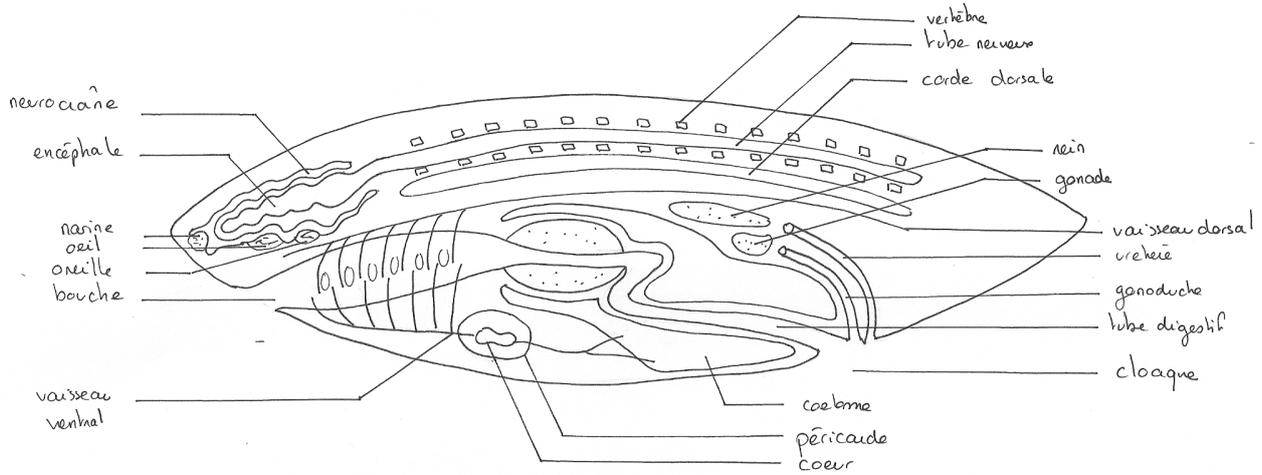
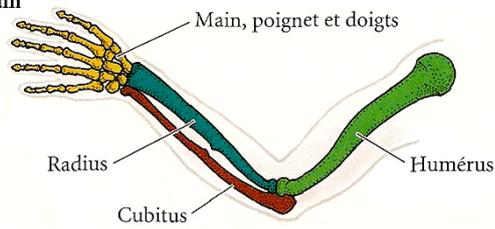


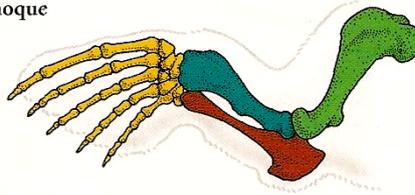
Figure 1 : plan d'organisation d'un Vertébré



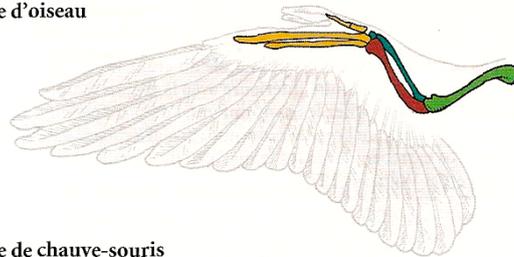
Bras humain



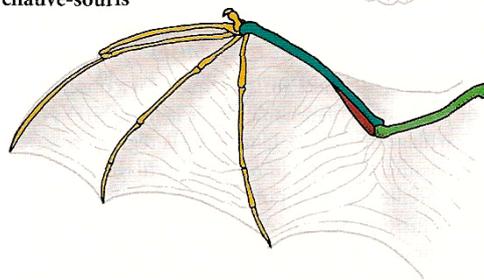
Membre de phoque



Aile d'oiseau

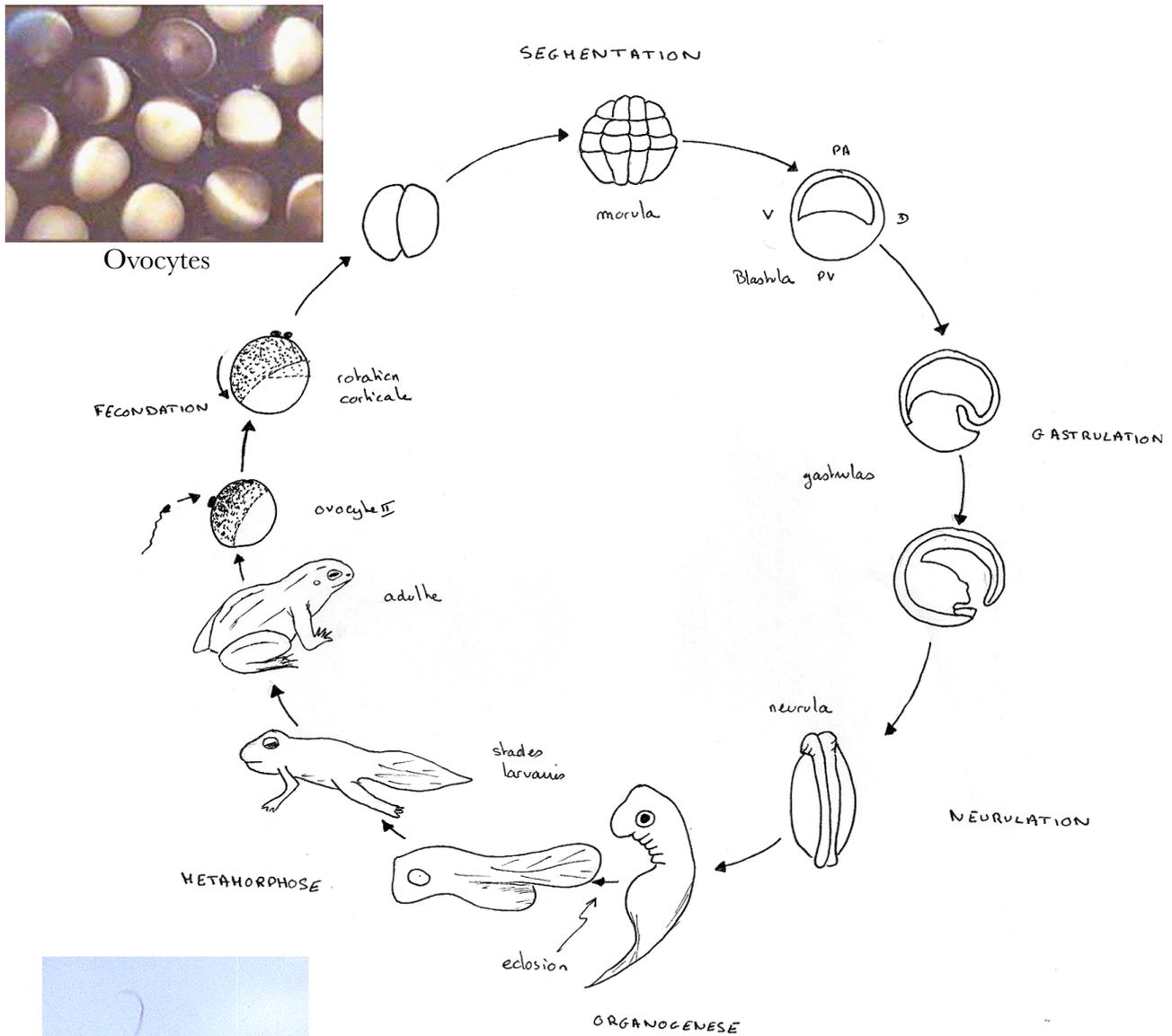


Aile de chauve-souris



Homologies de structures entre un bras humain, une patte avant de phoque, une aile d'oiseau et une aile de chauve-souris ; les structures homologues portantes sont de même couleur. Ces quatre membres sont homologues en tant que membres antérieurs et proviennent d'un ancêtre quadrupède commun. Cependant, les adaptations au vol du membre antérieur de l'oiseau et de la chauve souris ont évolué indépendamment, bien après que les deux lignées se soient écartées de leur ancêtre commun. C'est pourquoi, en tant qu'ailes, elles ne sont pas homologues mais analogues.

Figure 2 : cycle de reproduction et de développement d'un Amphibien



Larve de Xénope
(www.snv.jussieu.fr)

METAMORPHOSE

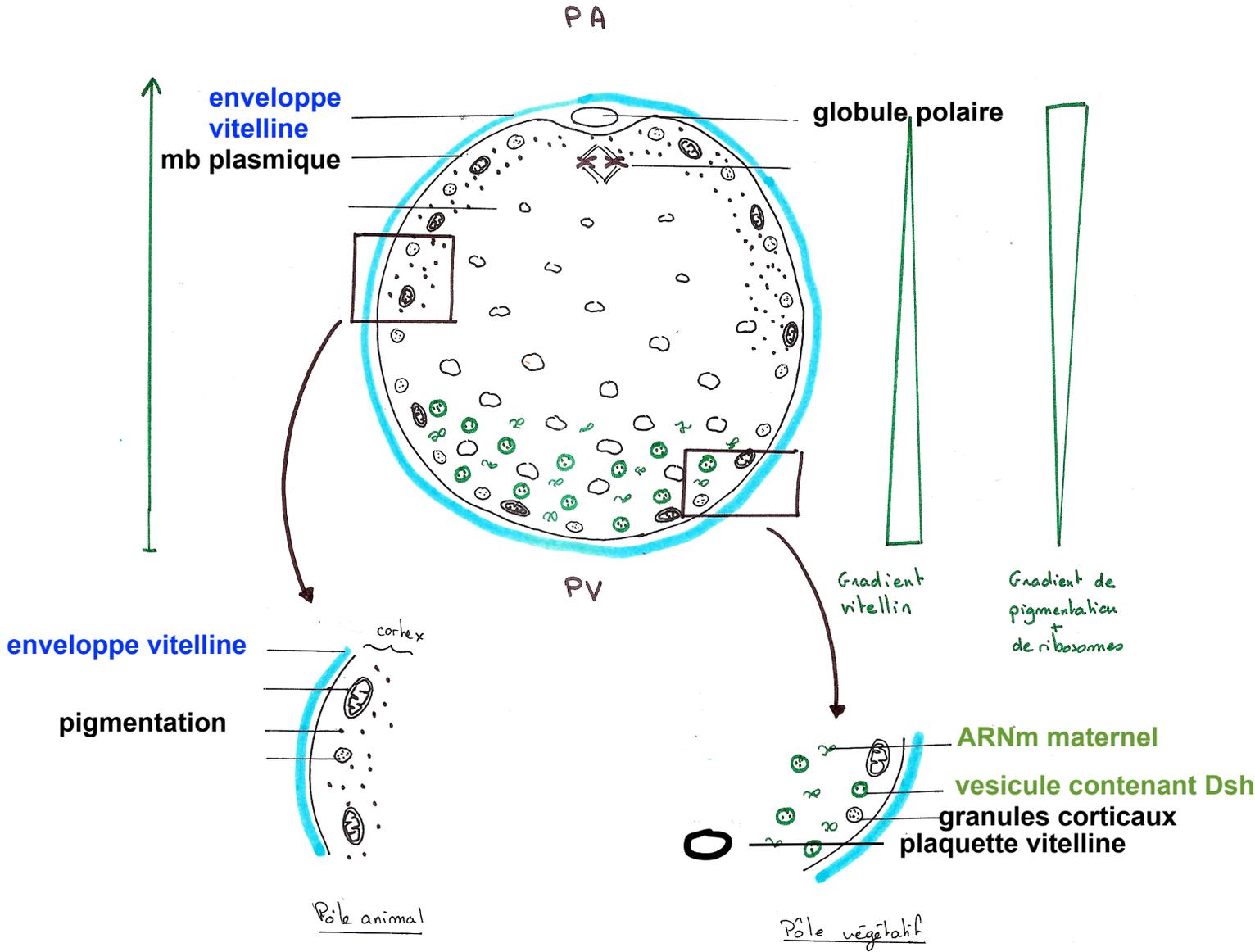


Xénope adulte

**Figure 3 : Constituants accumulés dans l'ovocyte II d'amphibien
au cours de la vitellogenèse**

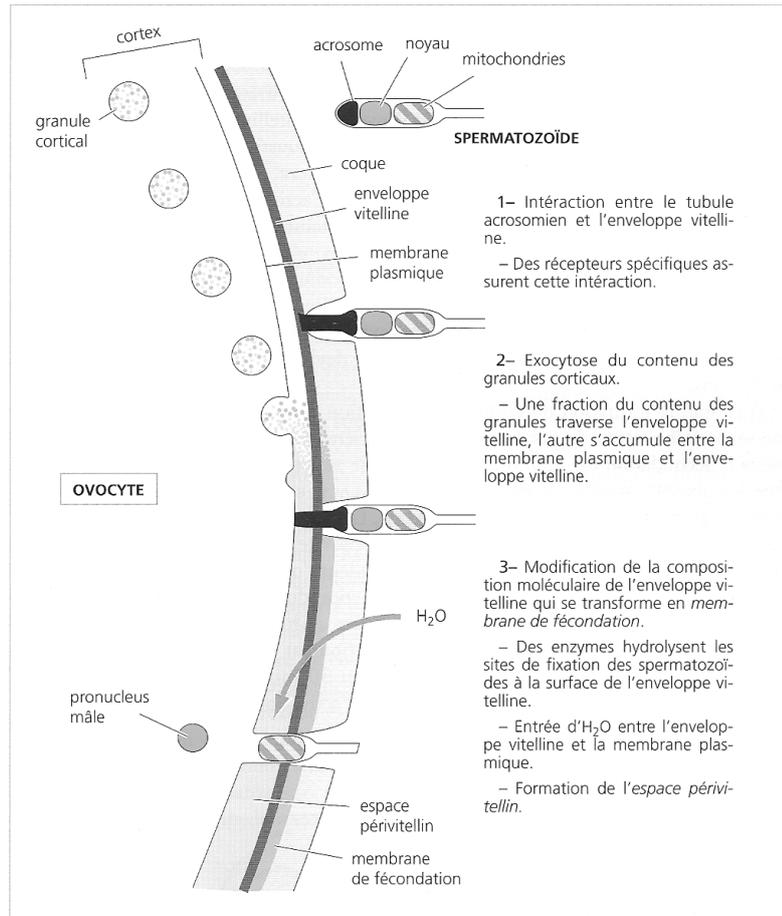
| Fonctions des constituants accumulés | Compartiments impliqués dans le stockage ou l'utilisation des constituants | constituants moléculaires et macromoléculaires |
|---|--|---|
| Métabolisme énergétique | Mitochondries plaquettes vitellines | métabolites : acides aminés, oses, groupements phosphates, vitamines macromolécules de réserve ; glycogène, protéines vitellines (phosvitine, lipovitelline) |
| Expression de l'information génétique – synthèse des protéines | Réticulum endoplasmique Appareil de Golgi | protéines : Histones, ADN et ARN polymérase, facteurs de transcription Protéines ribosomales |
| | | ARN : ARNt chargés avec des acides aminés ARNr ARNm codant des facteurs de transcription, des molécules de signalisation etc (Vg1, VegT, BMP-4...) |
| | | ribosomes |
| Dynamique intracellulaire et adhérence intercellulaire | Granules corticaux (contenant des mucopolysaccharides, des glycoprotéines, des enzymes inactivées) | Cytosquelette : microfilaments d'actine microtubules filaments intermédiaires (cytokératines) Protéines d'adhérence (intégrines), protéines matricielles (fibronectine) |

Figure 4 : représentation schématique de l'ovocyte de Xénope



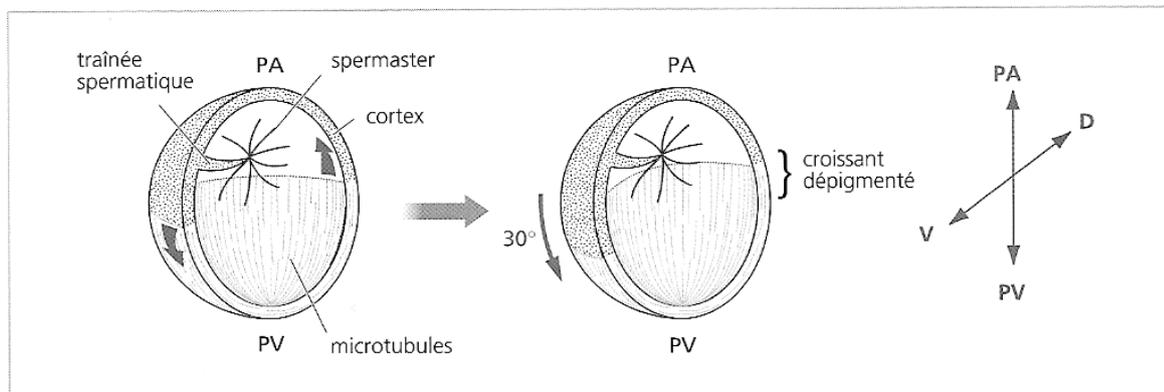
Représentation schématique de l'oeuf de Xénope (2mm)

Figure 5 : exocytose des granules corticaux (in Darribère, Belin, 2002)



Représentation schématique de l'exocytose des granules corticaux. La fusion entre le spermatozoïde et l'ovocyte se réalise dans l'hémisphère animal. Dans le cortex, seuls les granules corticaux sont figurés. La formation de la membrane de fécondation et la création de l'espace péritellin constituent une barrière physique à la polyspermie.

Figure 6 : formation de la traînée spermatique (in Darribère, Belin, 2002)



Représentation schématique de la rotation corticale. Après la fécondation, la rotation corticale conduit à la mise en place du croissant dépigmenté (croissant gris). Sa position détermine la future région dorsale de l'embryon.

Figure 7 : mise en évidence de l'importance de la rotation corticale
(in Segarra et al., Ellipses)

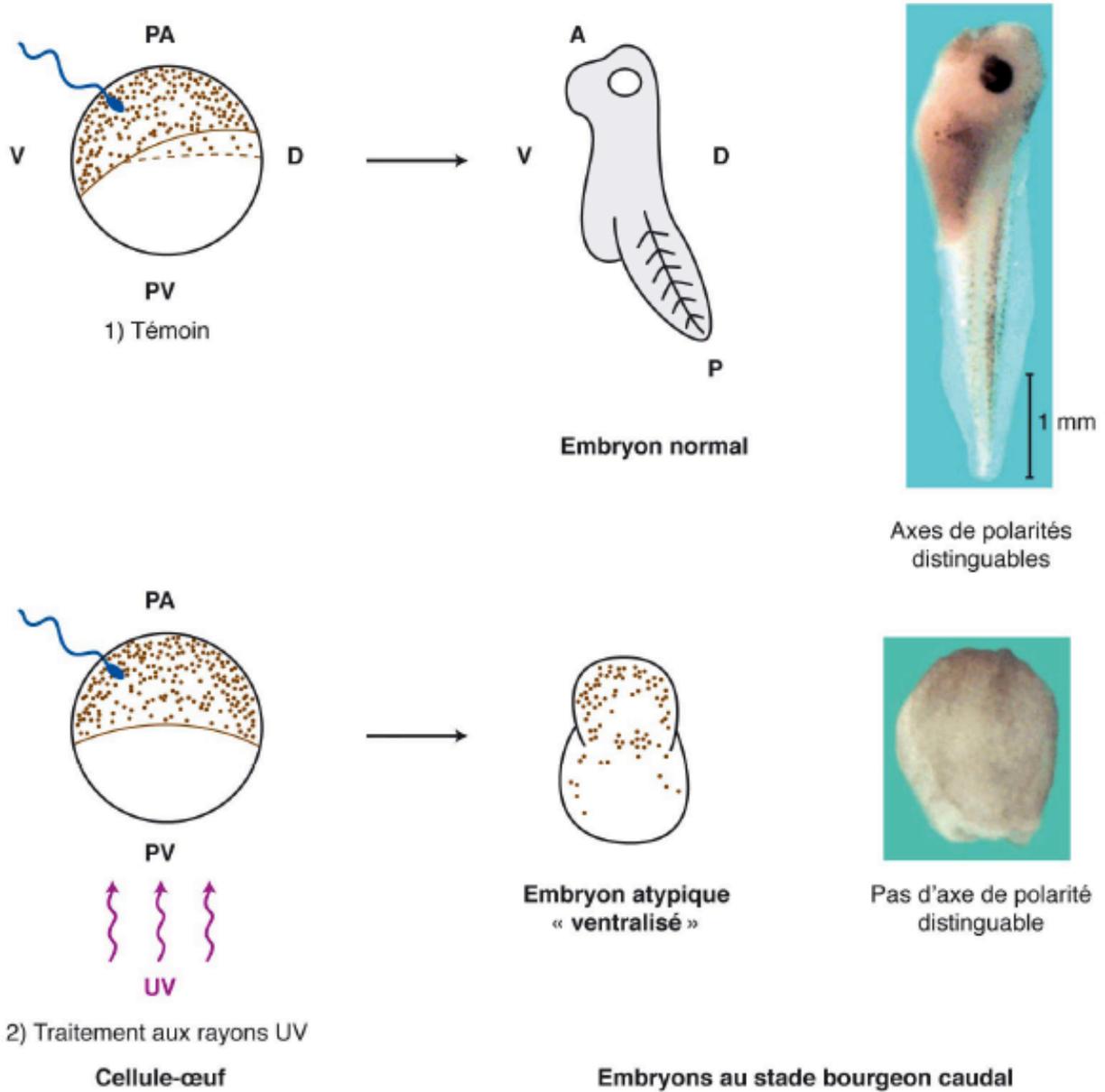


Figure 8 : redistribution des déterminants cytoplasmiques et conséquences

Induction et structuration du mésoderme

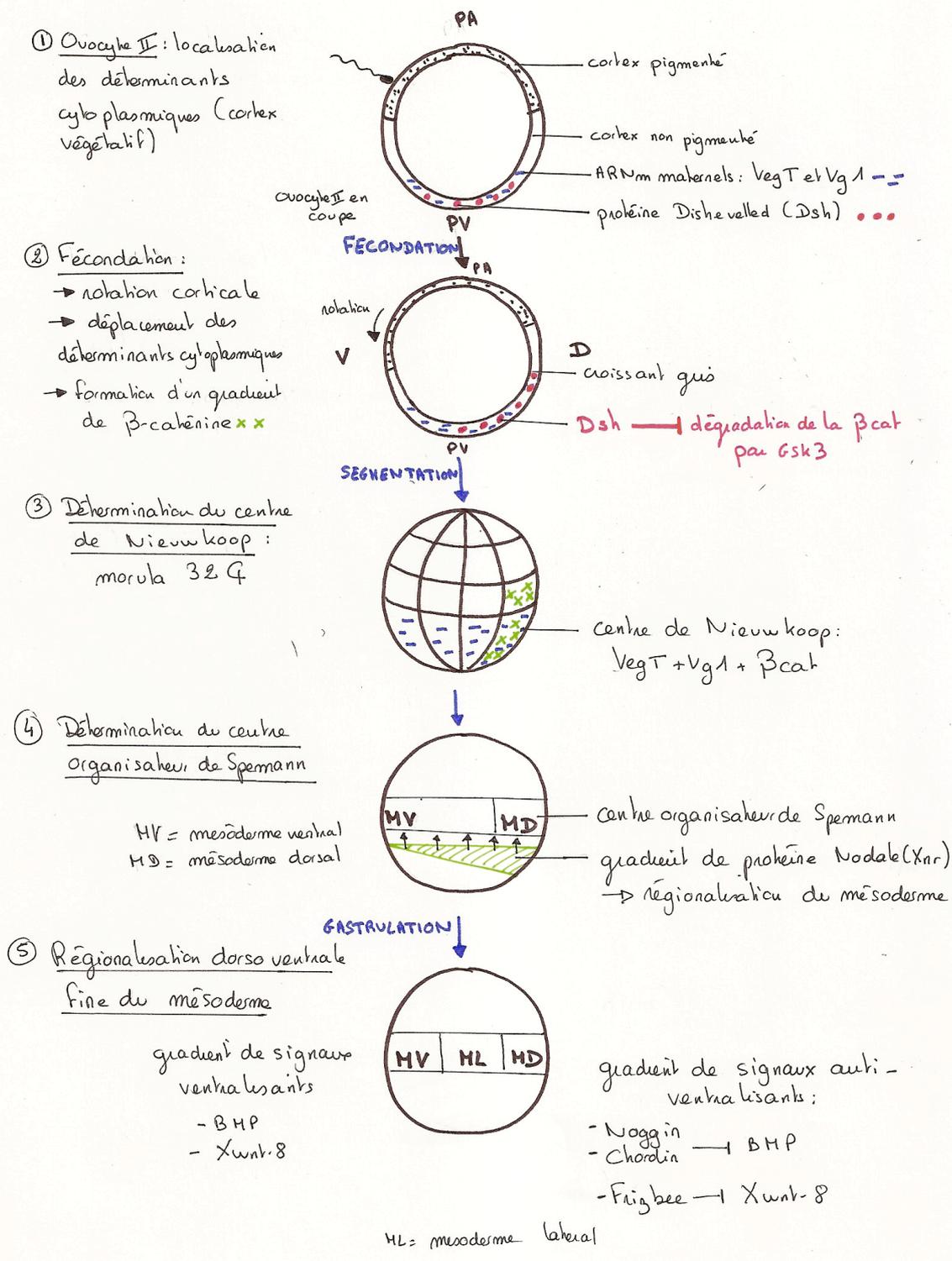
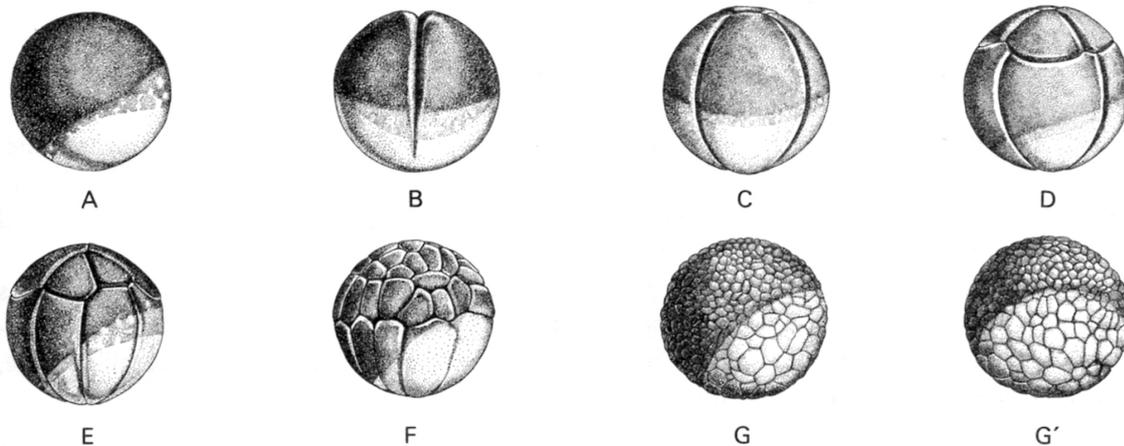
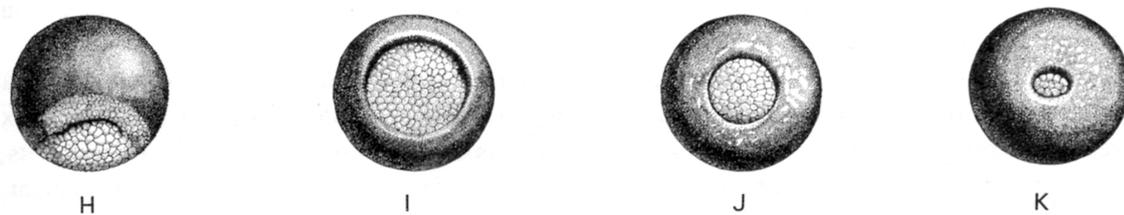


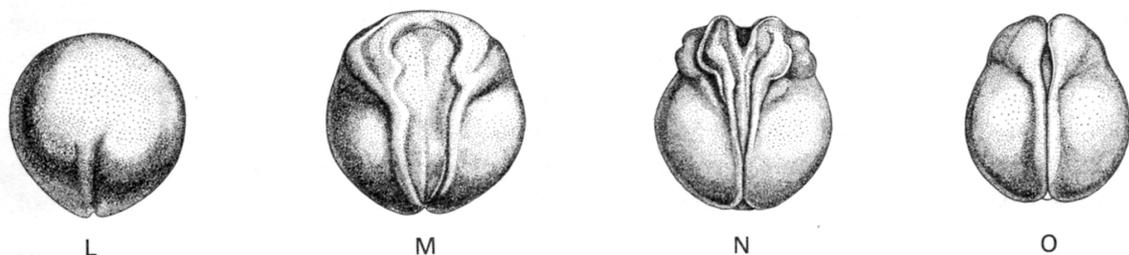
Figure 9 : Etapes du développement de l'embryon de Xénope



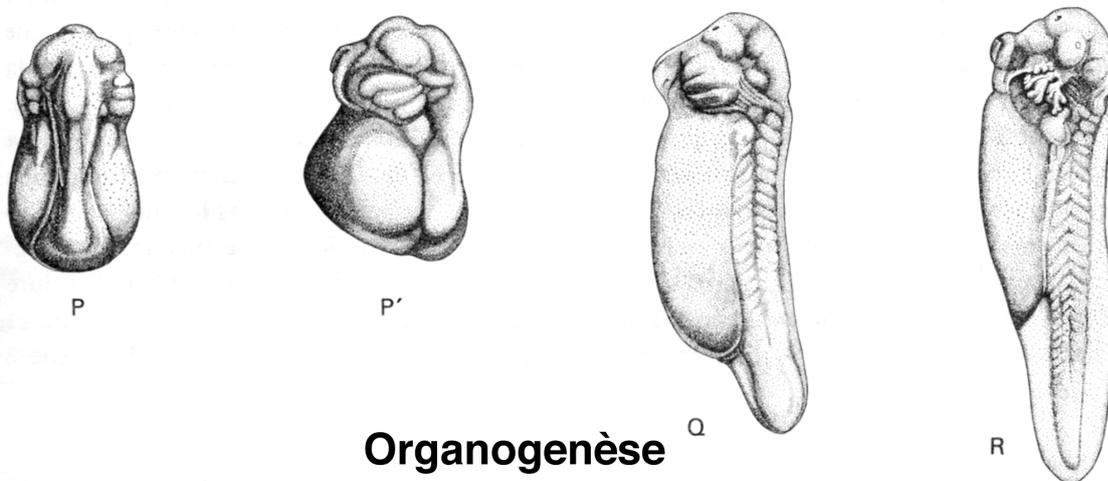
Segmentation



Gastrulation

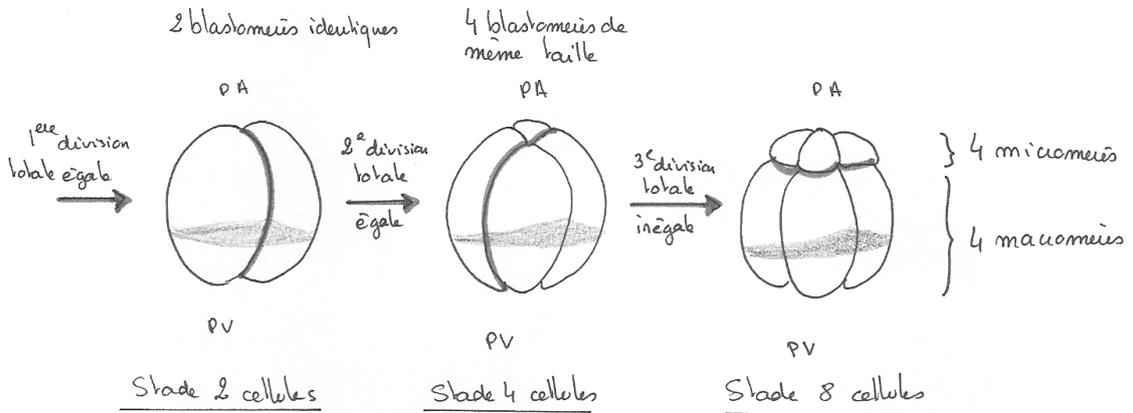
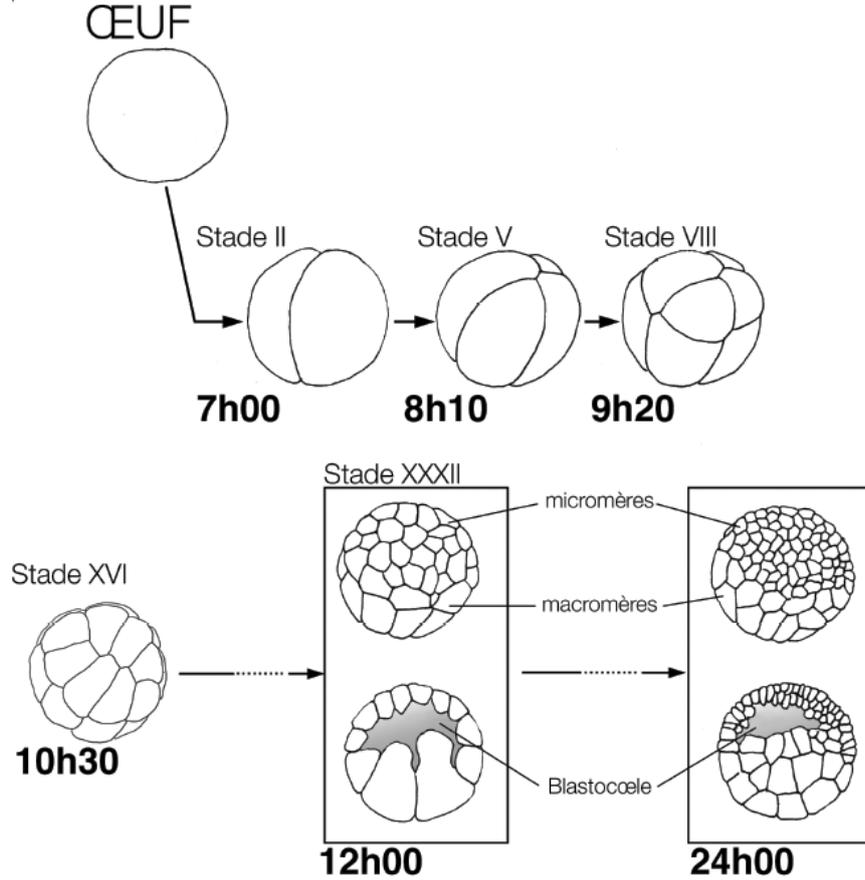
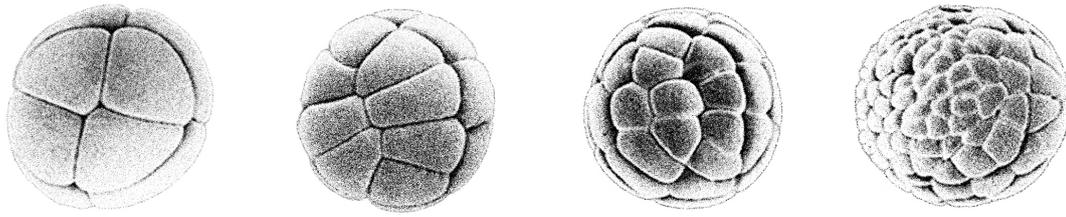


Neurulation



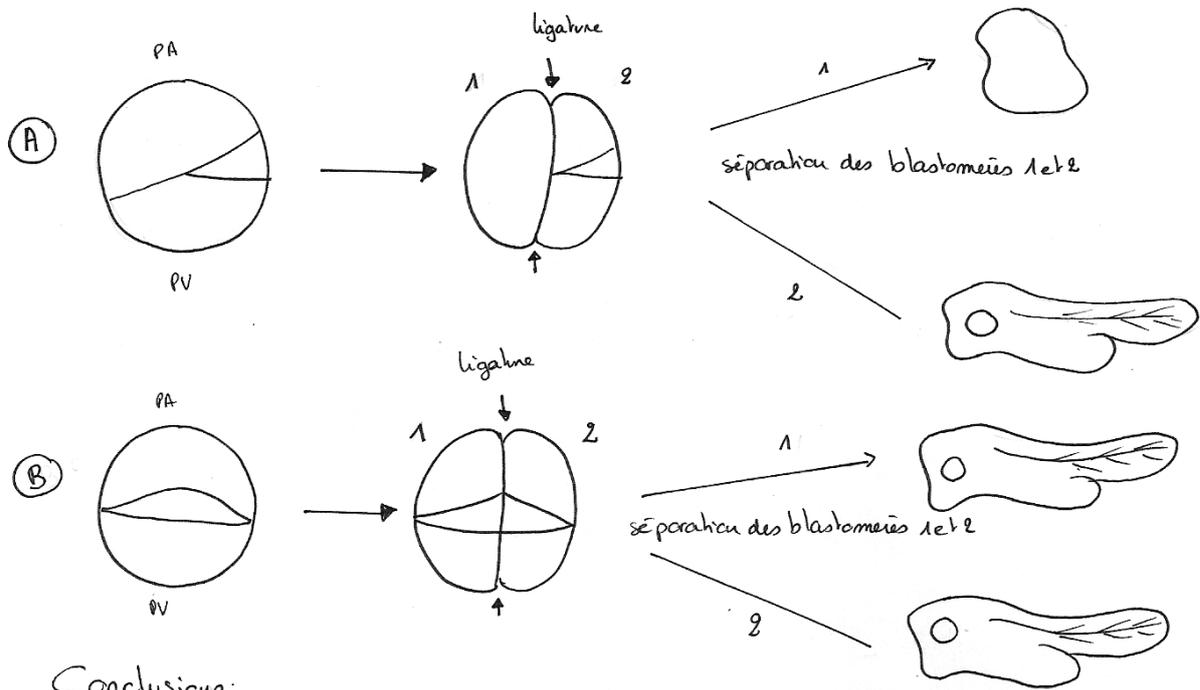
Organogenèse

Figure 10 : La segmentation



Plans de division
 plan de symétrie bilatérale
 plan méridien 1^{er} plan
 plan sub-équatorial (poche du PA)

Figure 11 : Expériences de ligature de Spemann (1903)



Conclusions:

(A)

(B)

Figure 12 : transition blastuléenne

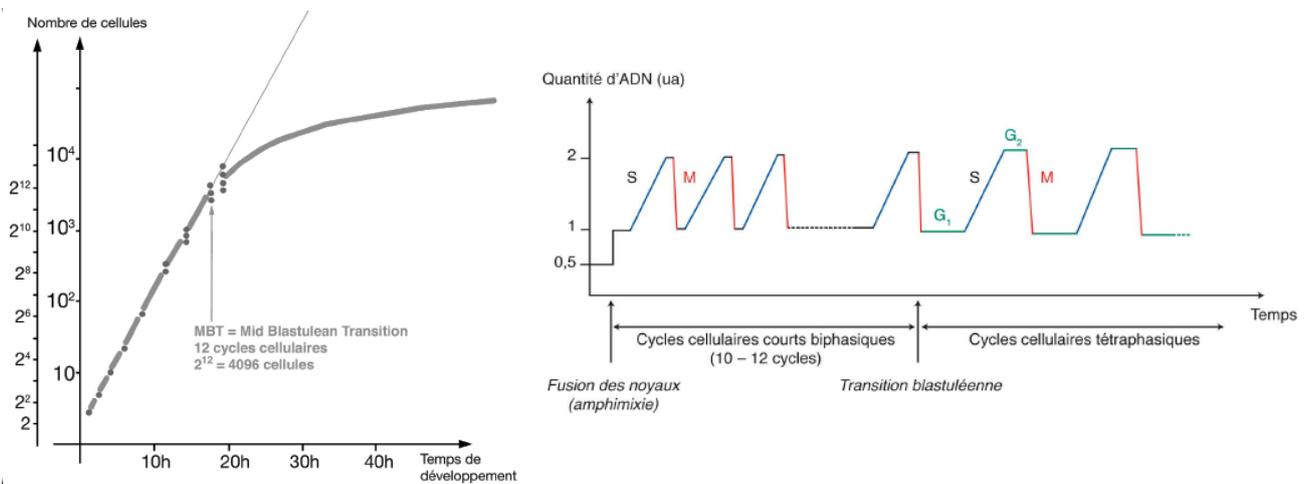
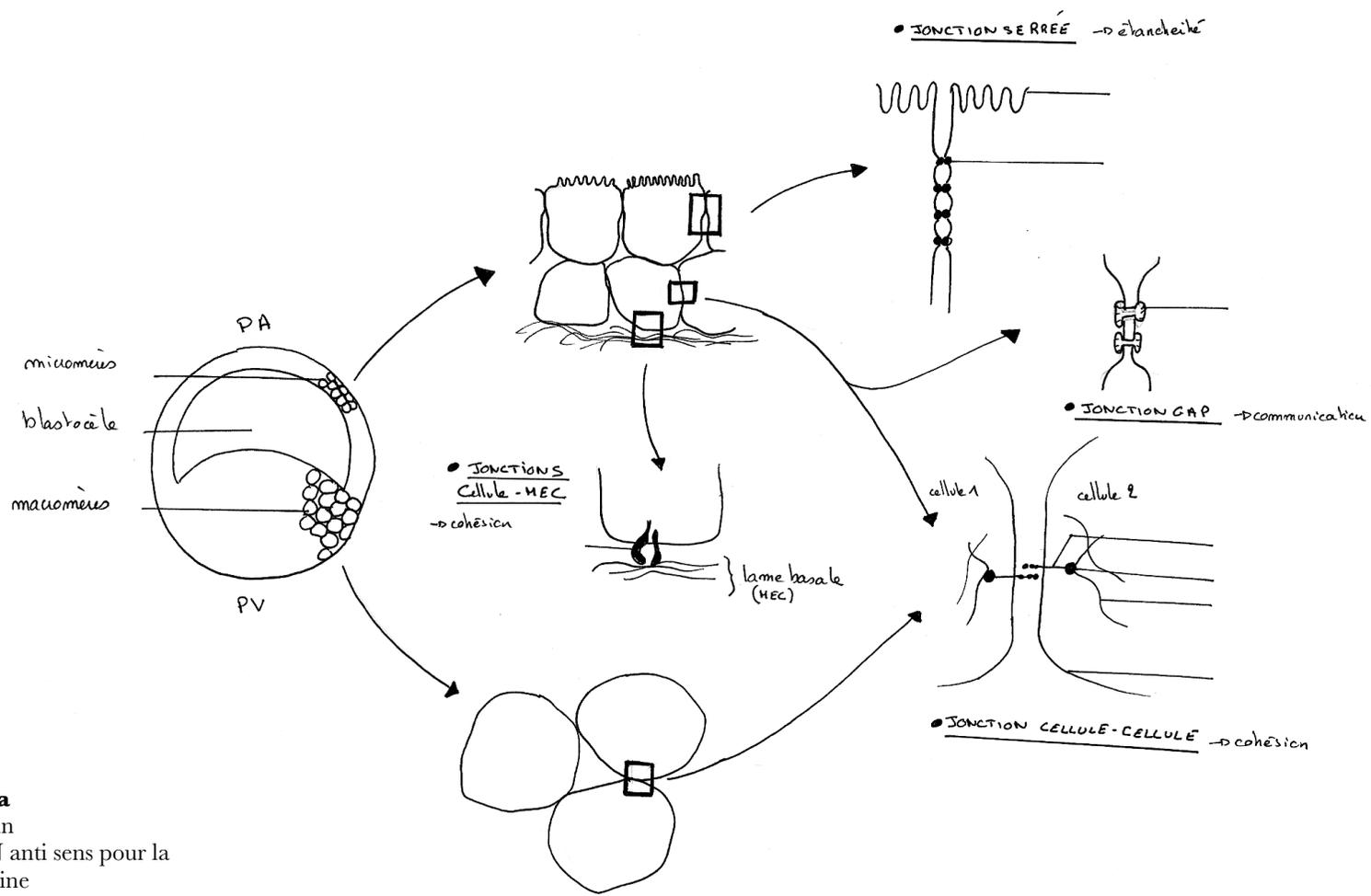


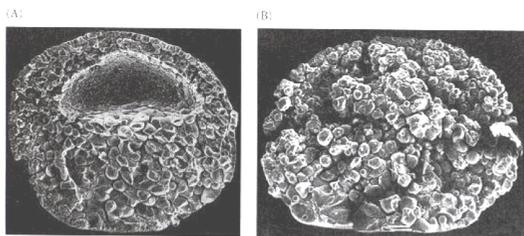
Figure 13 : La blastula : une structure très organisée



Blastula

A : témoin

B : avec injection d'ARN anti sens pour la EP-cadhérine



Interactions entre cellules d'une blastula de Xénope
(voir les dessins du chapitre interactions cellulaires)

Figure 14 : Expériences de Nieuwkoop

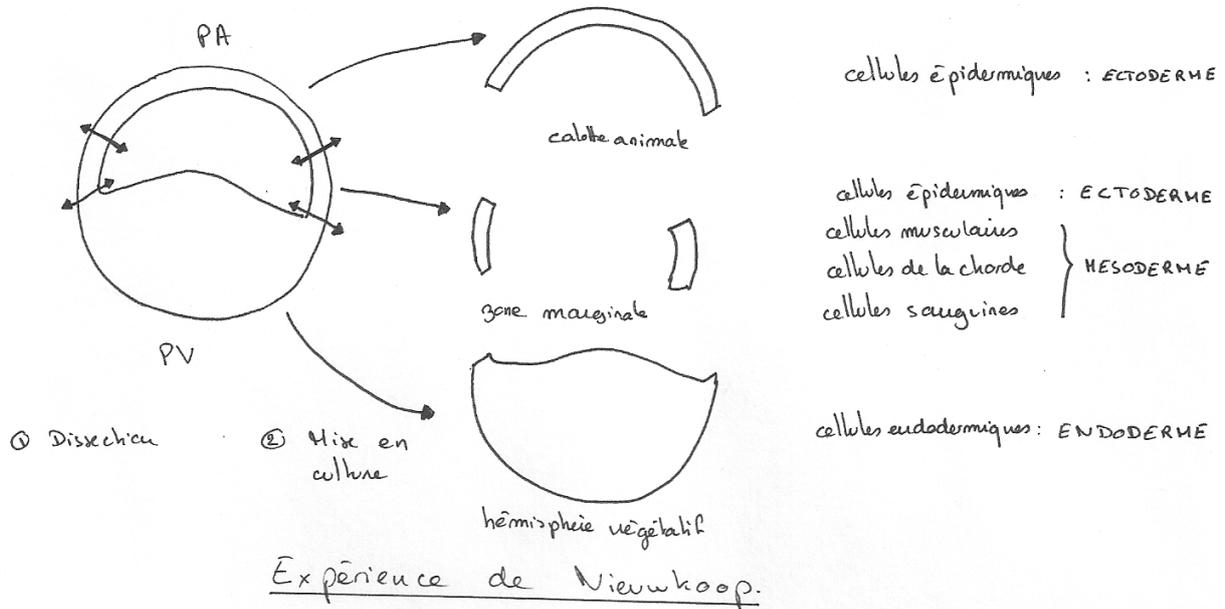


Figure 15 : Carte des territoires présomptifs

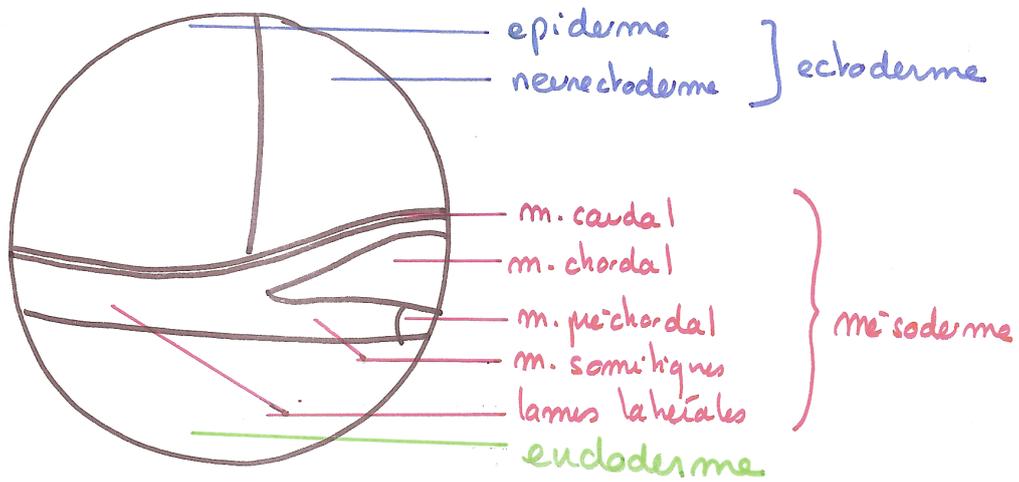
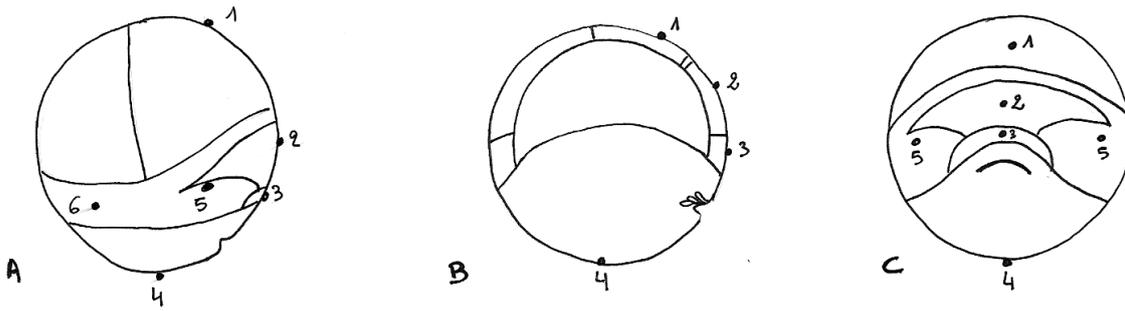


Figure 16 : La gastrulation chez le Xénope : à colorier!!!



A-B-C. BLASTULA

- A: territoires présomptifs ve latérale gauche
- B. Coupe sagittale
- C. Vue dorsale

Position des marques colorées

- 1. Neuroectoblaste
- 2. corde-mésoblaste
- 3. Territoire préchordal
- 4. Pôle végétatif
- 5. Mésoblaste somitique
- 6. Mésoblaste: lames latérales

D à H: GASTRULATION

- D-F-I-L: coupes sagittales
- E-G-J-M: vue dorsale
- H-K: coupes transversales.

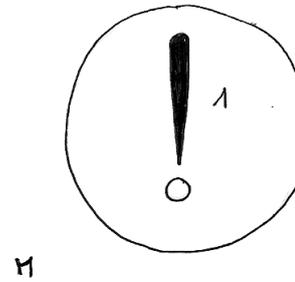
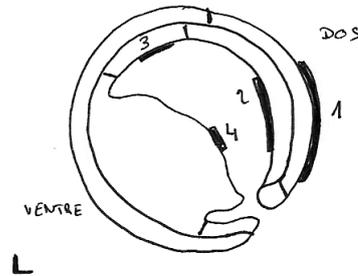
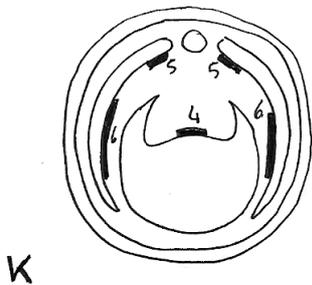
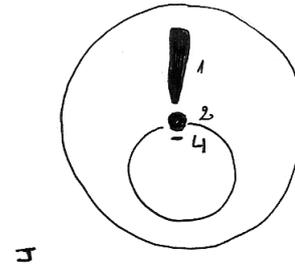
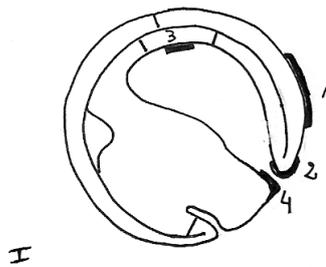
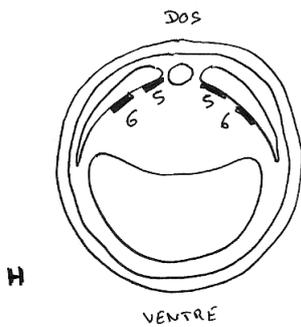
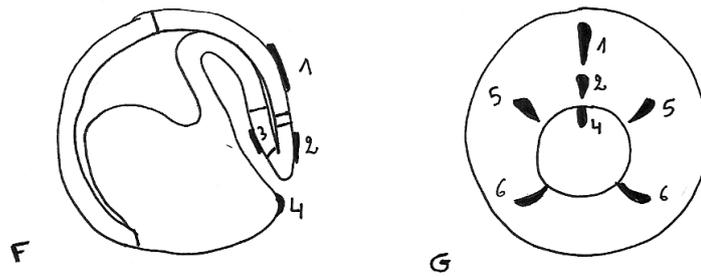
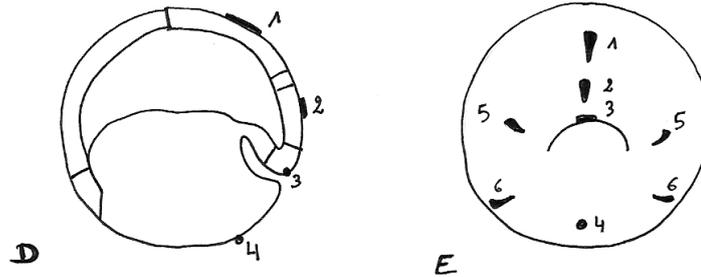
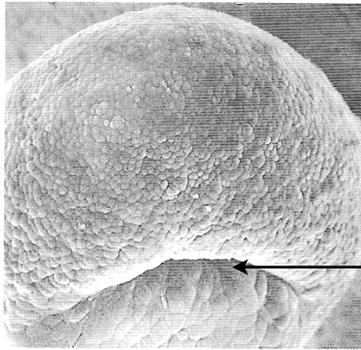


Figure 17 : La gastrulation : mouvements observables extérieurement
(in Gilbert, De Boeck, 2004)



La lèvre blastoporale

La lèvre blastoporale dorsale d'une gastrula de xénope, vue au microscope électronique à balayage. La différence de taille entre blastomères animaux et végétatifs est bien visible. (Photographie avec l'autorisation de C. Phillips).

Épibolie de l'ectoderme. (A) Les lèvres dorsale, latérales et ventrale du blastopore apparaissent en succession, modifiant la topographie des régions avoisinantes. Après formation de la lèvre ventrale, le blastopore a une forme circulaire et l'endoderme est progressivement invaginé. Les nombres ii à v correspondent, respectivement, aux images B à E de la figure 10.7. (B) Résumé des mouvements d'épibolie de l'ectoderme, et d'involution du mésoderme, qui contourne le rebord du blastopore et vient se placer juste au-dessous de la surface qu'il vient de quitter. L'endoderme, situé sous le blastopore, est immobile et enveloppé par ces déplacements cellulaires. (A d'après Balinsky 1975 ; photographies avec l'autorisation de B. I. Balinsky).

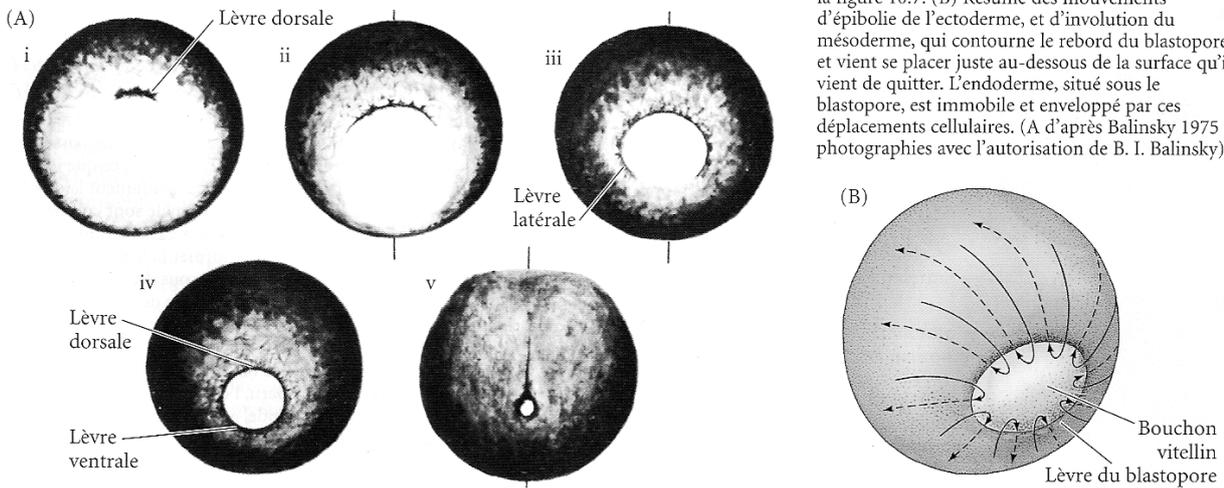
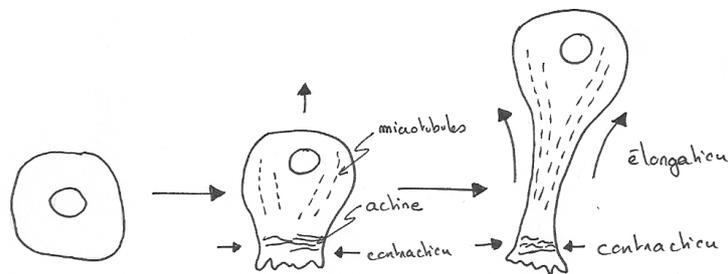
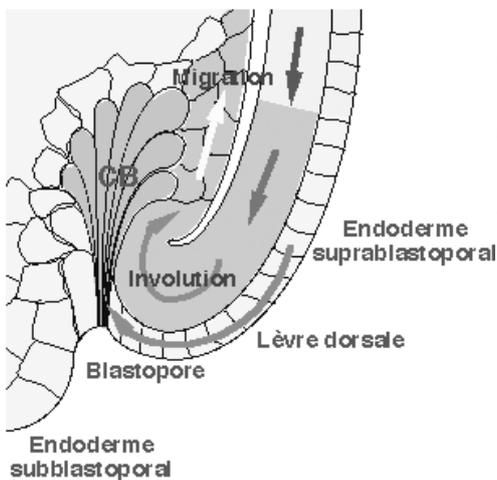
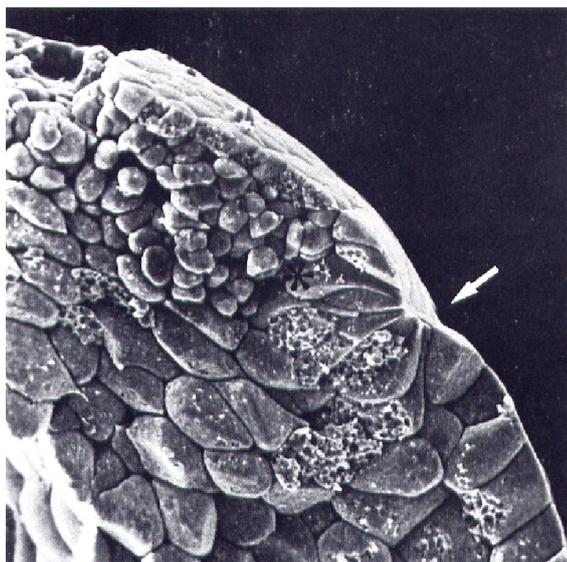


Figure 18 a : Les cellules en bouteilles



Formation de l'encoche blastoporale grâce aux cellules en bouteilles

Figure 18 b : Les cellules en bouteilles observées au MEB
in Atlas d'embryologie des Vertébrés , De Vos et Gansen, Masson 1980



Gastrula fracturée au niveau de blastopore (flèche) au début de sa formation (x 160)

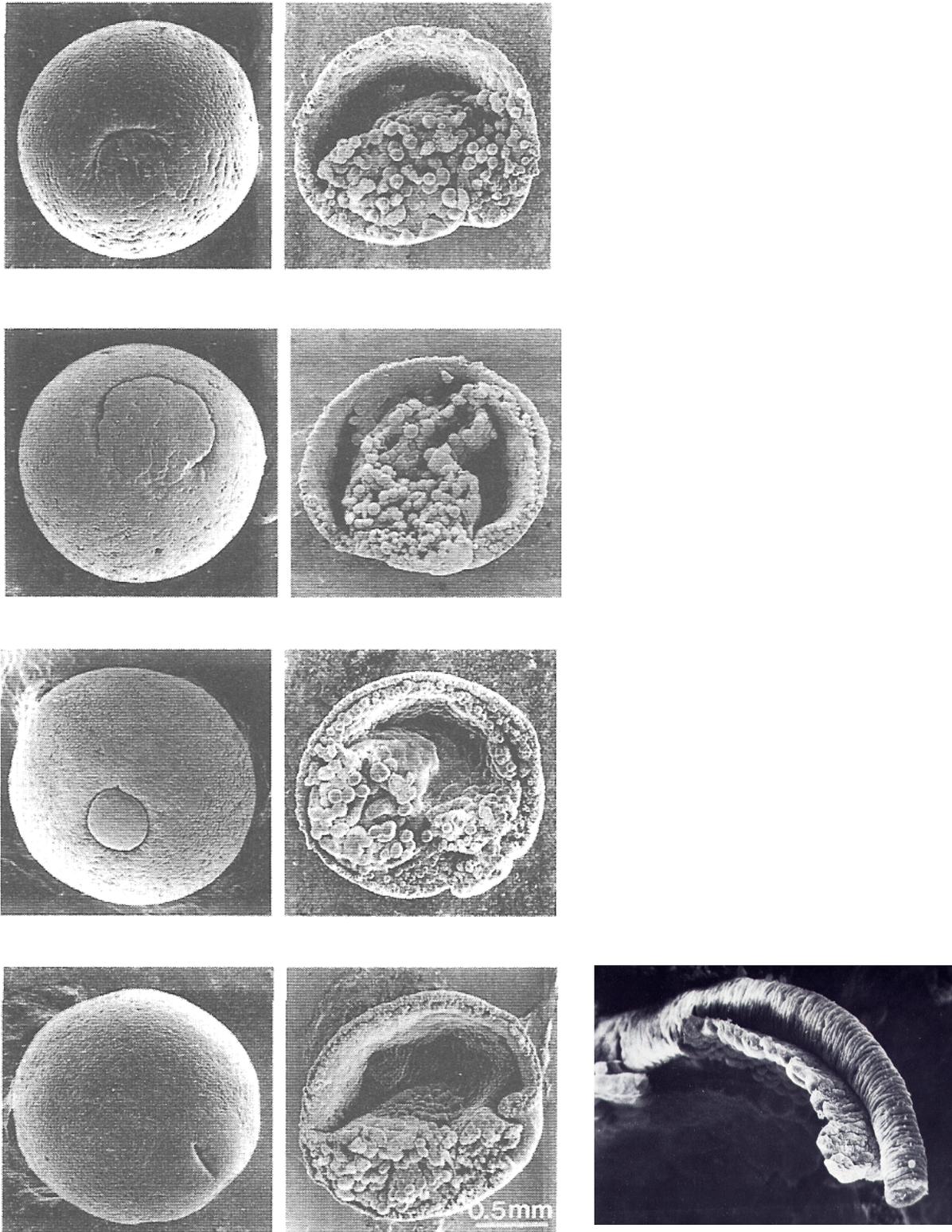


Gastrula fracturée au niveau de blastopore (flèche) au stade en encoche (x 160)



Détail du cliché précédent (x 320)

Figure 19 : La gastrulation en coupes (in Darribère, Belin, 2002)



Chorde observée sur le toit de l'archentéron (x300)

Figure 20.a : Division et intercalation de cellules au cours de l'épibolie

(in Gilbert, De Boeck, 2004)

L'épibolie de l'ectoderme résulte de divisions et d'intercalations cellulaires. (A, B) Les divisions cellulaires dans l'ectoderme présomptif, mises en évidence par un marqueur de la mitose, l'histone 3 phosphorylée (les noyaux apparaissent en noir). Dans les gastrulas jeunes (A : stade 10,5) la plupart des mitoses se voient dans le futur ectoderme de la moitié animale. À un stade plus avancé (B : stade 12), on peut les observer dans tout l'ectoderme (noter au passage l'absence de mitoses dans le mésoderme dorsal). (C) Le toit du blastocèle d'un embryon de xénope : micrographie électronique à balayage. Noter les changements affectant la forme et la position des cellules. Les stades 8 et 9 sont des blastulas ; les stades 10 à 11,5 des gastrulas de plus en plus âgées. (A, B d'après Saka et Smith 2001, photographies avec l'autorisation des auteurs ; C d'après Keller 1980, photographies avec l'autorisation de R. E. Keller).

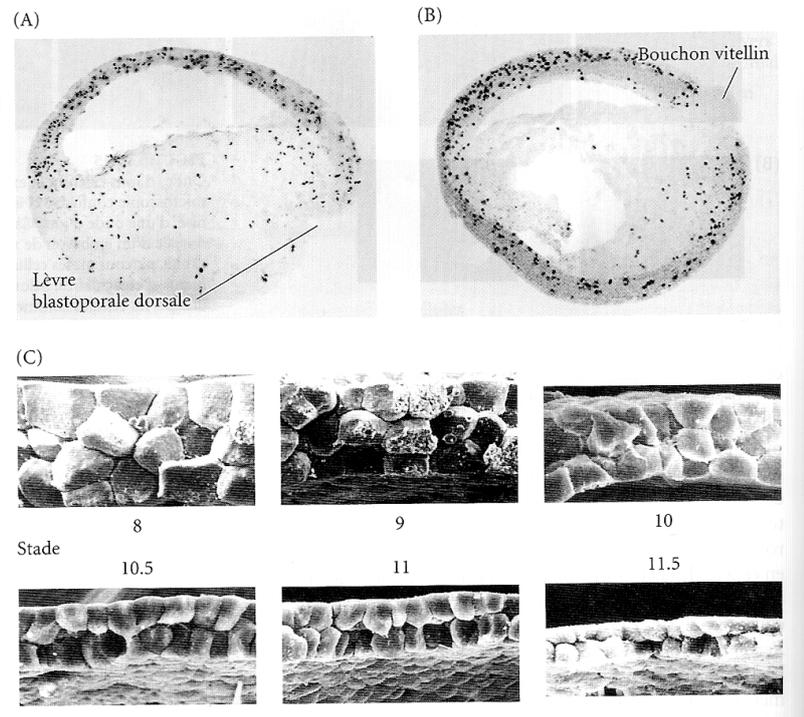
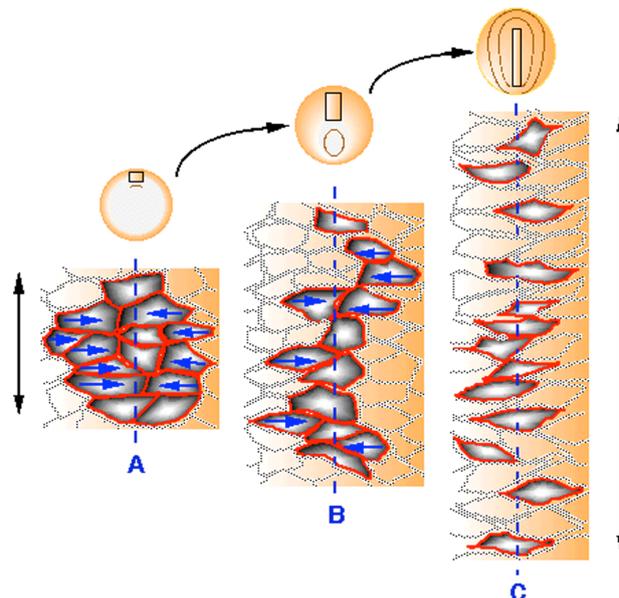


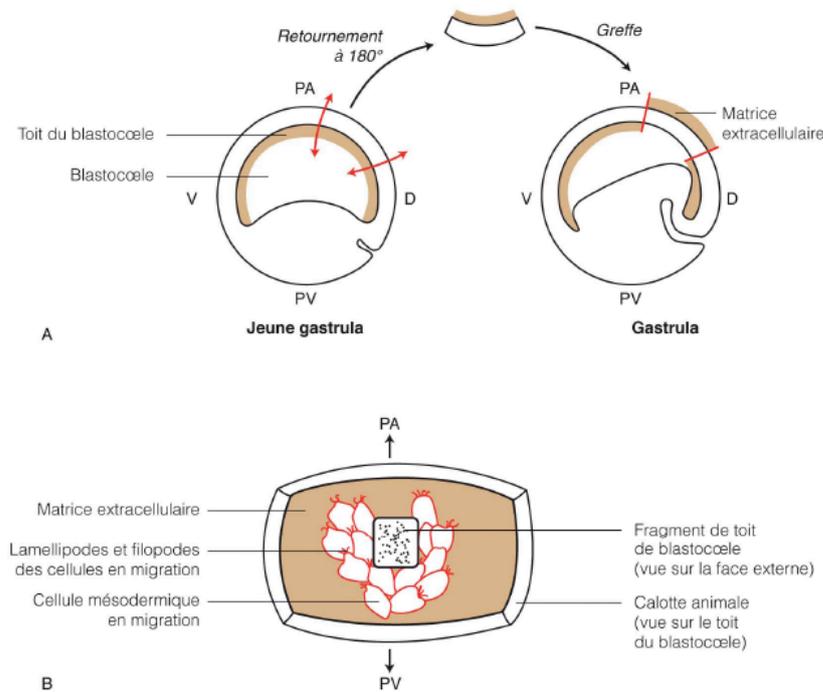
Figure 20.b : extension et convergence au niveau du mésoderme de la corde



Représentation schématique des mouvements de convergence-extension dans la zone marginale dorsale. Un groupe de 13 cellules parmi l'ensemble des cellules du territoire dorsal (grisé) est suivi depuis le début de la gastrulation jusqu'au début de la neurulation (A à C). Le plan médian est représenté par la ligne bleue discontinue. Au stade jeune gastrula, les cellules forment un amas cohésif (A). Les cellules les plus latérales de ce groupe deviennent bipolaires et se dirigent vers le plan médian. Elles sont convergentes (flèches bleues). Au cours de la gastrulation, ces mêmes cellules s'intercalent avec leurs voisines et au stade gastrula âgée la forme du groupe de cellules a changé. Il s'est allongé le long du plan médian (B). Au début du stade neurula, le phénomène s'est considérablement accentué. Les cellules se sont espacées et alignées le long du plan médian (C). Le groupe de cellules initial a donc subi une extension antéropostérieure (doubles flèches noires) (D'après Shih et Keller, 1992). (www.snv.jussieu.fr/bmedia/)

Figure 22 : Mise en évidence du rôle de la matrice extracellulaire dans la migration des cellules mésodermiques

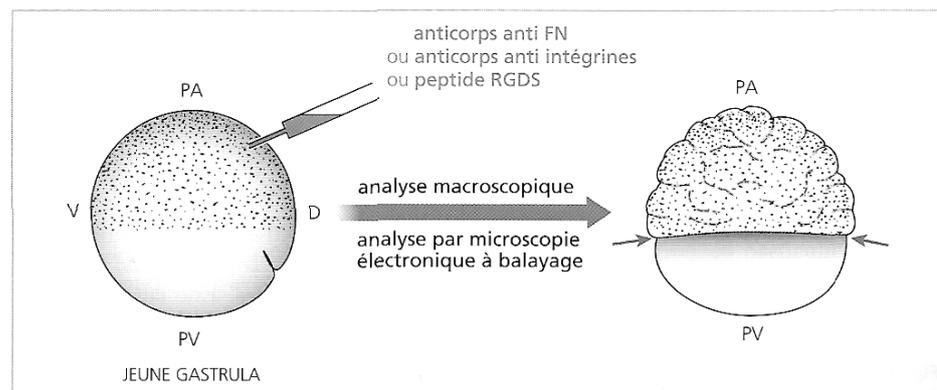
(in Segarra et al., Ellipses)



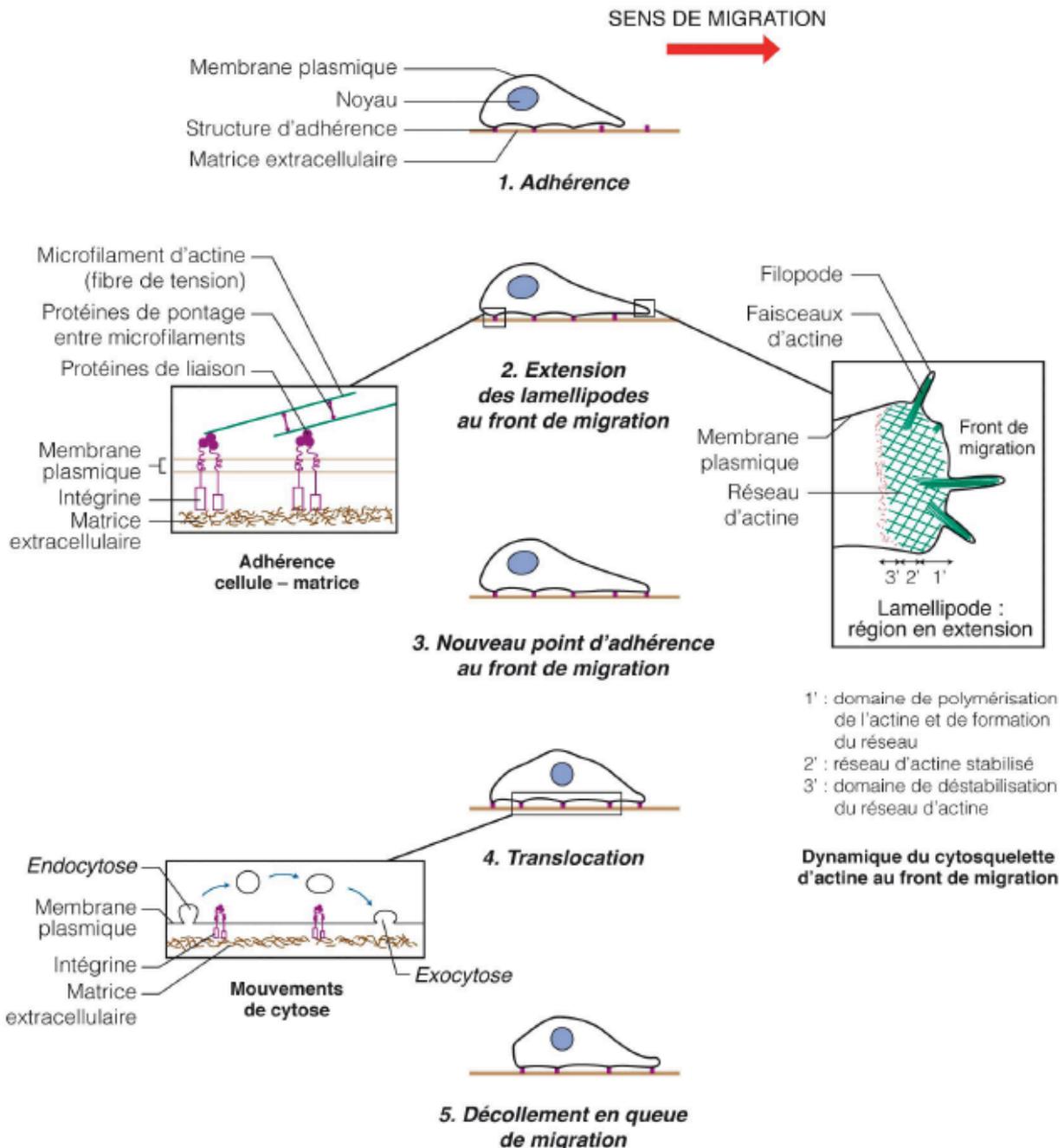
(A) Protocole de l'expérience. Les expériences ont été réalisées sur des embryons d'amphibiens urodèles.

(B) Schéma d'après les observations réalisées en microscopie électronique à balayage (d'après Boucaut, J.C. *et al.*, 1984). Les cellules en migration sont observées sur le toit du blastocœle donc sur la face interne de la calotte animale. On constate qu'aucune cellule ne migre sur le fragment retourné de toit du blastocœle.

Expérience *in vitro* :



Mise en évidence du rôle de la fibronectine et de son récepteur l'intégrine $\alpha_5\beta_1$. Les anticorps dirigés contre la fibronectine (FN) ou l'intégrine ($\alpha_5\beta_1$) ou des peptides tels que RGDS sont injectés dans le blastocœle d'une jeune gastrula. Les résultats montrent un blastopore circulaire sous-équatorial (flèche), un hémisphère végétatif non pigmenté, non invaginé et un hémisphère animal plissé. La dissection des embryons obtenus révèle que les cellules du mésoderme ne migrent pas sur le toit du blastocœle. Les anticorps perturbent, par encombrement stérique, l'interaction entre les cellules du mésoderme et la fibronectine de la matrice. Les peptides perturbent, par compétition, la reconnaissance de la fibronectine par son récepteur (l'intégrine $\alpha_5\beta_1$) présent à la surface des cellules du mésoderme. La migration des cellules n'a donc pas lieu en absence de liaison fibronectine-cellule. Les replis de l'hémisphère animal résultent de l'absence de migration des cellules alors que l'épibolie se réalise normalement. [D'après Boucaut et coll., 1984; Darrivière et coll., 1988.]

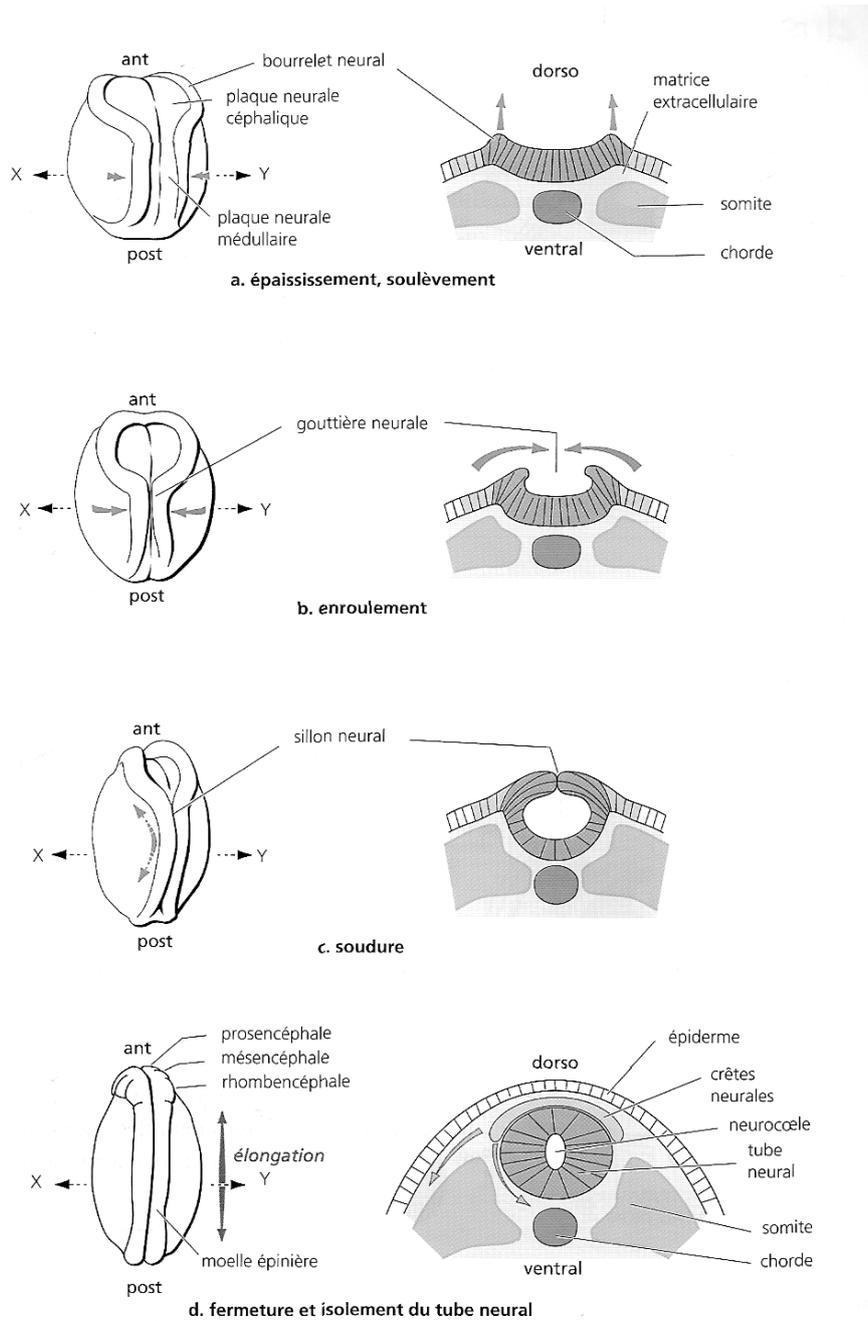


Les cellules migratoires sont **polarisées**. En position antérieure, elles étendent des **lamellipodes** (membrane plasmique étalée sur le substrat) prolongées par de très fins filaments cytoplasmiques, des **filopodes**. Ces structures membranaires **sont riches en microfilaments d'actine** réalisant des réseaux, pour les lamellipodes, ou des faisceaux pour les filopodes. Le **cytosquelette est en interaction avec la matrice extracellulaire** du toit du blastocoele par l'intermédiaire de protéines transmembranaires, les **intégrines**.

La progression des cellules en migration nécessite la **modification séquentielle des points d'ancrage au front de migration et à l'arrière de la cellule** :

- Extension des lamellipodes et des filopodes au niveau du front de migration ; - Formation de nouveaux points d'adhérence dans la zone d'extension ;
- Dépolymérisation des microfilaments au niveau du noyau et translocation du noyau et du cytoplasme vers l'avant de la cellule ;
- Flux net de membrane plasmique vers l'avant de la cellule, par l'intermédiaire de mouvements de cytose (endocytose à l'arrière / exocytose à l'avant) ;
- Perte d'adhérence à l'arrière de la cellule et décollement de la membrane plasmique.

Figure 23 : Déroulement de la neurulation (in Darribère, Belin, 2002)



Représentation schématique des différentes étapes de la neurulation. À gauche, vues externes dor- A droite, coupes transversales au niveau de l'axe XY (l'endoderme n'est pas figuré).

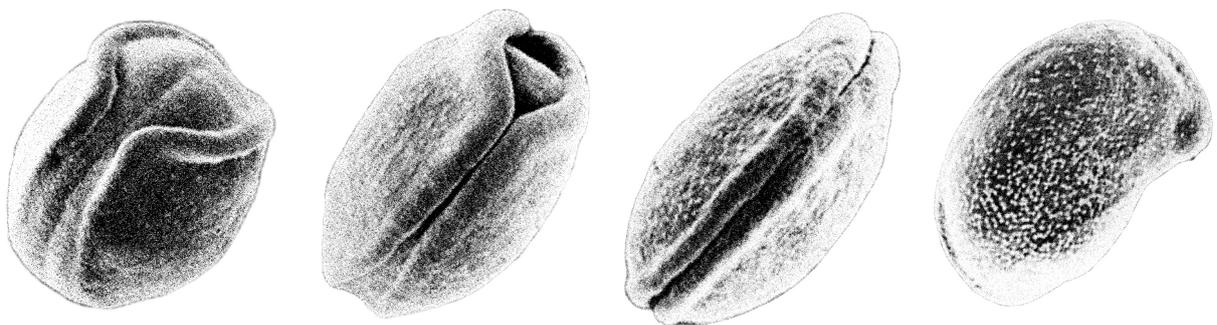
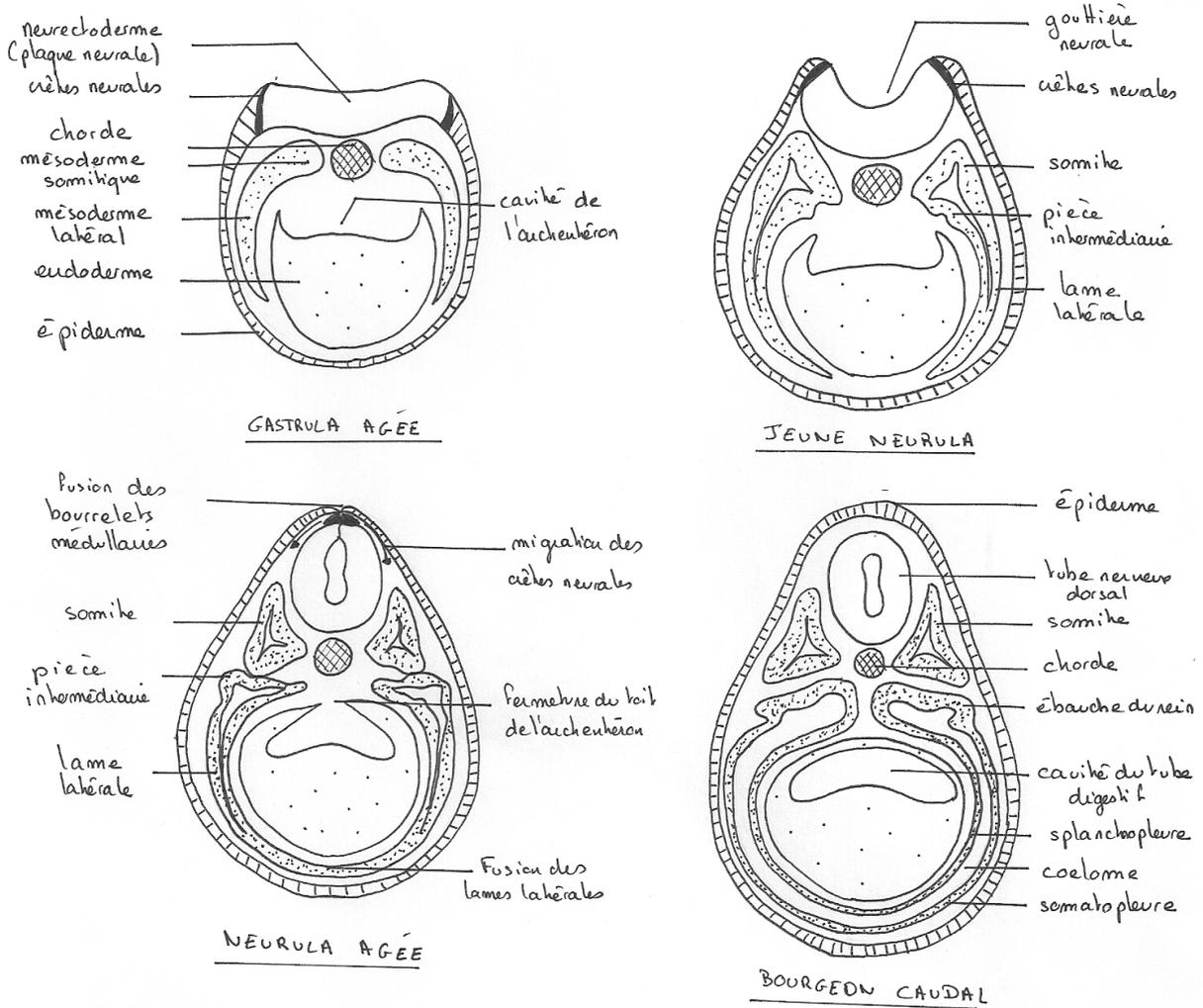
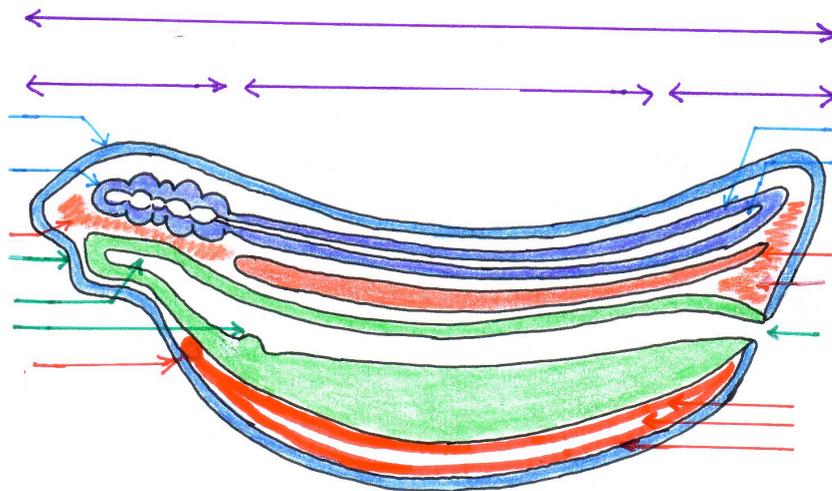


Figure 24 : représentation de la neurulation en coupes transversales à colorier!!!



Coupes transversales dans la région caudale



Bourgeon caudal en coupe sagittale à titre de doc

Figure 25 : formation du tube neural, observation au MEB : à légender

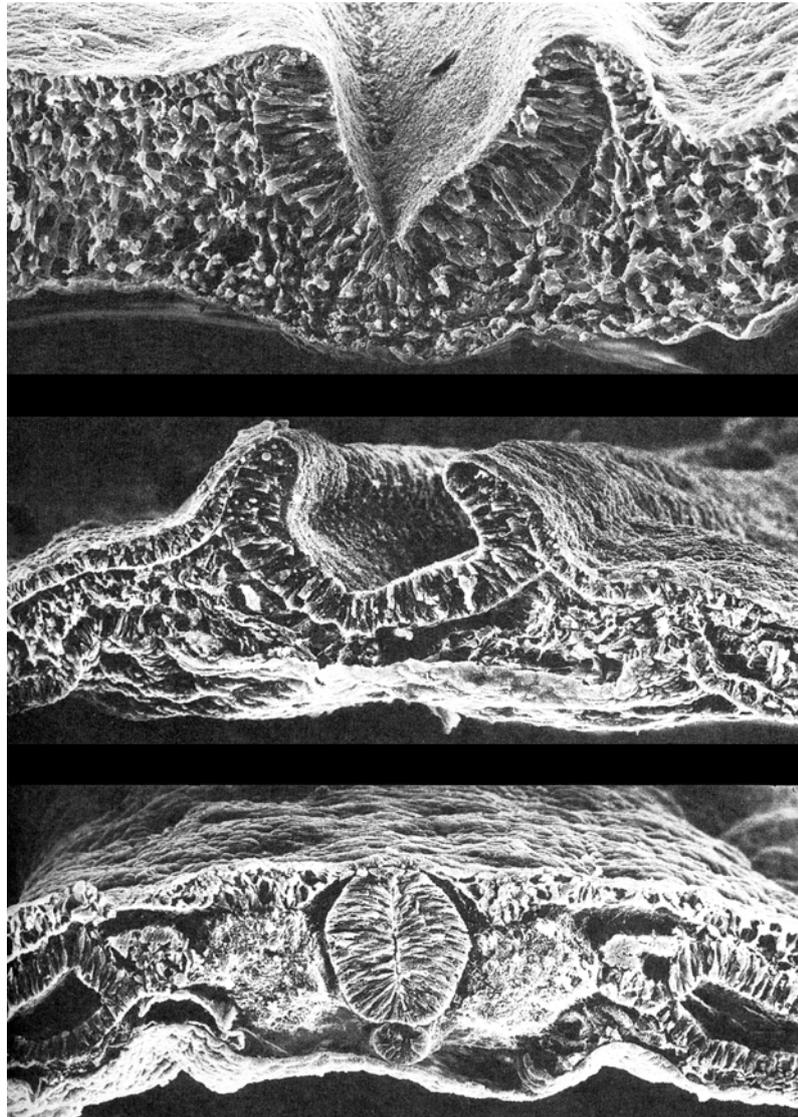


Figure 26 : Expérience de Townes et Holtfreter (1955)

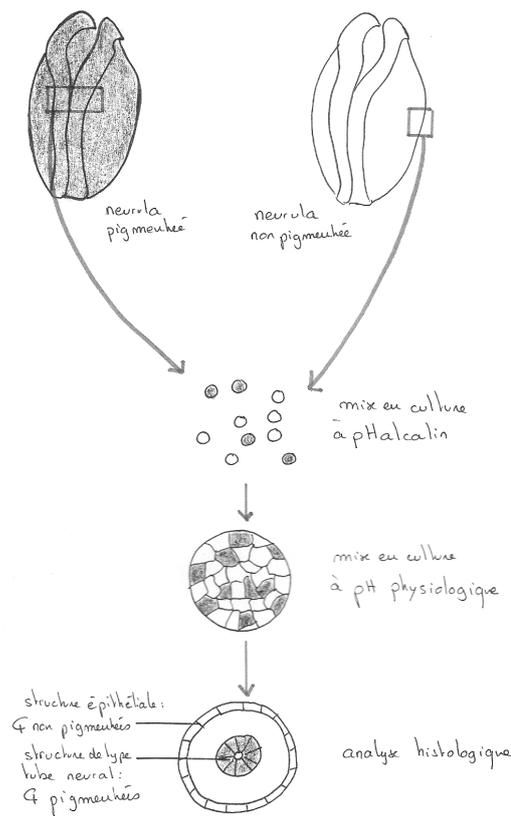
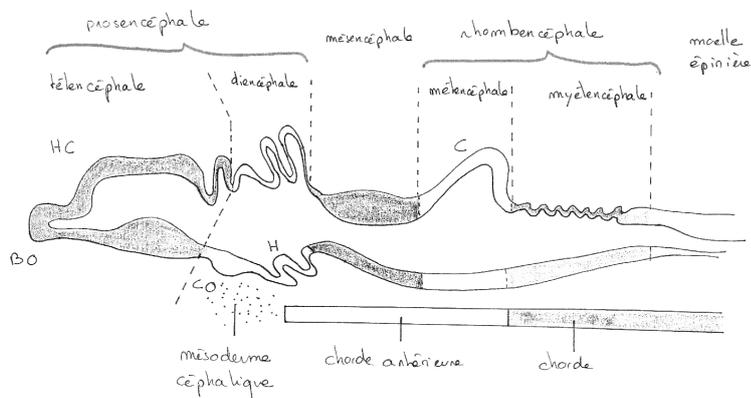
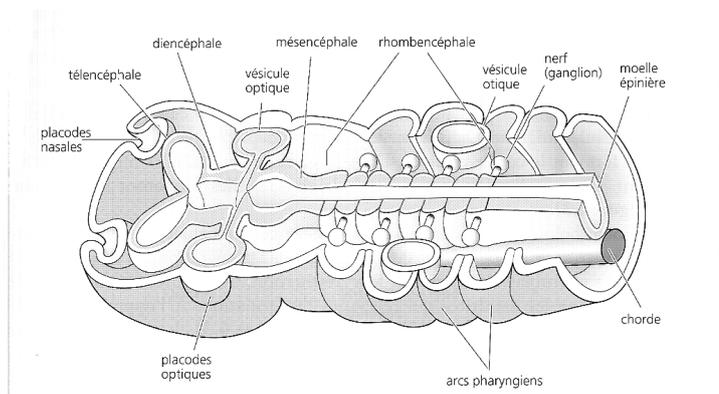


Figure 27 : organisation du tube neural d'un Amphibien



BO : bulbe olfactif
 HC : hémisphères cérébraux
 CO : chiasma optique
 H : hypophyse
 C : cervelet



Représentations schématiques de l'organisation antéro-postérieure du tube neural des amphibiens: Coupe longitudinale

Figure 28 : Devenir des crêtes neurales (in Darribère Belin, 2002)

| Exemples de quelques dérivés des crêtes neurales. | | |
|---|------------------------------|--|
| Origine des cellules | Dérivés | Structure ou type cellulaire |
| Crêtes neurales céphaliques | Ectomésenchyme | Neurocrâne, cartilage et os du squelette facial |
| | Tissu conjonctif | Derme, tissu conjonctif et muscles lisses des artères |
| | Cellules pigmentaires | Mélanocytes épidermiques et de l'iris |
| | Système nerveux périphérique | Neurones, ganglions sensoriels, ganglions sympathiques et parasympathiques, cellules gliales |
| Crêtes neurales troncales | Ectomésenchyme | Squelette de la nageoire dorsale de la larve |
| | Cellules pigmentaires | Mélanocytes épidermiques et des tissus conjonctifs |
| | Système nerveux périphérique | Neurones, ganglions sensoriels, ganglions sympathiques et parasympathiques, cellules gliales |
| | Endocrine | Médullo-surrénale |

Figure 29 : Bilan : devenir des 3 feuillets

| Feuillet | | structures pendant l'organogenèse | Structures dans le plan d'organisation adulte |
|------------------|-----------------------|--|--|
| ectoderme | ectoderme neural | vésicules céphaliques (tube neural antérieur) | encéphale |
| | | tube neural postérieur | moelle épinière |
| crêtes neurales | | ganglions et nerfs du système nerveux autonome, ganglions et nerfs rachidiens, mélanocytes etc | |
| | ectoderme épidermique | | épiderme structures sensorielles (ex. : cristallin) |
| mésoderme | chorde | chorde | <i>(la chorde disparaît lors de la métamorphose de la larve)</i> |
| | somites | sclérotome | squelette axial |
| | | myotome | muscles striés axiaux |
| | | dermatome | derme |
| | pièces intermédiaires | blastème rénal (formant le pronéphros) | reins (mésonephros) |
| | | ébauche des gonades | gonades |
| | lames latérales | splanchnopleure | muscles lisses |
| | | | myocarde, endocarde |
| | | | endothélium des vaisseaux sanguins |
| | | | cellules sanguines |
| somatopleure | | péricarde squelette des membres muscles des membres | |
| endoderme | | | épithélium du tube digestif |
| | | | foie, pancréas |
| | | | épithélium pulmonaire |
| | | | thyroïde |