes qui est apparu en un seul lieu particulier et qui y aurait été confiné, à cause de conditions spéciales à cet endroit, mais une faune répartie à la surface du globe, une faune qui représente une **véritable étape dans le développement de la vie.**

2) Composée en grande partie d'organismes à **corps mous**, c'est-à-dire des organismes sans squelette minéralisé. C'est l'empreinte de l'animal sur le sédiment, et non l'animal fossilisé qui est resté.

→ L'interprétation joue un rôle important dans la compréhension de cette faune

Photo d'une vitrine du Smithsonian Museum à Washington. Photo: P.-A. Bourque, 1995

## Faune d'Ediacara



3) Faune composée de représentants primitifs de groupes plus jeunes, cnidaires (coraux mous et médusoïdes (a- méduse, b-coraux mous), annélides (vers segmentés) ou arthropodes (c- arthropodes nus ou annélides);

Par contre, (d et e) ne ressemblent à aucun animal connu: **Vendobiontes**

4) Apparition d'organismes à coquilles et **complexification croissante** au cours du temps. Faune encore très énigmatique.

Dessins extraits de Cloud, P., 1983, La Biosphère. Pour la Science, novembre 1983, 73.

## Faune de Burgess

1) Jusque récemment, on parlait de « big bang » de la biodiversité :

\* par rapport à la faune d'Ediacara, c'est une véritable explosion en termes de diversité et de complexité des organismes qui la constituent

\* Mise en place très rapide de la diversité (en 20 millions d'années)

2) Grande diversité de formes: 120 genres décrits

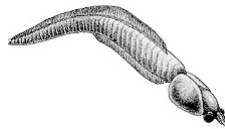
3) Organismes en grande partie à corps mous:

\* 33 genres sont des organismes appartenant à des embranchements connus, et qui possèdent un exosquelette (éponges, algues, brachiopodes, trilobites, échinodermes, mollusques)

\* 87 genres d'organismes à corps mou!

Ces organismes représentent des formes qui ne se retrouveront plus par la suite dans les temps géologiques, dont huit genres qui représentent autant d'embranchements qui n'ont pas survécu

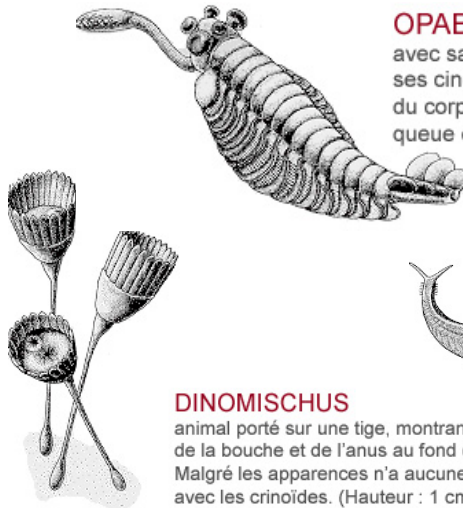
Cordé ou céphalopode?  
Smith and Caron (2010) Nature



**NECTOCARIS**  
énigmatique, ressemblant beaucoup à un arthropode dans sa partie antérieure, mais à un chordé doté d'une nageoire caudale dans sa partie postérieure.  
(Longueur : environ 2 cm)

## Faune de Burgess

Exemples de plans d'organisation disparus (ou non) aujourd'hui:



### OPABINA

avec sa trompe frontale terminée par une pince, ses cinq yeux sur le dessus de la tête, des segments du corps portant des branchies sur le dessus et une queue en trois segments. (Longueur : 4,3 à 7 cm)

### DINOMISCHUS

animal porté sur une tige, montrant les orifices de la bouche et de l'anus au fond du calice. Malgré les apparences n'a aucune ressemblance avec les crinoïdes. (Hauteur : 1 cm)

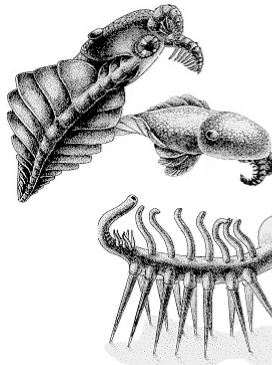
### PIKAIA

le premier chordé (longueur : 4 cm en moyenne)

Dessins de Marianne Collins dans Gould, S.J., 1991, La vie est belle, Editions du Seuil

## Faune de Burgess

Exemples de plans d'organisation disparus aujourd'hui:

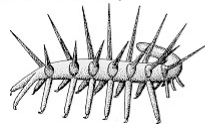


### ANOMALOCARIS

sans doute la terreur des lieux de l'époque; deux espèces sont connues: à gauche, *Anomalocaris nathorsti*, vue par en dessous pour montrer la bouche circulaire et la paire d'appendices préhenseurs (cet élément circulaire qui constitue la bouche avait d'abord été trouvé isolé et pris pour une méduse par Walcott); à droite, *Anomalocaris canadensis*, vue de côté en position de nage. (Longueur : jusqu'à 1 m)

### HALLUCIGENIA

tel que vu par Conway-Morris (1977). Animal supporté par 7 paires de béquilles, avec sur le dos une seule rangée de 7 appendices. (Longueur : 5 mm à 3 cm)



### HALLUCIGENIA

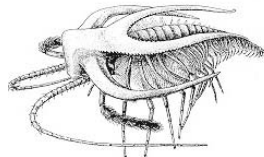
tel que représenté par Ramsköld (1992). Un animal se déplaçant sur des pattes flexibles et non des béquilles rigides, par paires, avec sur le dos des épines, aussi par paires

S'apparente à des organismes connus, les Onychophores, animaux de la forêt pluviale tropicale et tempérée.  
Ramskold and Hou (1991) Nature

## Faune de Burgess

Exemples de plans d'organisation d'Arthropodes disparus aujourd'hui:

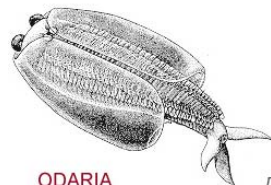
Arthropodes: 4 plans d'organisation ont subsisté sur les 24 observés dans cette faune



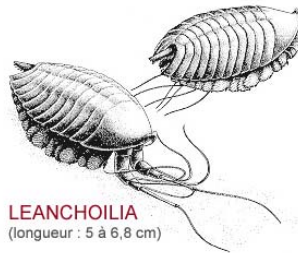
**MARELLA**  
(longueur: 25 mm à 1,9 cm)



**YOHOIA**  
(longueur : 7 mm à 2,3 cm)



**ODARIA**  
(longueur : 6 à 15 cm)



**LEANCHOILIA**  
(longueur : 5 à 6,8 cm)

Dessins de Marianne Collins, dans Gould, S.J., 1991, *La Vie est belle*, Éditions du Seuil.

## Faune de Burgess

- \* **Diversité des plans d'organisation anatomique** bien plus grande qu'actuellement
- \* Presque **tous les embranchements modernes** sont déjà **apparus**
- \* Les 500 Ma suivants n'ont vu naître aucun embranchement (sauf peut-être les Bryozoaires), seulement des variantes sur les mêmes plans d'organisation  
→ Grande disparité initiale, faible diversité initiale
- \* Ensuite, restriction de la disparité, et prolifération de quelques types d'organisation stéréotypée (augmentation de diversité)



La conception de l'évolution selon un cône de diversité croissante est remise en question



## Faune de Burgess

Deux nouveautés récentes:

1) Faune eucaryote multicellulaire très ancienne (2,1. 10<sup>9</sup> d'années)  
→ Il n'y a pas peut être pas eu de « Big Bang » de la biodiversité  
la complexité de la faune de Burgess a pu apparaitre lentement

2) La faune de Burgess a été retrouvée dans des gisements Ordovicien (480. 10<sup>6</sup> années):

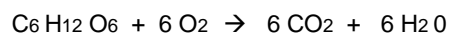
→ Les grands plans d'organisation disparus aujourd'hui ont été maintenus plusieurs dizaines de millions d'années



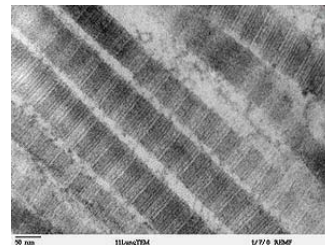
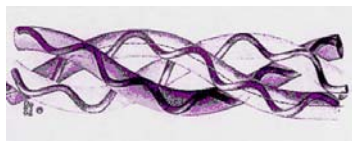
Van Roy et al (2010) Nature

## 5) Synapomorphies unissant les Métazoaires

- Pluricellulaires
- Mobiles (au moins au cours d'un des stades développementaux)
- Hétérotrophes = obtention d'énergie à partir de composés organiques



- Collagène : protéine en triple hélice (trois peptides) interrompue par des pont non hélicoïdaux, formant la trame de la matrice extracellulaire, groupant les cellules entre elles.



### 5) Synapomorphies unissant les Métazoaires

- Présence de cellules nerveuses (« neurones ») plus ou moins organisées
- Organismes diploïdes avec gamètes haploïdes
- La méiose donne directement des gamètes et non des spores.
- A la méiose, une seule des 4 cellules forme le gamète femelle.  
Les autres cellules, les globules polaires, dégènèrent.
- Formation de tissus: un tissu épithélial et un tissu conjonctif sont présents chez tous les métazoaires (exception: pas de lame basale chez les Porifères)