

Université Ibn Zohr

**Complexe Universitaire de Ait
Melloul**

Filière SVI/STU – Semestre 1

Module Embryologie- Histologie

(M2)

**2^{ème} partie : Biologie
de développement**

Responsable de Module :

Pr. Latifa LEFRERE

2eme partie: Biologie du Développement

1. La segmentation

2. La gastrulation

3. L'organogenèse

4. L'embryogenèse chez l'oursin

(voir TD2, complément de cours)

2eme partie: Biologie du Développement

Introduction:

La capacité de reproduction est l'un des critères fondamentaux de l'existence de la vie. Chaque individu a une vie individuelle limitée dans le temps. Cet individu très différencié doit faire retour à un état plus simple d'organisation, qui est l'œuf, à partir duquel un nouvel être assure la continuité de la lignée.

Le développement individuel de ce nouvel organisme est appelé ontogenèse, elle se déroule en 2 phases principales.

- ▶ L'embryogenèse,
- ▶ La période fonctionnelle.

L'embryogenèse

C'est la phase du développement embryonnaire proprement dit.

Elle s'effectue en plusieurs temps:

- ⇒ la segmentation,
- ⇒ la gastrulation,
- ⇒ la neurulation (vertébrés),
- ⇒ l'organogenèse.

La période fonctionnelle.

Elle aboutit à l'édification de l'organisme adulte qui sera apte à se reproduire. Elle se termine par une période \pm ou moins longue de vieillissement qui entraîne à la mort.

1. Caractères généraux du développement embryonnaire:

1.1. L'œuf fécondé et les premiers stades de développement

L'œuf fécondé est une cellule particulière dotée d'une polarité due à la présence de 2 pôles. Un pôle animal, c'est le pôle supérieur de l'œuf qui correspond à *l'endroit d'émission des globules polaires*. A son opposée se trouve le pôle végétatif, c'est le pôle le plus chargé en *réserves nutritives*. Dans l'œuf, les réserves de nature protéiques constituent le vitellus.

CARACTERES GENERAUX DE L'ŒUF FECONDE

TOTIPOTENCE- POLARITE - RESERVES

TOTIPOTENCE

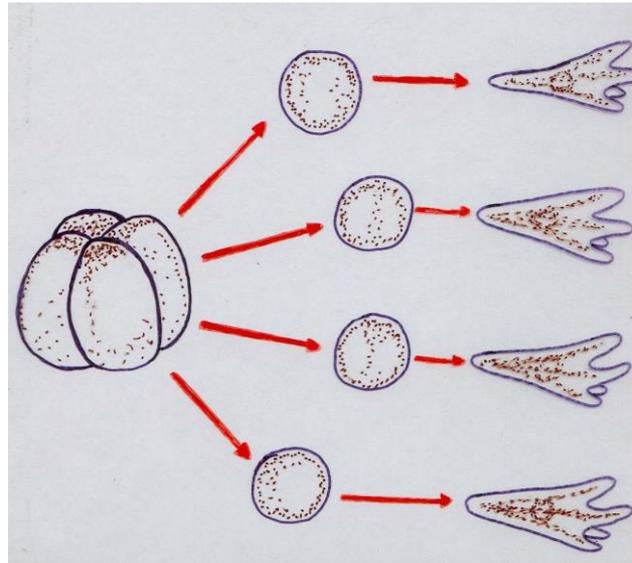
**LA CELLULE TOTIPOTENTE PEUT DONNER NAISSANCE
A TOUS LES TYPES CELLULAIRES D'UN ORGANISME
(ET MEME A L'ORGANISME ENTIER)**

INDICE MITOTIQUE ELEVE

PAS DE CARACTERES MORPHOLOGIQUES SPECIALISES

**GENOME LARGEMENT INEXPRIME ET TRES ACCESSIBLE
A TOUS LES MECANISMES DE CONTRÔLE AUXQUELS IL
REPOND RAPIDEMENT**

TOTIPOPENCE



**SEPARATION EXPERIMENTALE DES BLASTOMERES D'UN EMBRYON
D'OURSIN AU STADE 4 CELLULES**



DEVELOPPEMENT DE 4 LARVES « PLUTEUS »

1.2. Les différents types d'œufs:

- **les œufs alécithes**. Ce sont des œufs petits, très pauvres en réserves vitellines. (exemple: l'œuf des mammifères à placenta)
- **les œufs oligolécithes**, sont de petite taille et pauvres en vitellus (exemple: l'œuf d'oursin)
- **les œufs hétérolécithes**, sont assez gros, et riches en vitellus (exemple: l'œuf des Amphibiens)
- **les œufs télolécithes**, sont gros et très riches en vitellus, (exemple: l'œuf des oiseaux)
- **les œufs centrolécithes**, sont assez gros et le vitellus occupe une position centrale, entouré par une couche périphérique de cytoplasme: le périplasme (exemple: l'œuf des insectes).

CARACTERES GENERAUX DE L'ŒUF FECONDE

**L'ŒUF FECONDE PRESENTE UNE POLARITE
POLE ANIMAL – POLE VEGETATIF**

**RESERVES ACCUMULEES DURANT L'OVOGENESE
VITELLUS
CYTOPLASME HETEROGENE**

DIFFERENTS TYPES D'ŒUFS

**Alécithes (mammifères placentaires),
Oligolécithes (oursin),
Hétérolécithes (amphibiens),
Télolécithes (oiseaux, poissons),
Centrolécithes (Insects)**

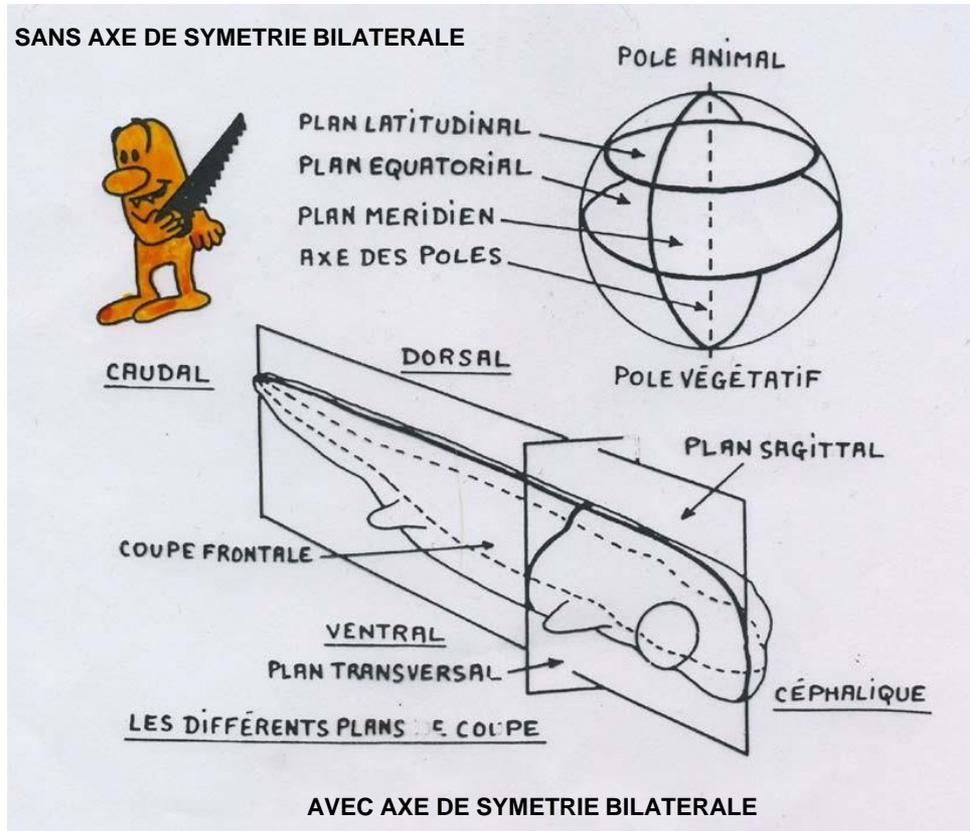
Orientation des coupes et des plans de coupe:

- ▶ **Coupe méridienne:** Coupe réalisée dans une sphère suivant un plan passant par les 2 pôles (plan méridien).
- ▶ **Coupe latitudinale:** Coupe réalisée dans une sphère, suivant un plan perpendiculaire à l'axe des pôles.
- ▶ **Coupe équatoriale:** Coupe latitudinale passant par le plan équatorial, perpendiculaire à l'axe polaire et équidistant des pôles.
- ▶ **Coupe verticale:** Coupe parallèle à l'axe verticale de l'organisme étudié.
- ▶ **Coupe sagittale:** Coupe réalisée suivant le plan de symétrie bilatérale de l'organisme considéré. Le plan de coupe est à la fois antéropostérieur (ou céphalo-caudale) et médian.
- ▶ **Coupe parasagittale:** Coupe parallèle au plan de symétrie bilatérale.
- ▶ **Coupe transversale:** Coupe réalisée suivant un plan perpendiculaire au plan de symétrie bilatérale.

COUPES HISTOLOGIQUES

MERIDIENNE
LATITUDINALE
EQUATORIALE

SAGITTALE
PARASAGITTALE
TRANSVERSALE
FRONTALE



1.3. LA SEGMENTATION:

L'œuf fécondé subit plusieurs mitoses successives qui permettent de passer d'un état unicellulaire à un état pluricellulaire. On appelle ce phénomène la segmentation.

Les cellules filles obtenues restent liées l'une à l'autre et sont dites blastomères.

Les premières divisions mitotiques de la segmentation aboutissent à la formation d'une masse pluricellulaire en forme de mûre et qui prend le nom de morula.

Selon le type d'œuf on distingue plusieurs types de segmentation.

1.3.1. La segmentation holoblastique (totale)

Elle a lieu dans les œufs dont les réserves vitellines ne sont pas très abondantes (œufs alécithes, oligolécithes et œufs hétérolécithes).

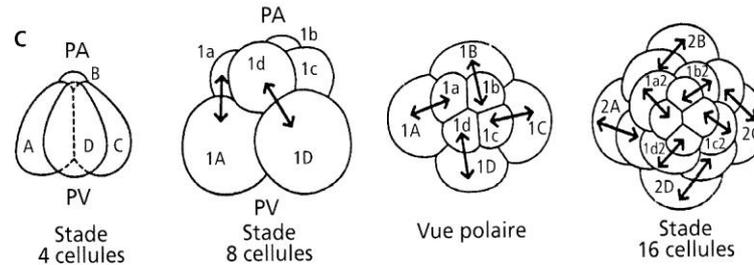
a/ Selon la taille des blastomères, on distingue:

- ▶ Si les blastomères ont la même taille, la segmentation est dite totale égale.
- ▶ Si les blastomères présentent une différence de taille, la segmentation est dite totale inégale. Dans ce cas on se retrouve avec des cellules de petite taille: les micromères, et des cellules de grande taille: les macromères.

b/ Selon la disposition des blastomères, on distingue:

► Les plans de division se font de manière à ce qu'il y ait une alternance entre le plan méridien et le plan latitudinal. La segmentation est dite alors, **totale radiaire**.

► Les plans de division sont obliques par rapport à l'axe de l'œuf et segment



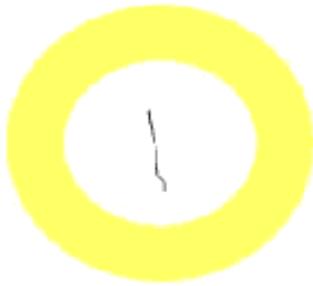
Segmentation spirale (alternation de l'orientation des fuseaux à chaque division)

1.3.2. La segmentation méroblastique (partielle)

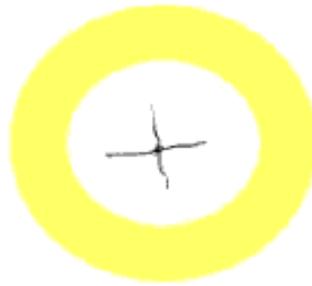
Elle a lieu quand les réserves vitellines sont importantes, c'est le cas des œufs télolécithes et les œufs centrolécithes.

► Chez les œufs télolécithes, la segmentation s'effectue uniquement dans la zone du cytoplasme actif qui est désignée sous le terme de disque germinatif. Dans ce cas la segmentation est dite partielle discoïde.

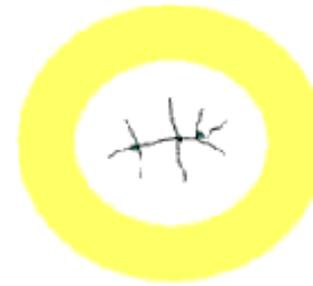
SEGMENTATION PARTIELLE DISCOIDALE chez les Oiseaux



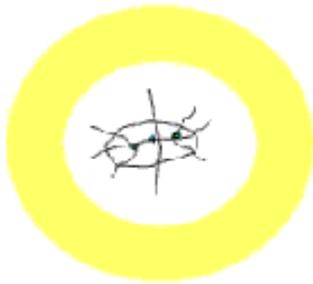
Stade 2



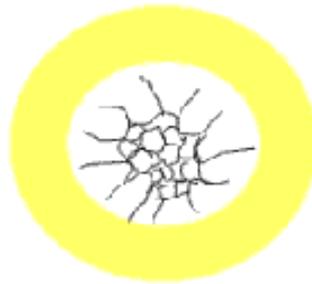
stade 4



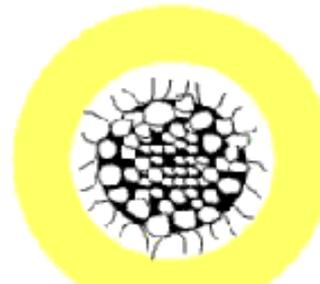
stade 8



Stade 16



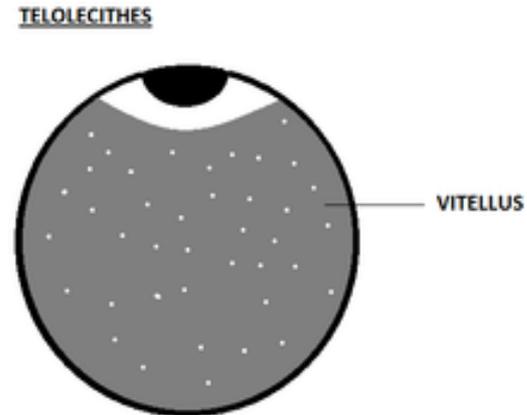
stade 32



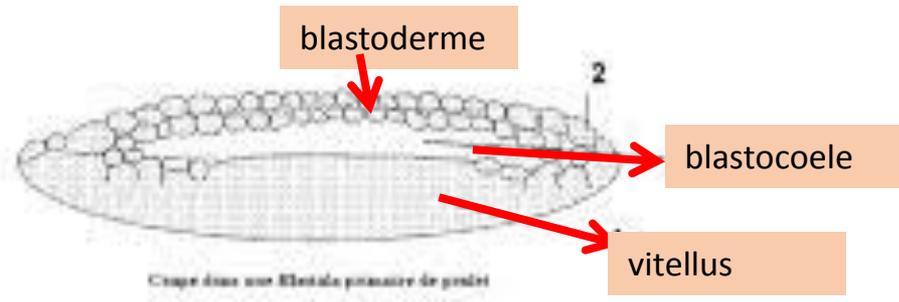
Blastula

- Pour ces œufs **téolécithes**, les divisions de segmentation ne se déroulent que dans une petite surface cytoplasmique dépourvue de vitellus située au pôle animal.

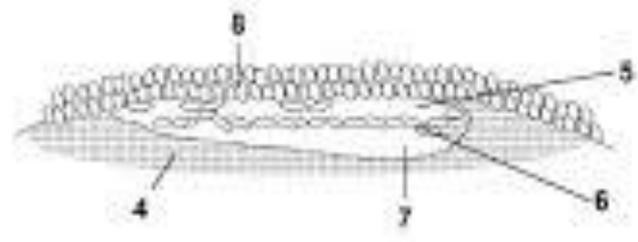
- Les blastomères sont regroupés sous forme de « disque germinatif» appelé **blastoderme** ou **blastodisque**.



Chez les oiseaux, à la fin de la segmentation, le germe obtenu est aplati sous forme de disque = Blastodisque ou Blastoderme



Coupe dans une Blastula primaire de poulet



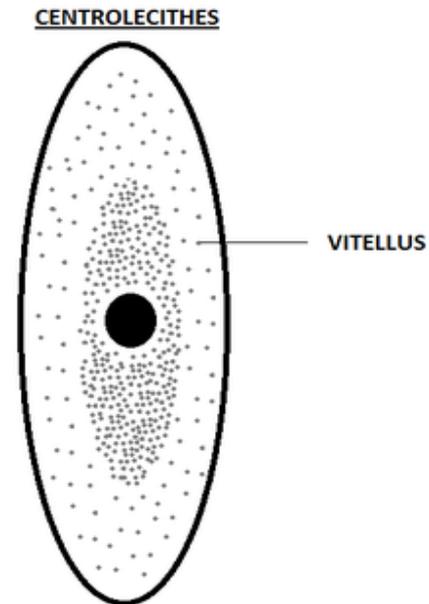
Coupe dans une Blastula secondaire de poulet

Coupes dans une blastula

- 1 = aire pellucide ; 2 = aire opaque ; 3 = blastocèle primaire ;
- 4 = vitellus ; 5 = blastocèle secondaire ; 6 = hypoblaste (antrophyllie) ;
- 7 = archentéron primaire ; 8 = ectophyllie

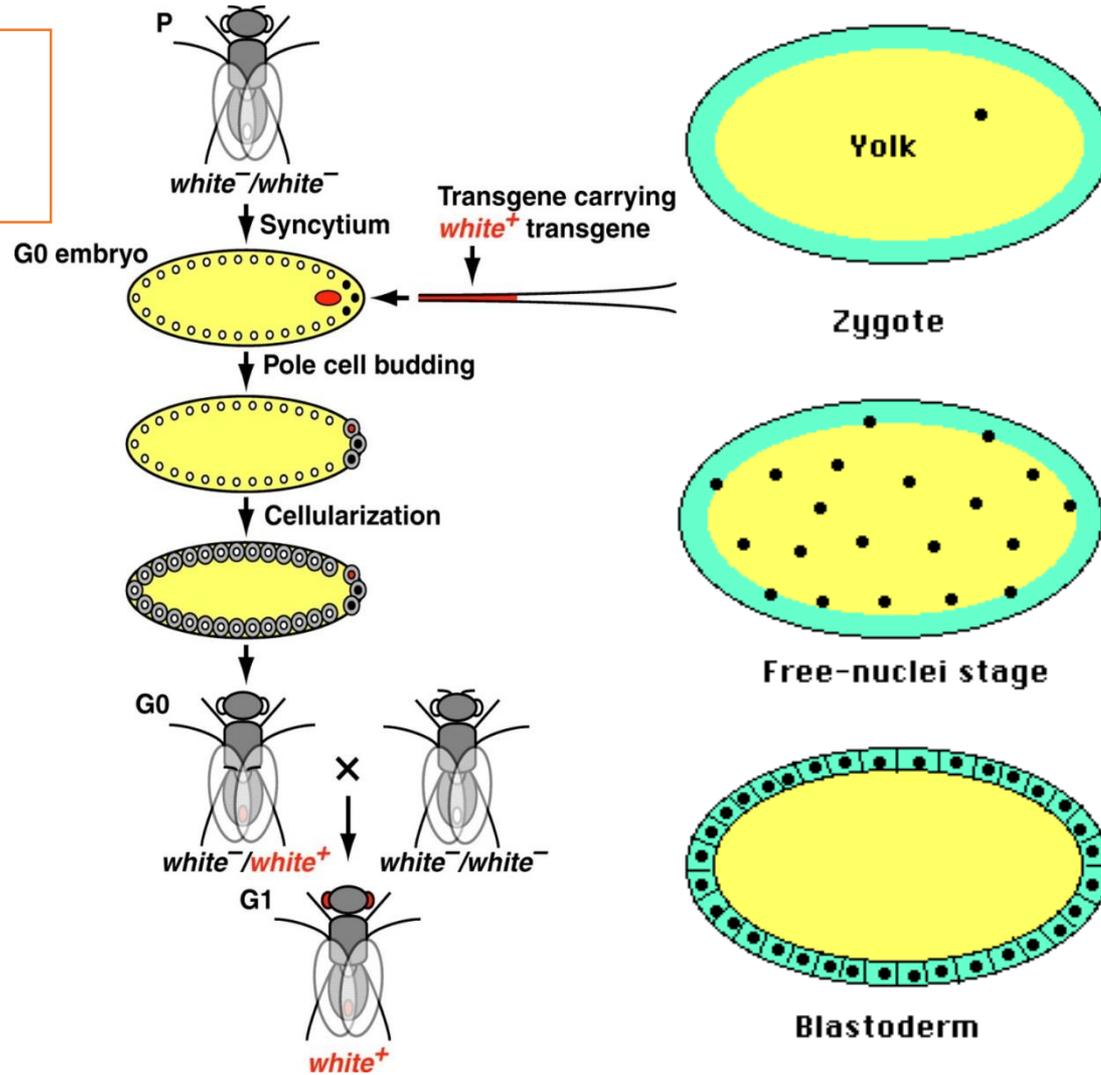
SEGMENTATION PARTIELLE PERIPHERIQUE OU SUPERFICIELLE

- Dans le cas des œufs **centrolécithes** (Insectes), les divisions cellulaires et les blastomères se situent à la superficie du germe.
- Le noyau du zygote, en plein dans la masse vitelline, entreprend de nombreuses divisions.



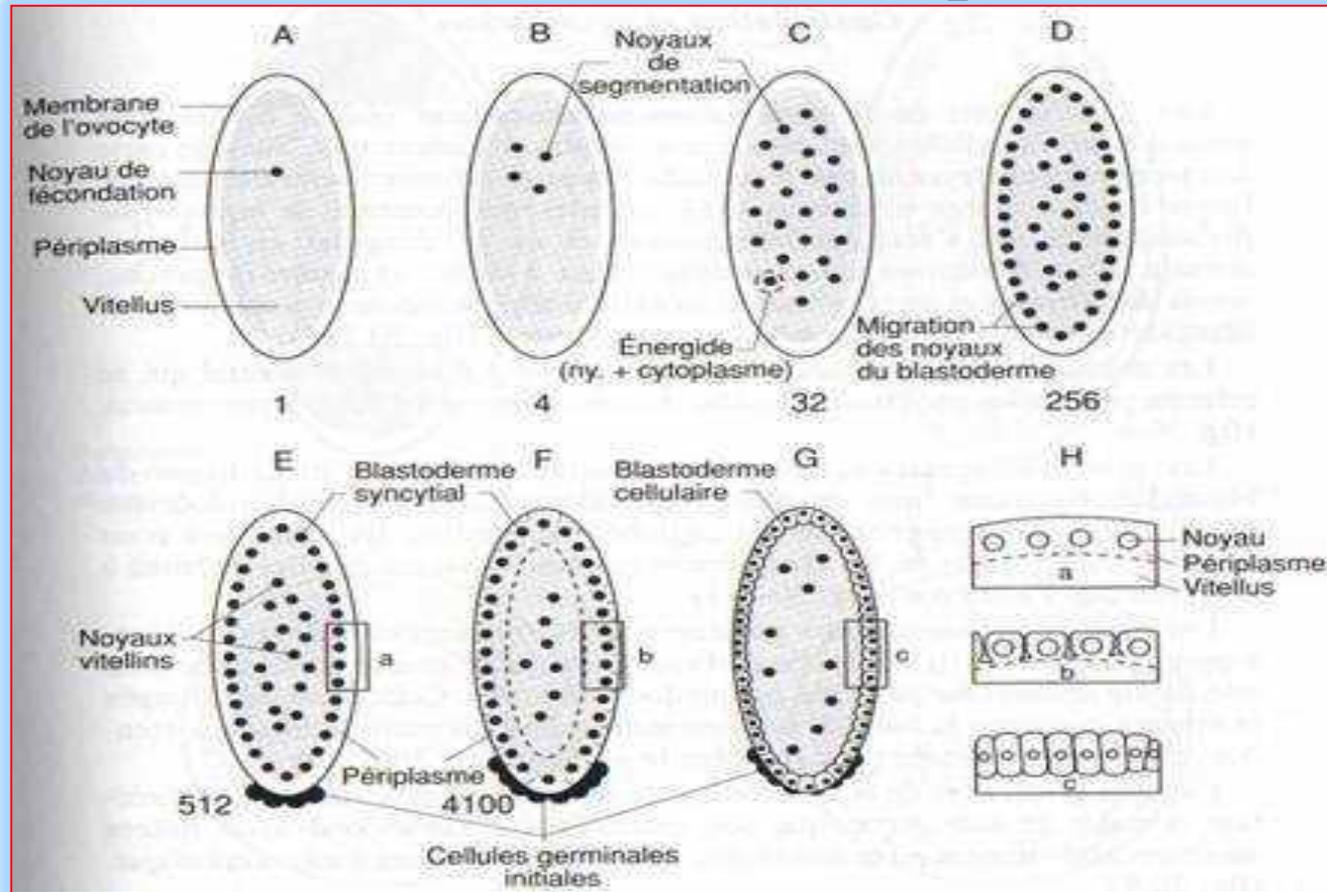
► Chez les œufs centrolécithes, on assiste à une segmentation superficielle ou intravitelline. Le noyau de fécondation se divise un certain nombre de fois, les noyaux fils s'entourent de cytoplasme central et migrent vers le cytoplasme périphérique. Une fois à la périphérie il forment une assise de cellules présentant une membrane cytoplasmique propre à chaque cellule. On parle alors de segmentation partielle superficielle.

Segmentation
périphérique
drosophile

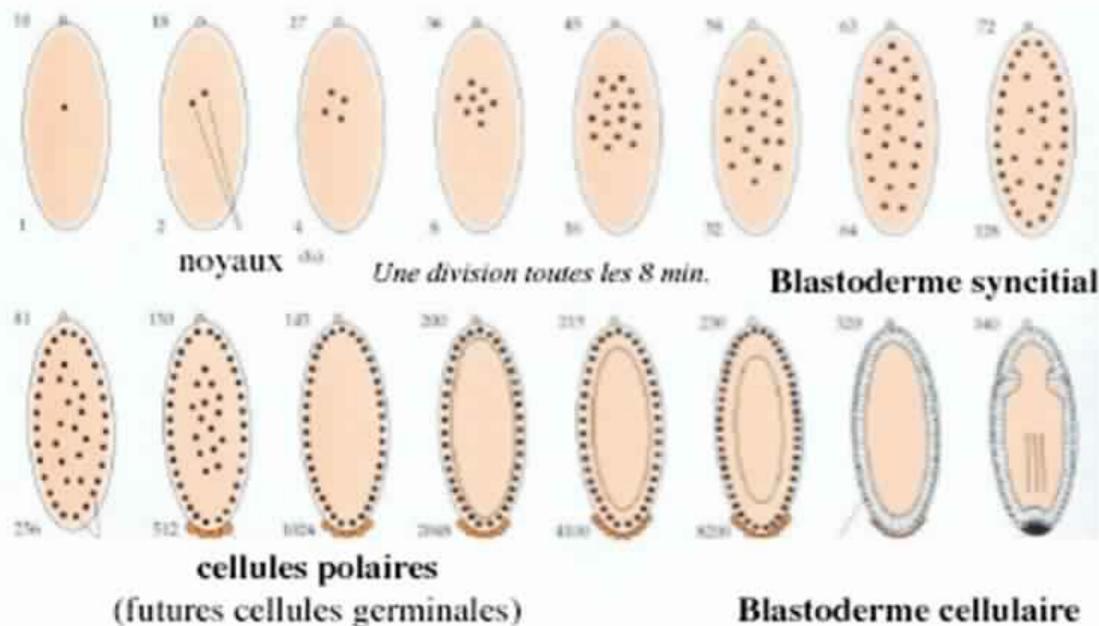


- ❑ Au début, les divisions cellulaires ne concernent que les noyaux qui restent dans un cytoplasme commun
- ❑ La membrane ovocytaire s'invagine ensuite entre les noyaux, formant plusieurs petites cellules et créant le **blastoderme cellulaire**.
- ❑ Les cellules forment une seule assise autour du vitellus central.
- ❑ Chez la drosophile, cette couche comprend jusqu'à 5000 cellules.

Segmentation méroblastique périphérique chez les insectes (drosophile)



Clivage (ou segmentation)



Les noyaux migrent en périphérie

Formation de membranes autour de chaque noyau

Fig 2 : Stades précoces du développement embryonnaire de la drosophile

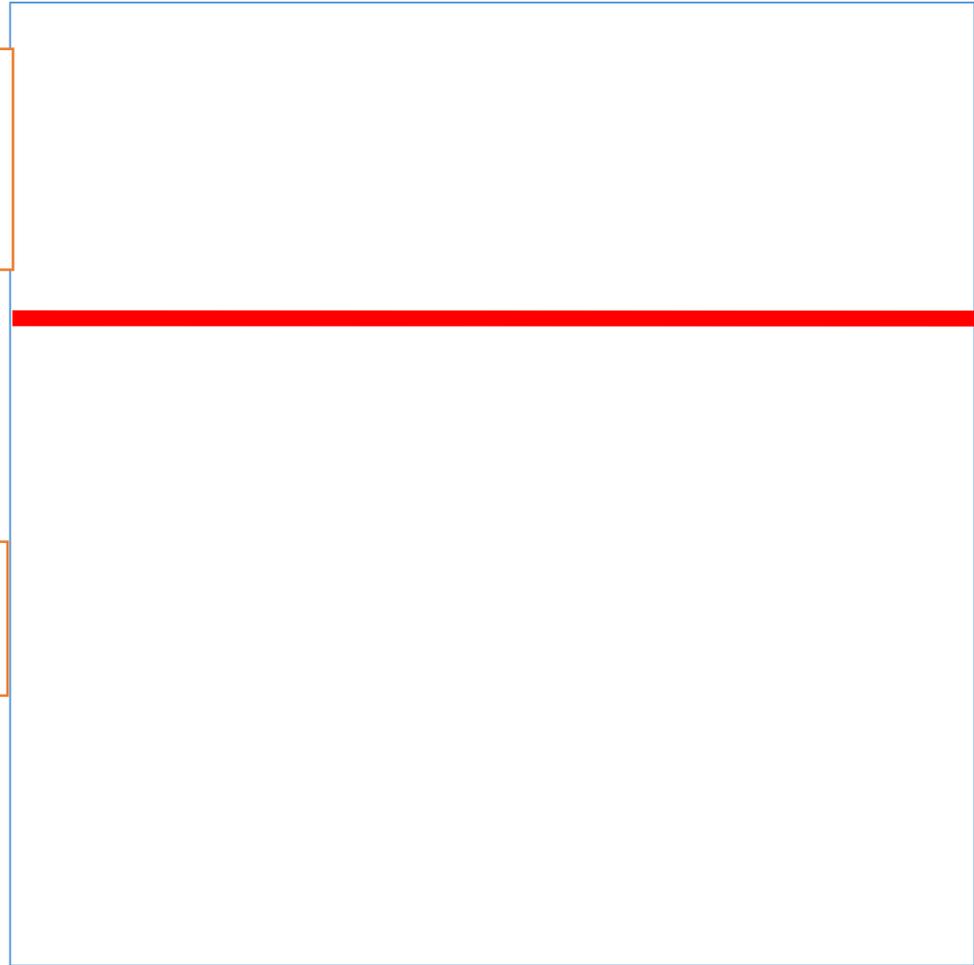
SEGMENTATION PARTIELLE MEROBLASTIQUE

a- Discoïdale

OISEAUX,
POISSONS

b- Superficielle

INSECTES



LES DIFFERENTS TYPES DE SEGMENTATION

SEGMENTATION

**TOTALE
(HOLOBLASTIQUE)**



Oligolécithes (oursin)
Hétérolécithes (amphibiens)
Alécithes (mammifères placentaires)

**RADIAIRE
SPIRALE**

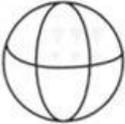
**PARTIELLE
(MEROBLASTIQUE)**



Télolécithes (oiseaux)

LA SEGMENTATION RADIAIRE PRESENTE DES
PLANS DE SEGMENTATION TOUR A TOUR
MERIDIEN ET LATITUDINAL

LES DIFFÉRENTS TYPES D 'OEUFS

type d'oeuf		aspect	caractères	représentants
oeufs holoblastiques	oeufs oligolécithes		vitellus peu abondant et réparti uniformément noyau légèrement excentré	Songiaires Coelentérés Echinodermes Procordés
	segmentation totale	1/10 mm	perte secondaire du vitellus au cours de l'évolution	Mammifères placentaires
	oeufs hétérolécithes		vitellus plus abondant réparti de façon hétérogène (pôle végétatif) noyau excentré (pôle animal)	Annélides Mollusques Gastéropodes Certains Poissons Amphibiens
oeufs méroblastiques	oeufs centrolécithes		vitellus abondant entourant un noyau central cytoplasme rejeté à la périphérie	Insectes Crustacés
segmentation partielle	oeufs télolécithes		oeufs volumineux vitellus très abondant protoplasme refoulé à la surface de l'oeuf	Mollusques Céphalopodes Poissons Sélaciens et Téléostéens Sauropsidés (Reptiles, Oiseaux) Mammifères ovipares

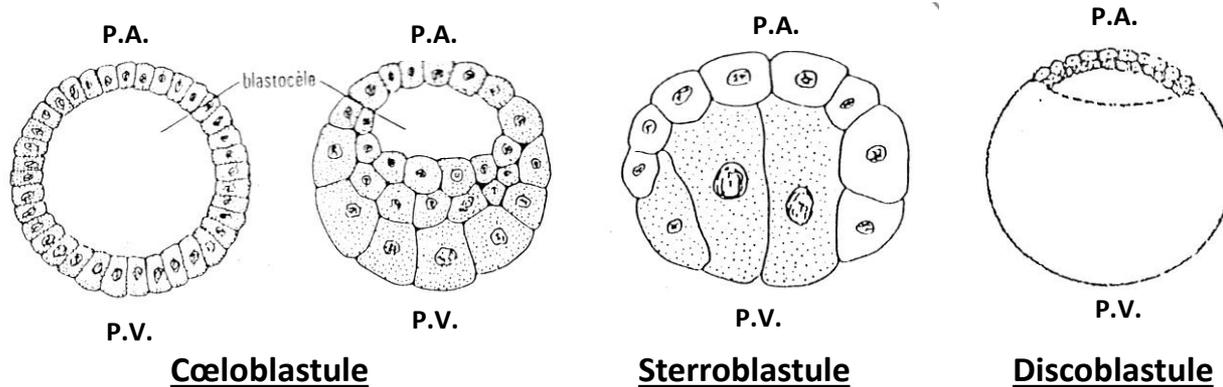
Marsupiaux et Euthériens

Monotrèmes (Prototheriens)

1.3.3. Résultat de la segmentation:

Tous ces types de segmentation aboutissent à la formation d'un embryon pluricellulaire, creusé d'une cavité. Généralement cet embryon prend le nom de blastula. les cellules qui le forment sont les blastomères et une cavité se forme dans l'embryon et est appelée blastocoele.

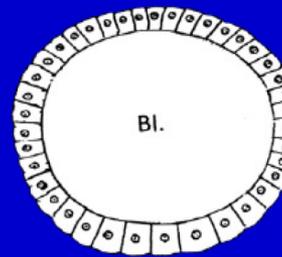
- ▶ Segmentation totale: formation d'une cœloblastule ou une sterroblastule
- ▶ Segmentation partielle discoïdale formation d'une discoblastule
- ▶ Segmentation partielle superficielle pérblastule avec blastocœle virtuel.



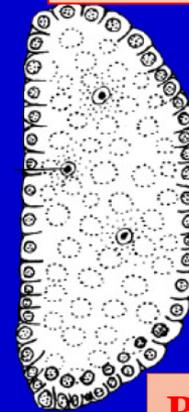
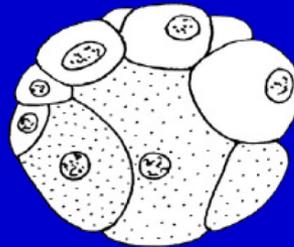
Différents types de Blastulas

STERROBLASTULA
(annélides, gastéropodes)
Seg. totale spirale

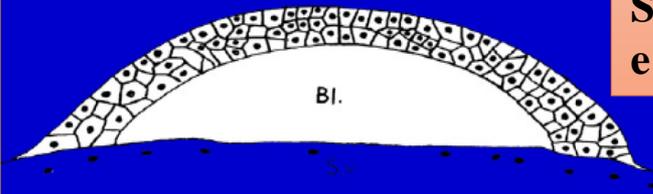
DISCOBLASTULA
(Oiseaux, poissons)
Seg. méroblastique
discoidale



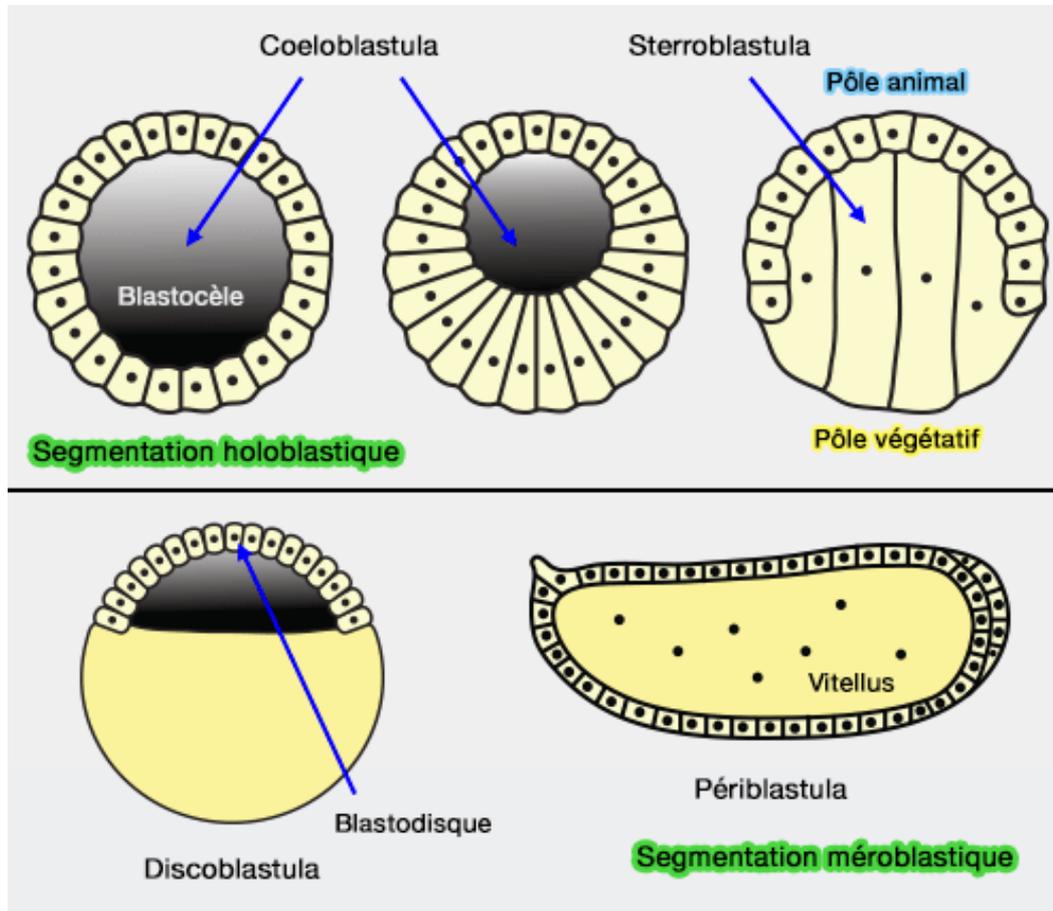
COELOBLASTULA
(Oursin, Amphibiens)
Seg. Totale radiaire



PERIBLASTULA
(Insectes)
Seg. Méroblastique
e superficielle



Différents types de Blastulas



1.4. LA GASTRULATION

Comme résultat de la segmentation, on obtient un embryon qui présente un feuillet unique de blastomères.

Pendant la gastrulation, l'activité mitotique des cellules se ralentit, et des blastomères uniques ou des groupes de blastomères commencent à migrer et à s'organiser. Ainsi on assiste fondamentalement à la formation de 2 feuillets différents:

- ▶ un feuillet externe: **l'ectoderme**,
- ▶ un feuillet interne: **l'endoderme**.

Chez la plupart des Métazoaires, entre les 2 feuillets se forme un 3^{eme} feuillet: c'est **le mésoderme**.

La gastrulation est donc caractérisée par :

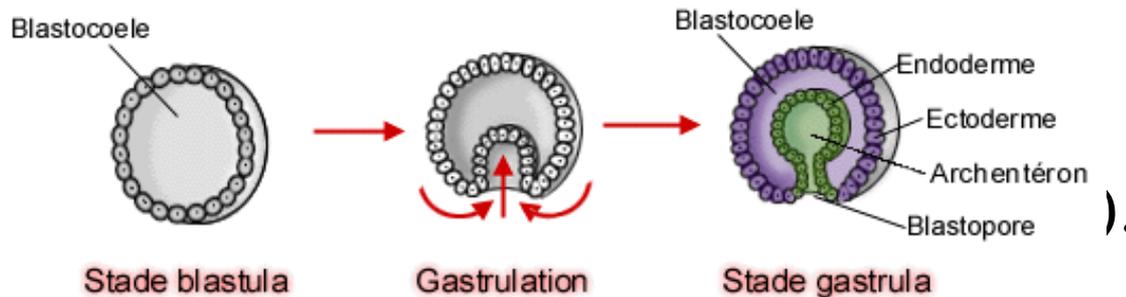
- L'apparition de mouvements cellulaires coordonnés (mouvements morphogénétiques).
- La séparation des trois tissus fondamentaux :
 - l'ectoderme
 - le mésoderme
 - l'endoderme .

La gastrulation est aussi caractérisée par :

- L'apparition d'une cavité secondaire digestive, **l'archentéron**.
- Parallèlement, le rythme mitotique diminue et le cycle cellulaire s'allonge.

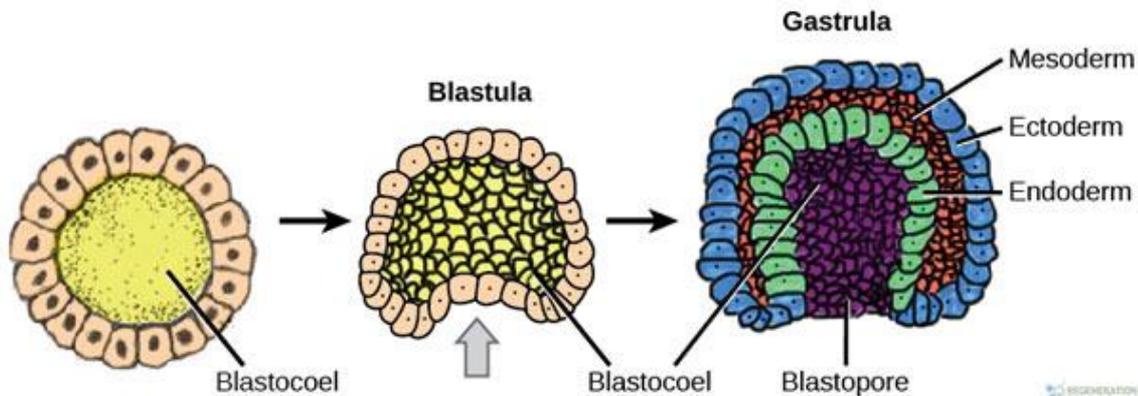
2 classes d'animaux dans le règne animal :

➤ **Diploblastiques** : constitués de 2 types de



Cœlentérés
(hydres)
et éponges

- l'**endoderme** (antérieur ou interne).



re les 2

MODALITES DE LA GASTRULATION

Elle se réalise selon plusieurs modalités:

- **EMBOLIE** (Invagination)
- **EPIBOLIE** (Recouvrement)
- **DELAMINATION** (dédoublément de la couche cellulaire puis séparation)
- **IMMIGRATION** (cellules migrent individuellement)

Les comportements cellulaires pendant la gastrulation:

1.4.1. Conversion épithélium - mésenchyme:

Pendant la gastrulation, une grande partie des cellules des zones internes de la blastula qui avaient un aspect de cellules épithéliales, perdent leur polarisation et le contact entre elles et prennent un aspect mésenchymateux.



Cellules épithéliales

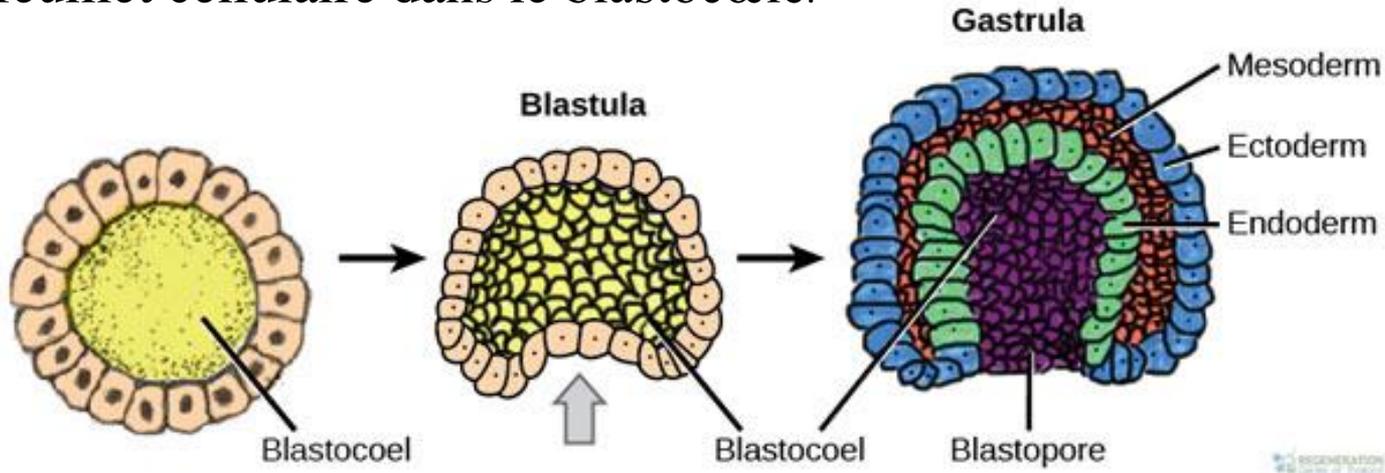
Cellules mésenchymateuses

1.4.2. L'embolie ou Invagination:

Ce mécanisme est fréquent chez les embryon qui présentent un blastocoele important et des blastomères végétatifs. On assiste à un enfoncement de zone entières superficielles à l'intérieur du blastocoele. L'ouverture qui se forme va constituer le blastopore. La cavité intérieure donne la future cavité digestive appelée l'archentéron.

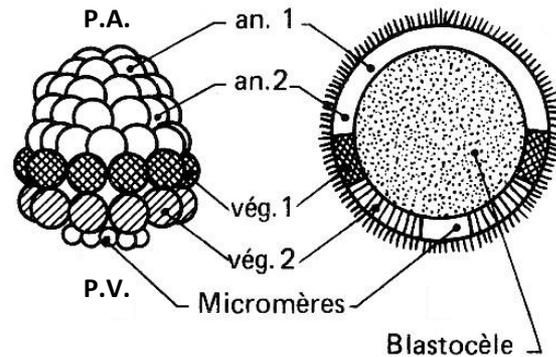
Gastrulation par Embolie : OURSIN

Embolie = **invagination** = repliement ou pénétration d'un feuillet cellulaire dans le blastocœle.



chez les embryons ayant un blastocœle important et des blastomères végétatifs de petite taille et peu chargés en vitellus.

Exemple 1 : Chez l'Oursin à la fin de la segmentation, les cellules de l'embryon s'organisent en une seule couche autour de la cavité centrale : le blastocoele.

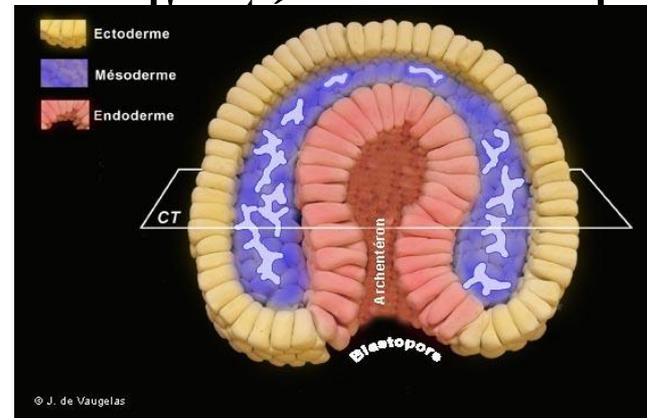


Morula d'Oursin.

**Coupe méridienne d'une
blastula.**

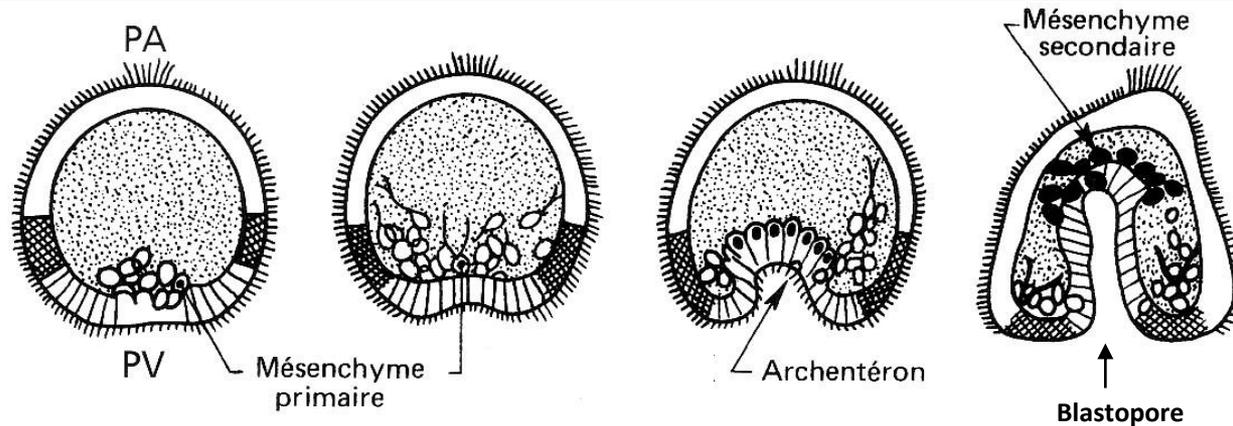
Gastrulation par embolie

- l'invagination de l'hémisphère végétatif (formant l'endoderme) réduction du blastocœle
- L'invagination aboutit à la formation de l'archentéron = cavité du tube digestif embryonnaire, ouvert blastopore (anus).
- Ex: Echinodermes (l'Oursin).



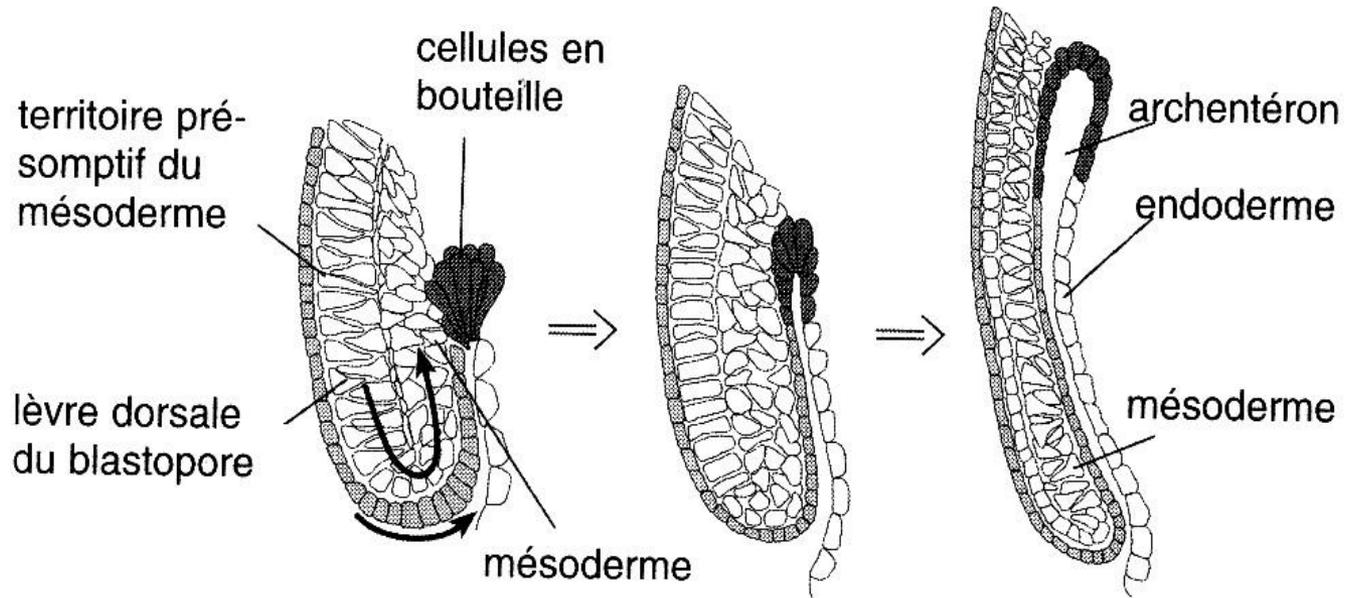
Des cellules issues des micromères végétatifs forment le mésenchyme primaire et migrent dans le blastocœle. L'hémisphère animal ainsi que la 1^{ère} rangée de macromères végétatifs forment le territoire présomptif de l'ectoderme. Le reste de l'hémisphère végétatif constitue le territoire présomptif du mésoderme et l'endoderme.

C'est cette dernière zone qui s'invagine à l'intérieur de la blastula et forme une cavité appelée archentéron. Celui-ci s'ouvre à l'extérieur par un orifice: le blastopore. Le blastopore constitue le futur anus



Gastrulation chez l'Oursin

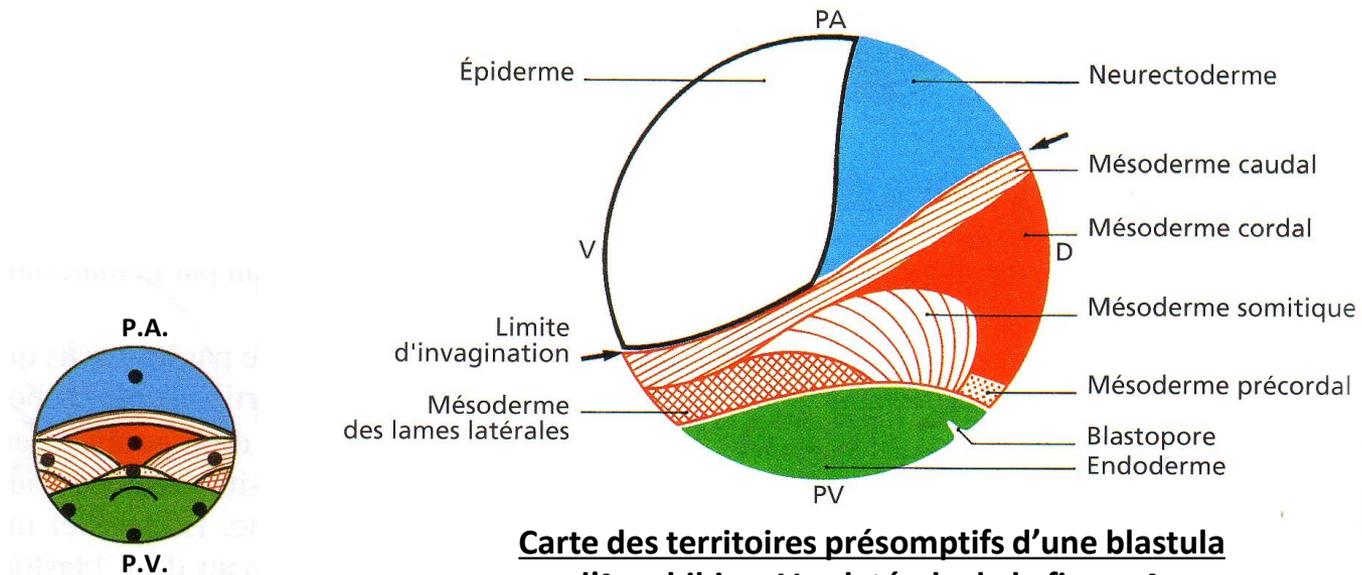
Exemple 2 : Chez les Amphibiens, le mésoderme s'invagine au niveau de la lèvres dorsale du blastopore. L'endoderme s'invagine au niveau de la lèvres ventrale.



Exemple d'invagination chez les Amphibiens

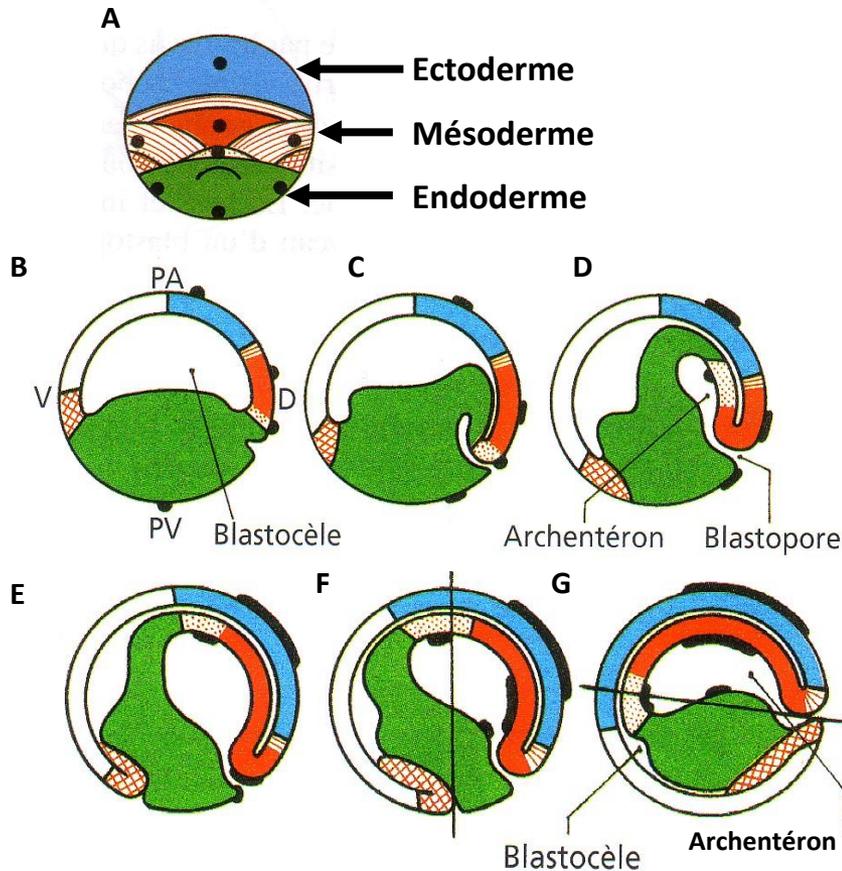
Analyse de la gastrulation par les techniques de marquage:

Le marquage se fait à l'aide de colorants vitaux (rouge neutre et le sulfate bleu de Nil) des différentes parties de la surface de la blastula. Cette technique permet de suivre les mouvements des cellules pendant la gastrulation et de reconstituer une carte des territoires présomptifs.



Carte des territoires présomptifs d'une blastula d'Amphibien. Vue latérale de la figure A.

Figure A: Blastula d'Amphibien vue externe dorsale.



Etapes de la gastrulation d'un embryon d'Amphibien selon la technique de marquage.

Une zone d'invagination se creuse: le blastopore. Les tissus mésodermiques et endodermiques pénètrent dans la cavité de segmentation et forment une seconde cavité qui est l'archentéron.

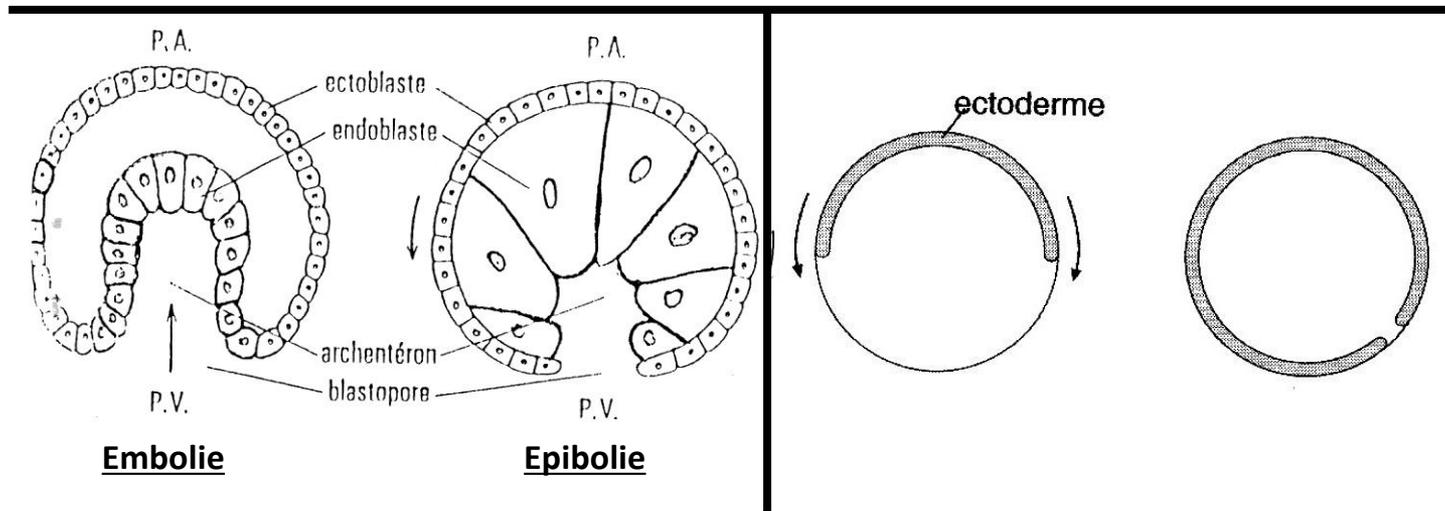
Ces mouvements de l'hémisphère végétatif provoquent un basculement de l'embryon sur la face ventrale. L'axe animal végétatif devient presque horizontal.

Comme résultat de ces mouvements chez les Amphibiens, on se retrouve à la fin de la gastrulation avec une gastrula constituée de feuillets emboîtés, un feuillet externe qui est l'ectoderme, un autre feuillet interne composé d'une voûte dorsale mince de mésoderme et un plancher massif d'endoderme. Ce feuillet interne limite l'archentéron qui s'ouvre à l'extérieur par le blastopore.

1.4.3. L'épibolie (Recouvrement)

Quand les blastomères végétatifs ont une grande taille et sont trop volumineux pour pouvoir s'enfoncer à l'intérieur du blastocoele; ou lorsque le blastocoele est virtuel; les cellules de l'hémisphère animal forment un feuillet qui enveloppe les cellules du pôle végétatif. Ce phénomène s'effectue par glissement et élongation des cellules de l'hémisphère animal au dessus des cellules de l'hémisphère végétatif.

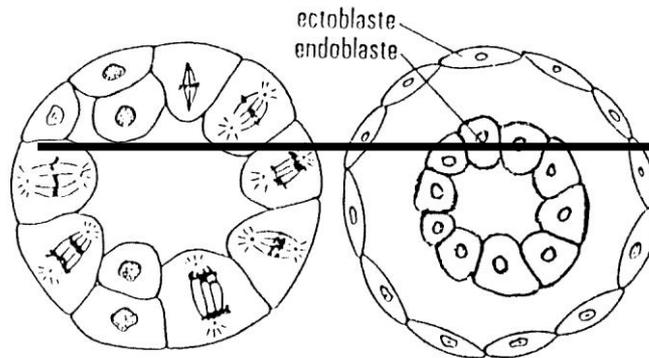
Le phénomènes d'embolie et d'épibolie peuvent avoir lieu en même temps, c'est le cas des Amphibiens.



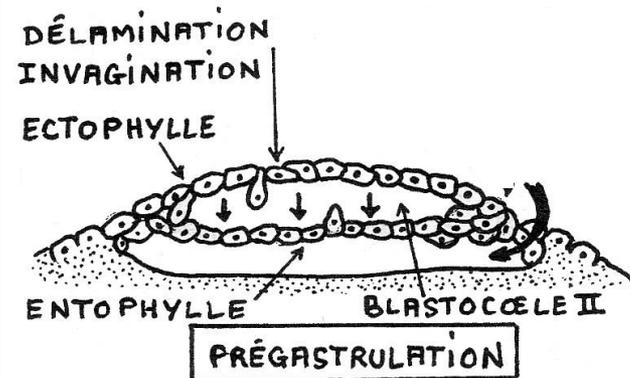
1.4.4. Délamination

Permet le passage d'une forme monodermique (1 seul feuillet) à une forme didermique (2 feuillets). Les cellules qui limitent le blastocoele se divisent et constituent ainsi 2 couches de cellules. La couche interne formera l'endoblaste, la couche externe formera l'ectoblaste.

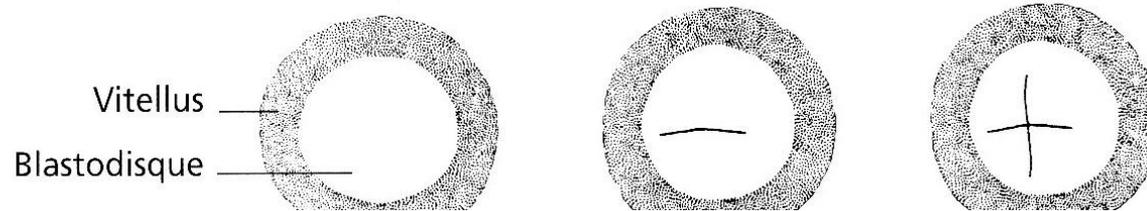
Ce phénomène est rencontré chez l'embryon des Oiseaux. Le feuillet externe est appelé ectophylle (ou épiblaste) superficiel, et le feuillet interne est appelé entophylle (ou hypoblaste). Entre les 2 feuillets se forme le blastocoele secondaire.



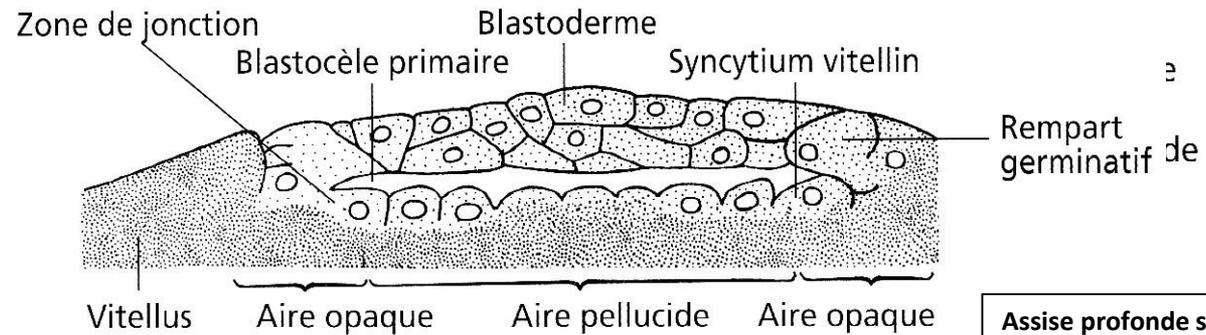
Délamination.



A. Premiers stades de segmentation



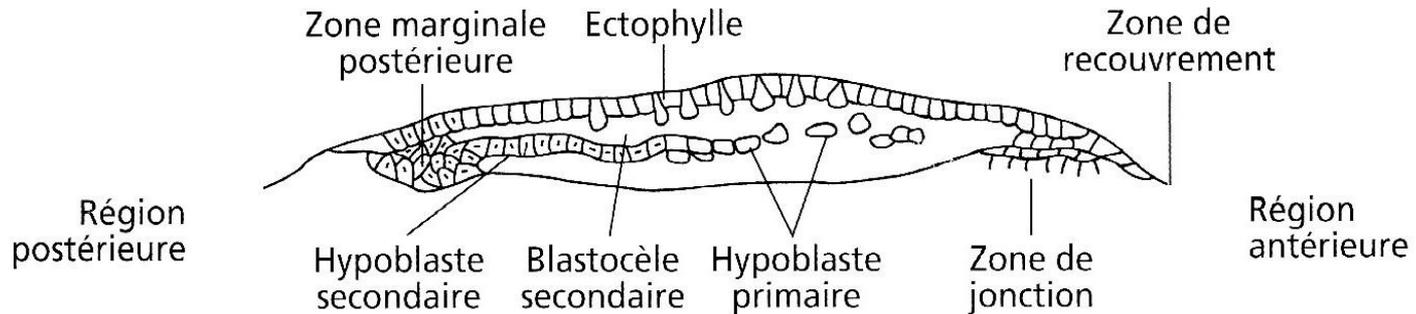
B. Blastula primaire



Assise profonde sans limites nettes avec le vitellus.

Zone profonde avec blastomères individualisés

C. Formation de l'hypoblaste

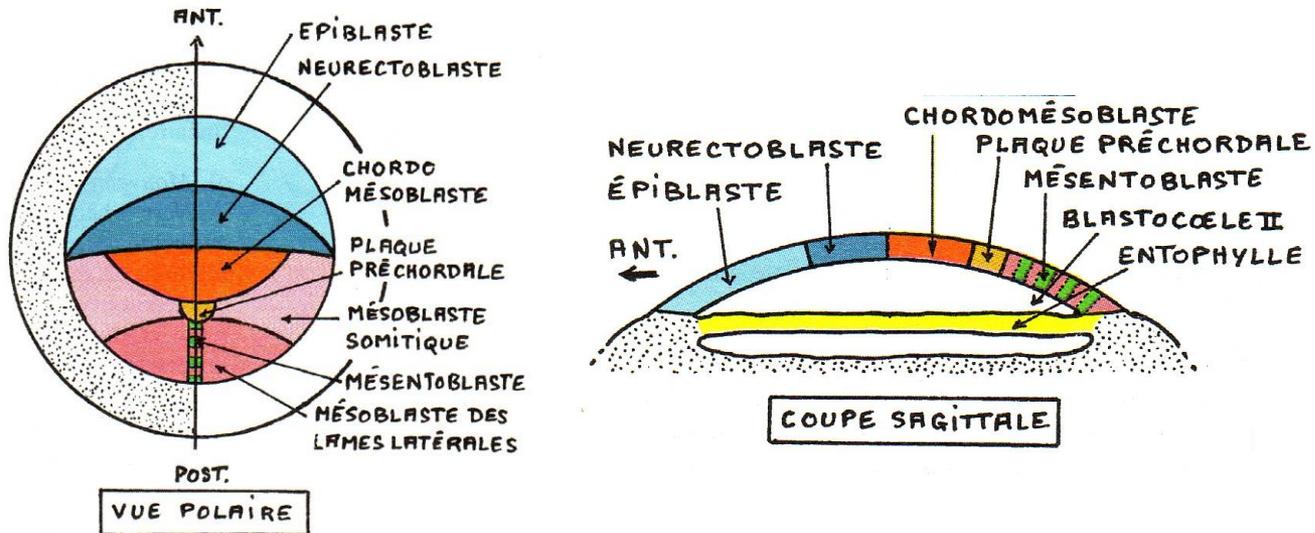


Exemple de délamination: l'embryon des Oiseaux

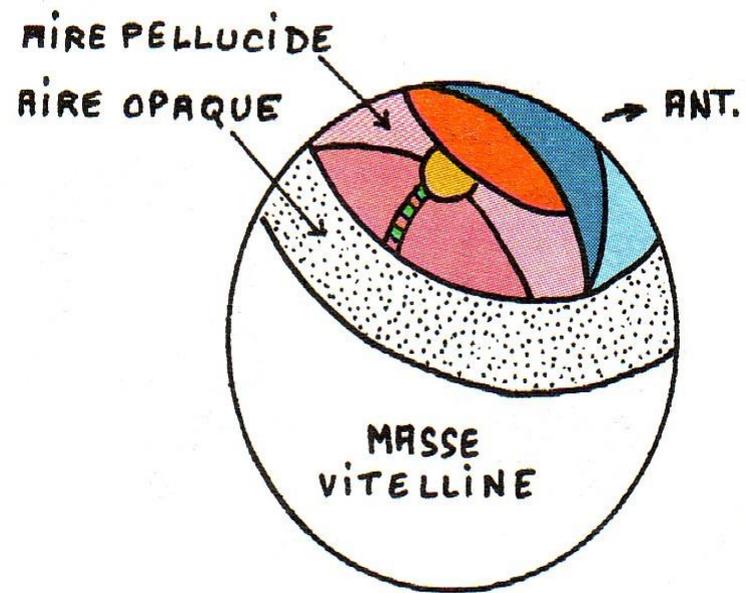
Le feuillet interne, l'entophylle (hypoblaste), provient d'une migration en profondeur de petits groupes de cellules ou de cellules isolées provenant de l'ectophylle qui forment l'hypoblaste primaire et d'une migration d'un feuillet de cellules provenant de la partie postérieure qui forment l'hypoblaste secondaire. L'ensemble des deux constitue l'hypoblaste.

L'ectophylle peut être divisé en deux parties sensiblement égales.

- ▶ La moitié antérieure qui représente l'ectoderme.
- ▶ La moitié postérieure qui représente le mésoderme et l'endoderme.



Cartes des territoires présomptifs de l'embryon d'oiseau.



1.5. LA NEURULATION

Après la gastrulation, chez les vertèbres, on assiste à la mise en place du système nerveux, on parle alors de neurulation. A partir de ce stade l'embryon va subir une différenciation histologique qui concerne spécialement l'ectoblaste qui, suite à une série de transformations, va donner naissance au neuroblaste (système nerveux).

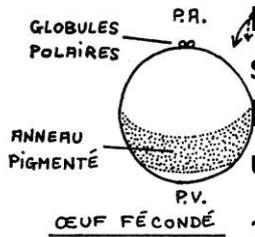
1.6. ORGANOGENESE:

Elle correspond à la mise en place des différents organes à partir des trois feuillets: ectoderme, mésoderme et endoderme, mis en place pendant la gastrulation. Une fois l'embryogenèse terminée, c'est la fin du développement embryonnaire.

08h à 0945

2. Exemple de développement: L'OURSIN: (voir complément dans TD2)

2.1. L'œuf fécondé:



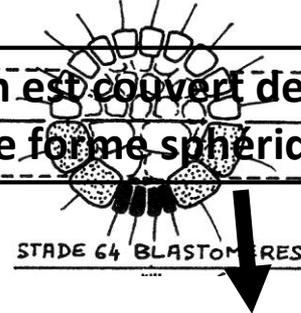
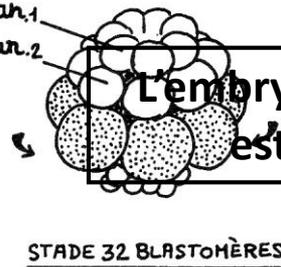
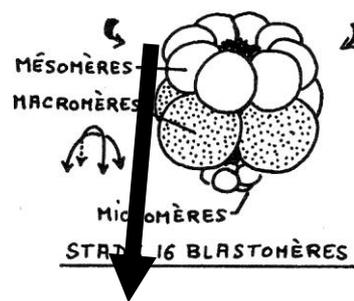
Il s'agit d'un œuf de petite taille, de couleur orange. Les réserves vitellines sont peu abondantes: œuf oligolécithe. La fécondation s'effectue dans l'eau de mer. Juste après la fécondation le pigment se concentre et forme un anneau situé au dessous de l'équateur.

2.2. La segmentation.

Elle est totale, égale et radiaire pour les trois premières divisions.

A la fin de la segmentation l'embryon forme une blastula possédant un blastocoele limité par un seul feuillet cellulaire.

La segmentation devient inégale au quatrième cycle de division



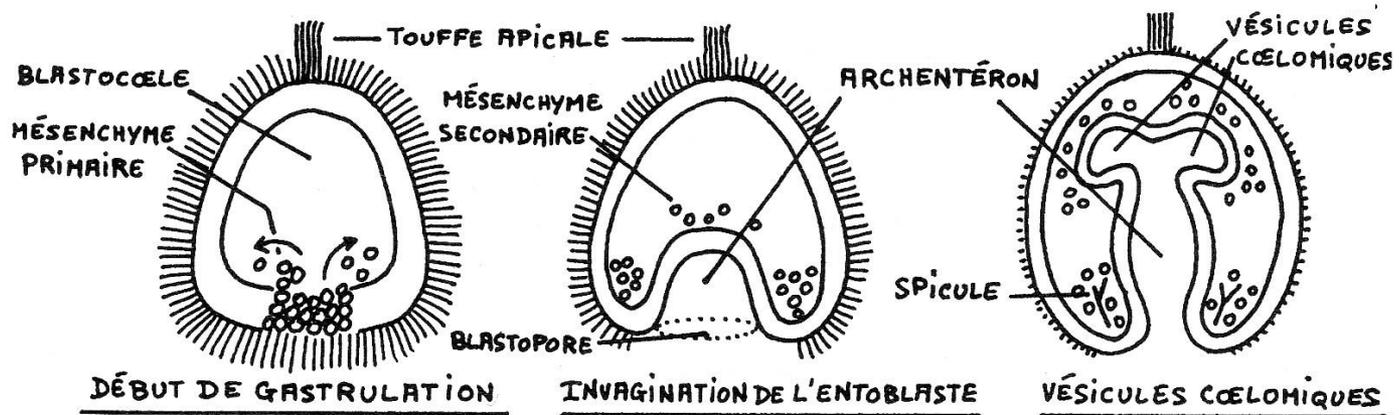
L'embryon est couvert de cils et il est de forme sphérique.

2.3. La gastrulation:

Une touffe de longs cils se développe au pôle animal pendant que l'embryon s'aplatit dans la région du pôle végétatif.

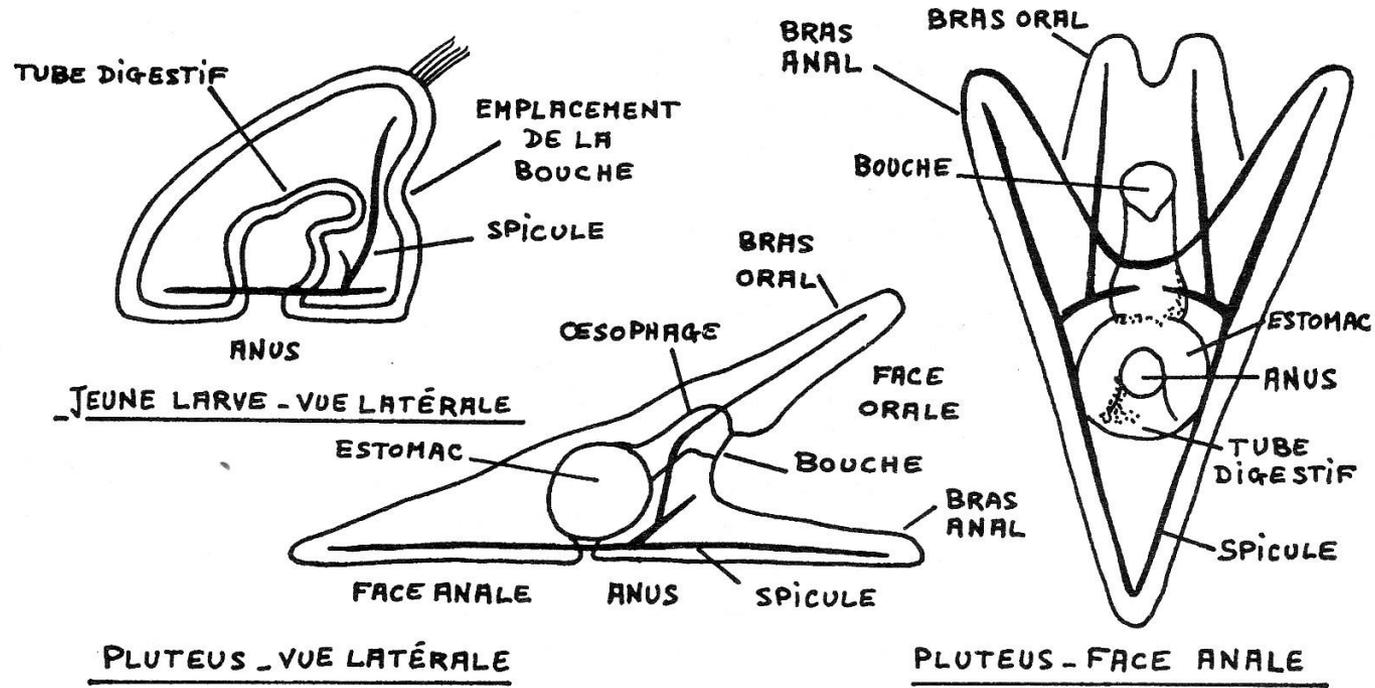
A la fin de la gastrulation l'embryon est constitué de trois feuillets fondamentaux:

- Un feuillet externe: l'ectoderme,
- un feuillet interne: l'endoderme,
- un feuillet moyen: le mésoderme.



2.4. Formation de la larve pluteus:

A la fin de la gastrulation une symétrie bilatérale s'établit dans l'embryon dont un côté tend à s'aplatir c'est la future face ventrale. Le blastopore se déplace et forme l'anus de la larve. L'apex de l'archentéron s'incline vers la face antéro-ventrale et s'ouvre vers l'extérieur par un orifice le stomodeum: la bouche de la larve.



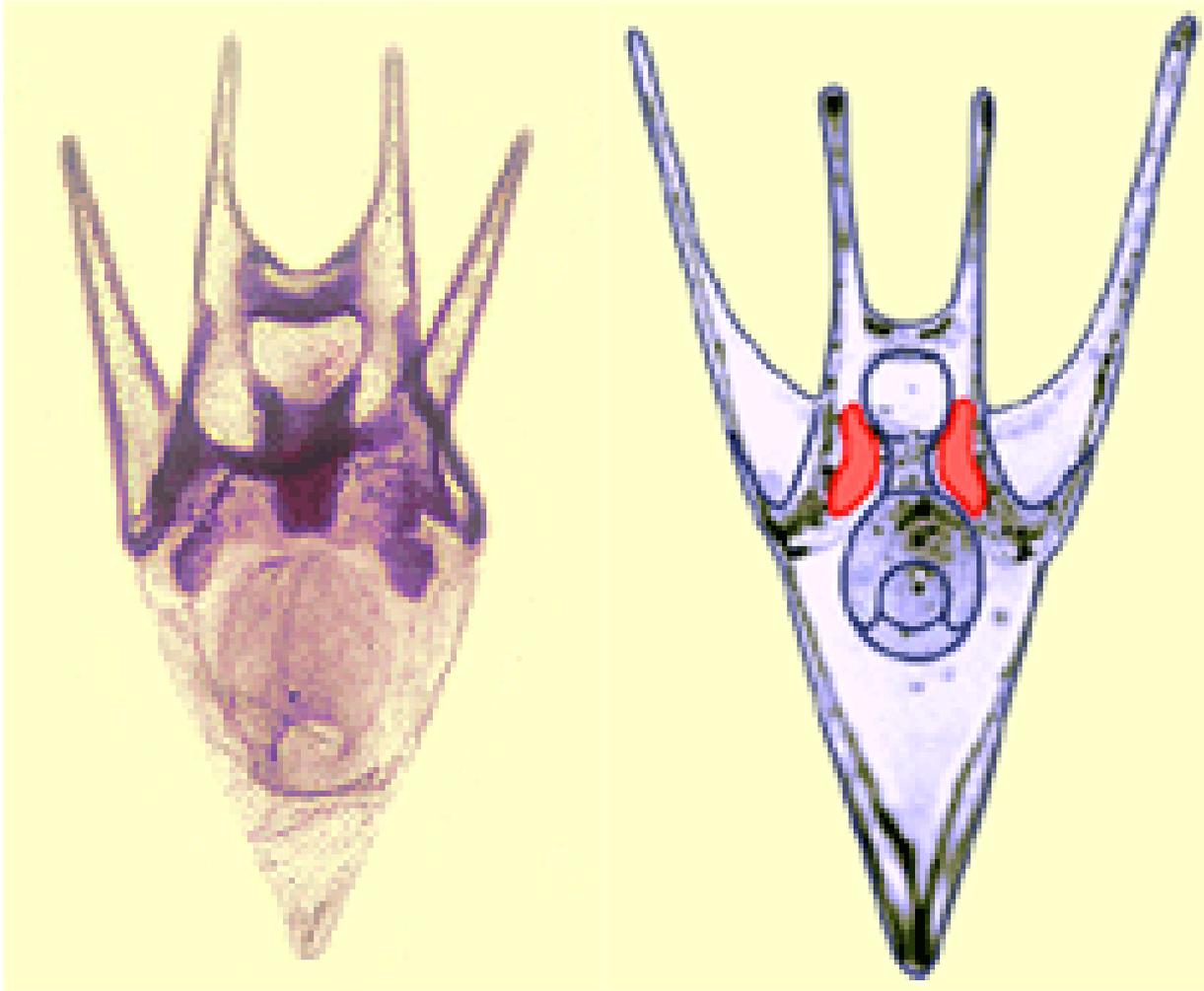


Photo d'une larve d'oursin

Dessin d'une larve d'oursin

2eme partie: Biologie du Développement

Responsable de M2 Pr L.Lefrere

1. La segmentation
2. La gastrulation
3. L'organogenèse
4. L'embryogenèse chez l'oursin
(voir TD2, complément de cours)

2eme partie: Biologie du Développement

Introduction:

La capacité de reproduction est l'un des critères fondamentaux de l'existence de la vie. Chaque individu a une vie individuelle limitée dans le temps. Cet individu très différencié doit faire retour à un état plus simple d'organisation, qui est l'œuf, à partir duquel un nouvel être assure la continuité de la lignée.

Le développement individuel de ce nouvel organisme est appelé ontogenèse, elle se déroule en 2 phases principales.

- ▶ L'embryogenèse,
- ▶ La période fonctionnelle.

L'embryogenèse

**C'est la phase du développement embryonnaire proprement dit.
Elle s'effectue en plusieurs temps:**

- ⇒ la segmentation,
- ⇒ la gastrulation,
- ⇒ la neurulation (vertébrés),
- ⇒ l'organogenèse.

La période fonctionnelle.

Elle aboutit à l'édification de l'organisme adulte qui sera apte à se reproduire. Elle se termine par une période \pm ou moins longue de vieillissement qui entraîne à la mort.

1. Caractères généraux du développement embryonnaire:

1.1. L'œuf fécondé et les premiers stades de développement

L'œuf fécondé est une cellule particulière dotée d'une polarité due à la présence de 2 pôles. Un pôle animal, c'est le pôle supérieur de l'œuf qui correspond à *l'endroit d'émission des globules polaires*. A son opposée se trouve le pôle végétatif, c'est le pôle le plus chargé en *réserves nutritives*. Dans l'œuf, les réserves de nature protéiques constituent le vitellus.

CARACTERES GENERAUX DE L'ŒUF FECONDE

TOTIPOTENCE- POLARITE - RESERVES

TOTIPOTENCE

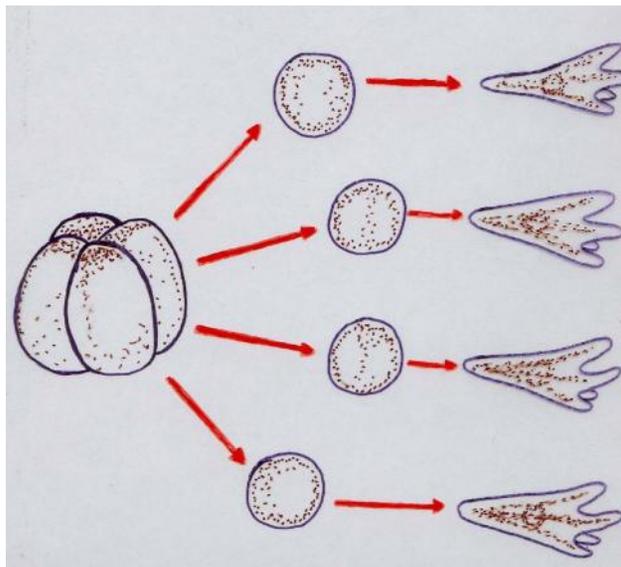
**LA CELLULE TOTIPOTENTE PEUT DONNER NAISSANCE
A TOUS LES TYPES CELLULAIRES D'UN ORGANISME
(ET MEME A L'ORGANISME ENTIER)**

INDICE MITOTIQUE ELEVE

PAS DE CARACTERES MORPHOLOGIQUES SPECIALISES

**GENOME LARGEMENT INEXPRIME ET TRES ACCESSIBLE
A TOUS LES MECANISMES DE CONTRÔLE AUXQUELS IL
REPOND RAPIDEMENT**

TOTIPOPENCE



**SEPARATION EXPERIMENTALE DES BLASTOMERES D'UN EMBRYON
D'OURSIN AU STADE 4 CELLULES**

➔ DEVELOPPEMENT DE 4 LARVES « PLUTEUS »

1.2. Les différents types d'œufs:

- **les œufs alécithes**. Ce sont des œufs petits, très pauvres en réserves vitellines. (exemple: l'œuf des mammifères à placenta)
- **les œufs oligolécithes**, sont de petite taille et pauvres en vitellus (exemple: l'œuf d'oursin)
- **les œufs hétérolécithes**, sont assez gros, et riches en vitellus (exemple: l'œuf des Amphibiens)
- **les œufs télolécithes**, sont gros et très riches en vitellus, (exemple: l'œuf des oiseaux)
- **les œufs centrolécithes**, sont assez gros et le vitellus occupe une position centrale, entouré par une couche périphérique de cytoplasme: le périplasme (exemple: l'œuf des insectes).

CARACTERES GENERAUX DE L'ŒUF FECONDE

**L'ŒUF FECONDE PRESENTE UNE POLARITE
POLE ANIMAL – POLE VEGETATIF**

**RESERVES ACCUMULEES DURANT L'OVOGENESE
VITELLUS
CYTOPLASME HETEROGENE**

DIFFERENTS TYPES D'ŒUFS

**Alécithes (mammifères placentaires),
Oligolécithes (oursin),
Hétérolécithes (amphibiens),
Télolécithes (oiseaux, poissons),
Centrolécithes (Insects)**

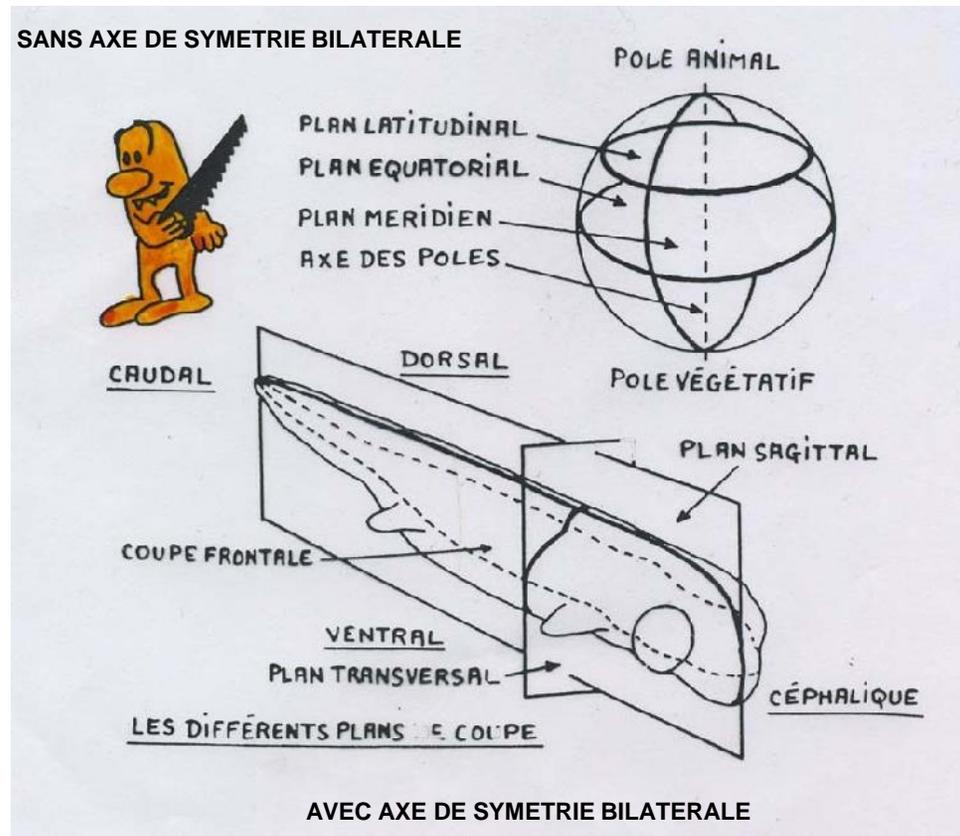
Orientation des coupes et des plans de coupe:

- ▶ **Coupe méridienne:** Coupe réalisée dans une sphère suivant un plan passant par les 2 pôles (plan méridien).
- ▶ **Coupe latitudinale:** Coupe réalisée dans une sphère, suivant un plan perpendiculaire à l'axe des pôles.
- ▶ **Coupe équatoriale:** Coupe latitudinale passant par le plan équatorial, perpendiculaire à l'axe polaire et équidistant des pôles.
- ▶ **Coupe verticale:** Coupe parallèle à l'axe verticale de l'organisme étudié.
- ▶ **Coupe sagittale:** Coupe réalisée suivant le plan de symétrie bilatérale de l'organisme considéré. Le plan de coupe est à la fois antéropostérieur (ou céphalo-caudale) et médian.
- ▶ **Coupe parasagittale:** Coupe parallèle au plan de symétrie bilatérale.
- ▶ **Coupe transversale:** Coupe réalisée suivant un plan perpendiculaire au plan de symétrie bilatérale.

COUPES HISTOLOGIQUES

MERIDIENNE
LATITUDINALE
EQUATORIALE

SAGITTALE
PARASAGITTALE
TRANSVERSALE
FRONTALE



1.3. LA SEGMENTATION:

L'œuf fécondé subit plusieurs mitoses successives qui permettent de passer d'un état unicellulaire à un état pluricellulaire. On appelle ce phénomène la segmentation.

Les cellules filles obtenues restent liées l'une à l'autre et sont dites blastomères.

Les premières divisions mitotiques de la segmentation aboutissent à la formation d'une masse pluricellulaire en forme de mûre et qui prend le nom de morula.

Selon le type d'œuf on distingue plusieurs types de segmentation.

1.3.1. La segmentation holoblastique (totale)

Elle a lieu dans les œufs dont les réserves vitellines ne sont pas très abondantes (œufs alécithes, oligolécithes et œufs hétérolécithes).

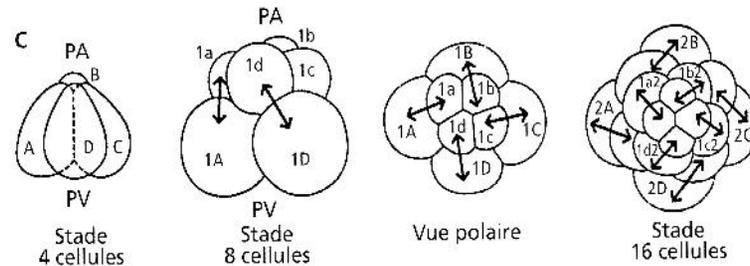
a/ Selon la taille des blastomères, on distingue:

- ▶ Si les blastomères ont la même taille, la segmentation est dite totale égale.
- ▶ Si les blastomères présentent une différence de taille, la segmentation est dite totale inégale. Dans ce cas on se retrouve avec des cellules de petite taille: les micromères, et des cellules de grande taille: les macromères.

b/ Selon la disposition des blastomères, on distingue:

► Les plans de division se font de manière à ce qu'il y ait une alternance entre le plan méridien et le plan latitudinal. La segmentation est dite alors, **totale radiaire**.

► Les plans de division sont obliques par rapport à l'axe de l'œuf et segment



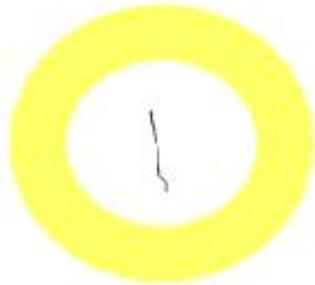
Segmentation spirale (alternation de l'orientation des fuseaux à chaque division)

1.3.2. La segmentation méroblastique (partielle)

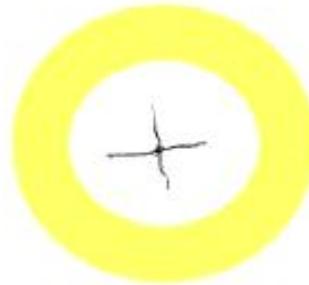
Elle a lieu quand les réserves vitellines sont importantes, c'est le cas des œufs télolécithes et les œufs centrolécithes.

► Chez les œufs télolécithes, la segmentation s'effectue uniquement dans la zone du cytoplasme actif qui est désignée sous le terme de disque germinatif. Dans ce cas la segmentation est dite partielle discoïde.

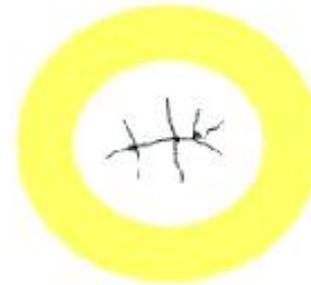
SEGMENTATION PARTIELLE DISCOIDALE chez les Oiseaux



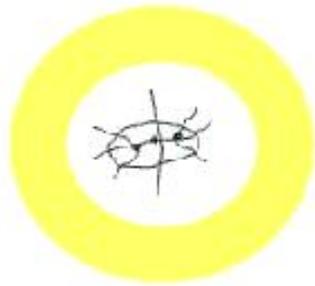
Stade 2



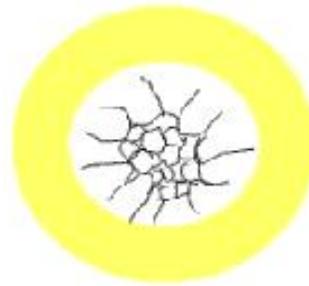
stade 4



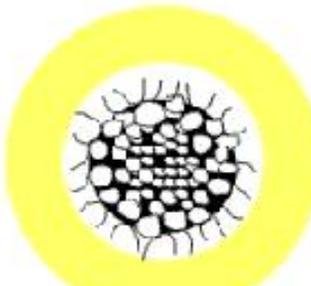
stade 8



Stade 16



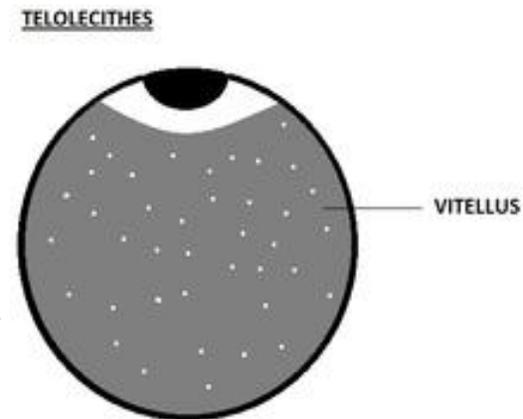
stade 32



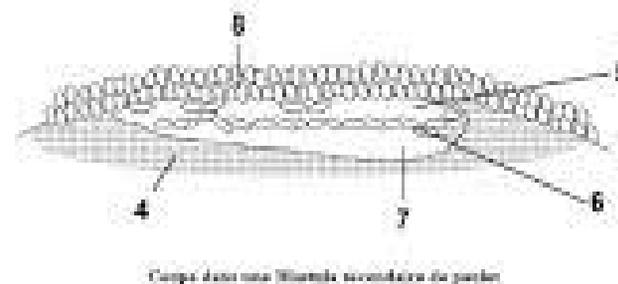
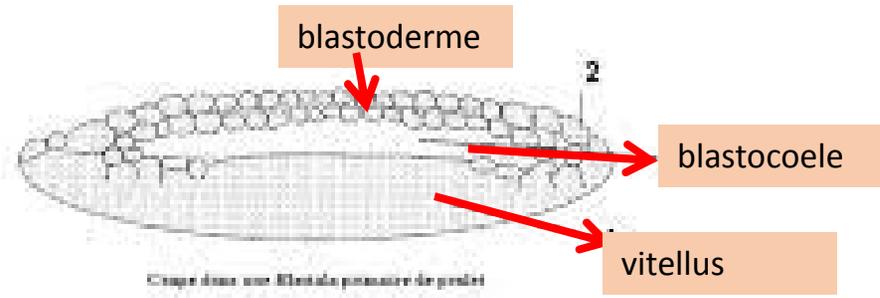
Blastula

- Pour ces œufs **téolécithes**, les divisions de segmentation ne se déroulent que dans une petite surface cytoplasmique dépourvue de vitellus située au pôle animal.

- Les blastomères sont regroupés sous forme de « disque germinatif» appelé **blastoderme** ou **blastodisque**.



Chez les oiseaux, à la fin de la segmentation, le germe obtenu est aplati sous forme de disque = Blastodisque ou Blastoderme

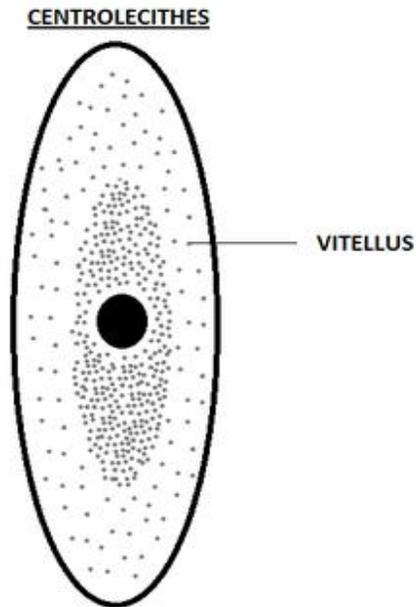


Coupe dans une blastula

- 1 = aire pellucide ; 2 = aire opaque ; 3 = blastocèle primaire ;
- 4 = vitellus ; 5 = blastocèle secondaire ; 6 = hypoblaste (antophylle) ;
- 7 = archentéron primaire ; 8 = ectophylle

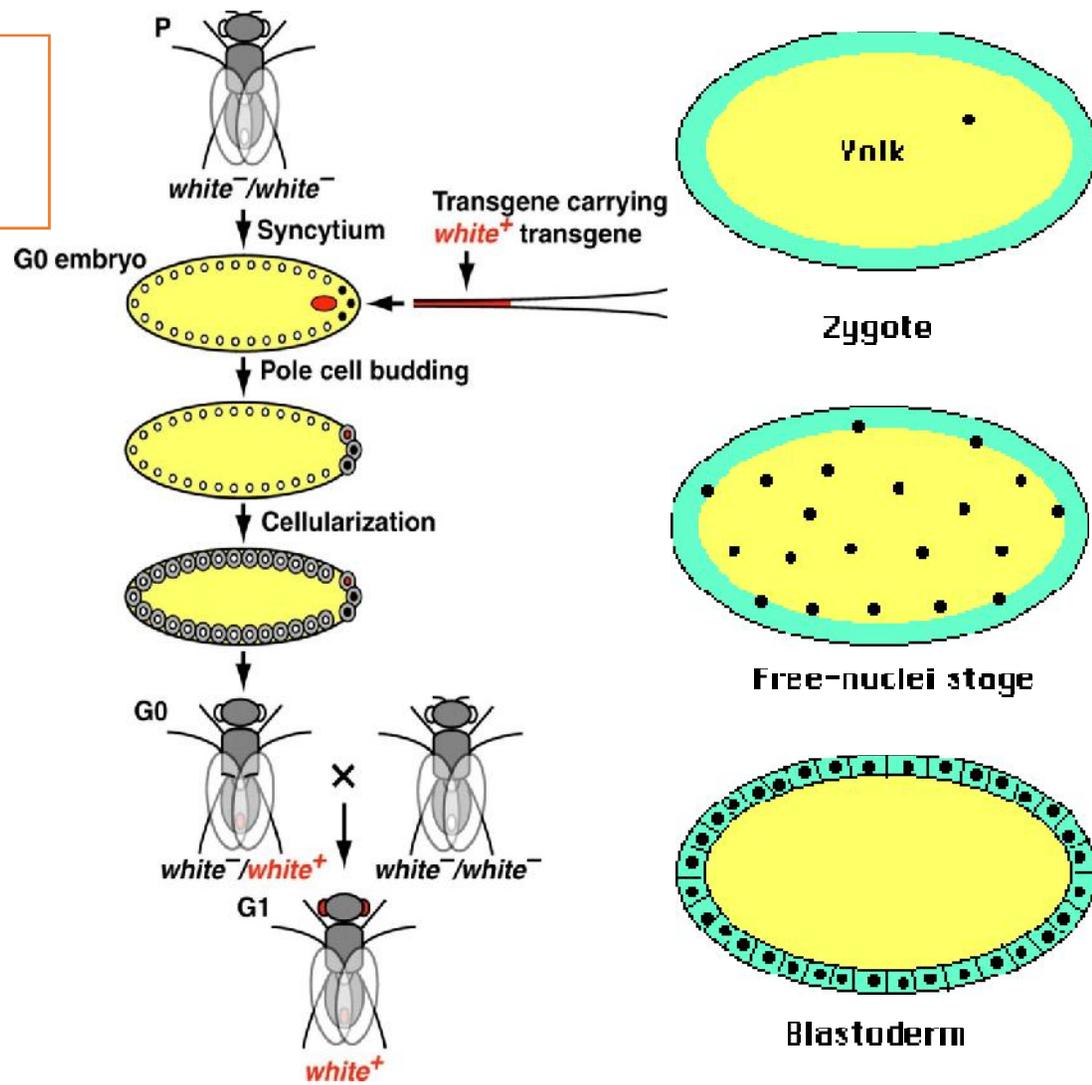
SEGMENTATION PARTIELLE PERIPHERIQUE OU SUPERFICIELLE

- Dans le cas des œufs **centrolécithes** (Insectes), les divisions cellulaires et les blastomères se situent à la superficie du germe.
- Le noyau du zygote, en plein dans la masse vitelline, entreprend de nombreuses divisions.



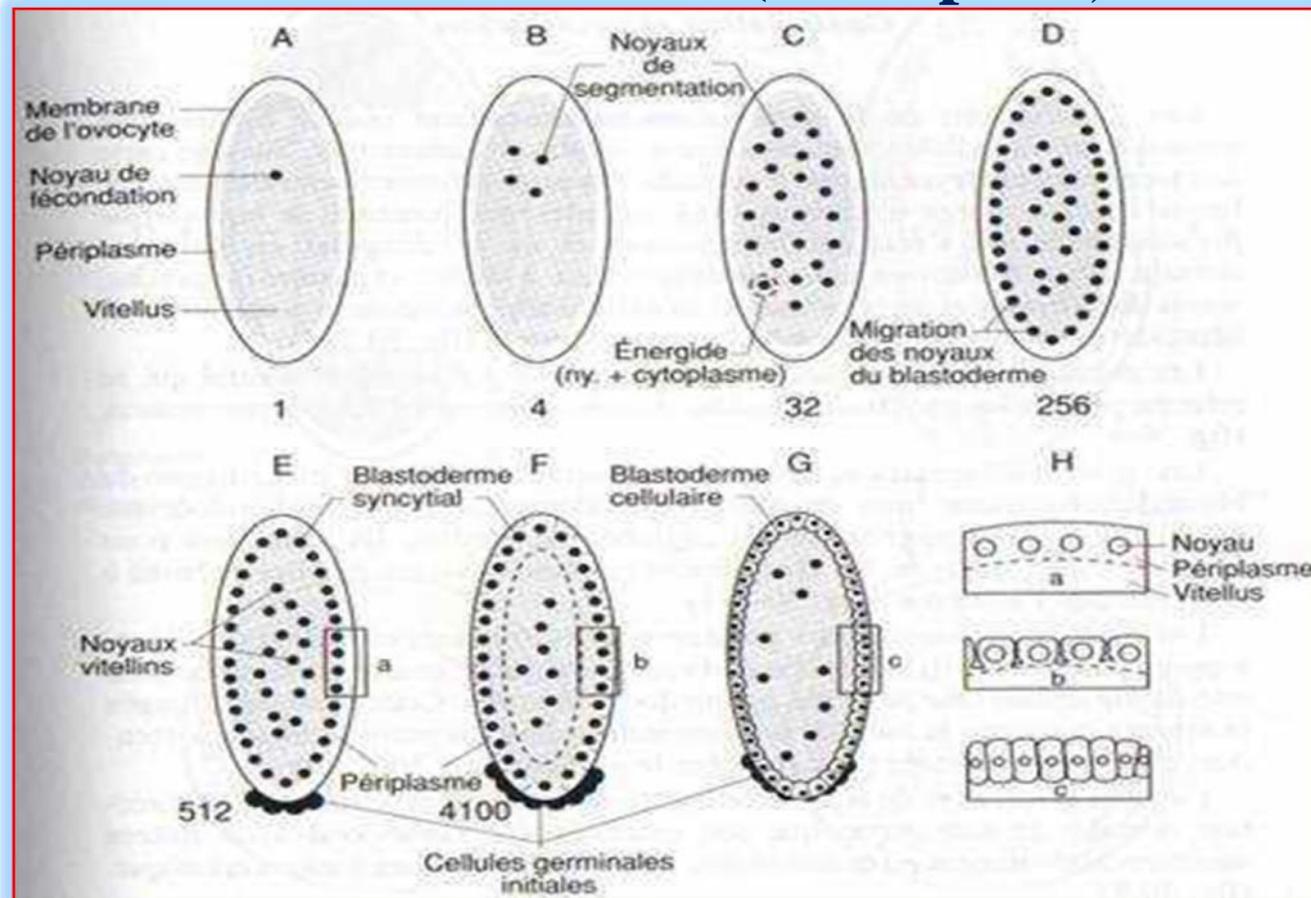
► Chez les œufs centrolécithes, on assiste à une segmentation superficielle ou intravitelline. Le noyau de fécondation se divise un certain nombre de fois, les noyaux fils s'entourent de cytoplasme central et migrent vers le cytoplasme périphérique. Une fois à la périphérie il forment une assise de cellules présentant une membrane cytoplasmique propre à chaque cellule. On parle alors de segmentation partielle superficielle.

**Segmentation
périphérique
drosophile**



- ❑ Au début, les divisions cellulaires ne concernent que les noyaux qui restent dans un cytoplasme commun
- ❑ La membrane ovocytaire s'invagine ensuite entre les noyaux, formant plusieurs petites cellules et créant le **blastoderme cellulaire**.
- ❑ Les cellules forment une seule assise autour du vitellus central.
- ❑ Chez la drosophile, cette couche comprend jusqu'à 5000 cellules.

Segmentation méroblastique périphérique chez les insectes (drosophile)



Clivage (ou segmentation)

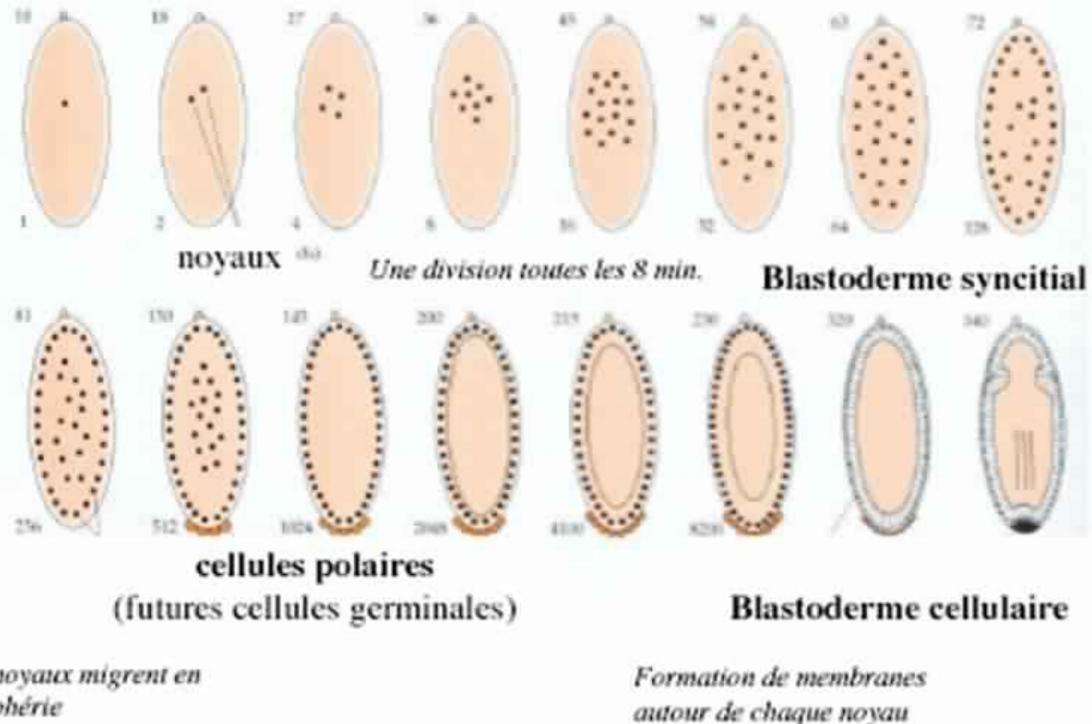
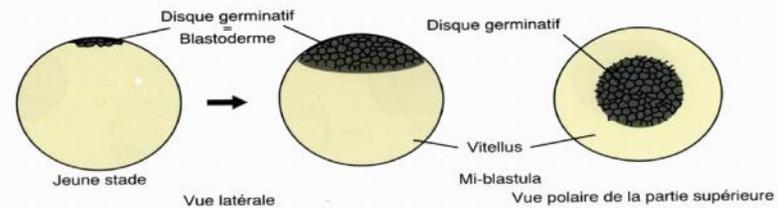


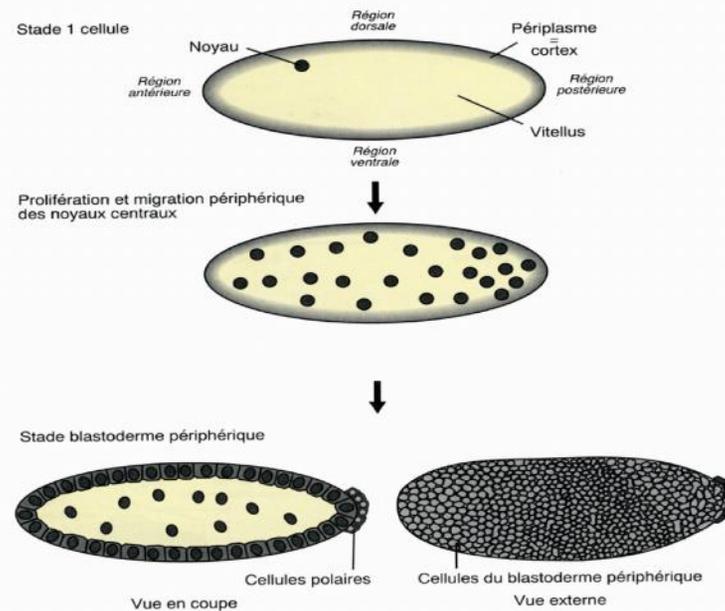
Fig 2 : Stades précoces du développement embryonnaire de la drosophile

SEGMENTATION PARTIELLE MEROBLASTIQUE

a- Discoïdale
OISEAUX,
POISSONS



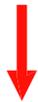
b- Superficielle
INSECTES



LES DIFFERENTS TYPES DE SEGMENTATION

SEGMENTATION

**TOTALE
(HOLOBLASTIQUE)**



Oligolécithes (oursin)
Hétérolécithes (amphibiens)
Alécithes (mammifères placentaires)

**RADIAIRE
SPIRALE**

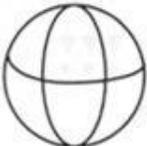
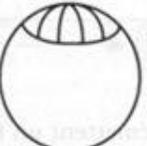
**PARTIELLE
(MEROBLASTIQUE)**



Téolécithes (oiseaux)

LA SEGMENTATION RADIAIRE PRESENTE DES
PLANS DE SEGMENTATION TOUR A TOUR
MERIDIEN ET LATITUDINAL

LES DIFFÉRENTS TYPES D'OEUF

type d'oeuf		aspect	caractères	représentants
oeufs holoblastiques segmentation totale 	oeufs oligolécithes	 1/10 mm	vitellus peu abondant et réparti uniformément noyau légèrement excentré	Spongiaires Coelentérés Echinodermes Procordés
	oeufs alcécithes		perte secondaire du vitellus au cours de l'évolution	Mammifères placentaires
	oeufs hétérolécithes	 1 mm	vitellus plus abondant réparti de façon hétérogène (pôle végétatif) noyau excentré (pôle animal)	Annélides Mollusques Gastéropodes Certains Poissons Amphibiens
oeufs méroblastiques segmentation partielle 	oeufs centrolécithes	 1 à plusieurs mm	vitellus abondant entourant un noyau central cytoplasme rejeté à la périphérie	Insectes Crustacés
	oeufs télolécithes	 1 à plusieurs cm	oeufs volumineux vitellus très abondant protoplasme refoulé à la surface de l'oeuf	Mollusques Céphalopodes Poissons Séliciens et Téléostéens Sauropsidés (Reptiles, Oiseaux) Mammifères ovipares

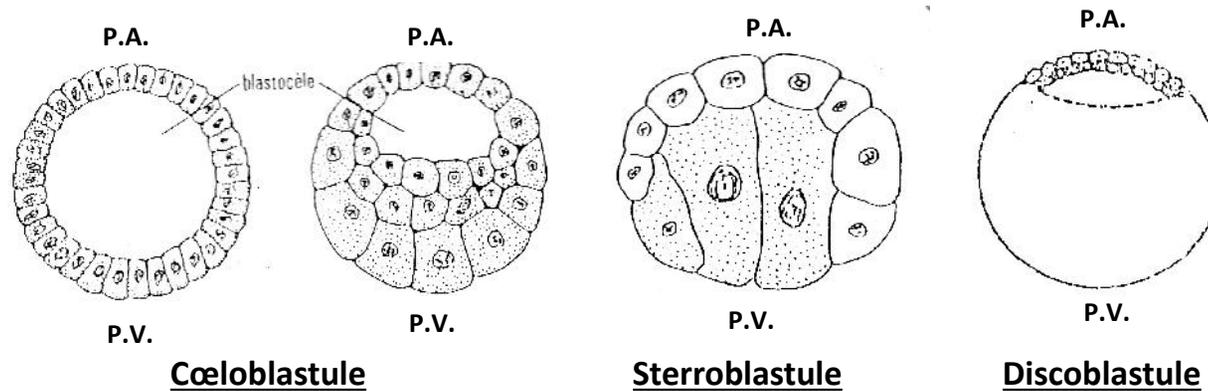
Marsupiaux et Euthériens

Monotrèmes (Protothériens)

1.3.3. Résultat de la segmentation:

Tous ces types de segmentation aboutissent à la formation d'un embryon pluricellulaire, creusé d'une cavité. Généralement cet embryon prend le nom de blastula. les cellules qui le forment sont les blastomères et une cavité se forme dans l'embryon et est appelée blastocoele.

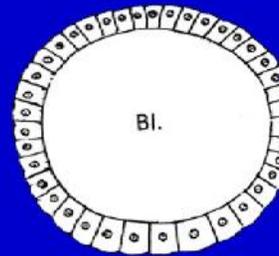
- ▶ Segmentation totale: formation d'une cœloblastule ou une sterroblastule
- ▶ Segmentation partielle discoïdale formation d'une discoblastule
- ▶ Segmentation partielle superficielle périblastule avec blastocœle virtuel.



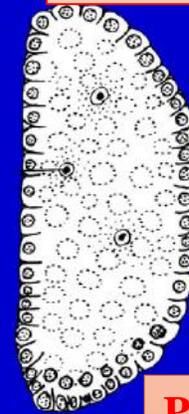
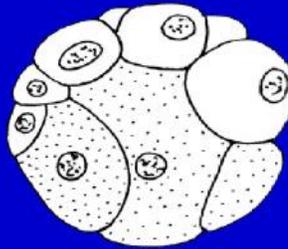
Différents types de Blastulas

STERROBLASTULA
(annélides, gastéropodes)
Seg. totale spirale

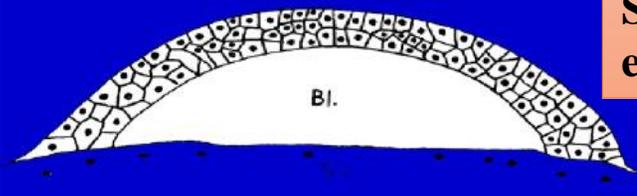
DISCOBLASTULA
(Oiseaux, poissons)
Seg. méroblastique
discoidale



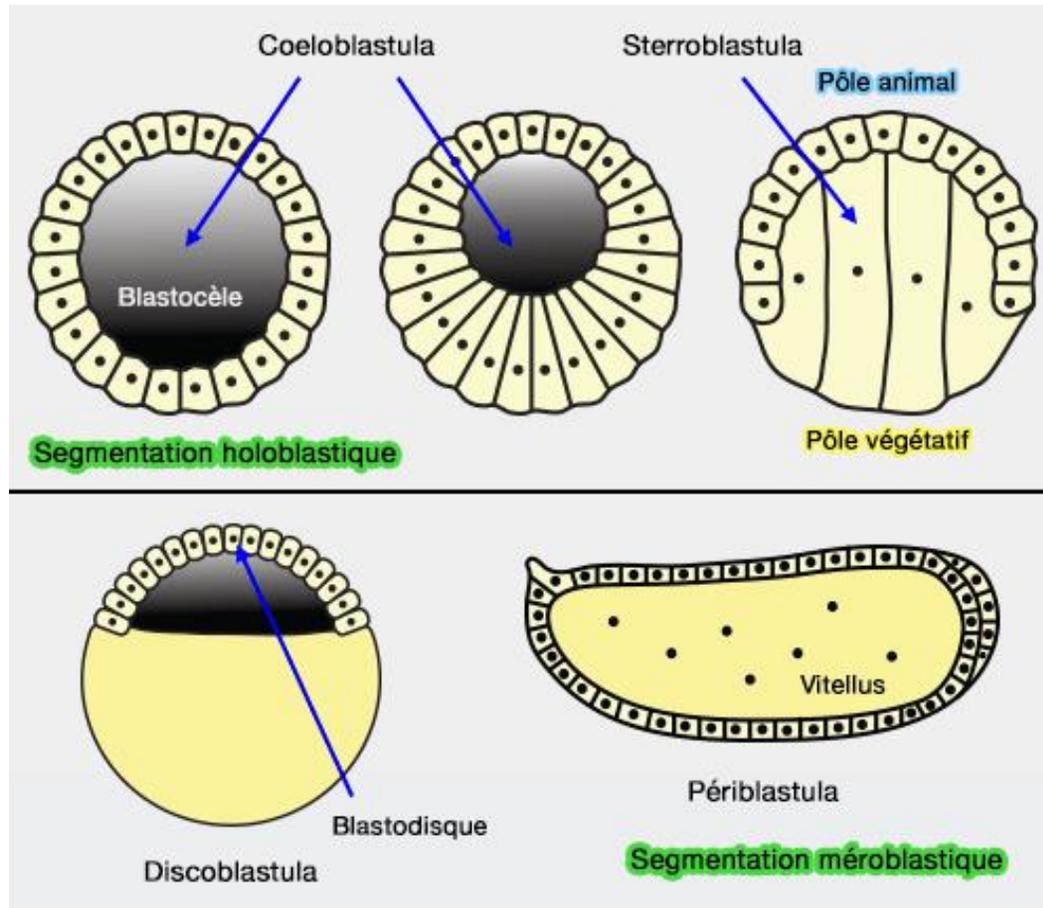
COELOBLASTULA
(Oursin, Amphibiens)
Seg. Totale radiaire



PERIBLASTULA
(Insectes)
Seg. Méroblastique
e superficielle



Différents types de Blastulas



1.4. LA GASTRULATION

Comme résultat de la segmentation, on obtient un embryon qui présente un feuillet unique de blastomères.

Pendant la gastrulation, l'activité mitotique des cellules se ralentit, et des blastomères uniques ou des groupes de blastomères commencent à migrer et à s'organiser. Ainsi on assiste fondamentalement à la formation de 2 feuillets différents:

- ▶ un feuillet externe: **l'ectoderme**,
- ▶ un feuillet interne: **l'endoderme**.

Chez la plupart des Métazoaires, entre les 2 feuillets se forme un 3^{ème} feuillet: c'est **le mésoderme**.

La gastrulation est donc caractérisée par :

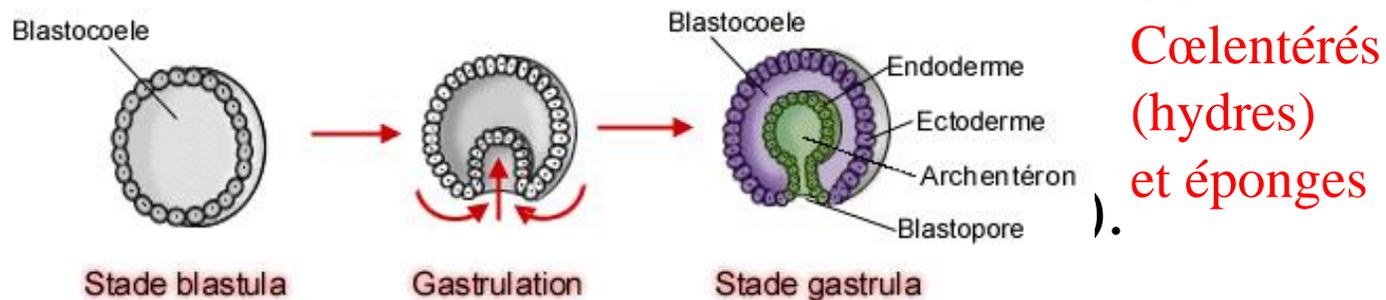
- L'apparition de mouvements cellulaires coordonnés (mouvements morphogénétiques).
- La séparation des trois tissus fondamentaux :
 - l'ectoderme
 - le mésoderme
 - l'endoderme .

La gastrulation est aussi caractérisée par :

- L'apparition d'une cavité secondaire digestive, **l'archentéron**.
- Parallèlement, le rythme mitotique diminue et le cycle cellulaire s'allonge.

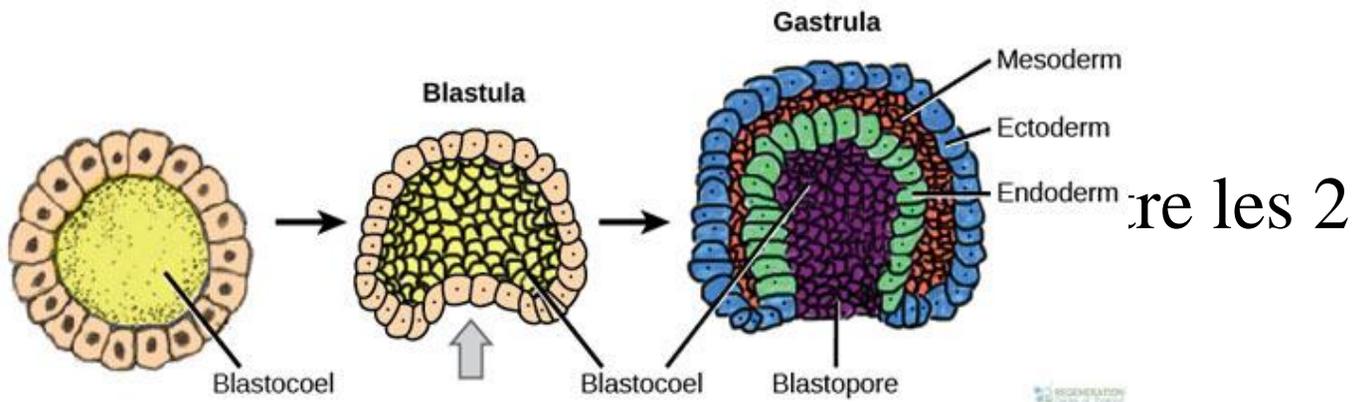
2 classes d'animaux dans le règne animal :

➤ **Diploblastiques** : constitués de 2 types de



Cœlentérés
(hydres)
et éponges

- l'**endoderme** (antérieur ou interne).



re les 2

MODALITES DE LA GASTRULATION

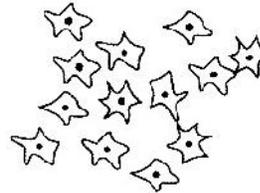
Elle se réalise selon plusieurs modalités:

- **EMBOLIE** (Invagination)
- **EPIBOLIE** (Recouvrement)
- **DELAMINATION** (dédoublément de la couche cellulaire puis séparation)
- **IMMIGRATION** (cellules migrent individuellement)

Les comportements cellulaires pendant la gastrulation:

1.4.1. Conversion épithélium - mésenchyme:

Pendant la gastrulation, une grande partie des cellules des zones internes de la blastula qui avaient un aspect de cellules épithéliales, perdent leur polarisation et le contact entre elles et prennent un aspect mésenchymateux.



Cellules épithéliales

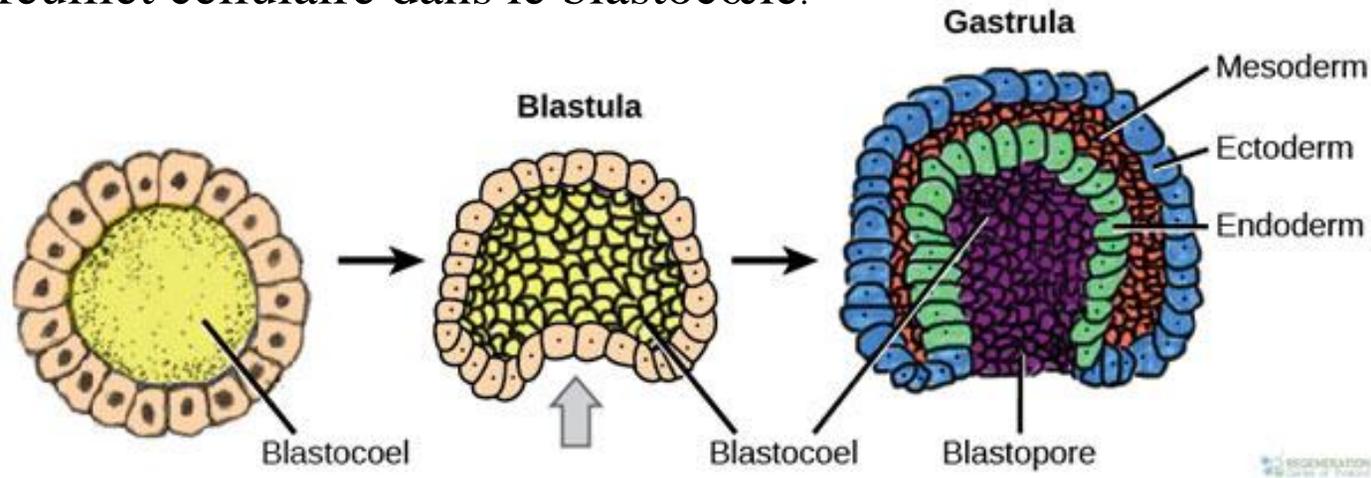
Cellules mésenchymateuses

1.4.2. L'embolie ou Invagination:

Ce mécanisme est fréquent chez les embryon qui présentent un blastocoele important et des blastomères végétatifs. On assiste à un enfoncement de zone entières superficielles à l'intérieur du blastocoele. L'ouverture qui se forme va constituer le blastopore. La cavité intérieure donne la future cavité digestive appelée l'archentéron.

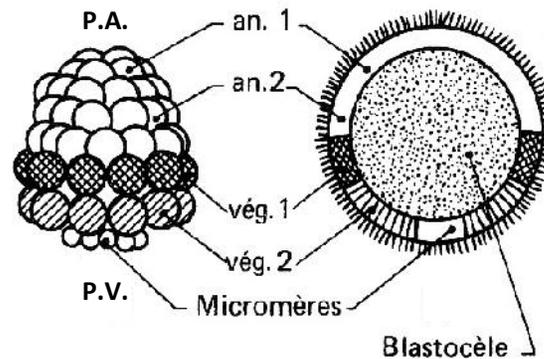
Gastrulation par Embolie : OURSIN

Embolie = **invagination** = repliement ou pénétration d'un feuillet cellulaire dans le blastocœle.



chez les embryons ayant un blastocœle important et des blastomères végétatifs de petite taille et peu chargés en vitellus.

Exemple 1 : Chez l'Oursin à la fin de la segmentation, les cellules de l'embryon s'organisent en une seule couche autour de la cavité centrale : le blastocoele.

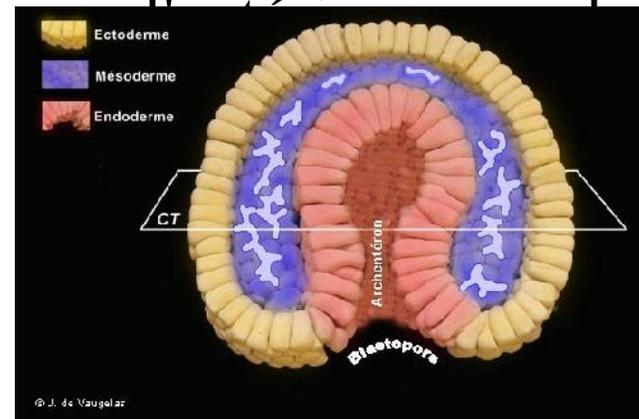


Morula d'Oursin.

**Coupe méridienne d'une
blastula.**

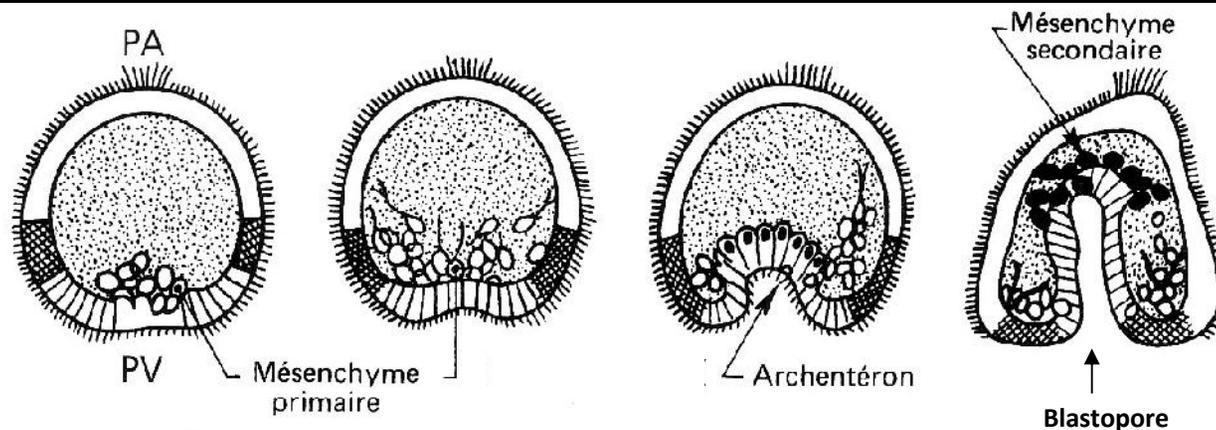
Gastrulation par embolie

- l'invagination de l'hémisphère végétatif (formant l'endoderme) réduction du blastocœle
- L'invagination aboutit à la formation de l'archentéron = cavité du tube digestif embryonnaire, ouvert blastopore (anus).
- Ex: Echinodermes (l'Oursin).



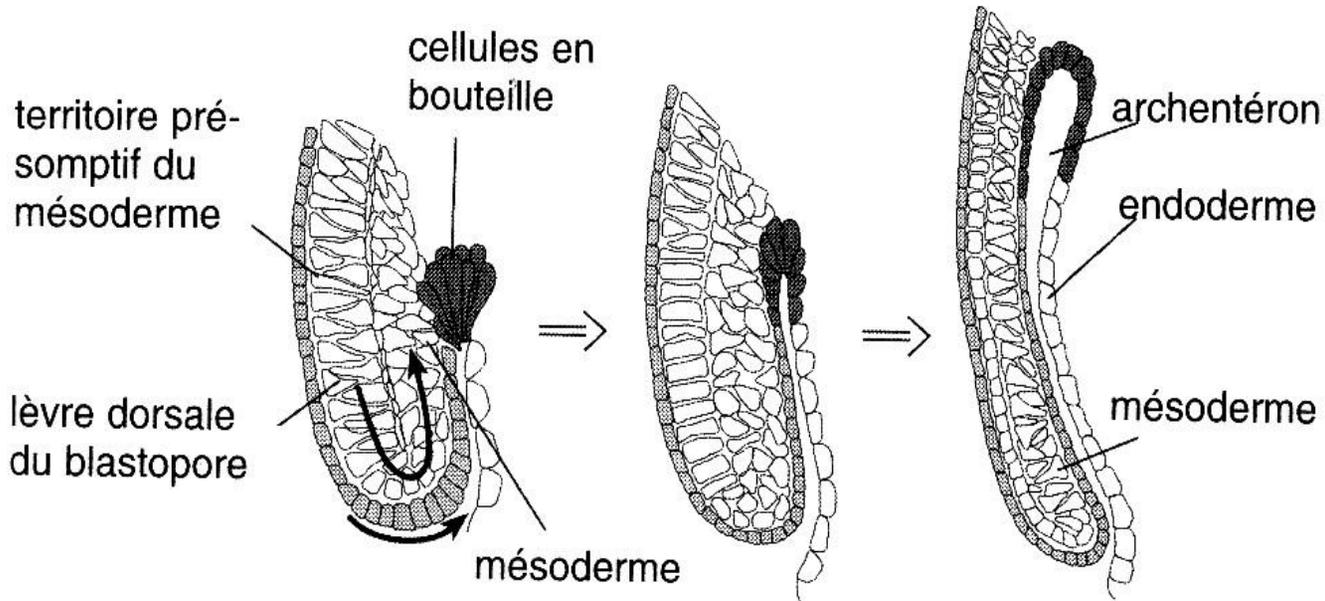
Des cellules issues des micromères végétatifs forment le mésenchyme primaire et migrent dans le blastocœle. L'hémisphère animal ainsi que la 1^{ère} rangée de macromères végétatifs forment le territoire présomptif de l'ectoderme. Le reste de l'hémisphère végétatif constitue le territoire présomptif du mésoderme et l'endoderme.

C'est cette dernière zone qui s'invagine à l'intérieur de la blastula et forme une cavité appelée archentéron. Celui-ci s'ouvre à l'extérieur par un orifice: le blastopore. Le blastopore constitue le futur anus



Gastrulation chez l'Oursin

Exemple 2 : Chez les Amphibiens, le mésoderme s'invagine au niveau de la lèvres dorsale du blastopore. L'endoderme s'invagine au niveau de la lèvres ventrale.



Exemple d'invagination chez les Amphibiens

Analyse de la gastrulation par les techniques de marquage:

Le marquage se fait à l'aide de colorants vitaux (rouge neutre et le sulfate bleu de Nil) des différentes parties de la surface de la blastula. Cette technique permet de suivre les mouvements des cellules pendant la gastrulation et de reconstituer une carte des territoires présomptifs.

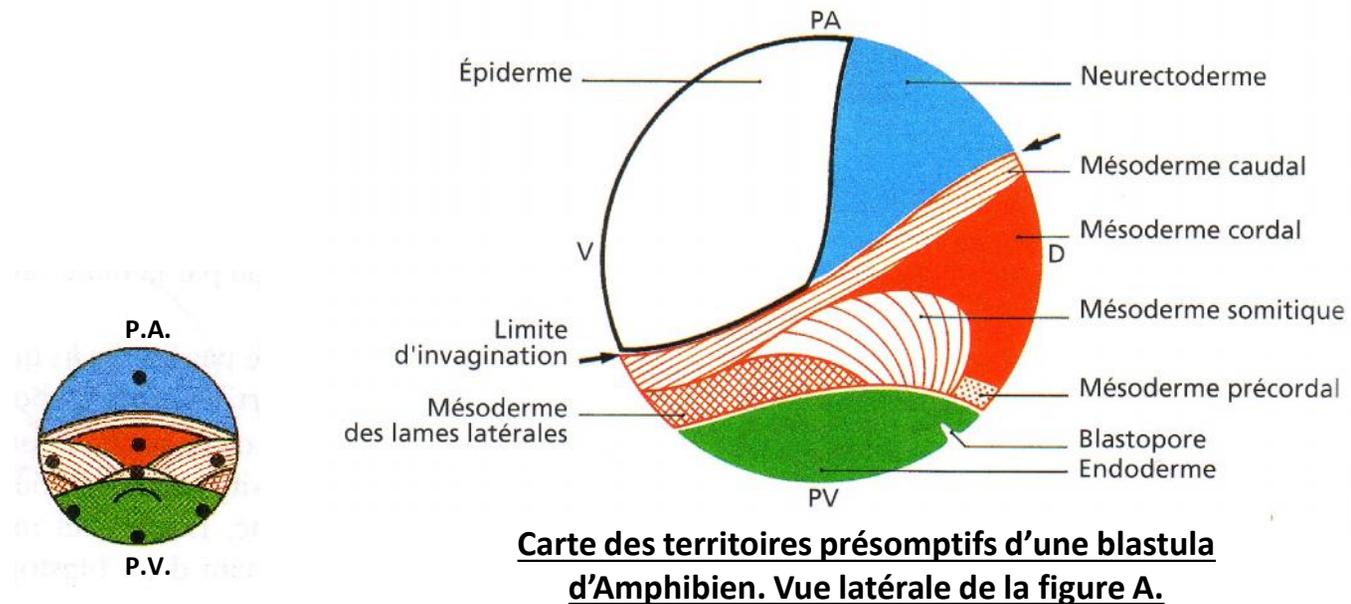
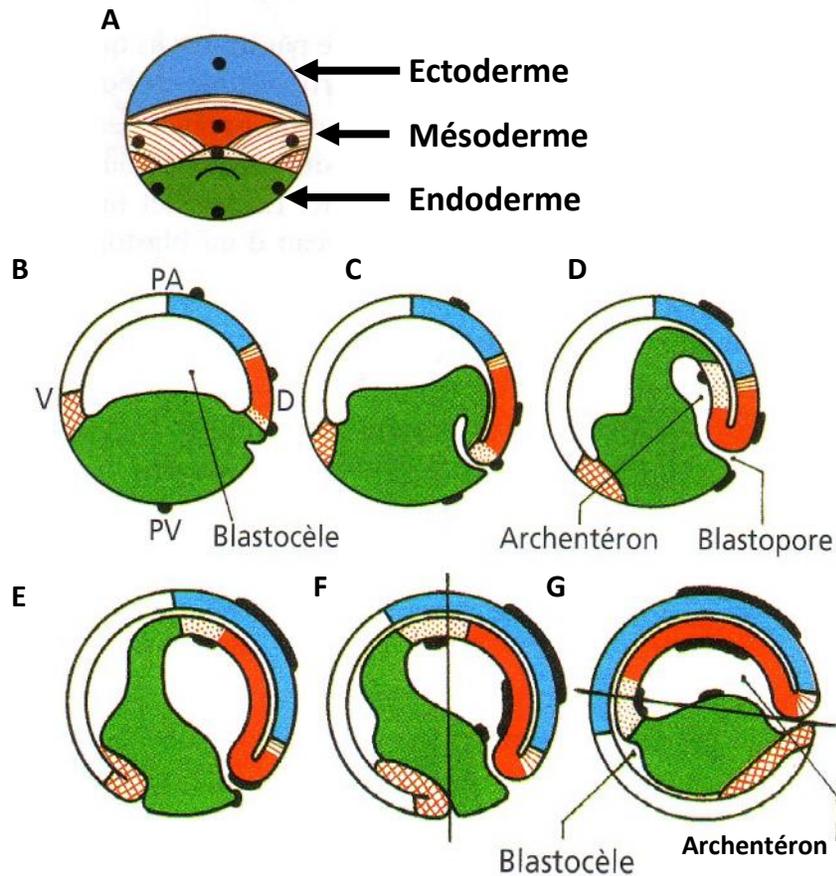


Figure A: Blastula d'Amphibien vue externe dorsale.



Etapas de la gastrulation d'un embryon d'Amphibien selon la technique de marquage.

Une zone d'invagination se creuse: le blastopore. Les tissus mésodermiques et endodermiques pénètrent dans la cavité de segmentation et forment une seconde cavité qui est l'archentéron.

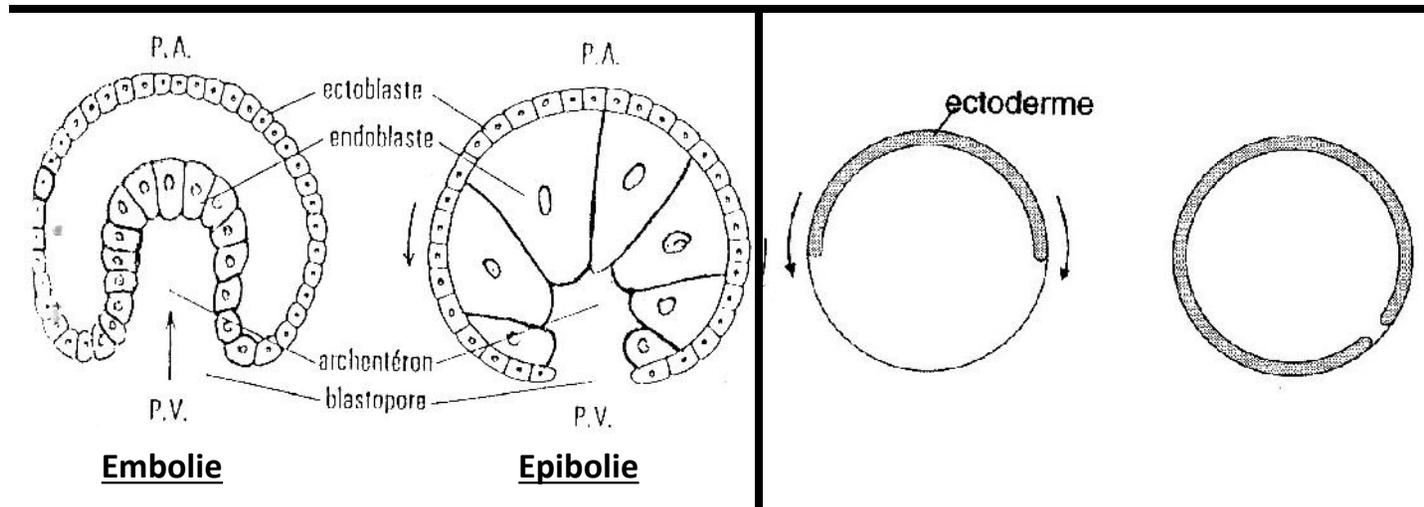
Ces mouvements de l'hémisphère végétatif provoquent un basculement de l'embryon sur la face ventrale. L'axe animal végétatif devient presque horizontal.

Comme résultat de ces mouvements chez les Amphibiens, on se retrouve à la fin de la gastrulation avec une gastrula constituée de feuillets emboîtés, un feuillet externe qui est l'ectoderme, un autre feuillet interne composé d'une voûte dorsale mince de mésoderme et un plancher massif d'endoderme. Ce feuillet interne limite l'archentéron qui s'ouvre à l'extérieur par le blastopore.

1.4.3. L'épibolie (Recouvrement)

Quand les blastomères végétatifs ont une grande taille et sont trop volumineux pour pouvoir s'enfoncer à l'intérieur du blastocoele; ou lorsque le blastocoele est virtuel; les cellules de l'hémisphère animal forment un feuillet qui enveloppe les cellules du pôle végétatif. Ce phénomène s'effectue par glissement et élongation des cellules de l'hémisphère animal au dessus des cellules de l'hémisphère végétatif.

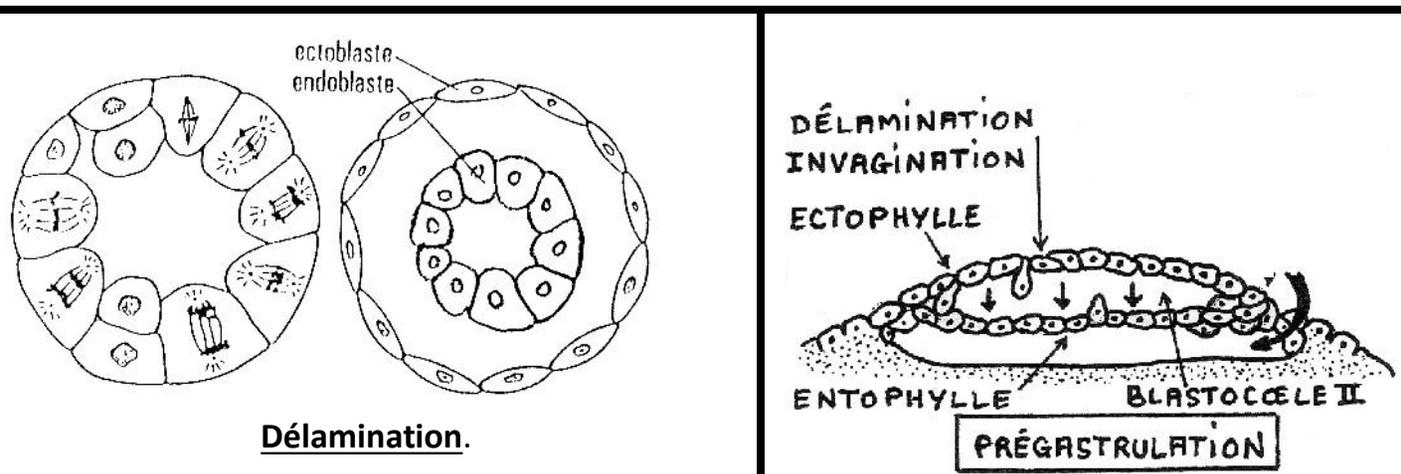
Le phénomènes d'embolie et d'épibolie peuvent avoir lieu en même temps, c'est le cas des Amphibiens.



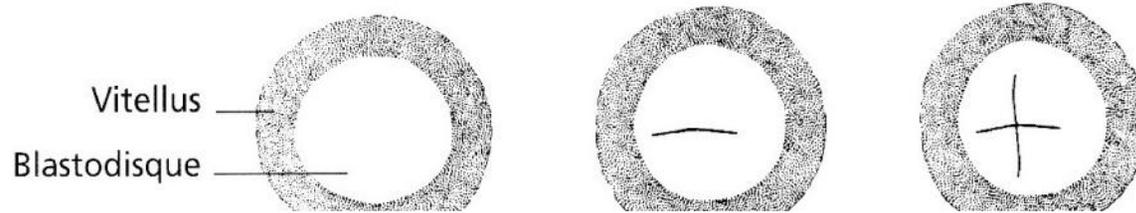
1.4.4. Délamination

Permet le passage d'une forme monodermique (1 seul feuillet) à une forme didermique (2 feuillets). Les cellules qui limitent le blastocoele se divisent et constituent ainsi 2 couches de cellules. La couche interne formera l'endoblaste, la couche externe formera l'ectoblaste.

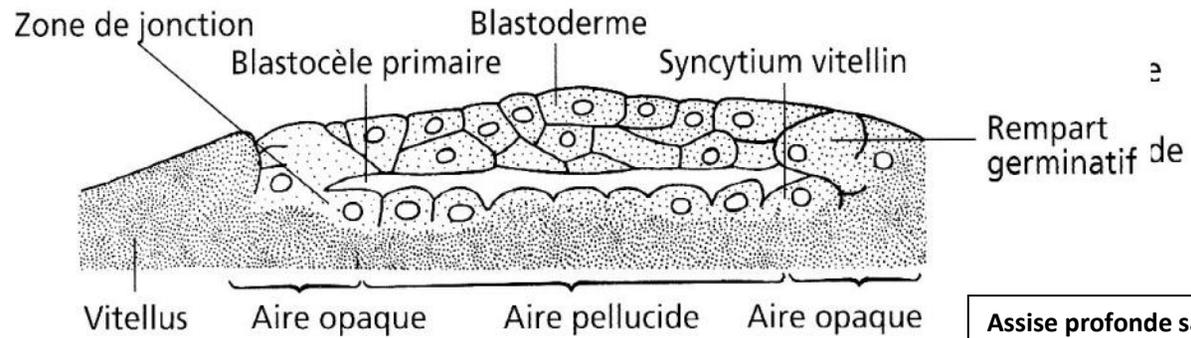
Ce phénomène est rencontré chez l'embryon des Oiseaux. Le feuillet externe est appelé ectophylle (ou épiblaste) superficiel, et le feuillet interne est appelé entophylle (ou hypoblaste). Entre les 2 feuillets se forme une cavité qui porte le nom de blastocoele secondaire.



A. Premiers stades de segmentation



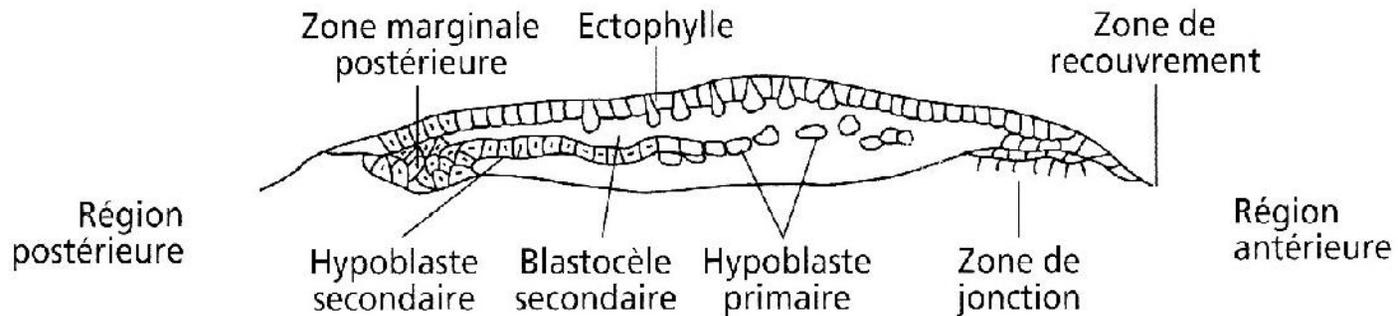
B. Blastula primaire



Assise profonde sans limites nettes avec le vitellus.

Zone profonde avec blastomères individualisés

C. Formation de l'hypoblaste

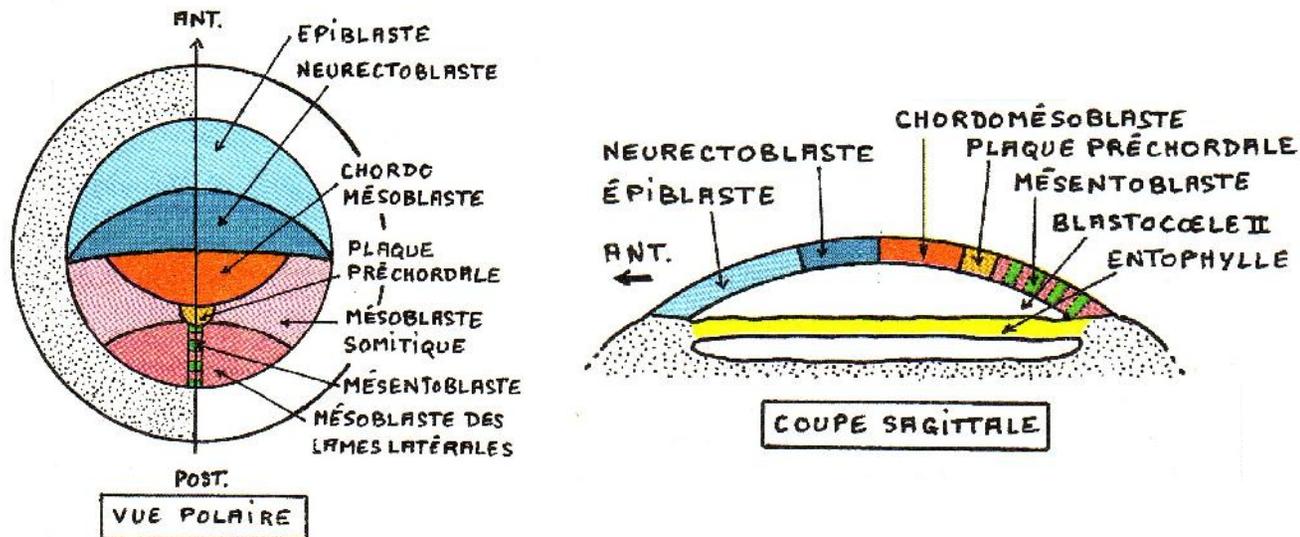


Exemple de délamination: l'embryon des Oiseaux

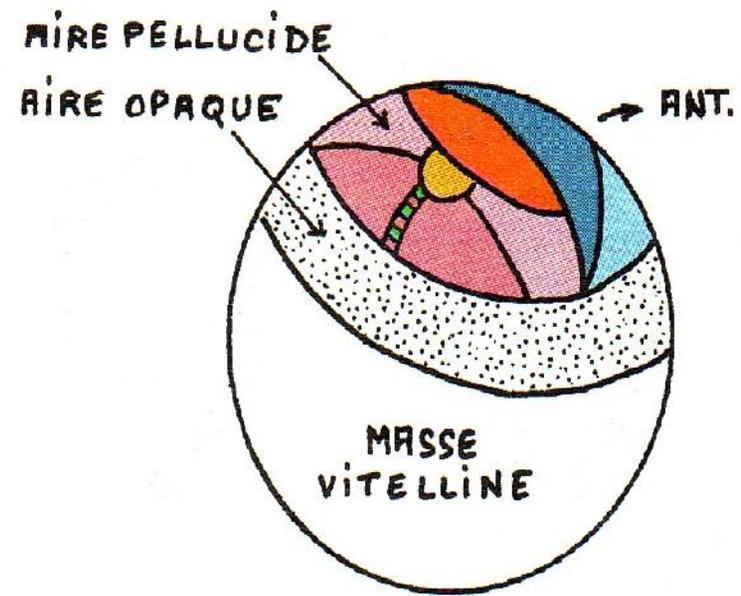
Le feuillet interne, l'entophylle (hypoblaste), provient d'une migration en profondeur de petits groupes de cellules ou de cellules isolées provenant de l'ectophylle qui forment l'hypoblaste primaire et d'une migration d'un feuillet de cellules provenant de la partie postérieure qui forment l'hypoblaste secondaire. L'ensemble des deux constitue l'hypoblaste.

L'ectophylle peut être divisé en deux parties sensiblement égales.

- ▶ La moitié antérieure qui représente l'ectoderme.
- ▶ La moitié postérieure qui représente le mésoderme et l'endoderme.



Cartes des territoires présomptifs de l'embryon d'oiseau.



1.5. LA NEURULATION

Après la gastrulation, chez les vertèbres, on assiste à la mise en place du système nerveux, on parle alors de neurulation. A partir de ce stade l'embryon va subir une différenciation histologique qui concerne spécialement l'ectoblaste qui, suite à une série de transformations, va donner naissance au neuroblaste (système nerveux).

1.6. ORGANOGENESE:

Elle correspond à la mise en place des différents organes à partir des trois feuillets: ectoderme, mésoderme et endoderme, mis en place pendant la gastrulation. Une fois l'embryogenèse terminée, c'est la fin du développement embryonnaire.

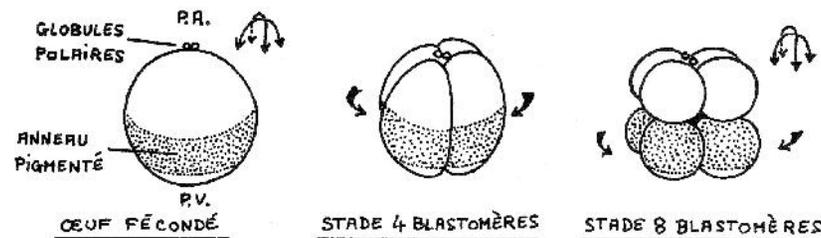
2. Exemple de développement: L'OURSIN: (voir complément dans TD2)

2.1. L'œuf fécondé:

Il s'agit d'un œuf de petite taille, de couleur orange. Les réserves vitellines sont peu abondantes: œuf oligolécithe. La fécondation s'effectue dans l'eau de mer. Juste après la fécondation le pigment se concentre et forme un anneau situé au dessous de l'équateur.

2.2. La segmentation:

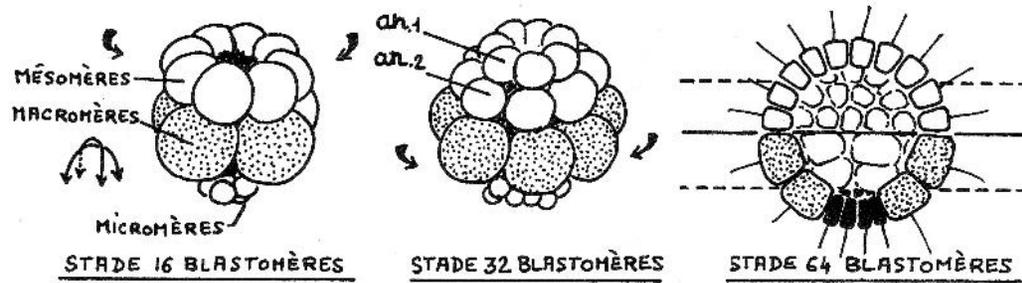
Elle est totale, égale et radiaire pour les trois premières divisions.



A la fin de la segmentation l'embryon forme une blastula possédant un blastocoele limité par un seul feuillet cellulaire.

La segmentation devient inégale au quatrième cycle de division.

L'embryon est couvert de cils et il est de forme sphérique.

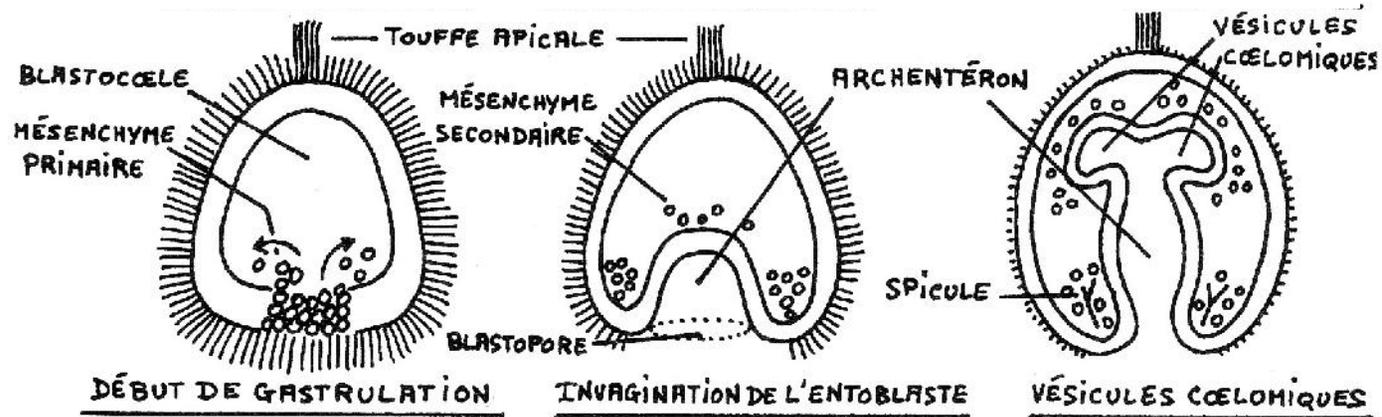


2.3. La gastrulation:

Une touffe de longs cils se développe au pôle animal pendant que l'embryon s'aplatit dans la région du pôle végétatif.

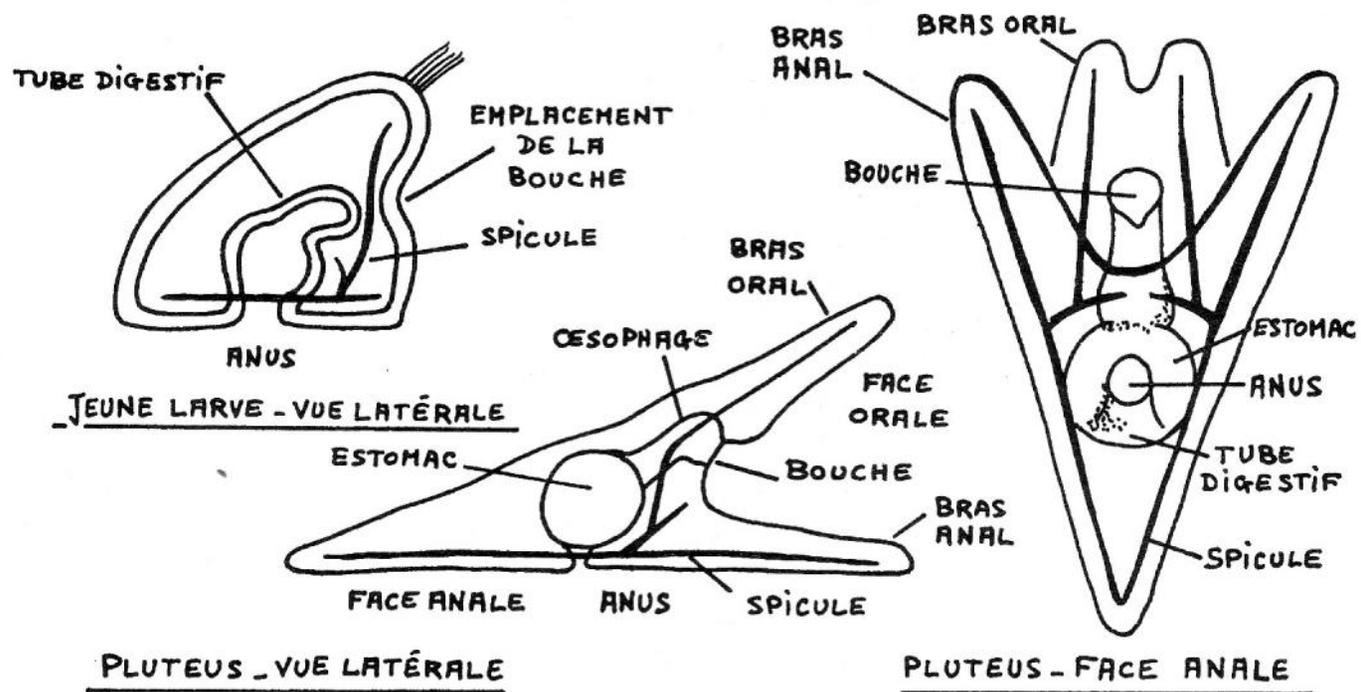
A la fin de la gastrulation l'embryon est constitué de trois feuillets fondamentaux:

- Un feuillet externe: l'ectoderme,
- un feuillet interne: l'endoderme,
- un feuillet moyen: le mésoderme.



2.4. Formation de la larve pluteus:

A la fin de la gastrulation une symétrie bilatérale s'établit dans l'embryon dont un côté tend à s'aplatir c'est la future face ventrale. Le blastopore se déplace et forme l'anus de la larve. L'apex de l'archentéron s'incline vers la face antéro-ventrale et s'ouvre vers l'extérieur par un orifice le stomodeum: la bouche de la larve.



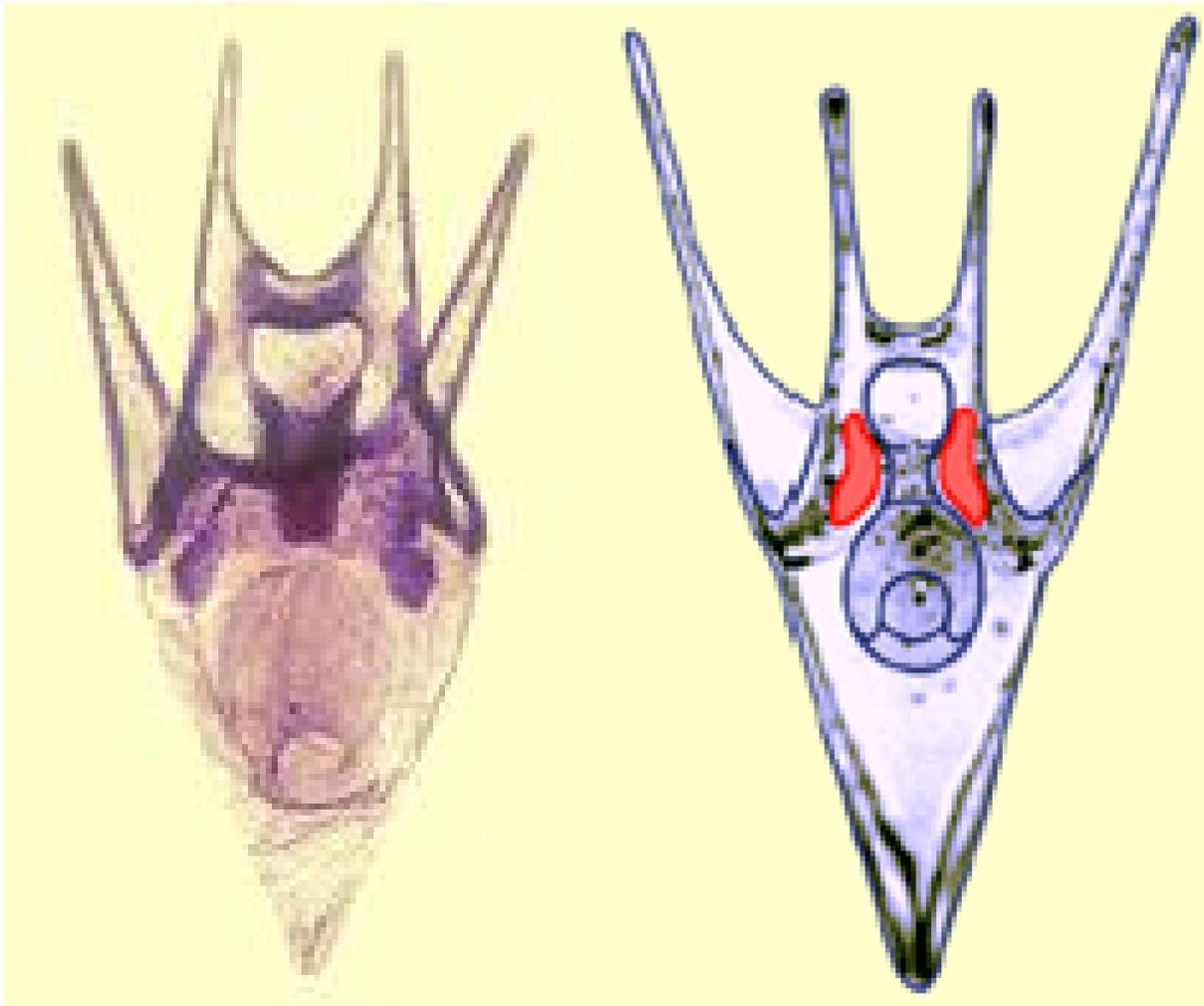


Photo d'une larve d'oursin

Dessin d'une larve d'oursin