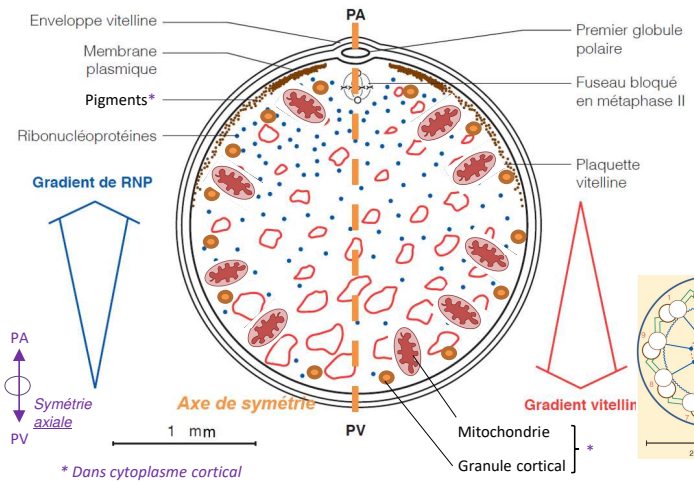
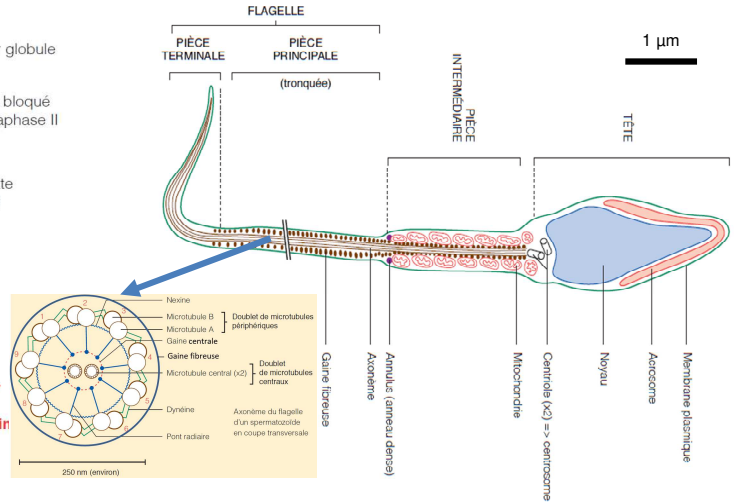
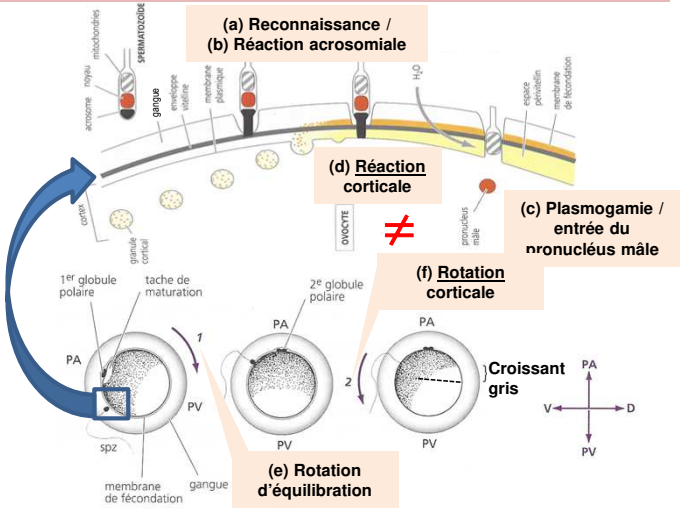
LES GAMÈTES ET LA FÉCONDATION







(A) L'ovocyte

- Cellule **polarisée** : **pôle animal** / **pôle végétatif** ; symétrie **radiaire**
- Grosse cellule (**1,5-2 mm**) enserrée dans une **gangue**
- **Ovocyte II** bloqué en **métaphase II**
- **Réserves** (protéine et lipoprotéines) = **vitellus** (**gradient vitellin**)
- **ARN** et **protéines** (**gradient ribonucléoprotéique**) ; inclut les **déterminants cytoplasmiques**
- * Cortex : **granules corticaux**, **mitochondries**, **pigments** au pôle animal

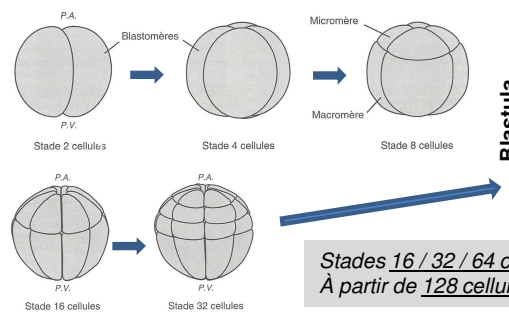
(B) Le spermatozoïde [avec relations structure-fonction]

- **Récepteurs** membranaires à la zone pellucide → **reconnaissance** de l'ovocyte
- **Noyau** avec **IG très condensée** → apport d'un **génome haploïde**
- **Acrosome** avec **enzymes hydrolytiques** → **hydrolyse** de la **zone pellucide** lors de la fécondation
- **Pièce intermédiaire** avec **mitochondries** → production d'**ATP**
- **Axonème** dans **pièce intermédiaire** et **flagelle** → **motilité**

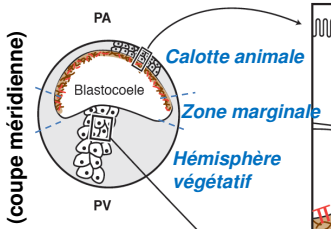
(C) Les événements de la fécondation

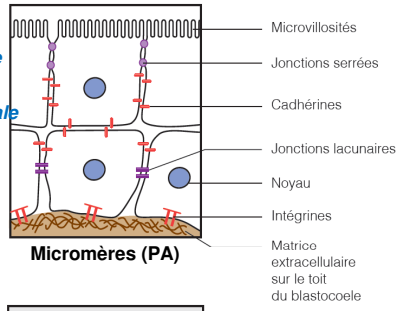
(a) **Reconnaissance spermatozoïde** // **enveloppes protectrices**
(b) **Réaction acrosomiale** → digestion des **enveloppes**
(c) **Plasmogamie** ; entrée du **pronucléus mâle**
Puis, plus tard, **caryogamie** [+ émission du **2e GP**]
(d) **Réaction corticale**
→ formation de la **membrane de fécondation**
⇒ blocage de la ~~**polyspermie**~~
⇒ **espace périvitellin**
⇒ (e) **rotation d'équilibration** (PA vers le haut)
(f) **Rotation corticale** (1-2 h après) → **croissant gris** = **pôle dorsal**
→ Axe dorso-ventral
+ Plan de symétrie bilatérale

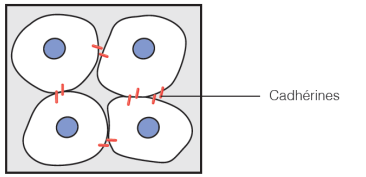
LE DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE : UNE MISE EN PLACE PROGRESSIVE DU PLAN D'ORGANISATION (1/2)



Stades 16 / 32 / 64 cellules : ***morula***
À partir de 128 cellules : ***blastula***



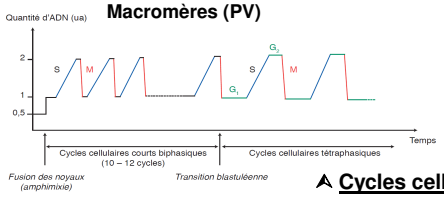




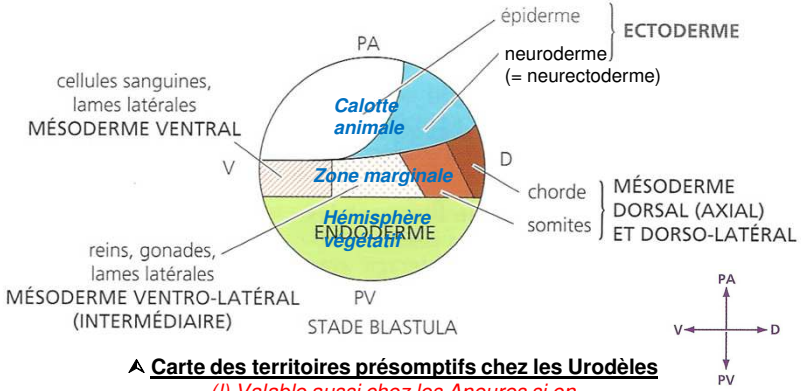
(A) Le clivage = la segmentation

→ Pluricellularité

- Nombreuses **mitoses** ; creusement d'un **blastocœle**
- **Divisions inégales** à partir de la **3e mitose** (stade 4 > stade 8)
  → **micromères** (PA) et **macromères** (PV)
- **Ovocyte II** bloqué en **métaphase II**
- 10-12 cycles : **cycles diphasiques** (phases S, M)
  puis **transition blastuléenne** : **cycles tétraphasiques** (G1, S, G2, M)
- Obtention d'une **blastula** (plus de **10 000 cellules**)
  (!) **Jonctions d'ancrage**
  + **Jonctions serrées** + **gap** au pôle animal
  + **MEC** sur le toit du **blastocœle**
  (!) Cellules **déterminées** → **carte des territoires présomptifs**



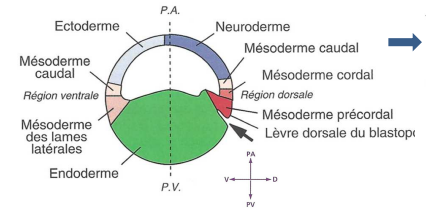
Cycles cellulaires



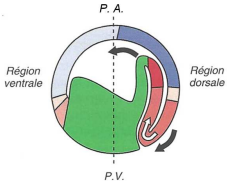
Carte des territoires présomptifs chez les Urodèles
(!) Valable aussi chez les Anoures si on excepte la couche superficielle de cellules

CPGE TB V. Labbé. SVT Chapitre 17.
Le développement embryonnaire animal centré sur l'exemple des Amphibiens (1/3).
Schéma de synthèse. © T. JEAN (janvier 2020)
Figures : SEGARRA *et al.* (2015), PEYCRU *et al.* (2013, 2019), SAINTPIERRE *et al.* (2017), DARRIBÈRE (2002), FRANQUINET & FOUCRIER (2003).

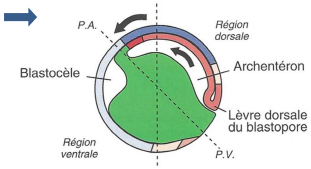
LE DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE : UNE MISE EN PLACE PROGRESSIVE DU PLAN D'ORGANISATION (2/2)

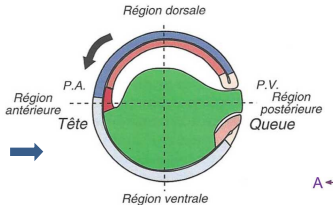


Stade '<u>encoche blastoporale</u>'



Stade '<u>fer à cheval</u>' début et fin



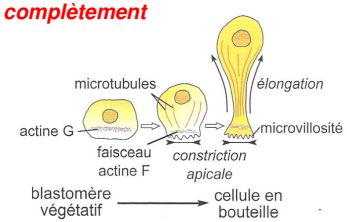


Stade '<u>bouchon vitellin</u>'

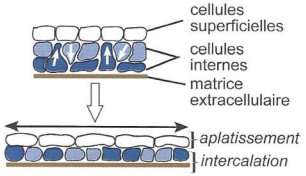
***PUIS* '<u>fente blastoporale</u>' jusqu'à oblitération transitoire du blastopore**

<u>Déroulement chez les Urodèles (Pleurodèle) en CS (coupes sagittales)</u>

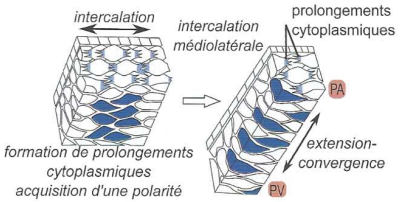
(!) Chez les Anoures, l'archentéron est d'emblée fermé complètement



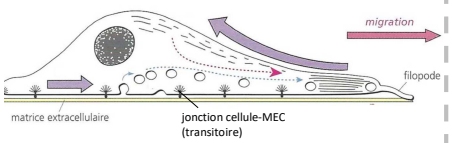
<u>Cellules en bouteille</u>
→ Formation du blastopore



<u>Intercalations radiales</u>
→ Épibolie (recouvrement externe par l'ectoderme)



<u>Intercalations médio-latérales</u>
→ Extension-convergence (poussée du mésoderme vers le blastopore)



<u>Cellules mésodermiques migrantes</u>
→ Migrations des cellules sur le toit du blastocœle

Involution, invagination puis migration du mésoderme (endoderme emporté)

(B) La gastrulation

- Formation du **blastopore** (en position **dorsale**) [← ***cellules en bouteille*** *pour l'initiation*]
  → Deutérostomie provisoire <u>car</u> **oblitération transitoire** du **blastopore** en fin de gastrulation
- **Mouvements morphogénétiques** :
  * **<u>Épibolie</u>** [← ***intercalations radiales*** *de cellules*]
  * **<u>Extension-convergence</u>** [← ***intercalations médio-latérales*** *de cellules*]
  * **<u>Involution</u>** et **<u>embolie</u>** [← ***cellules mésodermiques*** *migrant sur* ***MEC*** *du* ***toit*** *du* ***blastocœle***]
    → Emboîtement final de **trois feuillets embryonnaires** = ***Triploblastie***
- **Rotation** de **l'embryon** ***→ Axe antéropostérieur***

QUELQUES MÉCANISMES CELLULAIRES

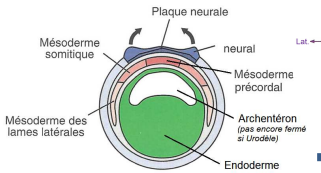
(C) L'organogenèse au sens large

(C1) La neurulation

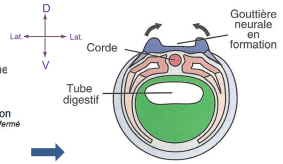
Au niveau <u>ectodermique</u> :
- Mise en place du **tube nerveux dorsal** ***→ Épineurie***
- Formation de **crêtes neurales**
- Début de **céphalisation** et mise en place des **placodes hypophysaires**

Au niveau <u>endodermique</u> :
- Réouverture (définitive) de l'**anus**
  → Deutérostomie (confirmée)
- <u>Urodèles</u> : **fermeture** dorsale de l'**archentéron**

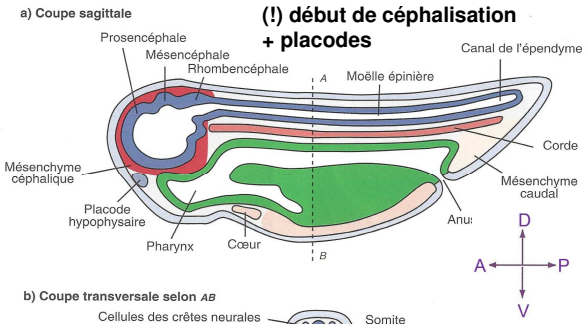
Au niveau <u>mésodermique</u> :
- Formation de la **chorde** ***→ Chordé***
- Formation et individualisation des **somites** ***→ Métamérie***
- Individualisation des **pièces intermédiaires**
- Formation du **cœlome** (limité par un **péritoine** : **somatopleure** + **splanchnopleure**) ***→ Cœlomate***
- Formation de **mésenchymes variés** et d'une **ébauche cardiaque**



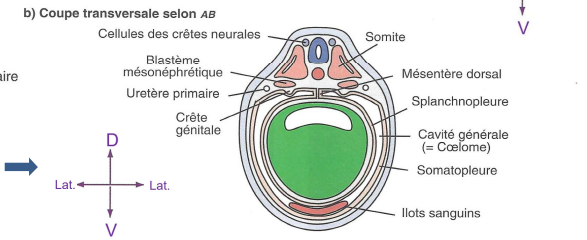
(1) Stade '<u>plaque neurale</u>' (plaque neurale + bourrelets neuraux)



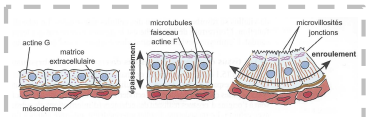
(2) Stade '<u>gouttière neurale</u>'



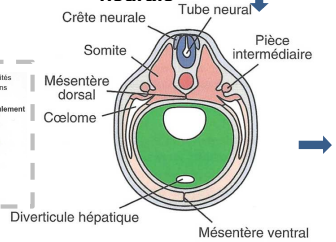
(!) début de céphalisation + placodes



UN MÉCANISME CELLULAIRE



Formation de la gouttière neura



<u>Formation du tube nerveux en CT</u>

(3) Stade '<u>tube neural</u>' (enfouissement du TN + formation des crêtes neurales)

(4) <u>Stade 'bourgeon caudal'</u> <u>(= fin de neurulation / début d'organogenèse s.str.)</u>

(C2) L'organogenèse au sens strict *(… puis le DPE = développement post-embryonnaire : développement larvaire + croissance du juvénile en adulte)*

FEUILLET	STRUCTURE PRECOCE	STRUCTURE PDT L'ORGANOGENÈSE s.l.	STRUCTURE CHEZ L'ADULTE
ECTODERME	Ectoderme	Tube neural	Encéphale, moelle épinière
		Crêtes neurales	Ganglions et nerfs rachidiens
	Épiderme		Épiderme
MÉSODERME	Chorde	Chorde	*Disparition lors de la métamorphose*
	Somites	Sclérotome	Squelette axial (os)
		Myotome	Muscles striés axiaux
		Dermatome	Derme
	Pièces intermédiaires	Blastèmes rénaux	Reins
		Crêtes gonadiques	Gonades
	Lames latérales	Cœlome	Essentiel de la cavité générale
		Splanchnopleure	Muscles lisses, myocarde, endothélium des vaisseaux, cellules sanguines
		Somatopleure	Péricarde, squelette appendiculaire (os des membres), muscles des membres
ENDODERME			Tube digestif Foie, pancréas Épithélium pulmonaire Thyroïde

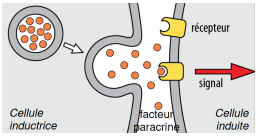
CPGE TB V. Labbé. SVT Chapitre 17.
<u>Le développement embryonnaire animal centré sur l'exemple des Amphibiens (2/3).</u>
Schéma de synthèse. © T. JEAN (janvier 2020)

UN DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE SOUS CONTRÔLE

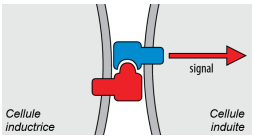
(A) Les modalités globales de l'induction

(a) Des communications intercellulaires

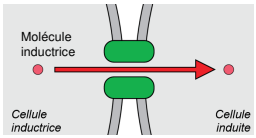
- **Paracrinie** : ***communication par diffusion d'un facteur à courte distance*** (inclut les **morphogènes** qui agissent par **gradient** et **effet de seuil**)
- **Juxtacrinie** : ***communication entre cellules adjacentes***
  * Par **jonctions *gap***
  * Par **jonctions transitoires** (sélectines…) [reconnaissance intercellulaire]



⮝ **Paracrinie**



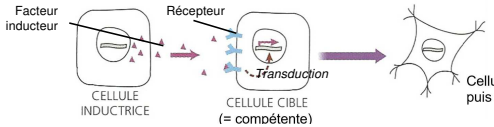
⮝ **Juxtacrinie 1 (adhérence provisoire → reconnaissance entre cellules)**



⮝ **Juxtacrinie 2 (jonctions *gap*)**

(b) Le principe

- **Cellule inductrice** : ***produit un facteur inducteur***
- **Cellule compétente** : ***capable de répondre à un facteur inducteur***
- **Cellule induite** : ***répond à un facteur inducteur***



⮜ **Principe de l'induction**

(c) La compétence est contrôlée par…

- La présence de **récepteurs à l'inducteur**
- La présence d'une **chaîne de transduction fonctionnelle** du signal
- L'**accessibilité** chromatinienne des **gènes** à activer

(d) Une activation des gènes permise par la production ou l'activation de facteurs spécifiques de transcription

(e) Une activation en cascade : *l'activation d'une cellule entraîne une réponse et la production d'inducteurs qui induisent une autre cellule, etc.*

Gène du développement = ***gène impliqué dans la construction du plan d'organisation d'un organisme adulte (particulièrement lors du développement embryonnaire) mais dont l'expression cesse une fois les structures mises en place.***

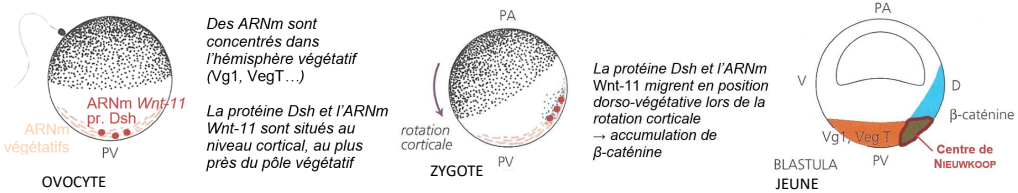
- **Gènes de polarité** : ***gènes contrôlant la mise en place des axes de polarité chez le jeune embryon.*** (!) Exprimés après la **fécondation** ou lors de la **segmentation**. Ex. gènes *FGF*, *Nodal*…
- **Gènes à effet maternel** : ***gènes, le plus souvent de polarité, exprimés lors de l'ovogenèse (souvent diplotène de l'ovocyte I) agissant sur le début du DE.*** Ex. gènes *Vg1*, *Dsh* (*Dishelleved*)…
- **Gènes homéotiques = gènes architectes** : ***gène dont l'expression détermine le positionnement, dans l'organisme en cours d'édification, d'un organe ou d'un ensemble d'organes.*** Ex. gènes *Hox*, *Pax*…

  *Le terme « **homéotique** » vient du fait que, si un **tel gène** est **muté**, il induit une **homéosis** (= **homéose**), c'est-à-dire la **mise en place d'un organe ou d'une structure à un endroit inadéquat de l'organisme**.*

> **Homéoboîte** = **boîte homéotique** : ***séquence génique codant un homéodomaine.***
  → **Homéogènes** = **gènes à homéoboîte** : ***gènes pourvus d'une homéoboîte.***
  (!) Tous **codent** des **facteurs spécifiques de transcription**.
> **Homéodomaine** : ***motif de fixation à l'ADN (type hélice-boucle-hélice) de 60 AA.***

Attention :
- *Tous les **gènes homéotiques** ne sont pas forcément des homéogènes et ne possèdent donc pas toujours une homéoboîte… même si c'est le cas de **l'immense majorité**.*
- *Tous les **homéogènes** ne sont pas des **gènes homéotiques***

(B) Induction embryonnaire précoce : exemple de la cascade d'induction du mésoderme

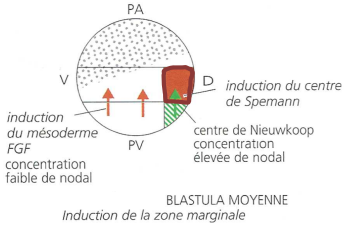


Des ARNm sont concentrés dans l'hémisphère végétatif (Vg1, VegT…)

La protéine Dsh et l'ARNm Wnt-11 sont situés au niveau cortical, au plus près du pôle végétatif

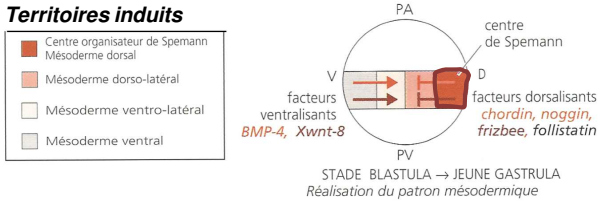
La protéine Dsh et l'ARNm Wnt-11 migrent en position dorso-végétative lors de la rotation corticale → accumulation de β-caténine

*Les **blastomères** où l'on trouve des facteurs de transcription **Vg1** et **VegT** et une accumulation de **bêta-caténine** constituent le **centre organisateur de NIEUWKOOP***



*Des **facteurs Nodal** s'accumulent dans le **centre de NIEUKOOP** → **induction** du **centre de SPEMANN** au-dessus (**mésoderme dorsal**)*

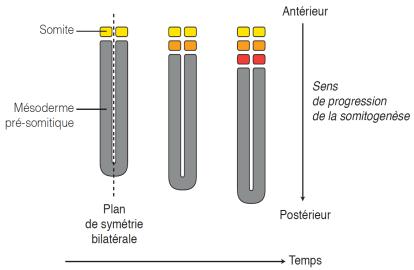
*Des **facteurs FGF** s'accumulent au côté **opposé** → induction au-dessus de **mésoderme dorsal***



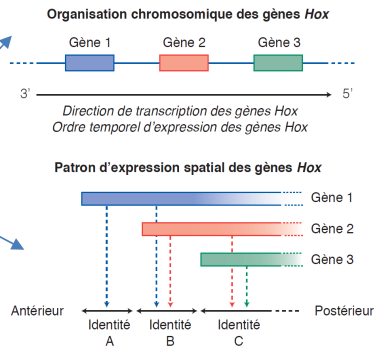
- *La **zone marginale** est induite en **mésoderme**.*
- *Des **morphogènes dorsalisants** sont produits par le **centre de Spemann** : Chordin, Noggin…*
- *Des **morphogènes ventralisants** sont produits par le **côté ventral** : BMP-4, Wwnt-8…*

❶❷❸❹❺❻❼❽❾

(C) La régionalisation par les gènes homéotiques : exemple des gènes *Hox* et des somites



⮝ **Principe de la somitisation**



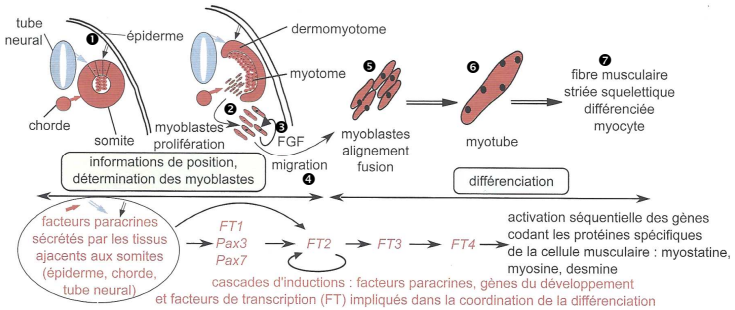
PRINCIPE DE COLINÉARITÉ

- **Position d'expression** le long de **l'axe antéropostérieur** + **Moment** d'expression

= **Position du gène** sur le **chromosome**

⮝ **Principe d'action des gènes Hox (4 *clusters* sur 4 chromosomes chez les Vertébrés)**

LA DIFFÉRENCIATION : EXEMPLE DE LA MYOGENÈSE (avec contrôle simplifié)



Détermination

1. **Induction** de la **territorialisation** des **somites** : des **précurseurs mésodermiques** deviennent des **myoblastes**.
2. **Délamination** des **myoblastes** à partir du **myotome**
3. **Prolifération** des **myoblastes**
4. **Migration** (par **déformation**) et poursuite des **divisions cellulaires** à l'emplacement du futur muscle

Différenciation au sens strict

5. **Cessation de la prolifération** et **alignement** (grâce à des **jonctions** provisoires) des **myoblastes**
6. **Fusion** des **myoblastes** en **myotube** avec production de **protéines muscle-spécifiques**
7. **Maturation** des **myotubes** en **myocytes striées** (apparition de **contractions spontanées**)

CPGE TB V. Labbé. SVT Chapitre 17.
Le développement embryonnaire animal centré sur l'exemple des Amphibiens (3/3).
Schéma de synthèse. © T. JEAN (janvier 2020)