

Biologie animale



Embryologie générale

Introduction

I. Définition :

Embryologie : c'est l'étude du développement de l'embryon c'est l'étude de l'ontogénèse= genèse de l'être vivant

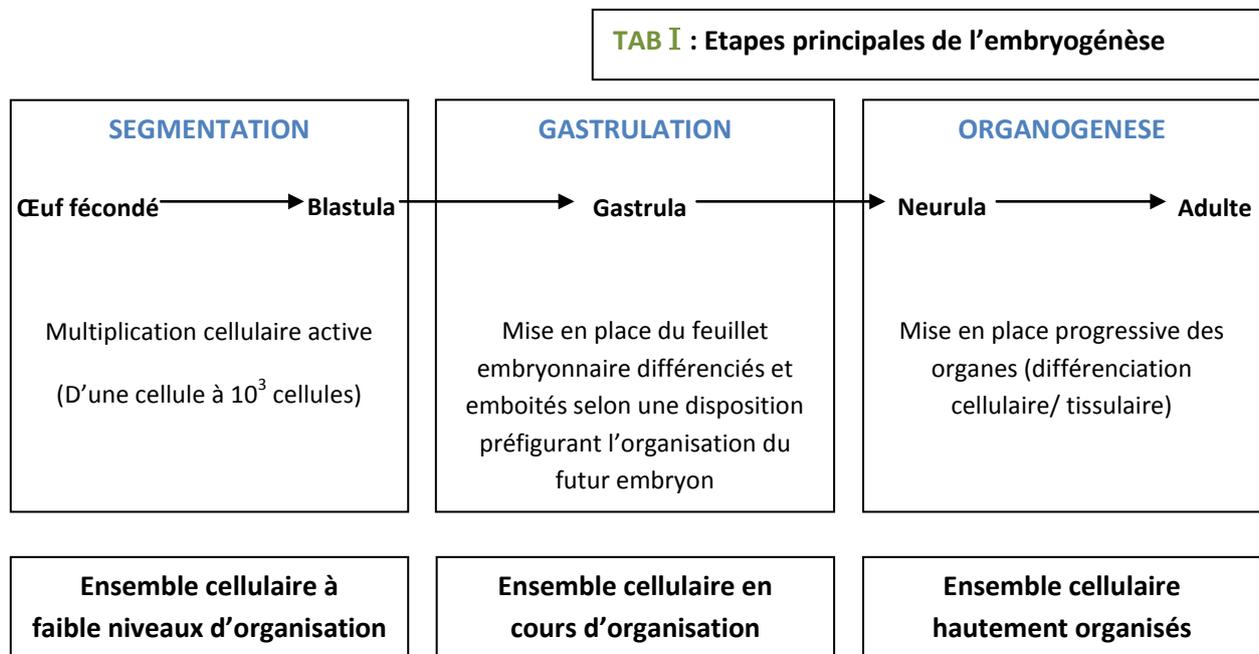
Embryologie descriptive : c'est l'étude des étapes du développement qui se succèdent selon une chronologie rigoureuse

Embryologie causale ou expérimentale : c'est l'étude du mécanisme du développement et de son déterminisme au niveau des structures cellulaires.

Tératologie : c'est l'étude des anomalies de l'embryon qui peuvent être génétiques ou dues à des facteurs tératogènes (teratos = monstre) : ça peut être des médicaments, rayon x,...

II. Les grandes lignes du développement :

Un être commence à exister à partir de la fécondation. Le **TAB I** est un tableau récapitulatif des stades du développement



L'Ontogénèse : C'est l'ensemble des étapes qui permettent à un œuf fécondé (zygote) d'aboutir à un être adulte susceptible de se reproduire

Fécondation : rencontre des de gamètes male et femelle qui conduit à **un zygote**

Segmentation : série de mitoses successives qui conduit à **une Blastula (ou morula)**

Gastrulation : mouvement morphogénétique de migration cellulaire qui conduit à **une gastrula**

Neurulation : mise en place du tube neurale cerveaux + cervelet + moelle épinière qui conduit à **une neurula**

Organogénèse : mise en place des organes. (**Adulte**)

Les annexes embryonnaires :

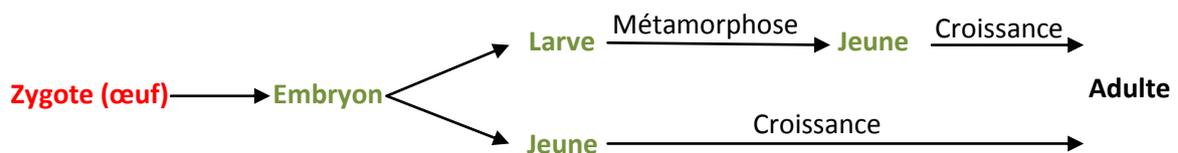
Chez les vertébrés supérieurs (oiseaux mammifères) : le zygote forme en plus de l'embryon des organes destinés à assurer la protection, la respiration et la nutrition de l'embryon : ce sont **les annexes embryonnaires** ex : le placenta chez l'homme.

III. Différents modalités de l'ontogénèse dans le règne animale :

Il existe :

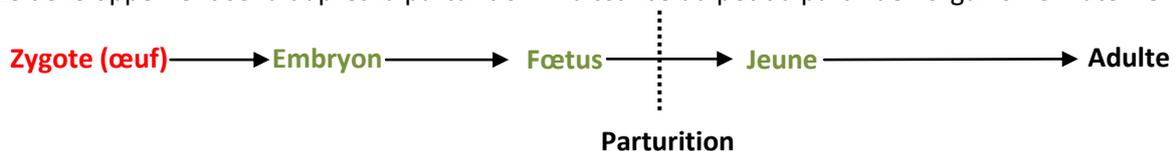
1-Des espèces ovipares: (pondent un œuf)

Développement après l'éclosion d'un œuf ex : les oiseaux



2-Des espèces vivipares : ex : espèce humaine

Le développement se fait après la parturition : naissance du petit à partir de l'organisme maternel.



Le développement peut être direct ou indirect

Direct : le jeune devient adulte directement **ex : oiseau**

Indirect : il y a une phase de métamorphose intermédiaire **ex : grenouille**

IV. Les différents types d'œufs :

Ils sont classés selon la quantité de vitellus qu'ils contiennent (réserve nutritive).

Selon les réserves (Vitellus= Lécithe) on distingue différents types d'œufs :

Œuf alécithe : absence de vitellus ex : chez l'espèce humaine (**Holoblastique**)

Œuf oligolécithe : peu de vitellus ex : chez l'oursin (**Holoblastique**)

Œuf hétérolécithe : quantité moyenne de vitellus répartie de façon hétérogène. (**Holoblastique**)

Œuf centrolécithe : ex : les insectes. (**Meroblastique**)

Œuf télolécithe : ex : oiseaux. (**Meroblastique**)

TAB II : caractéristiques des différentes catégories d'œufs

Types d'œufs	Quantité de vitellus	Répartition cytoplasmique	Taille	Exemple de taxons concernés
Alécithes	Pas de réserve		± 100 µm	Mammifères aplacentaires et placentaires (métathériens, Euthériens)
Oligolécithes	Réserve peu abondantes	Répartition relativement homogène	± 100 µm	Echinodermes, procordés
Hétérolécithes	Réserve moyennement abondante	Répartition inégale existence d'un gradient vitellin	± 1 mm	Amphibiens, annélides
Centrolécithe	Réserve très abondantes	Masse vitelline regroupée au centre de l'œuf	± 1 mm	insectes
Télolécithe	Réserve très abondantes	Distribution généralisée. Zone germinative réduite à l'état d'un disque en position polaire	± 1 cm	Mollusques Céphalopodes, nombreux poissons, sauropsidés (reptiles / oiseaux) mammifère ovipares (protothériens)

V. les différentes modalités de segmentation :

Selon la quantité de vitellus les modalités de segmentation sont différentes.

Il existe 2 types :

1-Segmentation totale ou Holoblastique : C'est l'œuf entier qui se divise

Elle peut être : **Radiaire** (égale ou inégale), **Spirale**, ou **Rotationnelle**. (Voir fig01)

2-Segmentation partielle ou Méroblastique : Seule une partie de l'œuf (sans vitellus) se divise donnant différents types de blastula (voir fig02)

*On obtient différents types de blastula (voir fig03)

VI. Modalités de gastrulation : (Schéma fig04)

Elle peut se faire par :

Délamination, immigration, embolie pour la *Cœloblastule*

Épibolie pour la *stéroblastule*

Prolifération polaire dans le cas de la discoblastule

**On obtient différent types de gastrula*

TAB III : modalité de segmentation et de gastrulation dans les principaux taxons

PHYLA	TYPE DE SEGMENTATION	TYPE DE GASTRULATION
COELENTERES (Cnidaires et cténaïres)	Totale radiaire Egale ou inégale Cas rares de partielle superficielle	Immigration (polaire ou multipolaires,) déamination épibolie et embolie
VERTEBRES	Totale radiaire chez les amphibiens Partielle chez les poissons, les reptiles et les oiseaux Totale rotationnelle chez les mammifères	Embolie, épibolie et immigration

VII. Neurulation et organogénèse :

Mise en place du tube neural et des organes → **ADULTE**

Le développement de l'œuf des amphibiens

Œuf hétérolécithe

I. L'ovogénèse :

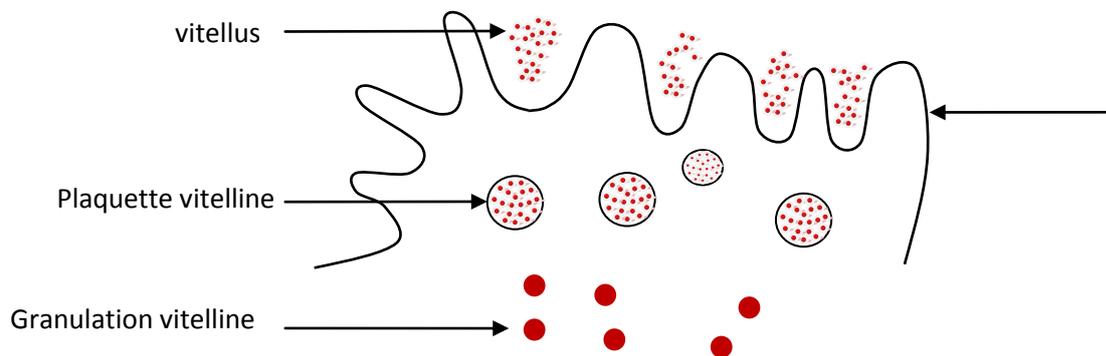
Elle est caractérisée par un accroissement important de l'ovocyte I (50 à 1000 μm de diamètre). L'ovocyte accumule des réserves. (**Développement externe loin de l'organisme maternel**), il n'y a pas des annexes embryonnaire ex placenta.

A. Origine des réserves cytoplasmiques :

1-Origine exogène (externe) :

80% des réserves protéiques sont d'origine exogène elles constituent le vitellus : **la vitéllogénèse**.

Les protéines vitellines (**pts phosphorique et lipoprotéines**) sont élaborées dans le foie. Du foie elles passent dans le sang (l'ovaire est richement vascularisé). Le vitellus pénètre dans l'ovocyte I par **pinocytose** et forme les plaquettes et les granulations vitellines.

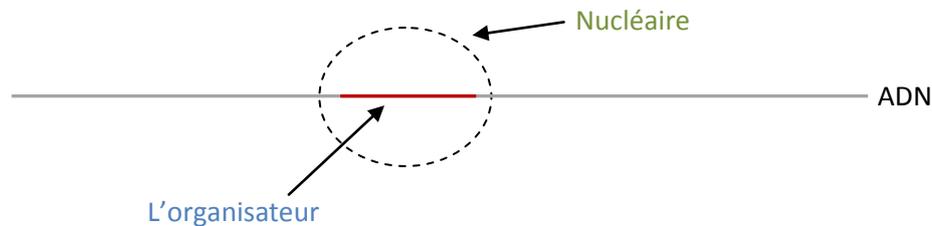


2-Origine endogène (interne) :

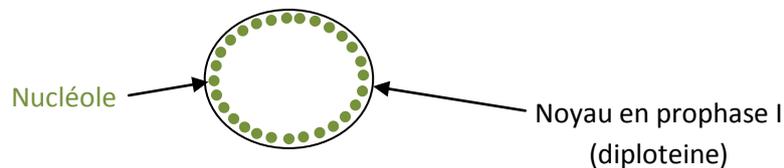
Les réserves sont élaborées par l'ovocyte I, elles sont constituées par :

- Des ribosomes (RNP)
- Des ARNm
- Des ARNt
- Des pts (ribosomales et du métabolisme)
- Des tubulines (fuseaux achromatique)
- Des granules corticaux (cortex)
- Des granules pigmentaires (mélanine) foncé

Les réserves endogènes sont le résultat d'une réplification particulière d'une partie d'ADN (1000 foie).



Le noyau de l'ovocyte I bloqué en diplotéine contient 1000 nucléoles (ARNr)



Remarque :

Les réserves se distribuent de façon hétérogène dans le cytoplasme et conduisent à une **asymétrie** : Œuf **hétérolécithe** ou **anisotrope** suivie de l'établissement de deux gradients : **vitellin** et **ribosomique**

B- conclusion :

Après l'accroissement, l'ovocyte I entame la maturation :

- La 1ere division de méiose se termine.
- Formation d'un ovocyte II et du 1^{er} globule polaire
- Le noyau est bloqué en métaphase II.
- L'œuf est pondu (ovulation) dans l'oviducte entouré du chorion. (MEC : membrane pellucide de mammifères)
- Les cellules de l'oviducte secrètent une MEC ou gangue gélatineuse qui protège l'ovocyte II

II. ponte ovulaire et fécondation

A. Ponte ovulaire : oviposition

Les amphibiens sont ovipares. La femelle pond plusieurs œufs (printemps) qui sont recouverts par les spermatozoïdes L'accouplement et la ponte ont lieu dans l'eau. **Fécondation externe**

B. la fécondation :

Les spermatozoïdes traversent la gangue, le chorion et viennent au contact de la membrane ovulaire de l'ovocyte II. Le noyau est injecté par fusion membranaire : formation du zygote (2n)

1. L'activation :

L'impact du spermatozoïde fécondant provoque au niveau de l'ovocyte II une série de réactions : **réactions d'activation**

a-Rotation d'orientation : (10 minutes après l'impact)

- Le chorion se décale et devient membrane de fécondation.
- La membrane de fécondation est une barrière contre la polyspermie.
- Un espace prévitellin sépare le zygote de la membrane de fécondation.
- L'ovocyte II libre effectue une rotation selon la pesanteur (PV lourd vers le bas)

b-rotation de symétrisations : rotation corticale (30 minutes après l'impact)

- 30 minutes : achèvement de la méiose et expulsion du 2eme globule polaire (GP2).
- 60 minutes : bascule ou glissement de la calotte pigmentaire (mélanine)
- La bascule permet l'établissement d'un plan de **symétrie bilatérale** (dos et ventre).
- La calotte pigmentaire descend au dessus de l'équateur dans l'hémisphère végétatif (**face ventrale**).
- Dans le coté opposé du point d'impact du spermatozoïde, elle se soulève au dessus de l'équateur.
- Le soulèvement permet la formation d'une zone peu pigmentée en forme de croissant : c'est le croissant gris (peu coloré).
- Le croissant gris marque la partie dorsale de l'embryon.
- La rotation s'effectue selon un angle de 30° par rapport a l'axe PA-PV.
- La rotation de symétrisations se termine 70 mn après le début de l'activation.
- La tache de maturation disparaît.
- L'œuf d'amphibien est symétrisé **avant** la segmentation.

2. L'amphimixie : (fusion des 2 noyaux)

Elle se fait dans l'hémisphère animal. Elle rétablit la diploïdie (2n). Le pronucléus (haploïde) laisse derrière lui une trainée de pigment : **trainée spermatique**

1h30 après l'impact spermatique le premier plan de division apparait : segmentation.

III. la segmentation :

Elle est **totale radiaire inégale** (micromères et macromères)

Le 1^{er} plan de division est méridien (PA-PV) dans 50 % des cas coïncide avec le plan de symétrie bilatérale (plan sagittal).

—————> **Stade 2 :** 2 blastomères= 2 cellule filles

Le 2eme plan est encore méridien perpendiculaire au 1^{er} plan.

—————> **Stade 4 :** les divisions sont synchrones

Le 3eme plan est latitudinal au dessus de l'équateur

—————> **Stade 8 :** 4 micromères et 4 macromères

Par la suite les macromères riches en plaquettes vitellins se divisent plus lentement que les micromères (granulations). **Les divisions deviennent asynchrones**

Résultat :

Les blastomères forment la morula qui se creuse d'une cavité et se transforme au blastula (6000 cellules). La cavité ou blastocœle est excentré vers le PA ; **coeloblastula irrégulière**.

C'est un embryon **monodermique** (1 seul feuillet).

IV. La Gastrulation :

Elle transforme l'embryon monodermique en germe tridermique à l'aide de mouvements gastrulien.

A. Les territoires présomptifs :

1) la technique des marque colorées (Vogt 1925)

Elle consiste à marquer par des colorants vitaux. Les territoires cellulaires de la blastula (rouge neutre et bleu de Nil)

Cette technique a démontré que tous les futurs organes sont déjà représentés par des territoires cellulaires précis formant **une mosaïque**. Ce sont les territoires présomptifs = **carte des territoires présomptifs (destinées)**.

2) Résultat :

L'observation externe de la gastrulation se traduit par l'apparition d'un sillon en arc au dessous du croissant gris : **encoche blastoporale**.

Les lèvres dorsales se prolongent par les lèvres latérales (**anse panier**) et se referme ventralement en cercle par la lèvre ventrale : **formation du blastopore**.

Les lèvres encerclent les cellules de l'hémisphère végétatif qui pénètrent à l'intérieur du germe et forment le bouchon vitellin.

A la fin le blastopore circulaire se transforme en fente blastoporale.

B. Les mouvements de gastrulation :

1. Les mouvements externes :

L'embolie (invagination) de l'endoblaste crée la lèvre dorsale et l'**archentéron** grâce aux **cellules en bouteille**.

L'endoblaste qui s'invagine entraîne dorsalement le mésoblaste axial (préchordal et chordal) à la manière d'un tapis roulant (involution) et forme le toit de l'archentéron.

L'involution touche les somites et les lames latérales qui s'enroulent autour des lèvres latérales après avoir convergé vers elles.

Pendant les involutions le neuroblaste suit une élongation (**épibolie**) vers la lèvre dorsale.

La lèvre ventrale achève l'embolie et l'involution la gastrulation dure 24 heures

2. Les mouvements internes

Le mésoblaste axial reste dans la partie dorsale et poursuit son involution (chorde)

Le mésoblaste latéral et somitique subit un mouvement de **divergence** de part et d'autre du plan sagittal.

3. aspect cellulaire et moléculaires des mouvements gastruliers :

a) les cellules en « bouteille » :

Les cellules de l'encoche subissent des alternances d'élongation (**microtubules**) et de contraction (constriction apicale) (**actine myosine**). Ces déformations leur permettent d'avancer et de pénétrer dans le blastocœle (ex : les amibes)

b) les cellules pionnières :

Elles assurent l'involution du mésoblaste axial et se déplacent vers le PA, elle se fixe et glissent sur la MEC du toit du blastocœle. La MEC sert de support aux cellules migratrices

V. La Neurulation : la neurula (dure 20 heures)

C'est la formation du tube neural.

1) les mouvements neuraux :

Le neuroblaste ou plaque neurale prend une forme en raquette élargie vers l'avant et dont les bords se soulèvent : **bourrelets ou replis neuraux**.

La partie centrale axiale se creuse : **gouttière neurale**.

Par la suite les bourrelets se soudent. La soudure commence au milieu, puis progresse vers la queue (**arrière**) et vers l'encéphale (**avant**)

Après la soudure le tube neurale se détache de l'épiblaste et s'enfonce au-dessus de la corde.

De part et d'autre du tube se forment les crêtes qui se détachent et migrent à l'intérieur.

2) aspect cellulaire et moléculaires de la neurulation :

Les molécules de la plaque neurale subissent une constriction apicale et une élongation :

Microtubules + actine + myosine.

Ces déformations cellulaires entraînent l'invagination (creusement) et le soulèvement des bourrelets neuraux.

VI. Organogénèse et devenir des feuillettes :

1. Le mésoderme :

Il se divise en 4 parties :

La corde (chorde) s'isole sous forme d'un tube axial longitudinal. Dans la partie antérieure la précorde forme un réseau cellulaire lâche : **Mésenchyme Céphalique**. La corde participe à la formation des Vertébrés

Le mésoderme dorsale para-axial se divise en blocs : **métamères = somites** c'est la **métamérisation**.

Une partie de la corde forme la colonne vertébrale (**sclérotome**).

Le mésoderme intermédiaire forme les gonades et les reins **gononéphrotome**.

Le mésoderme ventral forme les lames latérales et se creuse d'une cavité coelome (il ne se métamérise pas). Le coelome est entouré à l'extérieur par la **somatopleure** et à l'intérieur par la **splanchnopleure**.

2. L'ectoderme :

Il forme la couche superficielle de la peau : **épiderme et les placodes sensorielles**.

Ex : **le cristallin au niveau de l'œil**.

3. L'endoblaste :

Il forme le tube digestif et les glandes annexes (ex : le foie)

Les cellules sont riches en vitellus (bouchon vitellin)

Le vitellus est utilisé directement par l'embryon (métabolisme) jusqu'à l'éclosion **sortie des enveloppes protectrices (gangue et membrane de fécondation)**

A l'éclosion le têtard se nourrit de proies à partir de la bouche **il ne lui reste que quelques grains de vitellus**.

4. Migration des crêtes neurale : (Plusieurs destinés)

Au niveau de la tête, elles forment le squelette cartilagineux.

Au niveau des reins, elles forment la médullosurrénal = **adrénaline**.

Au niveau de la peau, elles forment les cellules pigmentaires : **mélanocytes = chromatophores**.

Au niveau de la moelle épinière, elles forment les ganglions spinaux.

5. Migration des cellules germinales : gonies

Elles prennent naissance au niveau de l'endoderme et migrent vers la pièce intermédiaire et colonisent la gonade

Conclusion :

L'organogénèse donne naissance à un embryon portant une queue épaisse : **bourgeon caudal**

Par la suite il subit la métamorphose et devient adulte. **Il possède le plan d'organisation typique à un cordé** : triploblastique, coelomate, cordé, épineurien, deutérostomien

Développement de l'œuf des oiseaux (Poulet)

Les annexes embryonnaires :

I - L'œuf : (cellule germinale)

L'ovocyte I subit un accroissement très important : (diamètre 3 cm)

Le vitellus est constitué de protéines hydratées (vitellus blanc) et de graisses et de pigments jaunes, oranges (vitellus jaune). L'œuf est **Téolécithe**.

II - La fécondation :

Elle est interne (Pavillon).

Le zygote entame la descente dans l'oviducte pour subir l'oviposition (23 à 24h après la fécondation)

III - Les membranes protectrices du zygote :

Elles sont formées dans l'oviducte (sécrétions)

L'albumen (blanc d'œuf) : (3h) MAGNUM

La couche interne forme la membrane chalazifère. (Protéines visqueux)

Elle se spiralise et forme de façon opposée deux chalazes qui maintiennent le zygote.

La membrane coquillère : (1h)

Elle est formée par une double couche **ISTHME**

- Interne riche en kératine.
- Externe collée à la coquille.

Au niveau du gros bout elles se séparent et forme la chambre à air.

La coquille poreuse (pores) riche en calcite (calcium)

Hydratation de l'albumen (**20h**) **UTERUS** → Liquide amniotique.

L'œuf segmenté est pondue (oviposition)

Le développement se poursuit à l'extérieur de l'organisme maternel ; grâce à la **convoison** ou **incubation** à **38°C (3 semaines = 21 jours)**.

IV - La segmentation :

Elle est partielle discoïdale (disque germinatif)

La 1^{ère} division apparaît 5h après la fécondation.

La segmentation se termine dans le cloaque 24h (de la fécondation).

V - La gastrulation :

Elle se réalise à l'extérieur.

Elle commence à 5h d'incubation et se termine à 18h.

La symétrie bilatérale apparait à 1h d'incubation.

VI - La neurulation :

Elle commence à 20h et se termine à 44h d'incubation.

VII - Les annexes embryonnaires :

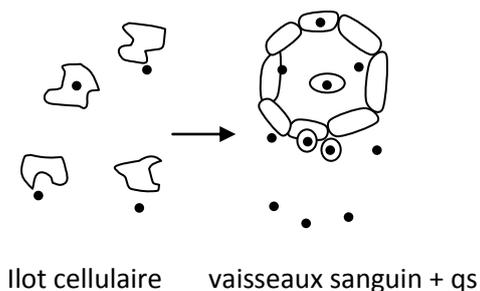
Ce sont des structures transitoires qui assurent à l'embryon **la protection, la nutrition, l'excrétion des déchets et la respiration.**

1- La vésicule vitelline : ombilicale – lécithocèle (à partir de 20h)

Rôle de nutrition (rôle trophique)

Le disque germinatif s'étale et recouvre le jaune d'œuf par l'intermédiaire de l'endoderme extra-embryonnaire et la splanchnopleure extra-embryonnaire : **Vésicule vitelline**

Parallèlement des îlots sanguins apparaissent dans la splanchnopleure et forment les cellules sanguines et un raiseau vasculaire.



La circulation sanguine (vitelline) assure le transfert des substances nutritives vers l'embryon jusqu'à l'éclosion (sortie de la coquille)

2- La cavité amniotique : Amnios (de 30h à 100h)

Elle est remplie d'un liquide extrait de l'albumen : **Liquide amniotique.**

Elle assure à l'embryon une protection contre la dessiccation (sécheresse) et les chocs mécaniques.

Elle se forme grâce à un repli de l'ectoderme extra-embryonnaire doublé par la somatopleure extra-embryonnaire : **Amnios**.

La partie collée à la membrane coquillière : chorion séreuse.

L'embryon est un Amniote (Reptiles, Oiseaux et les Mammifères) (\neq Anamniotes).

3- L'allantoïde : (à partir de 60h)

La partie postérieure du tube digestif forme une évagination doublée par la splanchnopleure extra-membranaire : **Allantoïde**.

Elle s'accroît et envahit tout le cœlome extra-embryonnaire et se colle au chorion :

allanto-chorion.

L'allanto-chorion se vascularise.

Le blanc d'œuf est repoussé vers le petit bout.

❖ L'allantoïde joue 4 rôles :

a- Respiration :

Les échanges respiratoires se produisent au niveau de l'allanto-chorion (coquille poreuse)

b- Transfert du calcium :

Elle transporte le calcium de la coquille vers l'embryon.

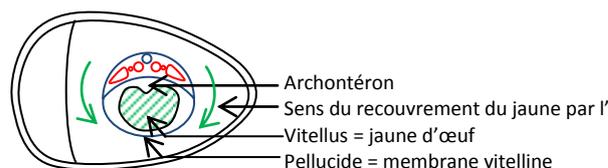
Formation du squelette.

c- Digestion :

Au niveau de l'allanto-chorion s'effectuent l'absorption de l'eau et celle des protéines de l'albumen.

d- Stockage des déchets du métabolisme :

Elle stocke des déchets de l'excrétion rénale (urine)



CT de l'embryon

Conclusion :

Pendant les 3 semaines l'embryon a consommé 6 litres d'O₂ et a rejeté 4.5 litres de CO₂ et 11 litres de vapeur d'eau.

A 33 heures, les gonies sont dans l'endoderme de la vésicule vitelline près de l'allantoïde, elles entament la migration.

Développement chez les mammifères

LA PREMIERE SEMAINE DU DEVELOPPEMENT

Elle commence à la fécondation et se poursuit par la segmentation.

I. La fécondation :

1. moment de ma fécondation :

Les spermatozoïdes peuvent se trouver à tout moment du cycle dans les voies génitales féminines et ils peuvent y survivre environ 48 heures. L'ovocyte II n'est pas libéré qu'au moment de l'ovulation il peut survivre de 24 à 48 heures. De ce fait, la période de fécondité humaine est limitée aux jours qui précèdent et qui suivent l'ovulation.

Le contrôle endocrinien (hormonal) dépend de l'hypothalamus → Adénohypophyse → ovaire.

2. lieu de la fécondation

La rencontre des gamètes se fait dans le tiers externe de l'oviducte.

→ **Le spermatozoïde sont déposés dans le vagin** : 200 à 300 millions de spermatozoïdes, ce milieu est acide (pH= 3 à 4) et les spermatozoïdes remontent vers le col de l'utérus.

→ **Le passage du col utérin** : il est facilité au moment de l'ovulation par la présence de **la glaire cervicale** riche en mucus, alcaline et visqueuse.

→ **Au niveau de l'utérus** les spermatozoïdes groupés en paquets inclus dans le mucus sont entraînés par des contractions utérines produites par les **œstrogènes** et la décharge d'**ocytocine** provoque par l'accouplement :

→ **Au niveau de l'oviducte** : Au minimum 2 heures après leur dépôt dans le vagin les spermatozoïdes se retrouvent dans l'oviducte. Le milieu est alcalin riche en potassium, bicarbonate et en glycocolle. Seulement 50 atteindront ce niveau et pourront y survivre pendant à peu près 48 heures.

3. La pénétration du spermatozoïde :

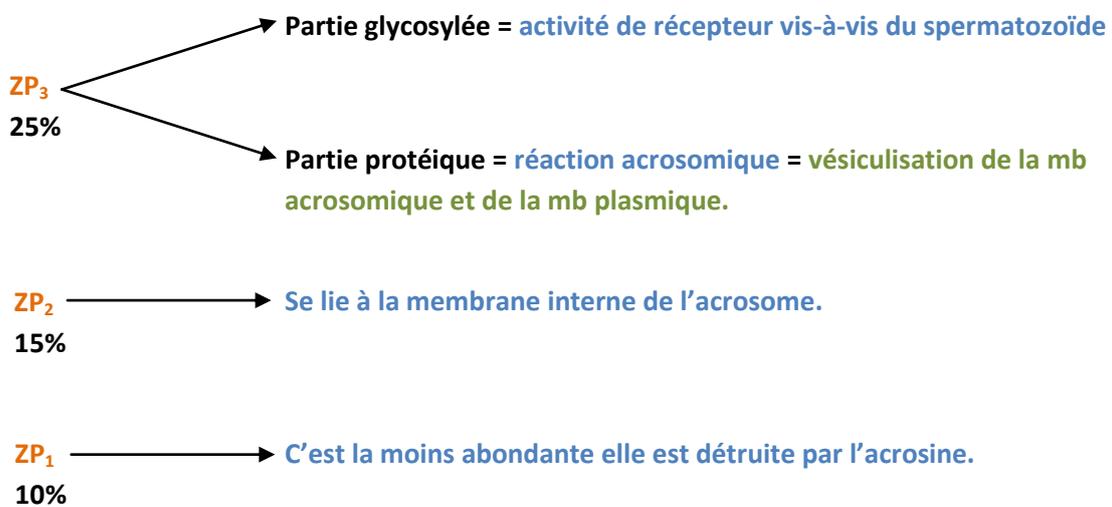
Pour que la pénétration du spermatozoïde soit possible le spermatozoïde doit être capable. Cette **capacitation** s'effectue chez l'espèce humaine au contact des cellules du **cumulus oophorus**.

A) La capacitation du spermatozoïde : Elle se traduit par :

La disparition progressive des antigènes et des glycoprotéines de la membrane plasmique et de la membrane acrosomique (acrosome).

Le début de la décondensation de l'ADN nucléaire.

La vésiculation de la membrane plasmique et de la membrane externe de l'acrosome, c'est-à-dire la fusion de ces 2 mouvements en petites vésicules qui se dispersent.

b) Action des enzymes de l'acrosome :*Glycoprotéine de la zone pellucide**Enzymes de l'acrosome*

Hyaluronidase : dissout le ciment intercellulaire du cumulus oophorus (acide hyaluronique)

Acrosine : détruit la ZP1

4. Conséquence de la pénétration du spermatozoïde :

a) Blocage de la polyspermie : Exocytose des granules corticaux » réaction corticale » formation de la membrane de fécondation » blocage de polyspermie.

b) activation du cytoplasme : (réveil)

c) activation des noyaux. Les noyaux male et femelle se transforment en pronucléi (1pronucléus). Le centriole proximal forme un aster = **spermaster**

d) attraction des pronucléi :

e) fusion des noyaux: Les enveloppes nucléaires disparaissent et les 2n chromosomes se placent dans l'équateur du fuseau achromatique. L'**amphimixie** ou **caryogamie** assure :

Le retour à la diploïde (2n chromosomes).

Détermine le sexe génétique. (Male : XX Femelle : XY)

Le zygote est alors formé (métaphase de la 1^{ère} division)

La fécondation est le point de départ du développement embryonnaire humain.

II. La segmentation :

Le germe mène une vie libre et se déplace vers la cavité utérine.

1. Caractères de la segmentation :

Pendant le trajet dans la zone pellucide vers l'utérus l'œuf se divise en blastomères par mitoses successives, le volume totale du germe reste inchangé (le diamètre est à peu près égal à 120 µm)

Cette segmentation est **lente** : de blastomères à 30 heures

Elle est **totale (holoblastique)** : à l'intérieur de la ZP, le zygote se divise en entier

Elle est **subégale** : petite différence entre les 2 blastomères.

2. Les premières divisions de l'œuf :

30 h: 2blastula; **48 h**: 4blastula; **56 h**: 8blastula;

Au 4^{ème} jour : On obtient un germe formé de périphériques ou cellules **trophoblastique** entourant de grosse cellules ou cellules **germinatives**, c'est le stade **MORULA**.

La segmentation est *asynchrone et inégale*

Au 5^{ème} jour : le germe est une vésicule sphérique. Une couche externe de cellule *trophoblastique* le limite. Un *bouton embryonnaire* interne formé de 8 cellules est suspendu à cette couche externe, au dessous se trouve la cavité blastocystique. L'ensemble reçoit le nom de **blastocyste** (zone embryonnaire et zone extra-embryonnaire)

3. Application pratiques :

Nos connaissances sur la biologie de la reproduction, nous permettent :

De déceler les causes de la stérilité.

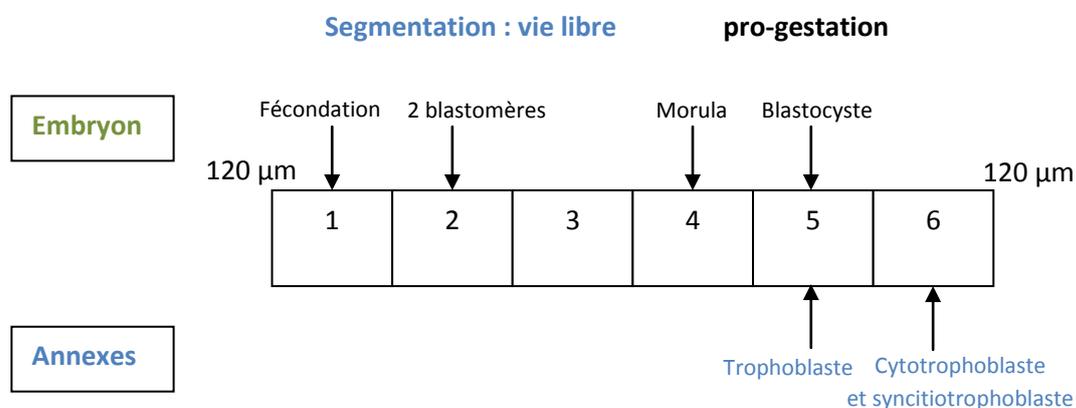
De réaliser des fécondations in vitro.

De contrôler la fécondité (pilule, stérilet...)

Conclusion:

L'œuf humain alécithe a mené pendant la première semaine une vie libre dans les voies génitale maternelles, mais physiologiquement il est resté tributaire des sécrétions maternelles qui peuvent pénétrer dans la cavité blastocystique. LA PREMIER SEMAINE correspond à la « **PRO-GESTATION** »

Calendrier de la 1ere semaine



LA DEUXIEME SEMAINE DU DEVELOPPEMENT

Introduction :

Pendant la 2^{ème} semaine l'embryon humain s'implante dans l'utérus c'est le début de la **gestation**. En même temps le germe évolue, devient **didermique** et acquiert de très nombreuses annexes embryonnaires.

I. La nidation :

1. Définition : C'est l'implantation de l'embryon à l'intérieur de l'endomètre utérin par les sécrétions œstro-progestatives du corps jaune. Chez les primates cette implantation est **interstitielle** puisque l'embryon se place à l'intérieur de l'endomètre.

2. lieu de l'implantation : Dans le cas normal, elle a lieu dans la partie antérieure ou postérieure de la partie haute de l'utérus. Dans les cas de grossesse extra-utérine il y aura avortement à 2 mois. Si l'implantation est trop basse on aura un placenta prævia c'est-à-dire près du passage de l'enfant.

3. le mécanisme de l'implantation : Le blastocyste sort de sa ZP oriente le pôle embryonnaire vers l'endomètre et il s'accroche à l'épithélium utérin tout en différenciant deux zones dans le trophoblaste :

Un cytotrophoblaste interne : aux cellules bien délimitées (CT)

Un syncytiotrophoblaste externe : formé par des cellules non séparées par des membranes (syncytium)

L'ensemble du CT et ST sera à l'origine de l'annexe la plus externe de l'embryon = le chorion

Le trophoblaste élabore une hormone polypeptidique : **Hormon Chorionic Gonadotrophin = HCG** présente dans les urines de 6 à 9 jours après la fécondation (testes de grossesse positifs).

Rôle de la HCG

Elle assure l'interruption des cycles.

Provoque le maintien du corps ovarien pendant **6 semaines** (action lutéotrope) qui devient **corps jaune gestatif** et continue d'élaborer œstrogènes et progestérones. Il sera relayé par le placenta.

Elle modifie la réaction immunitaire de l'utérus vis-à-vis de l'embryon : l'utérus maternel se comporte comme si l'embryon n'était pas un corps étranger.

L'embryon humain par son HCG contrôle lui-même son implantation.

4. La durée de l'implantation :

L'implantation a lieu pendant la 2^{ème} semaine du développement (6^{ème} -13^{ème} jour)

A 6 jours : le blastocyste est accolé à l'épithélium utérin.

A 8 jours : l'embryon est à moitié nidé.

A 9 jours : l'embryon est totalement nidé ; c'est un caillou qui obture l'épithélium utérin.

Entre le 13^{ème} et le 15^{ème} jour : l'épithélium utérin se constitue.

5. L'absence d'implantation :

Elle peut être due à des anomalies chromosomiques de l'embryon ou à une insuffisance hormonale du corps jaune progestatif.

6. La réponse de l'endomètre utérin à l'implantation :

Au contact de l'embryon les cellules conjonctives utérines augmentent sa taille, se chargeant de glycogène et de lipides

Ce tissu modifié est appelé **tissu décidual** ou **caduque** qui participera plus tard à la constitution du placenta.

II. L'évolution de l'embryon pendant son implantation :

Le développement est toujours plus avancé du côté du pôle embryonnaire

1. Du 6^{ème} au 8^{ème} jours :

Le ST développe du côté embryonnaire s'insinue des le 6^{ème} jours entre les cellules de l'épithélium de l'endomètre. Aux 8^{ème} jours le germe mesure 600 µm et il est à moitié nidé.

L'embryon est didermique : formé de 2 couches :

Une couche de cellule aplatie forme **l'entophylle ventral** du côté de la cavité blastocystique.

Une couche de cellules hautes qui constitue **l'ectophylles dorsal**.

Le germe a donc subi une pré-gastrulation (2 feuillet)

L'**entophylle** donnera surtout de l'endoderme

L'**ectophylle** donnera de l'ectoderme et le cordonmésoderme.

Entre l'ectophylle et le CT s'observe la **cavité amniotique**. Son plancher formé par l'ectophylle et son toit et son toit par des cellules issues du CT = les **amnioblastes**.

L'amniogénèse : l'amnios, chez l'embryon humain, se forme par simple creusement ou cavitation.

2. Du 9^{ème} au 10^{ème} jour :

L'embryon est totalement nidé à 9 jours caillou sanguin forme l'épithélium utérin.

Le ST fait tout le tour de l'embryon, il se creuse des lacunes au niveau du pôle embryonnaire. Les lacunes ne sont pas encore remplies de sang maternel elles sont vides = c'est le **stade lacunaire du ST**

Du mésenchyme issu du CT tapisse la cavité qui devient le **lécithocœle primaire (laire)** (vésicule vitelline des oiseaux) Le mésenchyme qui limite cette cavité forme la membrane de Heuser.

3. Du 11^{ème} au 12^{ème} jours :

L'entophylle commence à s'étaler, refoulant peu à peu devant lui la membrane de Heuser. Le ST érode la paroi de capillaires sanguines maternelle, peu à peu les lacunes se remplissent de sang = **stade trabéculaire du ST**

L'embryon se nourrit par **diffusion** à partir du sang maternel. Le mésenchyme issu du CT envahit l'espace compris entre la cavité amniotique et le lécithocœle d'une part et le CT d'autre part.

Le CT commence à former des replis dans le ST constituant des villosités primaires : ébauche du futur placenta.

4. Du 13^{ème} au 14^{ème} jour :

L'épithélium utérin se reconstitue

L'entophylle achève de tapisser intérieurement le lécithocœle qui devient **lécithocœle définitif ou secondaire (IIaire)**

Dans le mésenchyme, les cavités plus nombreuses fusionnent pour former le coelome externe limité par la :

La splanchnopleure : du côté du lécithocœle.

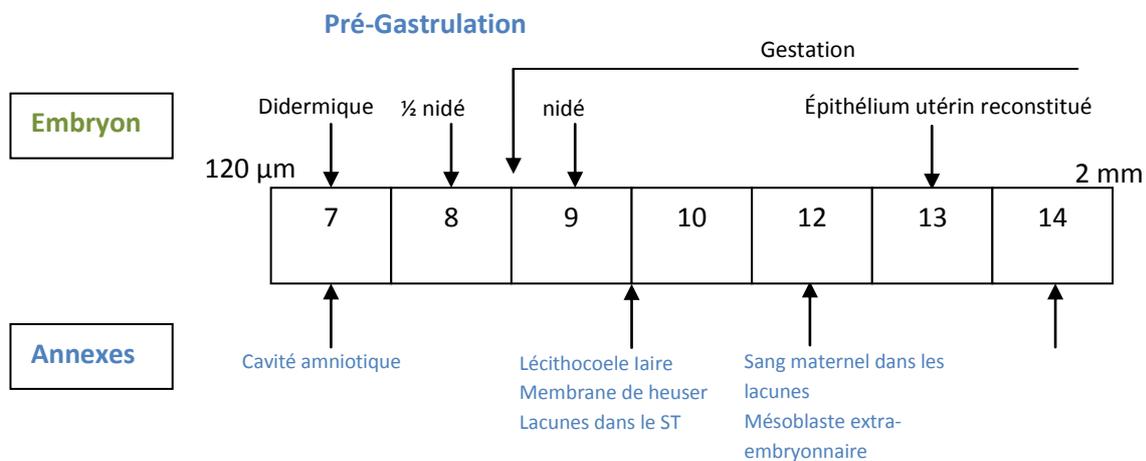
La somatopleure : du côté de l'amnios et du CT.

Conclusion :

A partir du 6^{ème} jours le germe humain s'est implanté dans l'endomètre. A la fin de la 2^{ème} semaine il se nourrit par diffusion à partir du sang maternel présent dans les lacunes du ST.

Ce germe est seulement didermique : pré-gastrulation.

Il a d'abord constitué ses annexes : l'amnios, le chorion et le lécithocœle IIaire.

Calendrier de la 2^{ème} semaine

LA TROISIEME SEMAINE DU DEVELOPPEMENT

C'est la semaine de la gastrulation pendant la quelle se met en place ce feuillet moyen embryonnaire. Les annexes évoluent et l'embryon forme une allantoïde. Enfin de semaine, le territoire cordal mis en place induira le début de la neurulation.

I. L'évolution des annexes :

1. L'allantoïde :

Elle se forme au 16^{ème} jour. C'est un repli endodermique postérieur qui s'enfonce dans le pédicule de fixation en refoulant devant lui la splanchnopleure. A son voisinage, s'observent les gonocytes primordiaux à partir du 18^{ème} jour.

2. la splanchnopleure du lécithocœle définitif (II) :

Elle forme des îlots **vasculo-sanguines primitifs** : ce sont des amas de cellule mésenchymateuses qui condensent des le 17^{ème} jour.

D'autre ébauche vasculaire apparaissent au voisinage de l'allantoïde dans le pédicule de fixation formant des **vaisseaux allantoïdiens**.

Mais seule, le lécithocœle IIaire a une fonction hématopoïétique et assure la production des cellules sanguines (hématopoïèse).

Au 21^{ème} jour, les vaisseaux embryonnaire et extra-embryonnaire se raccordent : l'embryon reçoit ses premières cellules sanguines toutes d'origine extra-embryonnaire.

3. les villosités placentaires du chorion :

Entre le 18^{ème} et le 21^{ème} jour (fin de la 3^{ème} semaine) les villosités formées par le CT à l'intérieur du ST reçoivent les ramifications des vaisseaux allantoïdien.

C'est au niveau de ces villosités que s'effectuent les échanges **gazeux, nutritifs et excréteurs** entre le sang de la mère contenu dans les lacunes du ST et le sang de l'embryon contenu dans les capillaire sanguin des villosités.

A partir du 21^{ème} jour, le CT atteint par sa croissance la caduque utérine et constitue une enveloppe contenue ou **coque cytotrophoblastique** qui sépare le chorion de la caduque utérine.

II. La gastrulation :

Si l'on supprime les annexes on peut observer dorsalement le **disque embryonnaire didermique et plan**.

A 16 jours : On observe un épaissement médiodorsal et postérieur = la **ligne primitive** (LP) terminée vers l'avant par un renflement : le **nœud de hensén** (NH).

A 18 jours : Le disque embryonnaire s'est agrandi et élargi en raquette vers l'avant (Embryon mesure 1 mm). La LP a atteint sa longueur maximale, par le NH s'observe par transparence la pénétration du territoire cordal vers l'avant.

A 19 jours : la Lp est plus courte, elle a reculé, l'Embryon mesure 1.15.

1. fonctionnement de la ligne primitive :

Par le sillon médiodorsal de la Lp, le mésoblaste embryonnaire pénètre (s'invagine) puis s'étale à droite et à gauche en position moyenne entre les territoires externe et l'entophylle ventral. On a d'abord un phénomène de **convergence** du mésoblaste vers la Lp. Puis une **invagination** de ce mésoblaste. Enfin une **divergence latérale** de ce feuillet moyen qui s'étale en position moyenne. De plus le mésoblaste embryonnaire en s'étalant rejoint le mésoblaste extra-embryonnaire mis en place pendant la 2^{ème} semaine. Seules 2 régions embryonnaire resteront didermique :

La membrane buccale ou pharyngienne a l'avant

La membrane annale ou cloacale a l'arrière.

2. Mise en place du territoire cordal et précordal par le nœud de hensen :

A 17-18 jours : Le territoire précordal et cordal s'invagine par le NH et se placent en position médiodorsale formant le prolongement céphalique antérieur visible par transparence (TC)

A 19 jours : Le canal cordal s'allonge et son bord inférieur se soude au toit du L IIaire et se fissure

A 20-21 jours : Les fissurations très nombreuses et de plus en plus rapprochées entraînent la disparition de la partie ventrale du canal cordal. Un orifice (**le canal de lieberkühn**) permet la communication de la cavité amniotique et du lécithocœle II.

III. Neurulation :

1. A 20 jours :

→ **En vue dorsale**, en avant du nœud de Hensen, l'Embryon (1.3 mm) présente une **plaque neurale** très nette grâce à l'action inductrice du territoire cordal sous-jacent. L'embryon s'est allongé et incurvé, sa face dorsale devient **convexe**.

→ **En coupe transversale**, la plaque neurale dorsale est limitée par les crêtes.

→ **Ventralement**, s'observe la plaque cordale.

→ **Latéralement**, le mésoblaste embryonnaire commence à se creuser du cœlome interne limité par la somatopleure dorsale et la splanchnopleure ventrale.

2. A 21 jours :

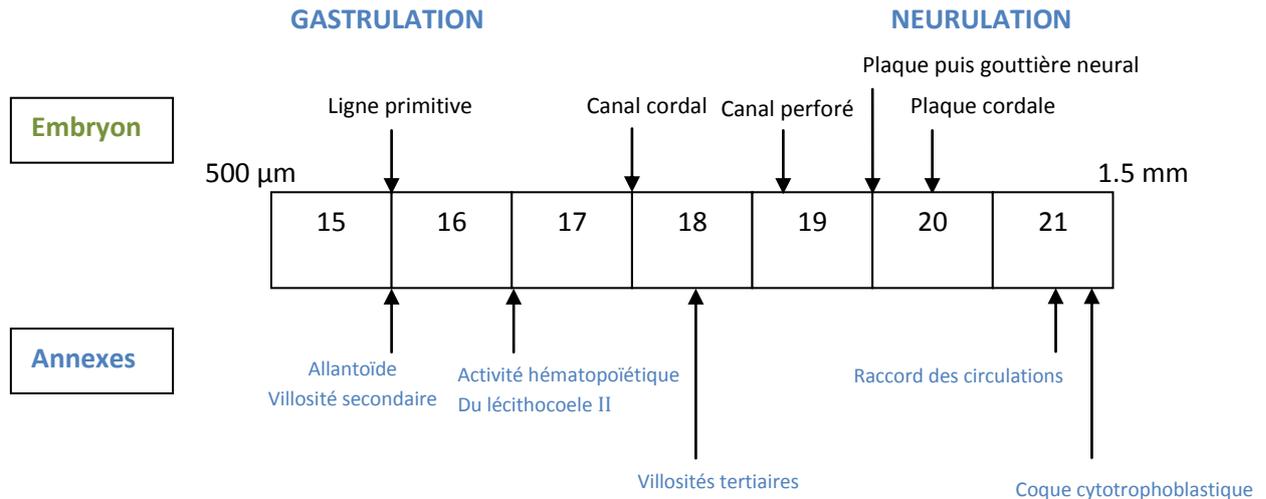
→ **En vue dorsale**, la gouttière neurale est plus profonde et 4 paires de somites s'observent par transparence : c'est le début de la métamérisation du mésoderme par-axial (de part et d'autre de l'axe = corde). L'embryon mesure 1.5 mm.

→ **Dans la région moyenne** : les coupes transversales montrent : les somites et les pronéphros du mésoblaste.

Conclusion :

La 3^{ème} semaine est pour l'embryon la dernière semaine de la gastrulation (l'embryon devient didermique)

C'est aussi dès la mise en place du territoire cordal, le début de la neurulation, la métamérisation et de l'organogénèse.

Calendrier de la 3^{ème} semaine**LA QUATRIEME SEMAINE DU DEVELOPPEMENT**

Pendant la 4^{ème} semaine, le développement se poursuit et l'embryon :

Va achever la neurulation et isoler la corde en un axe plein indépendant.

Va poursuivre la métamérisation

Va acquérir une paroi ventrale et isoler des annexes : seul un cordon ombilical le réunira à celle-ci.

Il entame l'organogénèse ex : le cœur, les reins.

I. Les vues externes :

→ **A 22 jours :** L'Embryon mesure 1.8 mm, on assiste à la fermeture du tube neural dans la région moyenne. 3 paires de somite se forment par jour. Ex : à 21 jours= 4 paire de somites, à 22 jours 4+3=7 paires de somite. *L'âge de l'embryon est déterminé par le nombre de somite visible par transparence.*

→ **A 25 jours :** L'embryon s'est enroulé sur lui-même on doit l'étudier de profil. Le tube nerveux dorsal est fermé mais 2 neuropore sont encore ouvert (antérieur et postérieur). Le cœur est ventral. Le L IIaire et l'allantoïde se rapprochent ce qui sera à l'origine du cordon ombilical (suite à l'enroulement de l'embryon sur lui-même).

→ **A 27-28 jours :** L'embryon mesure 4.25 mm, il est relié par le cordon ombilical recouvert par l'amnios. Le neuropore antérieur est fermé à 28-29 jour. La non-fermeture du neuropore entraîne :

Anencéphalie : neuropore antérieur.

Spinabifida : neuropore postérieur.

II. En coupe transversale :

→ Dans la région moyenne à 22 jours :

A 22 jours, la cavité amniotique renferme l'embryon. L'endoderme se soulève sous forme de **gouttière renversé** sans perdre sa continuité avec la paroi du lécithocœle. La partie endodermique qui entre dans le corps de l'embryon formera le tube digestif. Ce qui reste du lécithocœle à l'extérieur de l'embryon reçoit le nom de **vésicule ombilicale**. La portion étroite qui relie le tube digestif et la VO est **canal ombilical**.

→ A 25-28 jours :

Le phénomène se l'accentue et la paroi ventrale est ouverte seulement au niveau de l'ombilic.

III. Dans le plan sagittal :

La croissance de l'amnios resserre latéralement l'embryon et l'oblige à s'enrouler à l'avant et à l'arrière (ce qui formera le bourgeon frontal à l'avant et le bourgeon caudal en arrière)

A 27-28 jours :

Le tube nerveux forme 3 vésicules encéphaliques.

Le cœur est ventral.

L'allantoïde et la vésicule ombilicale se rapprochent.

IV. Cordon ombilical primitif :

Les deux annexes en position ventrale (allantoïde et VO) recouverte par la paroi de l'amnios constituent le cordon ombilical primitif qui relie l'embryon aux villosités choriales.

Ce cordon assure par sa VO une fonction hématopoïétique jusqu'à 6 semaines. Par ses vaisseaux, il est lieu entre l'embryon et les villosités placentaires. Au niveau de ces villosités, les capillaires se ramifient à travers le chorion fœtal, ont lieu les échanges gazeux nutritifs avec le sang maternel contenu dans les lacunes du ST.

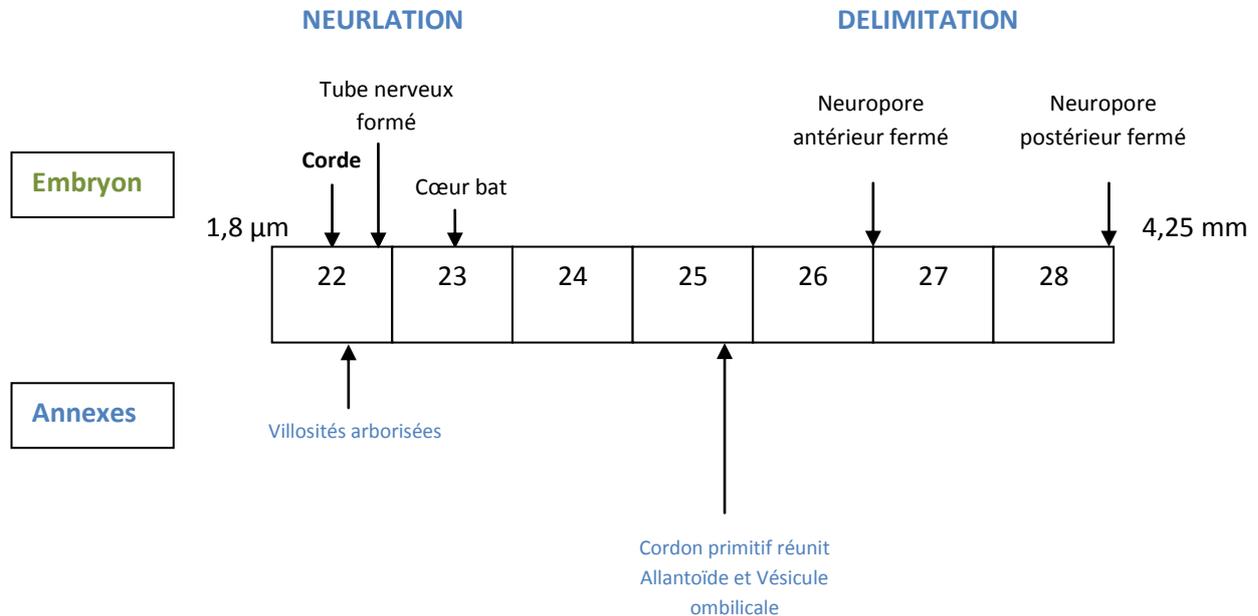
Conclusion :

Au cours de cette 4^{ème} semaine, l'embryon a isolé une corde dorsale, achevé la neurulation et entamé l'organogénèse.

Entouré de l'amnios, l'embryon est relié par un cordon ombilical primitif aux villosités IIIaires arborisées des chorions (futur placenta).

Calendrier de la 4^{ème} semaine

ORGANOGENESE

**L'EMBRYON DE 32 JOURS****I. En vue externe :**

Son extrémité céphalique est recourbée sur la face ventrale.

La bouche primitive est ouverte (stomodeum)

Les placodes optique et otique sont bien visible.

L'extrémité postérieure est enroulé sur la face ventrale sur la face dorsale, les somites sont visible par transparence.

En position dorso-latérale s'observent les crêtes de wolff et les bourgeons des membres.

Sur la face ventrale, s'observent la saillie cardiaque, le **renflement hépatique** (foie) et l'insertion du cordon (ombilic).

Les somites apparaissent dans le sens céphalo-caudal jusqu'au 35^{ème} jour (42 à 44).

II. la circulation vers la fin du 1^{er} mois

Depuis le 21^{ème} jour les deux circulations extra-embryonnaire et embryonnaire se sont raccordées.

A partir de la 6^{ème} semaine le cœur se cloisonnera en cœur droit et gauche.

IV. Conclusion :

A la fin du premier mois, l'organogénèse est bien entamée. Elle se poursuivra au cours du 2^{ème} mois avec lequel s'achèvera la période embryonnaire.

EVOLUTION DEFINITIVE DES ANNEXES

I. l'amnios :

1. Son évolution :

L'amnios recouvre le cordon ombilical primitif. L'augmentation du volume de la cavité amniotique va se poursuivre et peu à peu le coelome externe est comblé. L'amnios est alors appliqué contre le chorion et la cavité utérine est alors totalement occupée par l'embryon et sa poche des eaux.

2. fonctions :

→ la cavité amniotique est pleine d'un liquide clair au PH légèrement alcalin élaboré par les cellules amniotiques, mais il dérive aussi du sang maternel (par les vaisseaux de la caduque)

→ composition : eau, sels minéraux, substance organiques, cellules fœtales et cellule amniotique.

→ Il s'agit d'une réserve aqueuse assurant :

L'hydratation de l'embryon et du fœtus.

La protection contre les chocs grâce à cette suspension hydraulique.

Les mouvements du fœtus sont possibles dans cet environnement hydraulique (perçus par la mère à 4 mois et demi)

→ ce liquide est renouvelé toutes les 3 heures. A partir du 5ème mois, le fœtus avale la moitié du liquide (400 cm³/jour) excès de liquide= hydramnios.

→ Cet amnios constitue la poche des eaux qui facilitera l'ouverture du col utérin au moment de l'accouchement.

→ Ce liquide, contrôlé par cœlioscopie, prouvera par sa clarté que le fœtus ne souffrira pas en cas d'accouchement retardé.

→ En prélevant des cellules desquamées (desquamation) dans le liquide amniotique par amniocentèse. On pourra déterminer le caryotype et le sexe.

II. Le cordon ombilical :

1. Son évolution :

Dans le Cordon, la VO régresse peu à peu ainsi que les vaisseaux vitellins (du L IIaire)

A partir de la 6ème semaine c'est le foie qui assure l'hématopoïèse, prolifère et donne la **gelée de Wharton** : T.C embryonnaire riche en protéoglycannes.

L'allantoïde régresse et il ne restera qu'une veine ombilicale et 2 artères ombilicales spiralées protégées par la *gelée de Wharton*.

2. Les fonctions :

C'est la veine qui assure le transport du gaz oxygéné du placenta vers le fœtus, les artères amènent les déchets au placenta. Ce cordon mesure à la naissance 2 cm de diamètre et 50 à 60 cm de long.

Un cordon trop long peut entourer le cou du fœtus et un cordon trop court peut entraîner des complications en arrachant le placenta au cours de l'accouchement.

III. Evolution des villosités placentaires :

A la fin du 1^{er} mois :

Les villosités existe sur toutes la surface du chorion= **chorion diffus et villeux**. Les circulations maternelles et foetales ne sont jamais mélangées : une barrière placentaire sépare les 2 sangs. Barrière= ST + CT + mésoblaste + endothélium du capillaire embryonnaire.

Le sang maternel est directement accessible dans les lacunes. (L'endothélium ayant été détruit). *La barrière placentaire humaine est de type hémo-chorial.*

Pendant le 2ème mois

Les villosités deviennent très nombreuses du côté de la caduque basale : **chorion touffu**. Elles deviennent très rares ailleurs.

Au 3ème mois :

Les villosités ont totalement disparu sauf au voisinage de la caduque basale ou le chorion est très arborisé= **placenta discoïdal**

Au 4ème mois :

Le ST disparaît peu à peu. De plus, le CT présente une bordure en brosse festonnée ce qui augmente la surface d'échange.

IV. Le placenta humain à terme :

1. Sa morphologie :

C'est un disque épais de 2 à 3 cm, de 20 cm de diamètre pesant 1/6 du poids du nouveau né = **placenta discoïdal**.

Il est éliminé ¼ heure à ½ heure après la naissance. La délivrance s'accompagne d'une hémorragie. Il présente 2 faces qui indiquent sa structure double :

Le côté foetal : est caractérisé par l'arrivée du Cordon l'aspect lisse et la présence de l'amnios.

Le côté maternel : montre 15 à 20 pseudo-cotylédons ou la muqueuse (paroi) utérine est vif.

2. Critères qui définissent un placenta :

Il faut utiliser 4 critères :

Sa forme : le placenta humain est discoïdal et pseudo-cotylédoné.

Le nombre de tissu à traverser : pendant les échanges : le placenta est hémo-chorial (seul le chorion doit être traversé).

L'origine des vaisseaux : placenta allanto-chorial (vaisseaux sanguins placentaires d'origine allantoïdienne).

L'absence ou présence d'hémorragie lors de la délivrance :

Chez l'homme, il y a hémorragie = placenta décidual

Chez certains groupes zoologiques il n'y a pas d'hémorragie = placenta indécidual.

3. Fonction du placenta humain :

C'est un lieu d'échanges grâce à la surface de contact très grande (respiration et nutritifs) (élimination des déchets), la vitamine K ne peut pas passer, les protéines maternelles sont dégradées en AA et le placenta élabore (fabrique) des protéines foetales.

Il assure une fonction protectrice grâce au passage des anticorps maternels.

Cette barrière laisse cependant passer de nombreux éléments toxique : alcool, drogue, virus (rubéole, hépatite, SIDA), bactérie parasites (toxoplasmose).

Il assure le contrôle endocrinien de la gestation :

→Il élabore la HCG de la 2^{ème} à la 16^{ème} semaine, assurant ainsi le maintien du corps jaune gestatif qui disparaît au 3^{ème} mois.

→Il élabore lui-même œstrogènes et progestérone et assure alors à lui seul le maintien de l'embryon.

→A partir de la 3^{ème} semaine, il élabore la **HCS** Hormon **Chorionic Somatomammotrophic**. Qui prépare les glandes mammaires à l'allaitement et l'organisme maternel à l'accouchement

EVOLUTION DEFINITIVE DES FEUILLETS

Pendant le 2^{ème} mois a lieu l'organogénèse : les principaux organes se forment entre la 4^{ème} et 8^{ème} semaine. L'embryon de 8 semaines a des membres, une face, des oreilles, un nez, des yeux, son cœur est cloisonné, sa gonade différencié. Son cerveau, son estomac, son foie, ses reins sont fonctionnels.

Evolution et devenir des feuillets : voir planche

CHRONOLOGIE DU DEVELOPPEMENT

I. la période embryonnaire :

Elle dure 2 mois :

Pendant le 1^{er} mois : Les annexes, les 3 feuillets et tube neural se mettent en place. L'embryon se délimite par rapport à ses annexes tout en entamant son organogénèse.

Pendant le 2^{ème} mois : l'organogénèse.

II. La période fœtal :

Elle se caractérise par une croissance très rapide.

La croissance en longueur s'effectue surtout au 4^{ème} et 5^{ème} mois

L'augmentation du poids s'effectue pendant la 2^{ème} partie de la grossesse et en particulier pendant les 2 derniers mois et ½ où le fœtus double son poids.

Pendant les 2 derniers mois, la graisse sous cutanée se constitue, l'appareil respiratoire et le système nerveux se différencient et d'où l'importance d'une naissance à terme.

III. La naissance :

1. Son déclenchement :

Le vieillissement du placenta entraîne une chute du taux de progestérone et de plus, le **cortisol** du fœtus transforme la progestérone en œstrogènes. Le taux de prostaglandines est plus élevé enfin de grossesse, ce qui avec les œstrogènes, favorise les contractions utérines. L'ocytocine libérée par l'hypophyse favorise le travail utérin.

2. L'accouchement :

C'est l'ensemble des phénomènes qui aboutissent à la sortie du fœtus et du placenta hors de l'organisme maternel. Grâce aux contractions utérines le fœtus est peu à peu poussé au dehors.

Trois temps se succèdent :

La dilatation du col (jusqu'à 11 cm de diamètre)

L'expulsion du fœtus résulte des contractions utérines.

La délivrance c'est-à-dire l'expulsion du placenta.

3. Le passage de la circulation fœtale à la circulation aérienne :

La suppression brutale de la circulation placentaire et le début de la respiration pulmonaire entraînent des modifications importantes brutales.

Fermeture du **canal de Botal** entre l'oreillette gauche et droite.

Les poumons sont ventilés.