



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

---

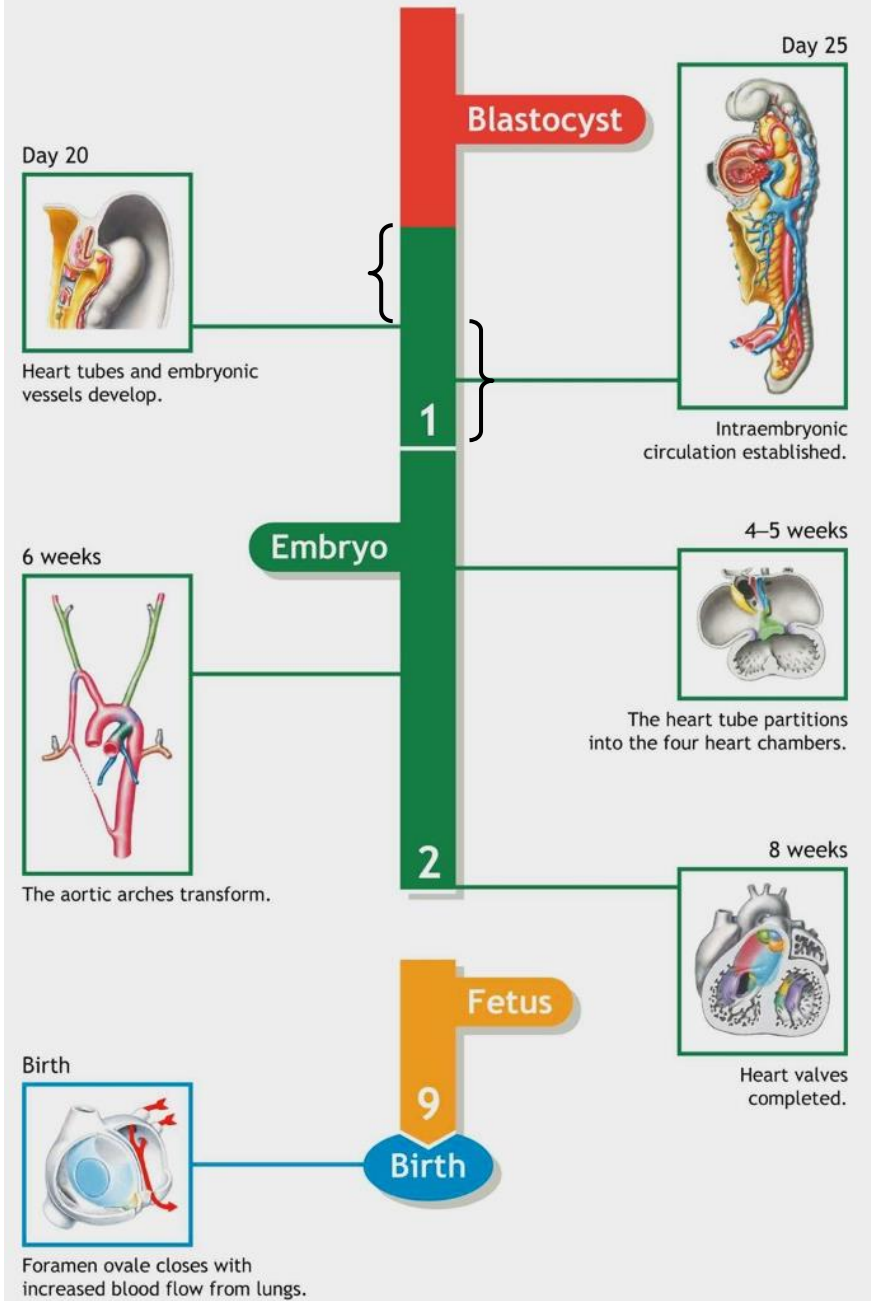
**FACULTÉ DE MÉDECINE**

Département de médecine génétique  
et développement

**Pedro L. Herrera**

# DEVELOPPEMENT DU SYSTEME CARDIO-VASCULAIRE

# Prenatal Time Scale (Months)



fin de la 3<sup>ème</sup> semaine:  
 - formation des tubes endocardiques (j. 19-20)  
 - fusion des tubes endocardiques (j. 21)

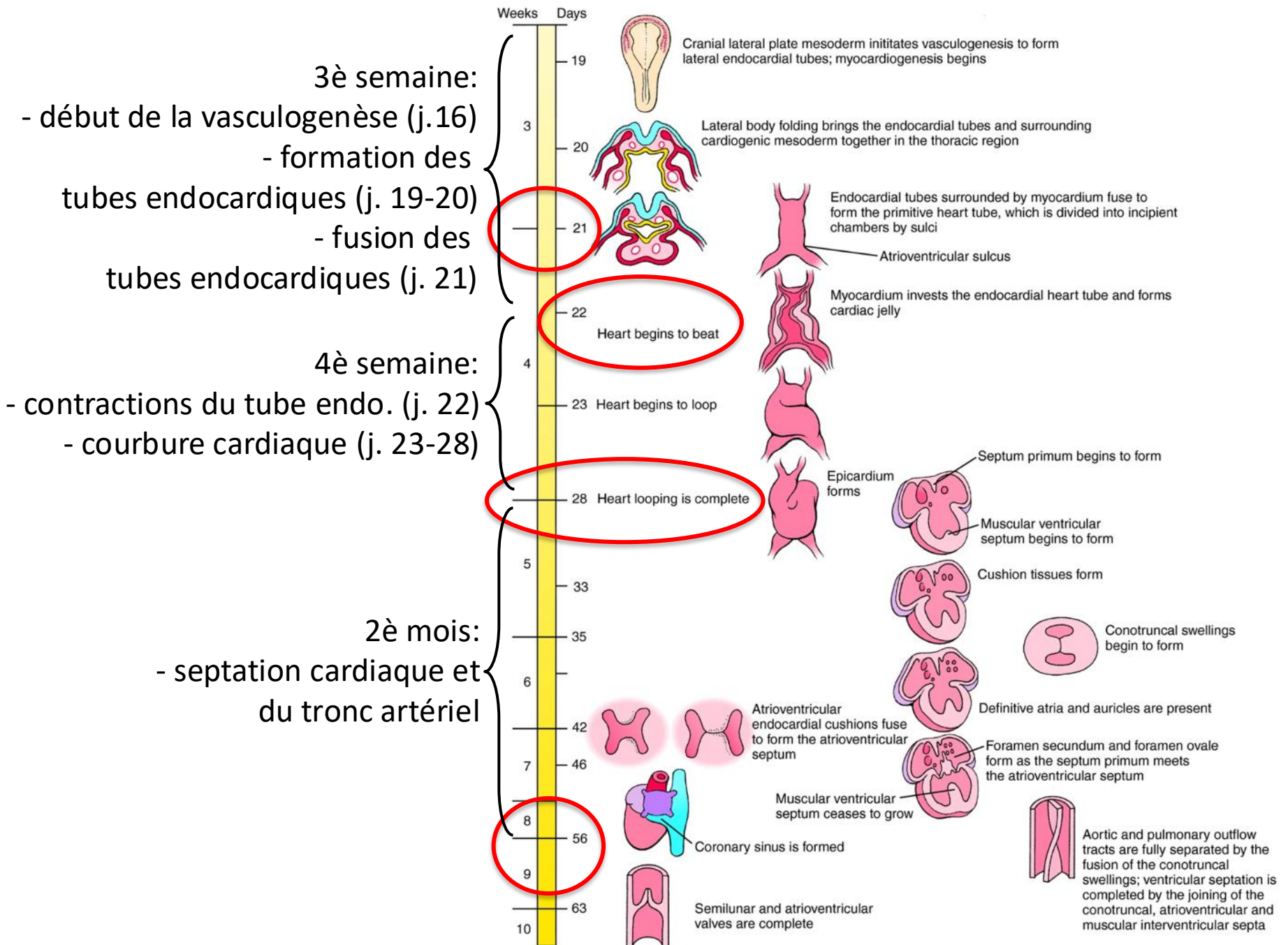
## 4<sup>ème</sup> semaine :

- Dès 22<sup>ème</sup> jour : contractions myogéniques péristaltiques  
 → circulation flux-reflux
- Dès fin 4<sup>ème</sup> semaine : contractions coordonnées  
 → circulation directionnelle (embryon ~4mm)

## 2<sup>ème</sup> mois :

formation des cavités cardiaques

la séparation des oreillettes est *fonctionnelle* dès la naissance



# LE SYSTEME CARDIO-VASCULAIRE SE DEVELOPPE A PARTIR DU:

- Mésoderme cardiogène
- Mésoderme latéral splanchnique

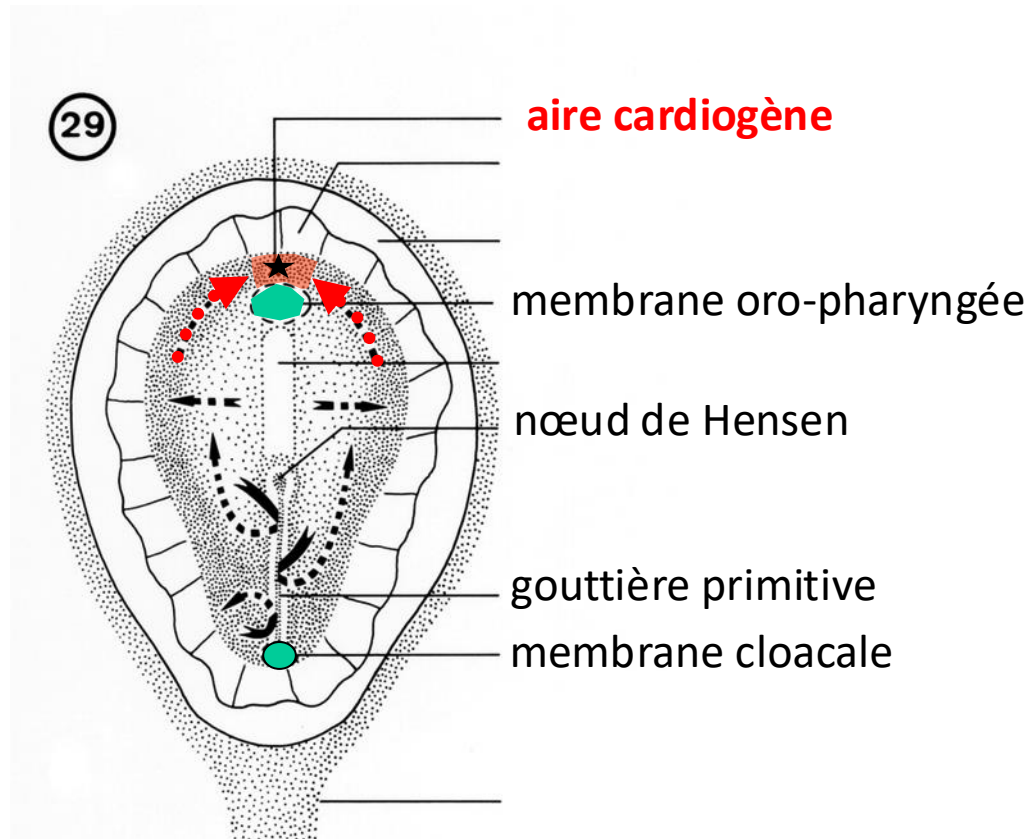
RAPPEL

# TROISIEME SEMAINE

## Développement du mésoderme intraembryonnaire

### a) **Mésoderme cardiogène**

- Cellules issues de la ligne primitive, se rejoignent en avant de la membrane oro-pharyngée  
→ aire cardiogène (où se développeront les tubes cardiaques)



# LE SYSTEME CARDIO-VASCULAIRE SE DEVELOPPE A PARTIR DU:

- Mésoderme cardiogène
- Mésoderme latéral splanchnique

- dès le 16<sup>ème</sup> jour dans le mésoderme intraembryonnaire.

mésoderme cardiogène

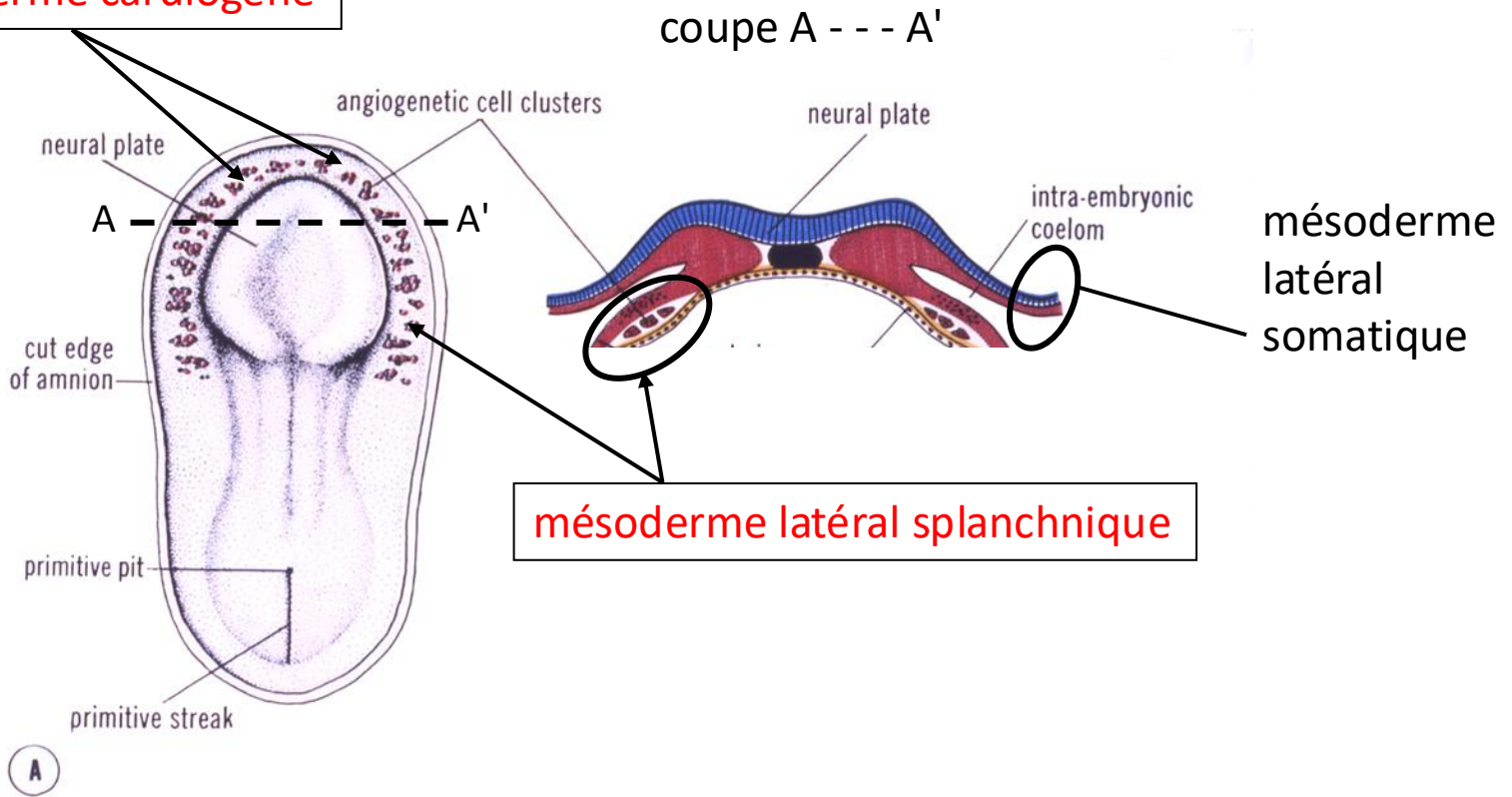
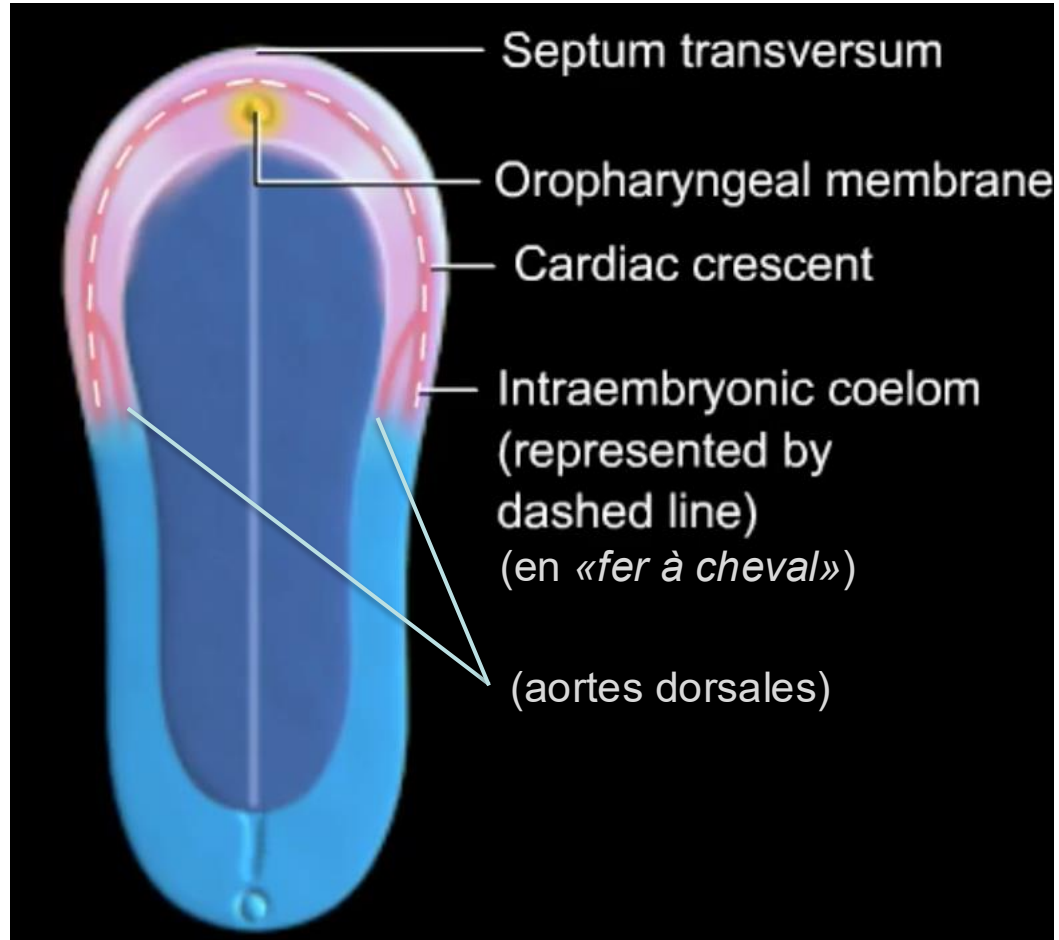


Figure 5-10.

## Développement du mésoderme intraembryonnaire **formation du système cardiovasculaire primitif (1)**

- La croissance de l'embryon requiert des échanges avec le sang maternel, au niveau du placenta.
- La mise en place d'un système circulatoire dans l'embryon et le chorion est nécessaire pour assurer ces échanges.
- Apparition d'**îlots sanguins** et d'**espaces bordés d'endothélium**
  - dès le 14<sup>ème</sup> jour dans le mésoderme extraembryonnaire :  
sac vitellin, allantoïde, pédicule abdominal et chorion
  - dès le 16<sup>ème</sup> jour dans le mésoderme intraembryonnaire.

# aire cardiogène et mésoderme latéral splanchnique



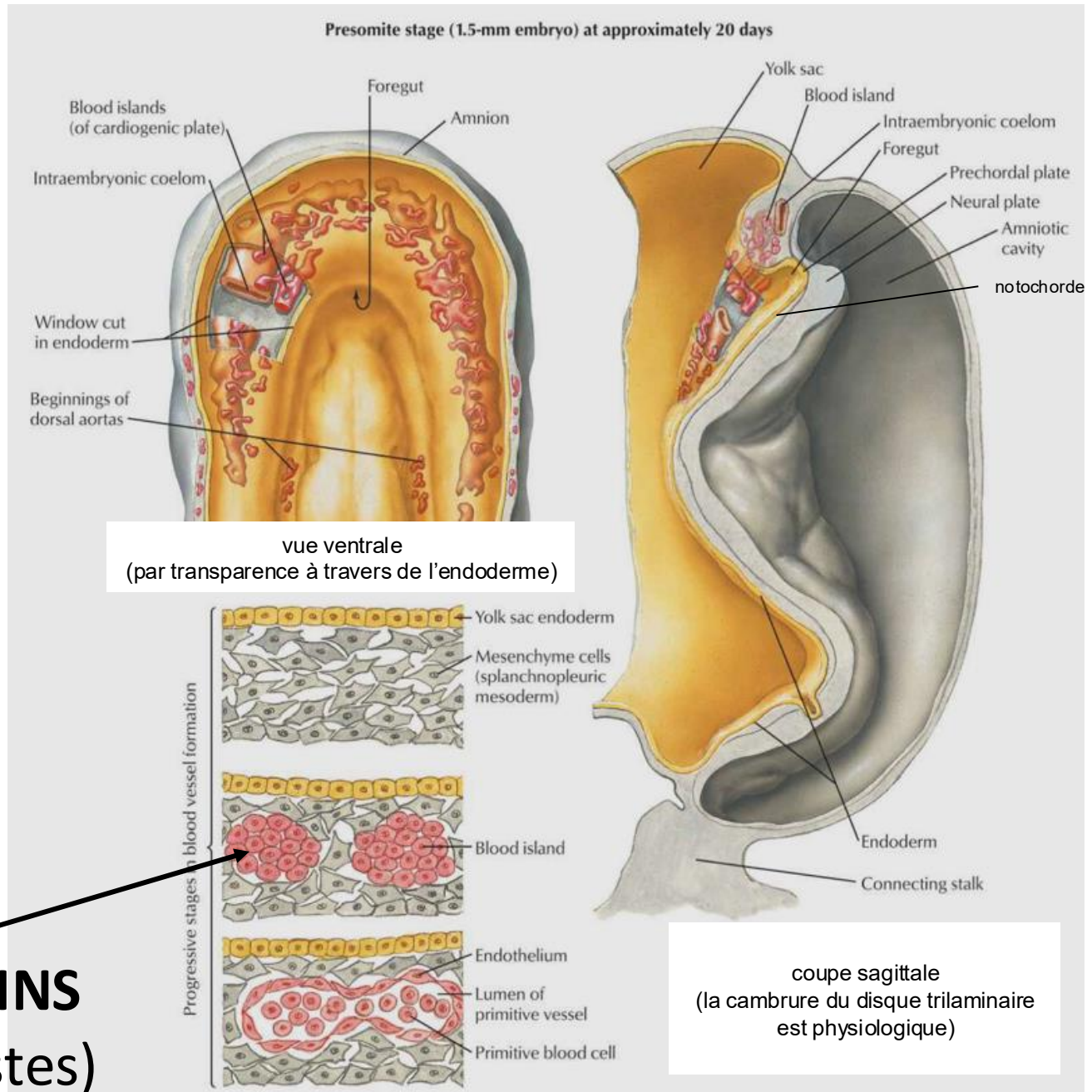
(vue dorsale)

RAPPEL

Les vaisseaux sanguins apparaissent d'abord sous le coelome intraembryonnaire, dans le mésoderme latéral splanchnique et l'aire cardiogène, et un peu plus tôt dans le mésoderme extraembryonnaire du sac vitellin et du pédicule abdominal.

Le mésenchyme se condense dans des cordons de cellules qui se connectent et forment la lumière vasculaire.

## ILOTS SANGUINS (hémangioblastes)



## TROISIEME SEMAINE

RAPPEL

Développement du mésoderme intraembryonnaire

### formation du système cardiovasculaire primitif (2)

- Ces espaces fusionnent pour former un réseau de canaux  
= **vasculogénèse** (aussi valable pour le *système lymphatique*)
- Des vaisseaux poussent dans les régions non encore vascularisées,  
par bourgeonnement à partir de ces canaux  
= **angiogénèse**

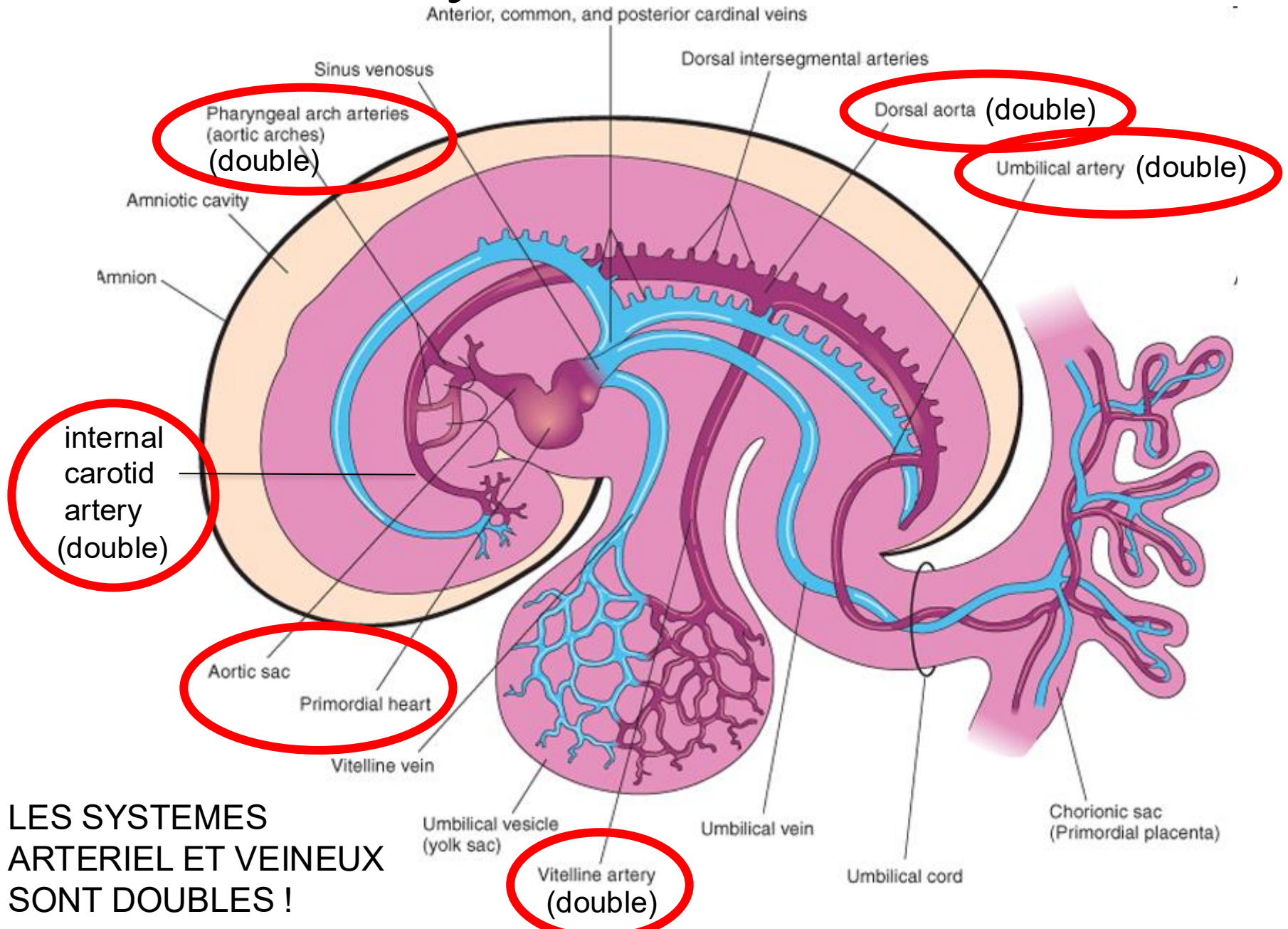


formation des tubes cardiaques  
et du système vasculaire

A la fin de la 3<sup>ème</sup> semaine, le système circulatoire primitif est  
**double et symétrique**

# Systeme artériel

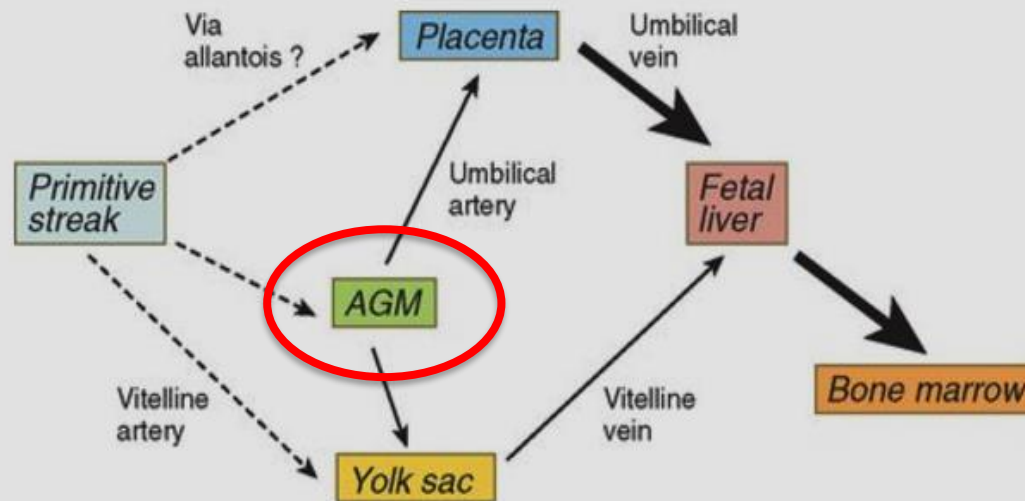
Fin 4<sup>ème</sup> semaine



LES SYSTEMES  
ARTERIEL ET VEINEUX  
SONT DOUBLES !

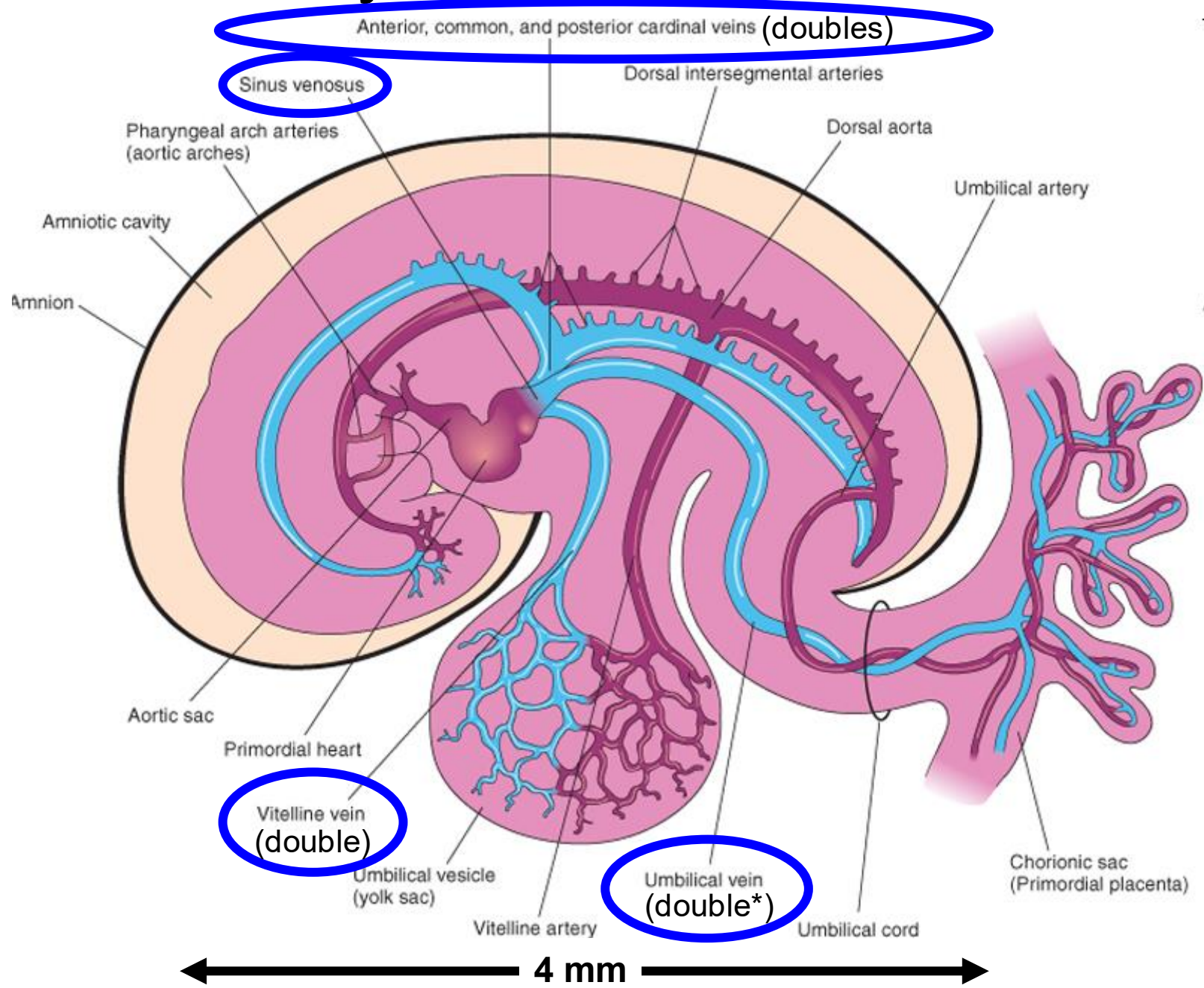
les cellules souches du sang (hématopoïétiques) de l'adulte, qui donnent naissance à tous les lignages cellulaires sanguins :

émergent (migrent) à partir d'une population cellulaire de la *paroi ventrale de l'aorte dorsale*, près des crêtes urogénitales, qui colonise, via le placenta et le sac vitellin, le foie foetal et plus tard la moelle des os

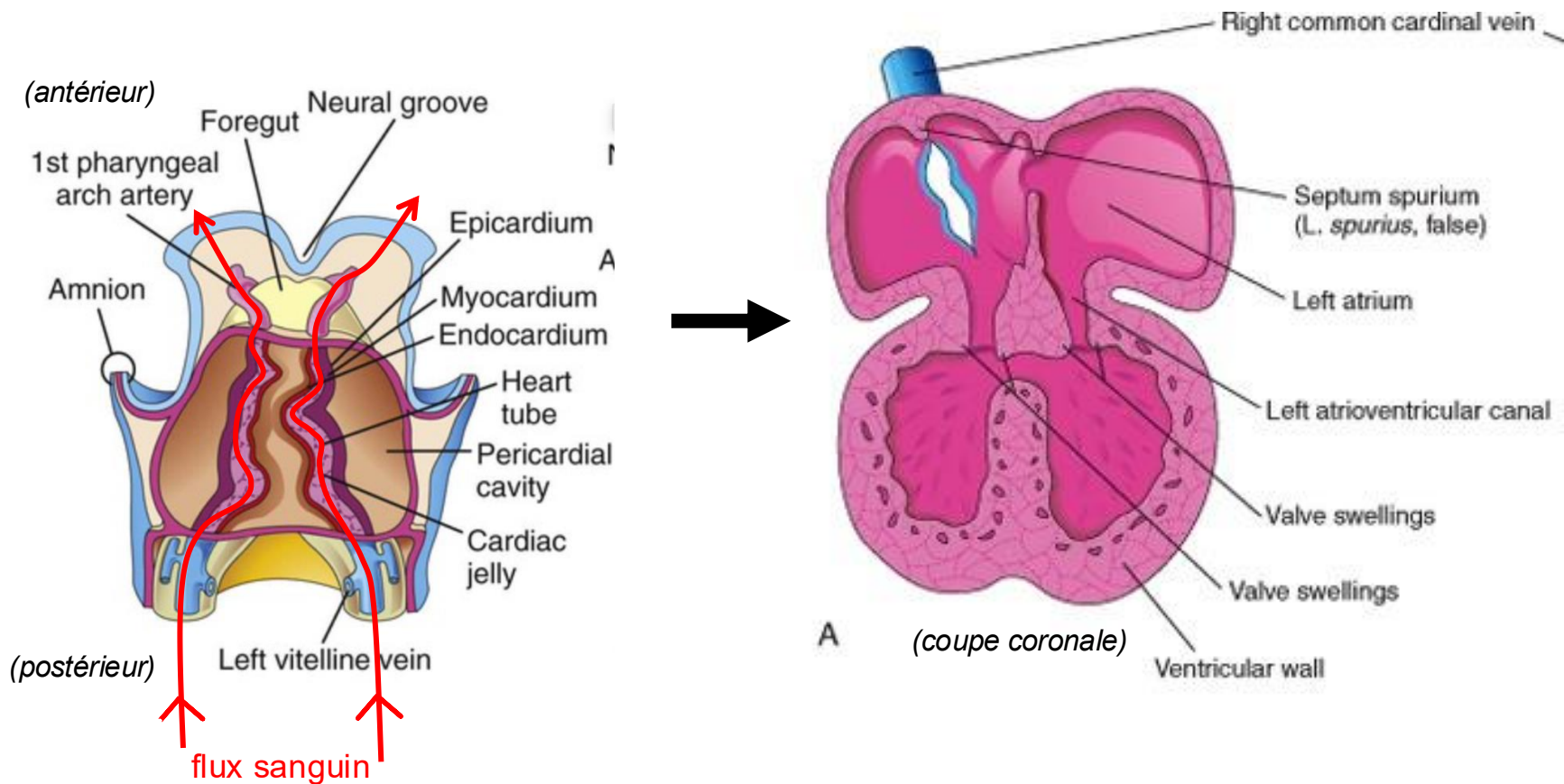


**FIGURE 17-1** Sites of embryonic hematopoiesis and routes by which organs are seeded by embryonic blood cells. AGM, aorta/genital ridge/mesonephros region.

# Systeme veineux (double - bilatéral)



- Comment se forme le cœur à 4 cavités  
à partir d'un tube double ?  
(deux tubes endocardiques séparés et adjacents)



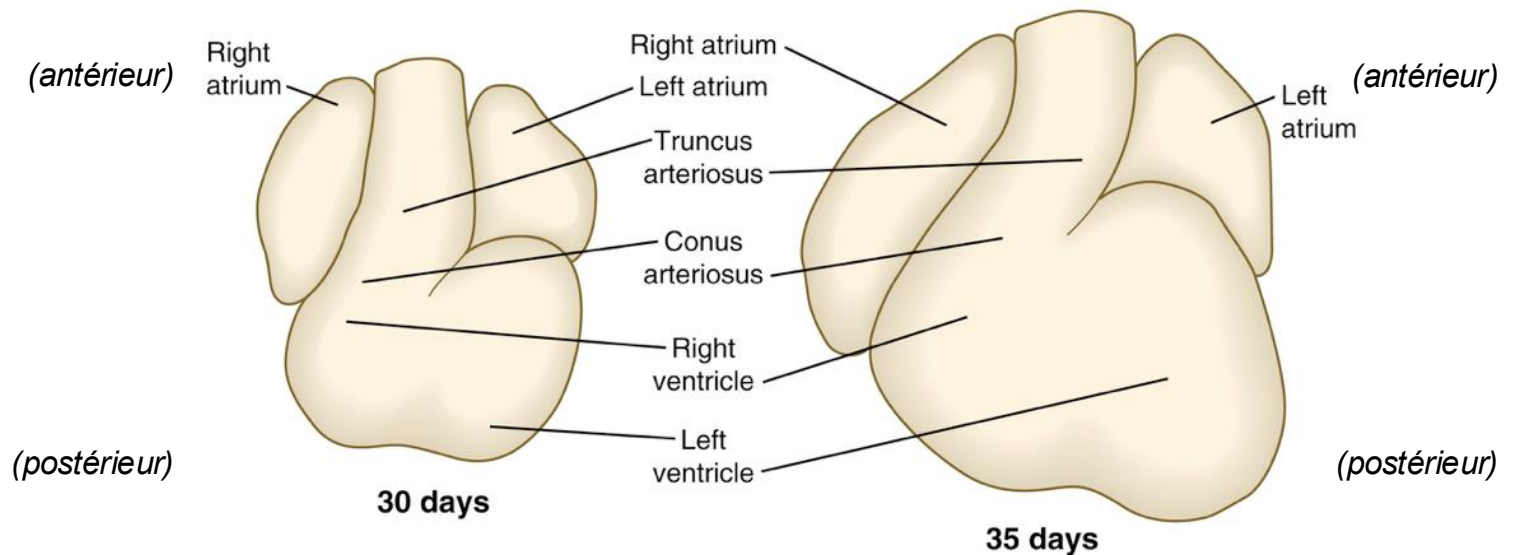
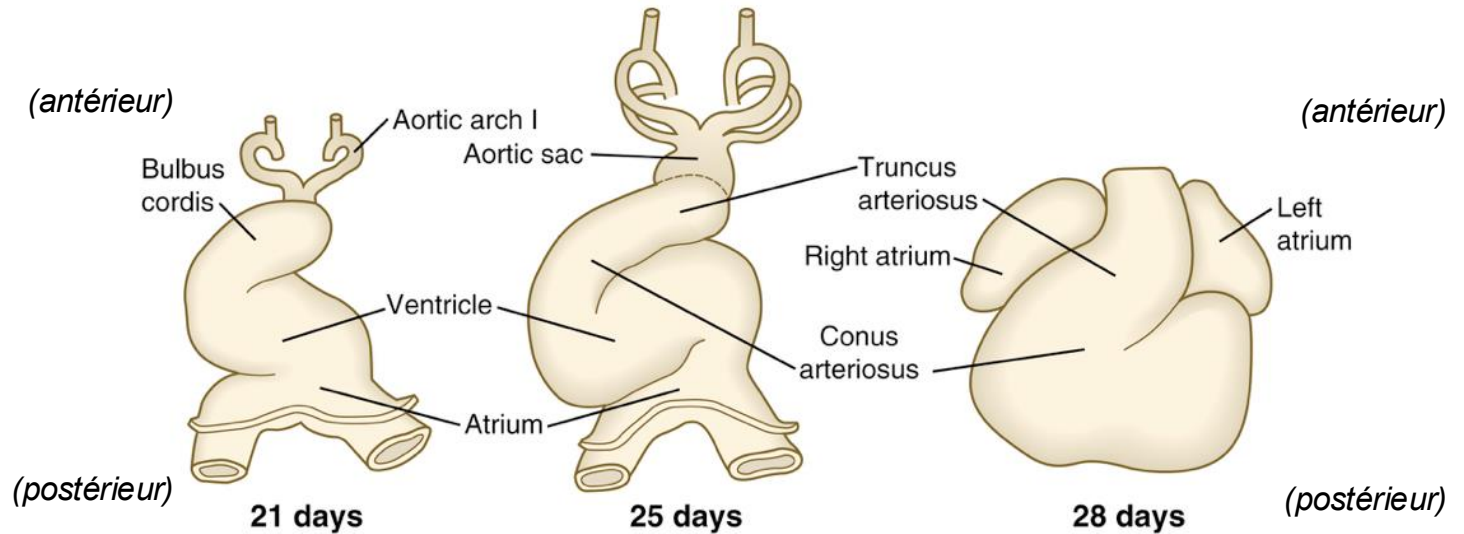
vues frontales (ventrales)

1. Comment la *forme externe du cœur* se développe-t-elle ?
  
2. SEPARATION DES CAVITES CARDIAQUES (I) :  
Comment se forme le foramen ovale (trou de Botal) ?  
Comment et quand se ferme-t-il ? (*séparation des oreillettes*)
  
3. SEPARATION DES CAVITES CARDIAQUES (II) :  
Comment se *séparent les deux ventricules* ?
  
4. Comment est établi *l'arbre vasculaire* ?

1. Comment la forme externe du cœur  
se développe-t-elle ?

# Vues ventrales du cœur embryonnaire humain illustrant la flexion du tube cardiaque et l'établissement de ses divisions régionales

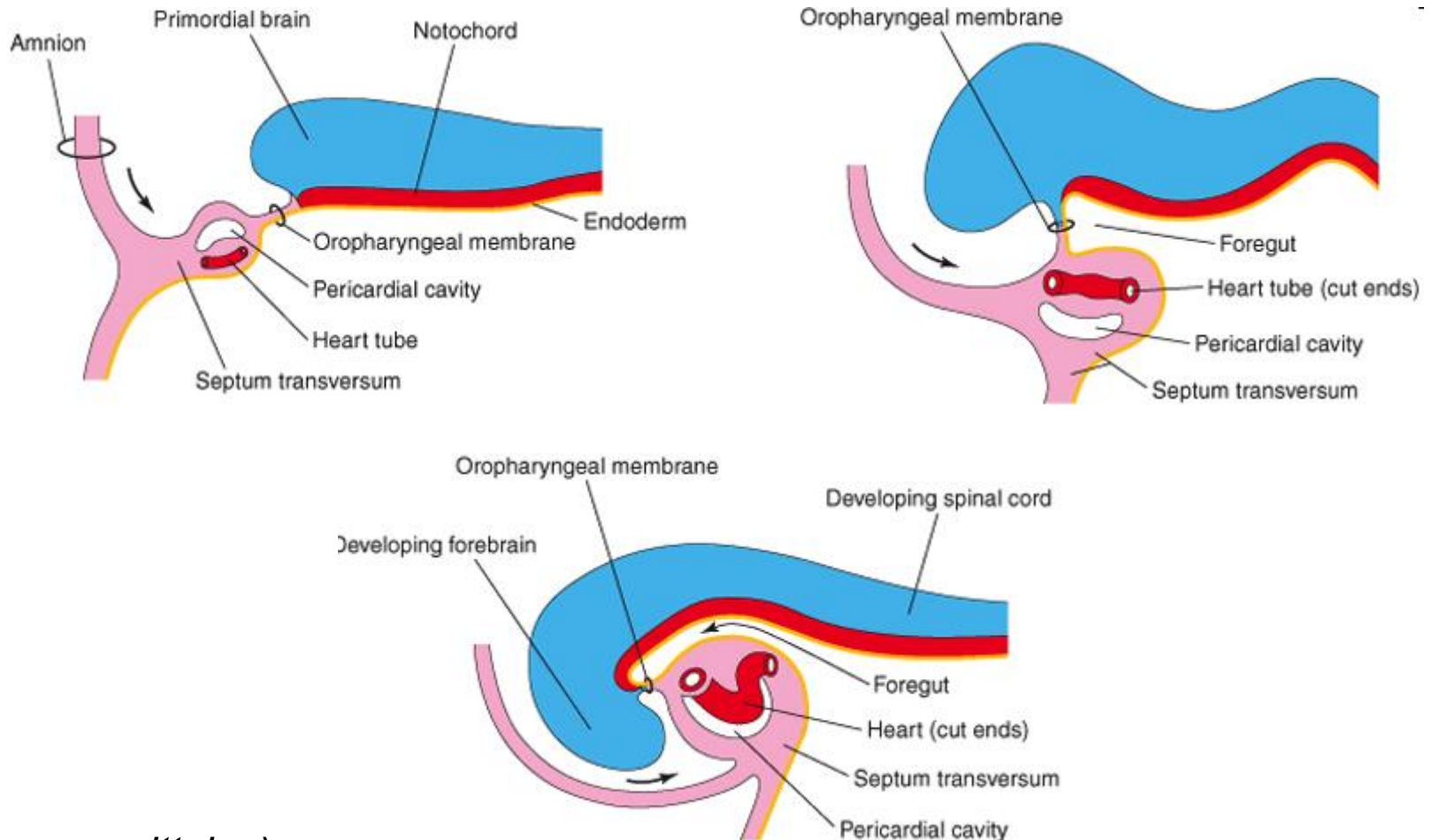
(vues frontales,  
depuis le côté ventral)



# QUATRIEME SEMAINE

RAPPEL

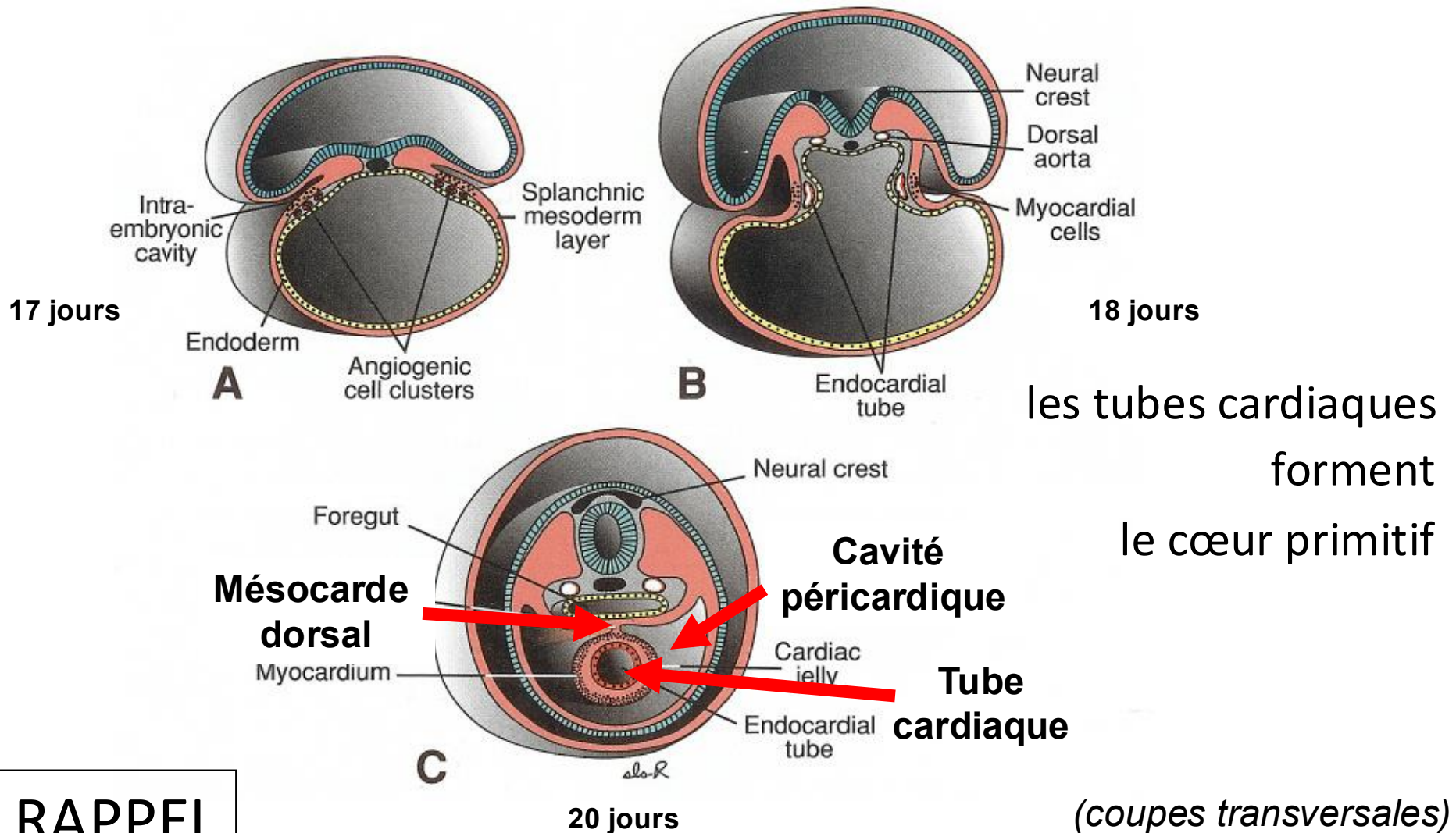
La courbure longitudinale céphalique amène l'aire cardiogène en position ventrale



(coupes sagittales)

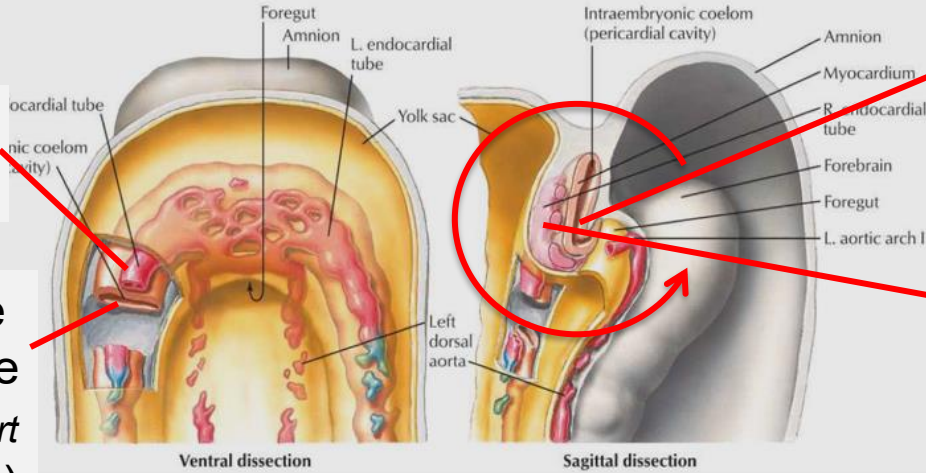
# QUATRIEME SEMAINE

Système cardiovasculaire : de double, devient simple, par fusion,  
(*aire cardiogène*) au moment des courbures transversales



**FIGURE 4.11 FORMATION OF THE LEFT AND RIGHT HEART TUBES**

One-somite stage (1.5 mm) at approximately 20 days



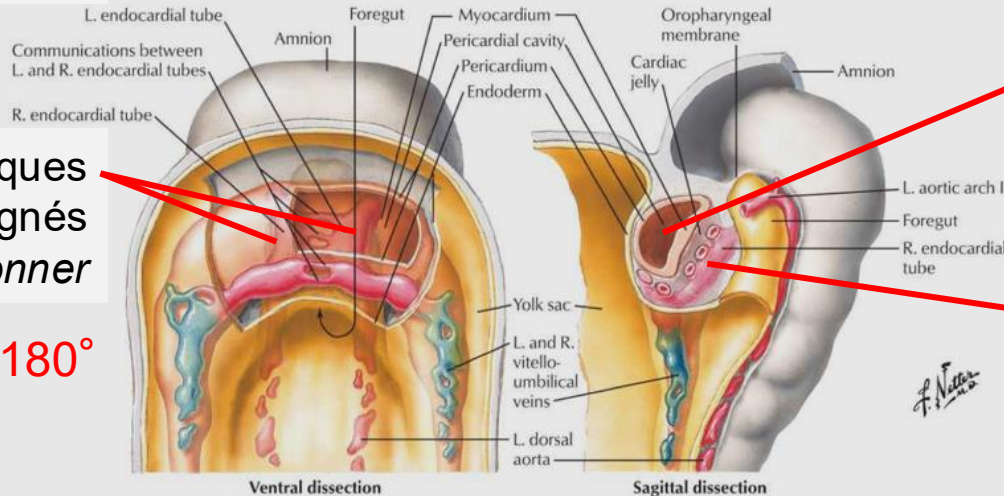
tube endocardique droit

célobe intraembryonnaire (*dorsal* par rapport aux tubes endocardiques)

tube endocardique droit

célobe intraembryonnaire (*dorsal* par rapport aux tubes endocardiques)

Two-somite stage (1.8 mm) at approximately 21 days



tubes endocardiques droit et gauche alignés en train de fusionner

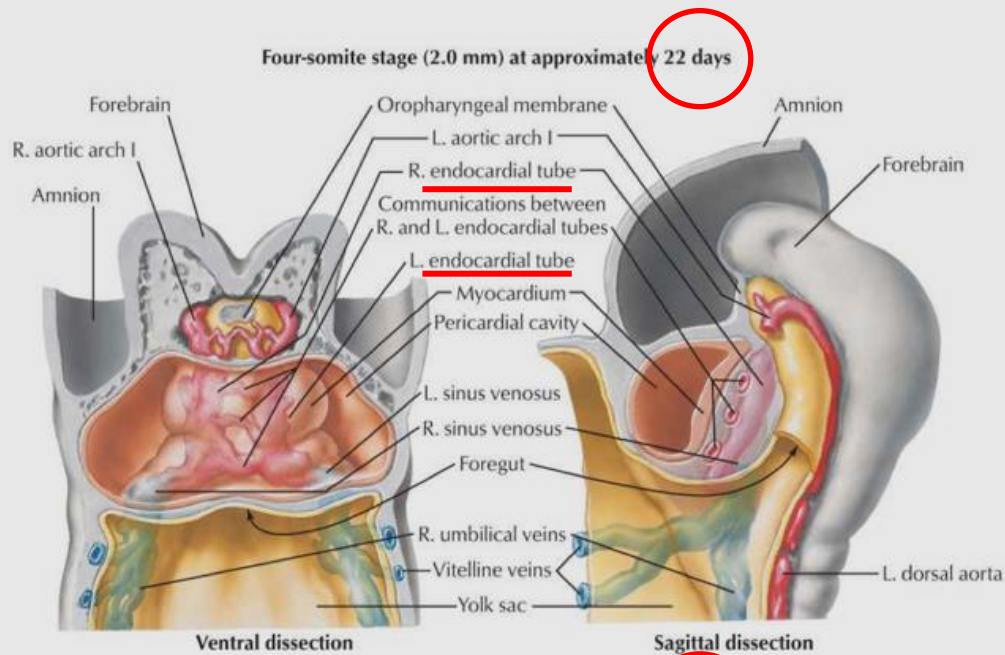
célobe intraembryonnaire (*ventral* par rapport aux tubes endocardiques)

tube endocardique droit

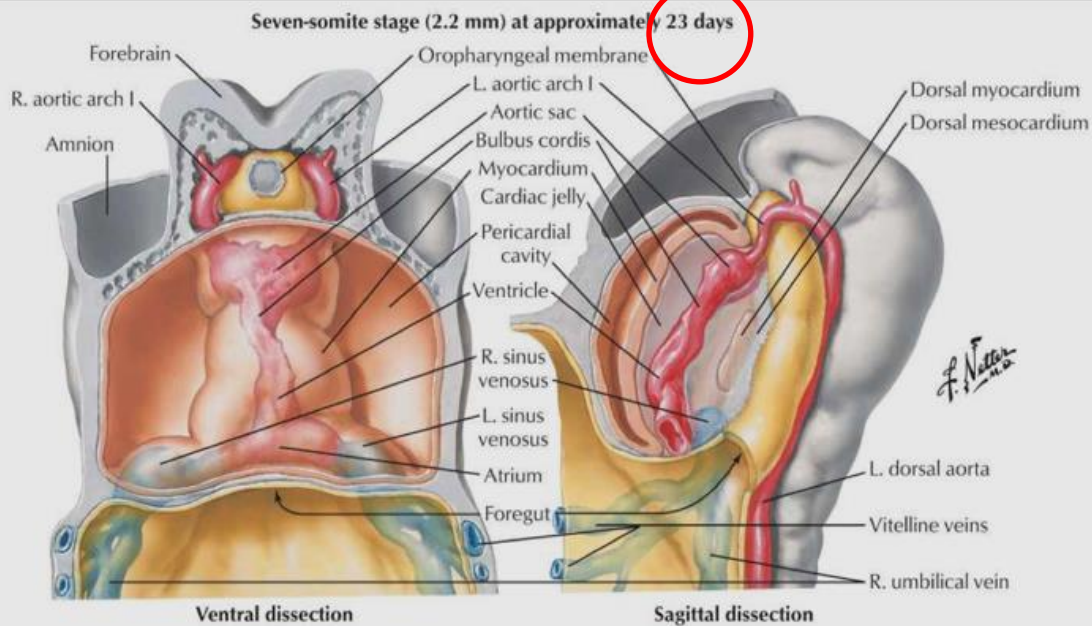
180°

Vascular spaces coalesce into left and right heart tubes that begin to communicate with each other in the midline. Cardiogenic mesoderm adjacent to the heart tubes differentiates into a jellylike layer of connective tissue surrounded by a layer of muscle cells (myocardium). Ventral to the

# FIGURE 4.12 FORMATION OF A SINGLE HEART TUBE



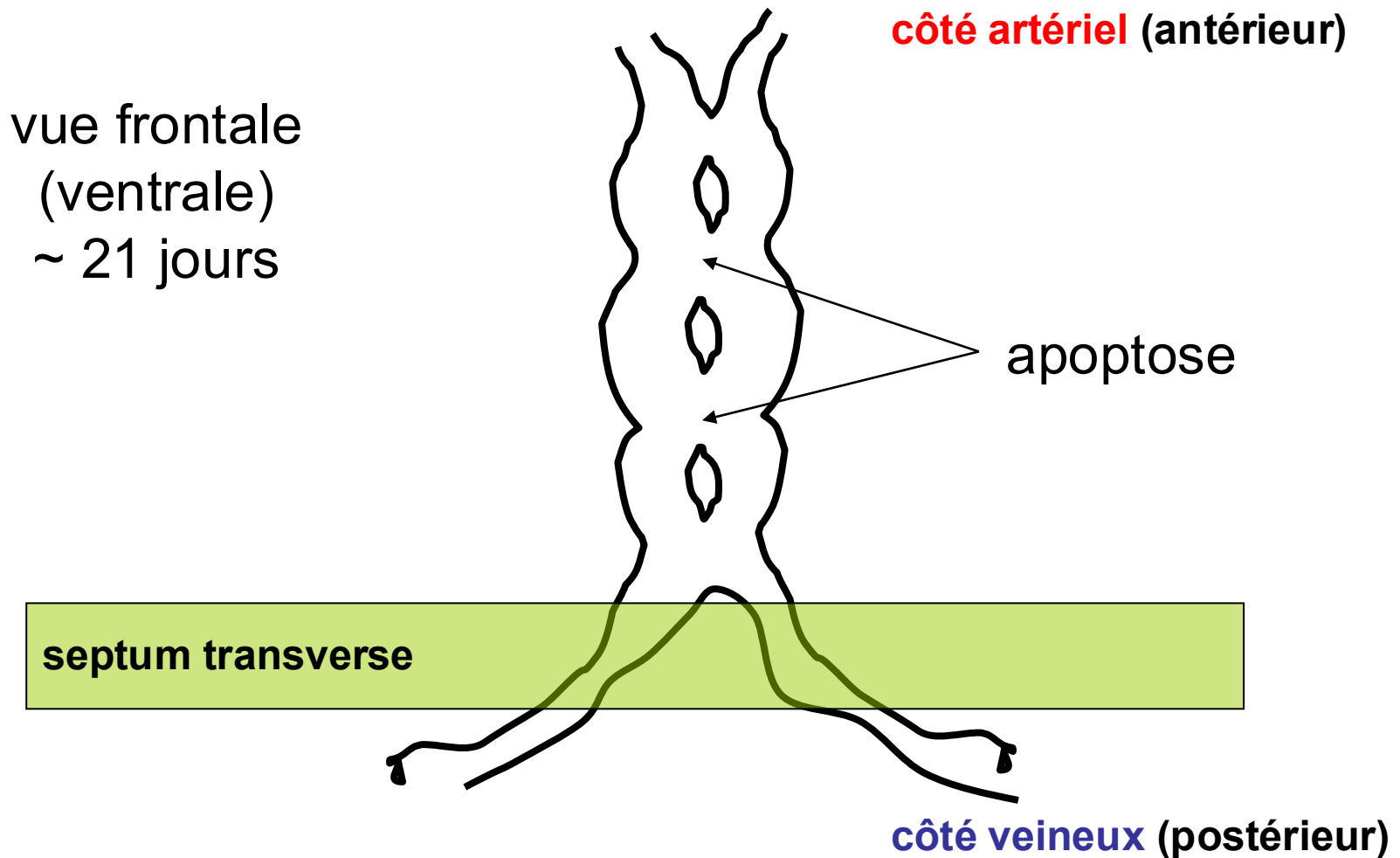
jour 22:  
2 tubes endocardiques



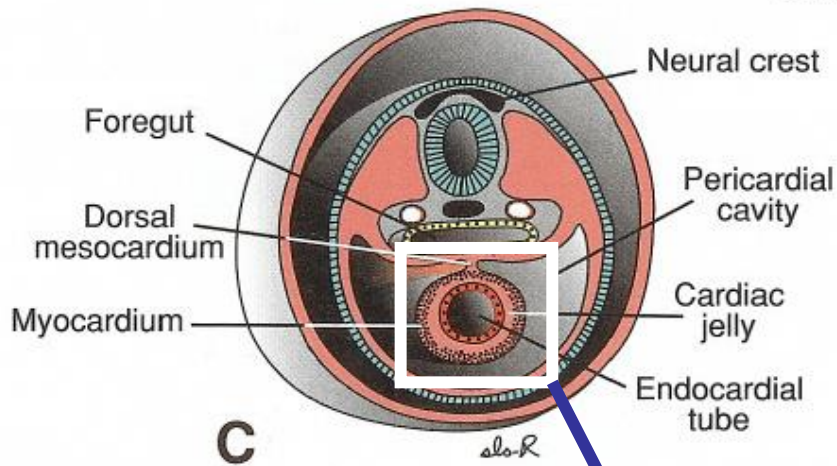
jour 23: fusion, avec  
1 seul tubes cardiaque

# TUBES CARDIAQUES EN TRAIN DE FUSIONNER

suite aux courbures latérales, les 2 tubes deviennent adjacents



# TUBE CARDIAQUE

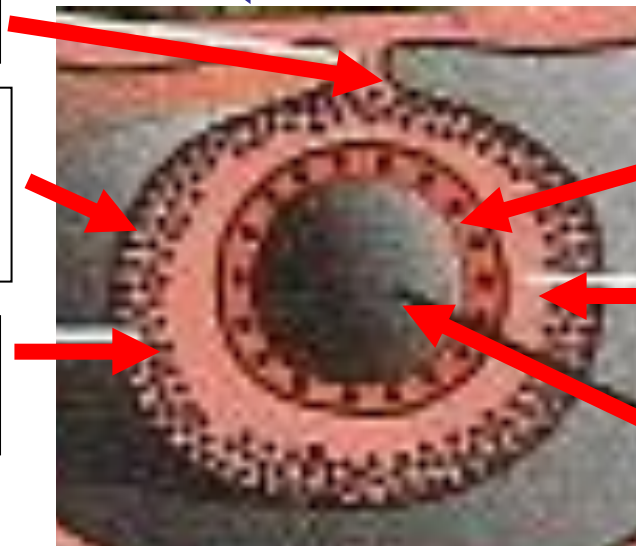


- Dès 22<sup>ème</sup> jour: contractions myogéniques péristaltiques  
➔ circulation flux-reflux
- Dès fin 4<sup>ème</sup> semaine: contractions coordonnées  
➔ circulation directionnelle (embryon ~4mm)

Mésocarde dorsal  
= mésothélium

Epicarde  
=péricarde viscéral  
= mésothélium

Myocarde  
=muscle



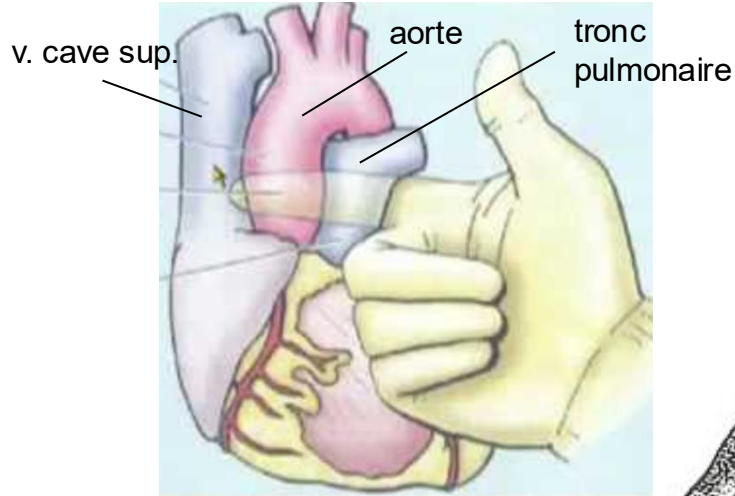
Endocarde  
=endothélium

Gelée cardiaque

Lumière du  
tube cardiaque

# Vue latérale

## SINUS TRANSVERSE

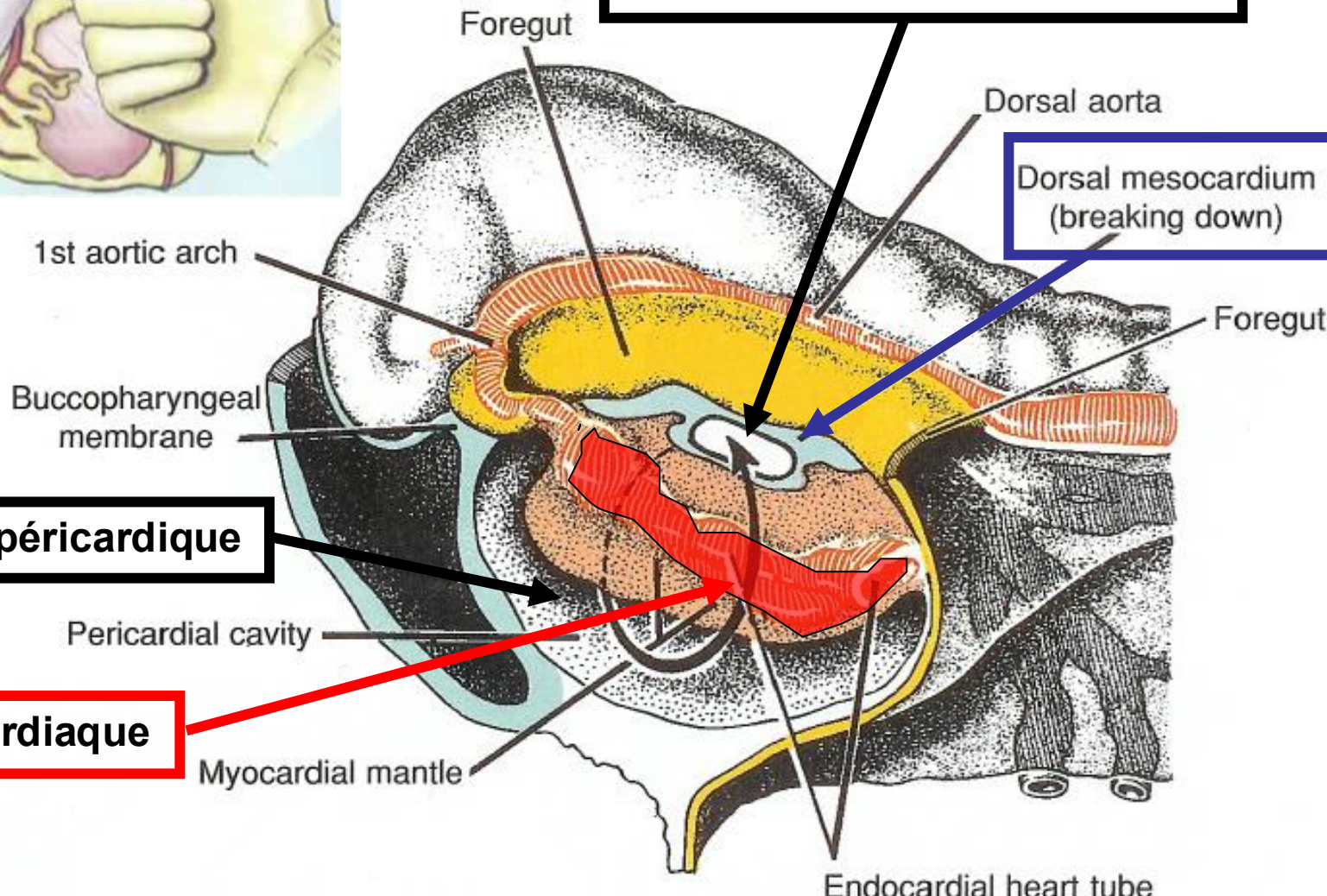


**Sinus transverse du péricarde**

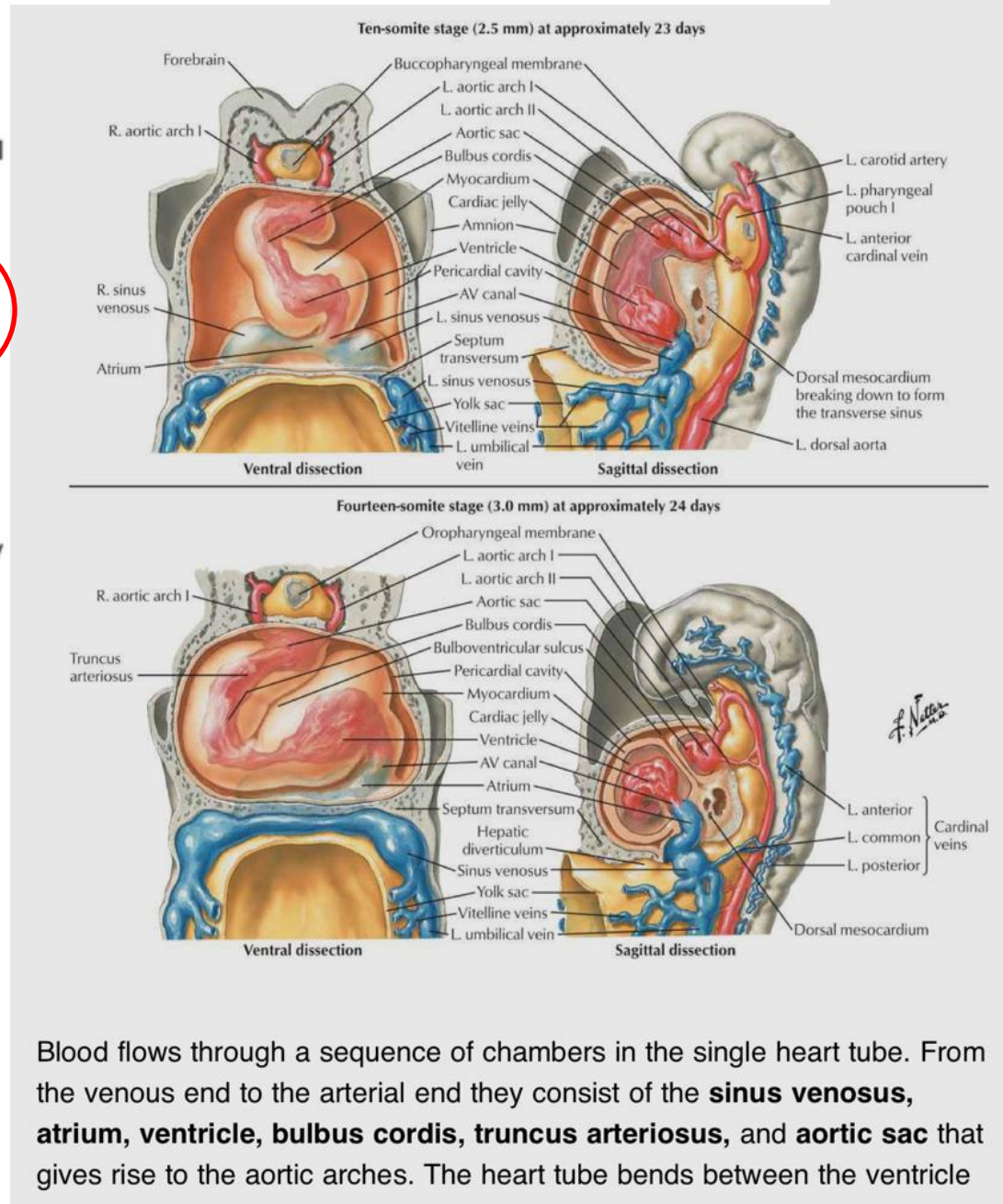
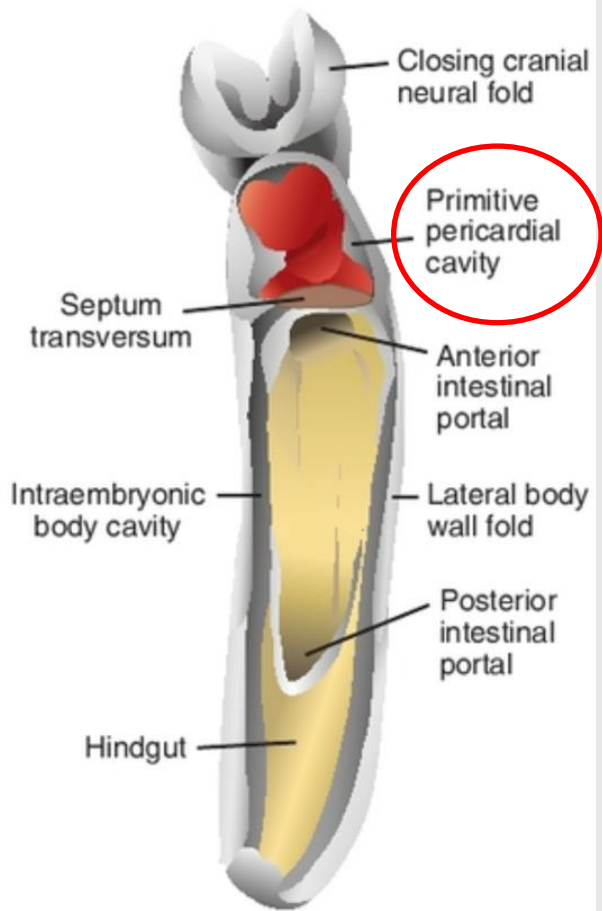
**Dorsal mesocardium (breaking down)**

**Cavité péricardique**

**Tube cardiaque**



# LA COURBURE CARDIAQUE



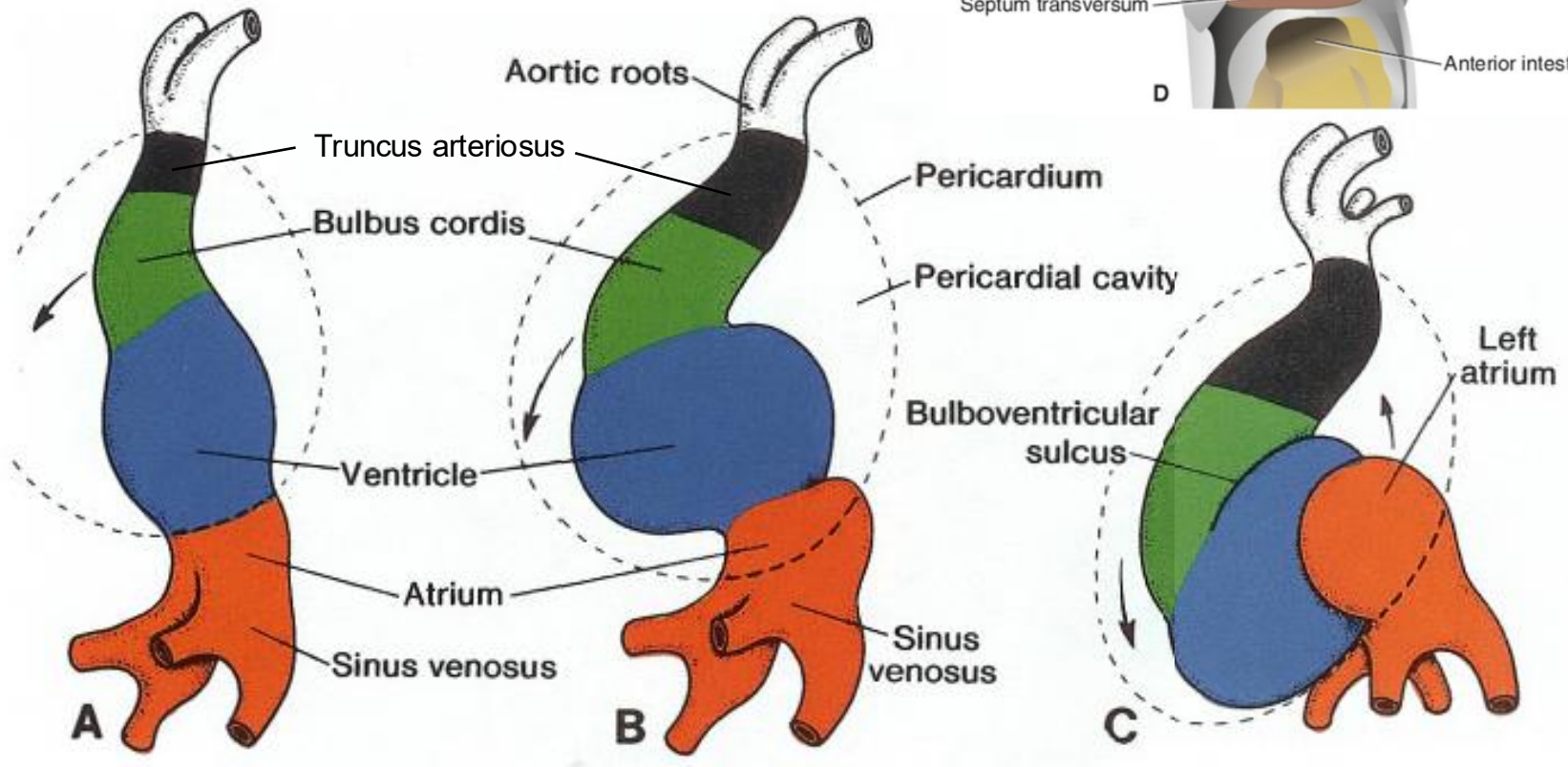
Blood flows through a sequence of chambers in the single heart tube. From the venous end to the arterial end they consist of the **sinus venosus**, **atrium**, **ventricle**, **bulbus cordis**, **truncus arteriosus**, and **aortic sac** that gives rise to the aortic arches. The heart tube bends between the ventricle

# LA COURBURE CARDIAQUE

débute au cours de la 4<sup>ème</sup> semaine

Vues obliques gauches:

**Côté artériel (antérieur)**



**Côté veineux (postérieur)**

22 jours

23 jours

24 jours

**FIGURE 4.20 ADULT DERIVATIVES OF THE HEART TUBE CHAMBERS**

- Bulbe cardiaque (bulbus cordis) :**
- 3 - tronc artériel  
(racine de l'aorte et l'artère pulmon.)
  - 2 - cône artériel (sortie ventr. dr.)  
et vestibule aortique (s. v. gauche)
  - 1 - paroi du ventricule droit

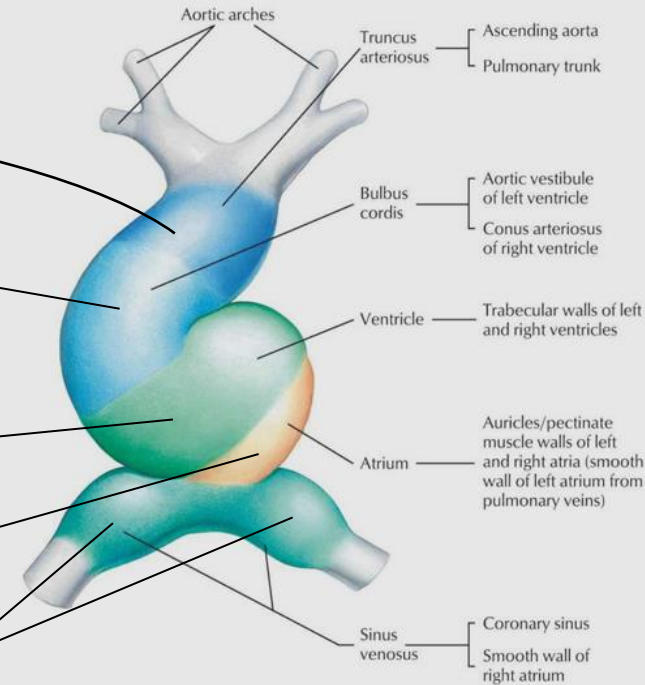
**Ventricule**

**Atrium (oreillette)**

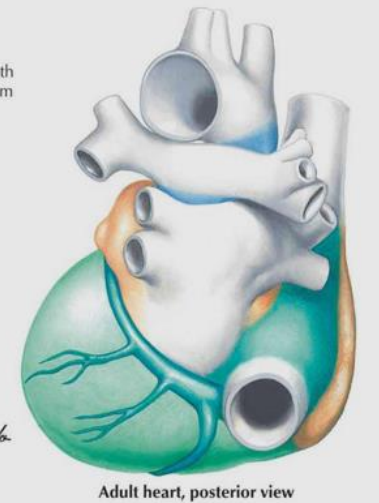
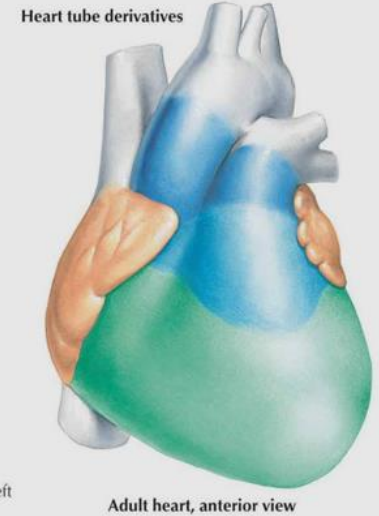
**Sinus veineux : sinus coronaire**  
(veine principale du cœur) et  
paroi lisse de l'oreillette droite

**Côté artériel (antérieur)**

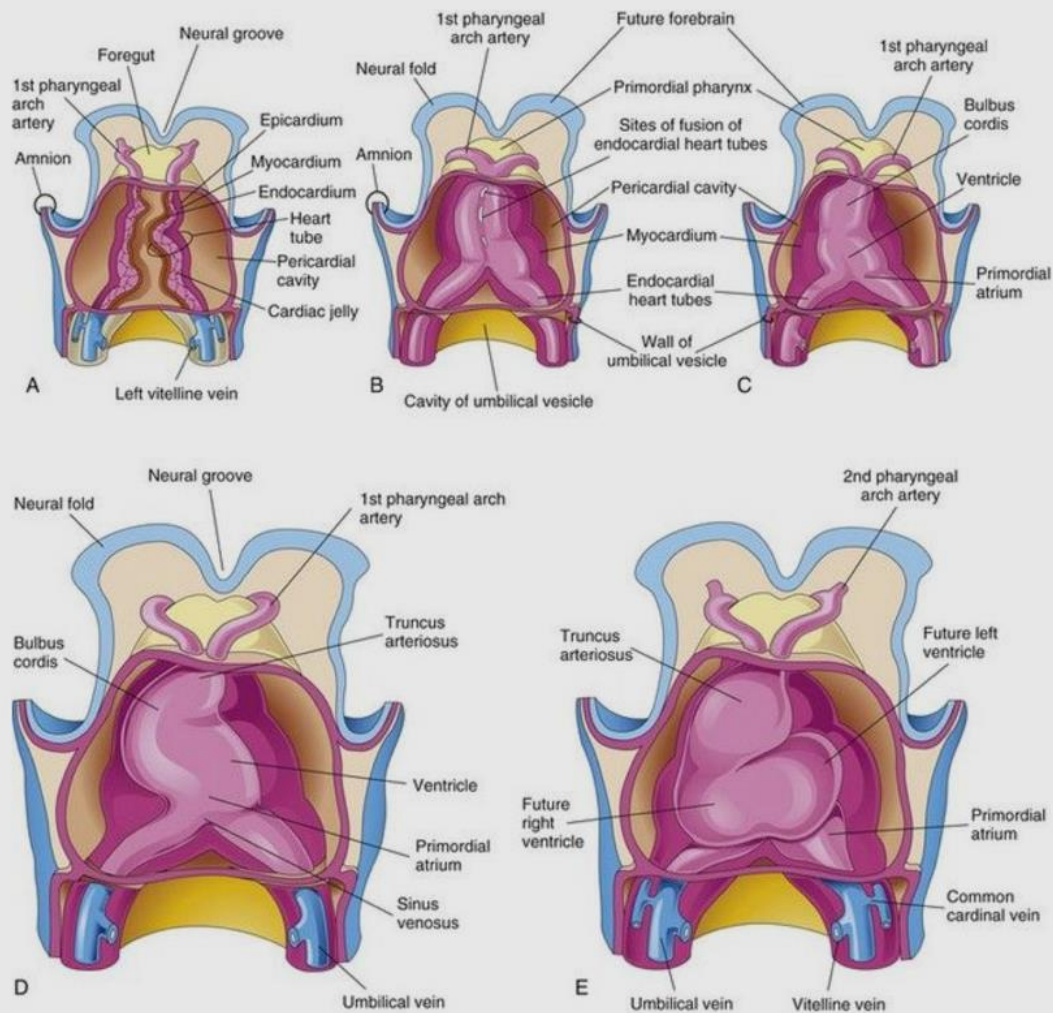
Heart tube primordia



**Côté veineux (postérieur)**



The primitive heart tube (left) is color-coded according to the derivatives in the adult heart (right). The chambers of the heart are mostly lined with ridges of cardiac muscle, but the walls are smooth in both the inflow parts

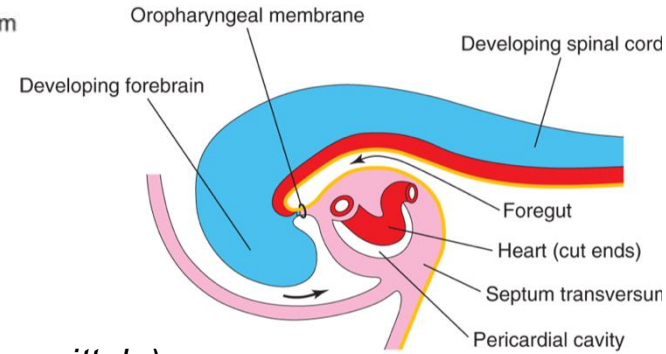
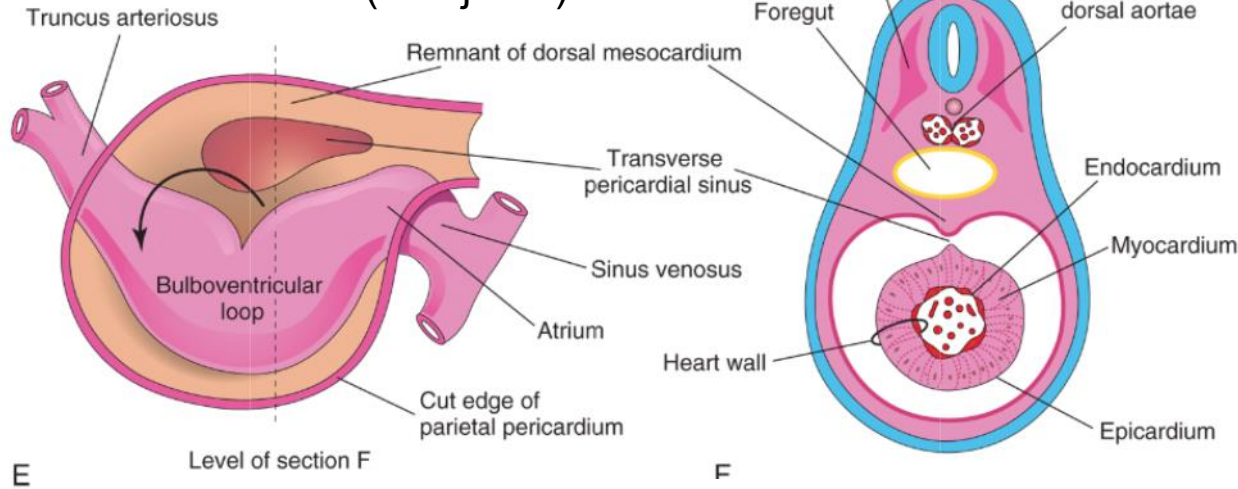


**FIGURE 13-7** Drawings showing fusion of the heart tubes and looping of the tubular heart. **A to C**, Ventral views of the developing heart and pericardial region (22–35 days). The ventral pericardial wall has been removed to show the developing myocardium and fusion of the two heart tubes to form a tubular heart. The endothelium of the heart tube forms the endocardium of the heart. **D and E**, As the straight tubular heart elongates,

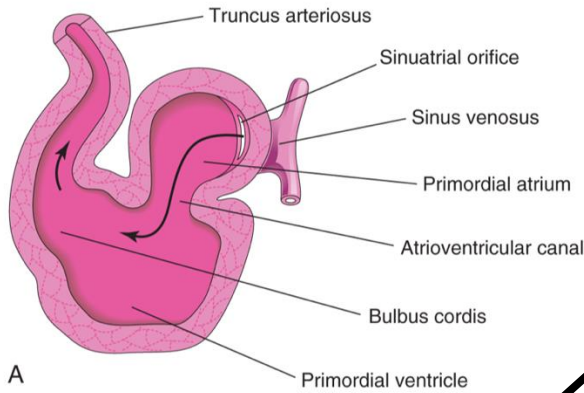
**ASYMETRIE GAUCHE - DROITE**

# courbure cardiaque et cavitation du cœur (4<sup>è</sup> sem.)

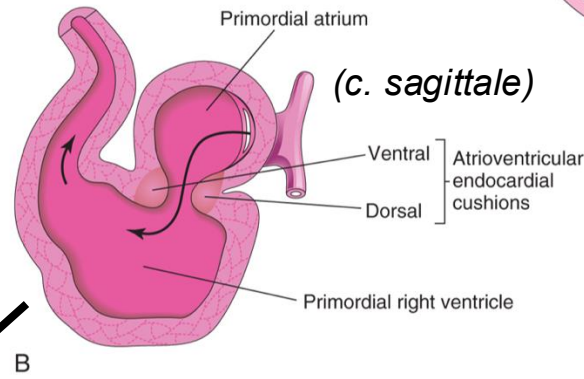
(~24 jours)



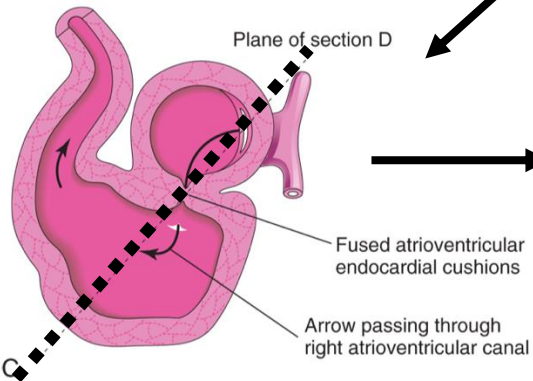
(c. sagittale)



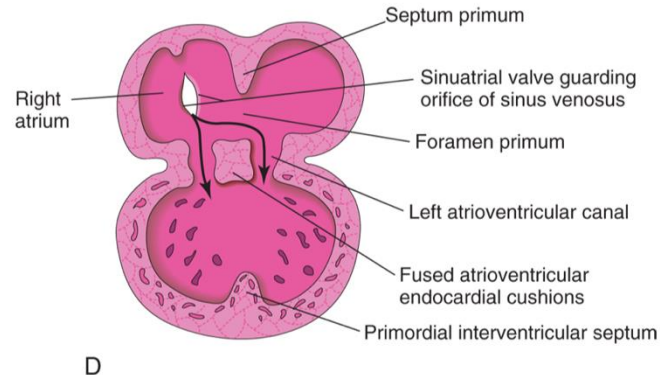
(c. sagittale)



(c. sagittale)



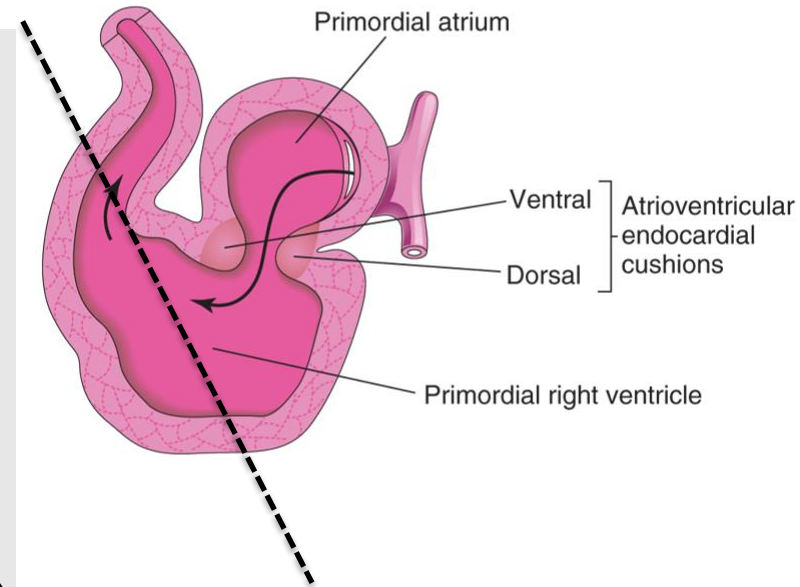
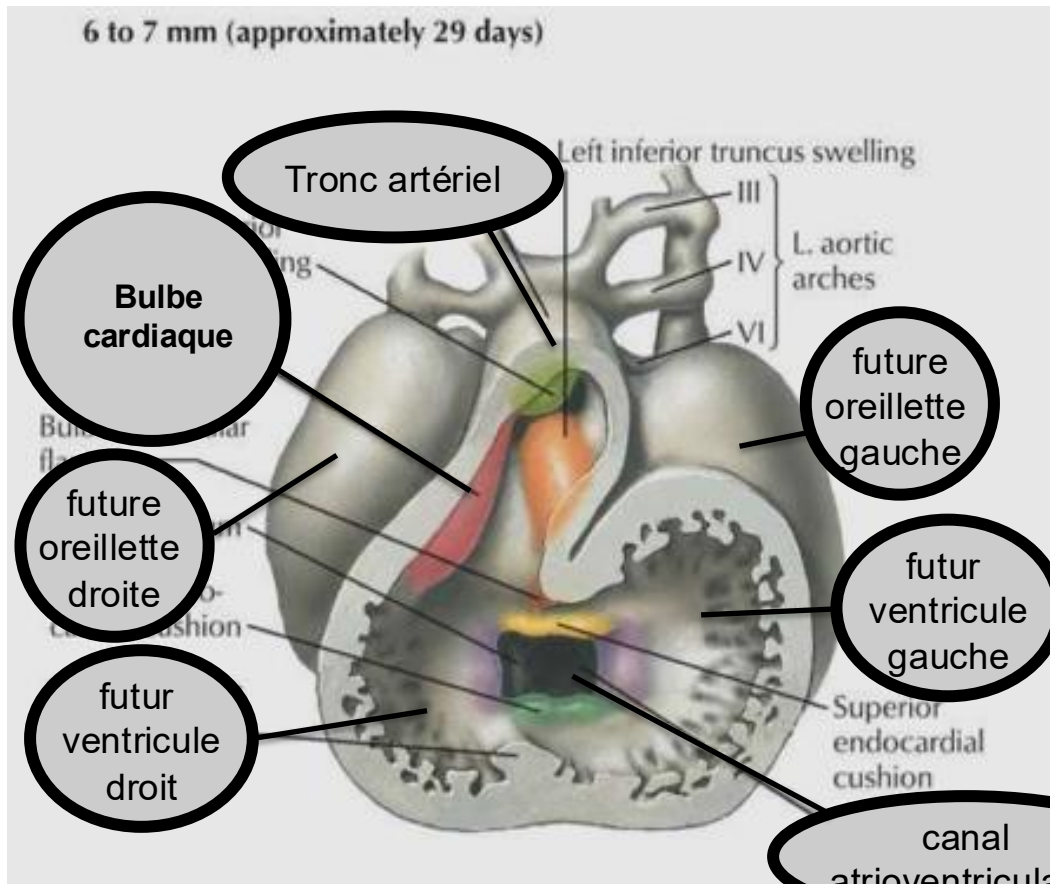
(vue de face; c. coronale)



~30 jours  
(toujours une seule  
cavité)

# Le cœur au 30<sup>ème</sup> jour

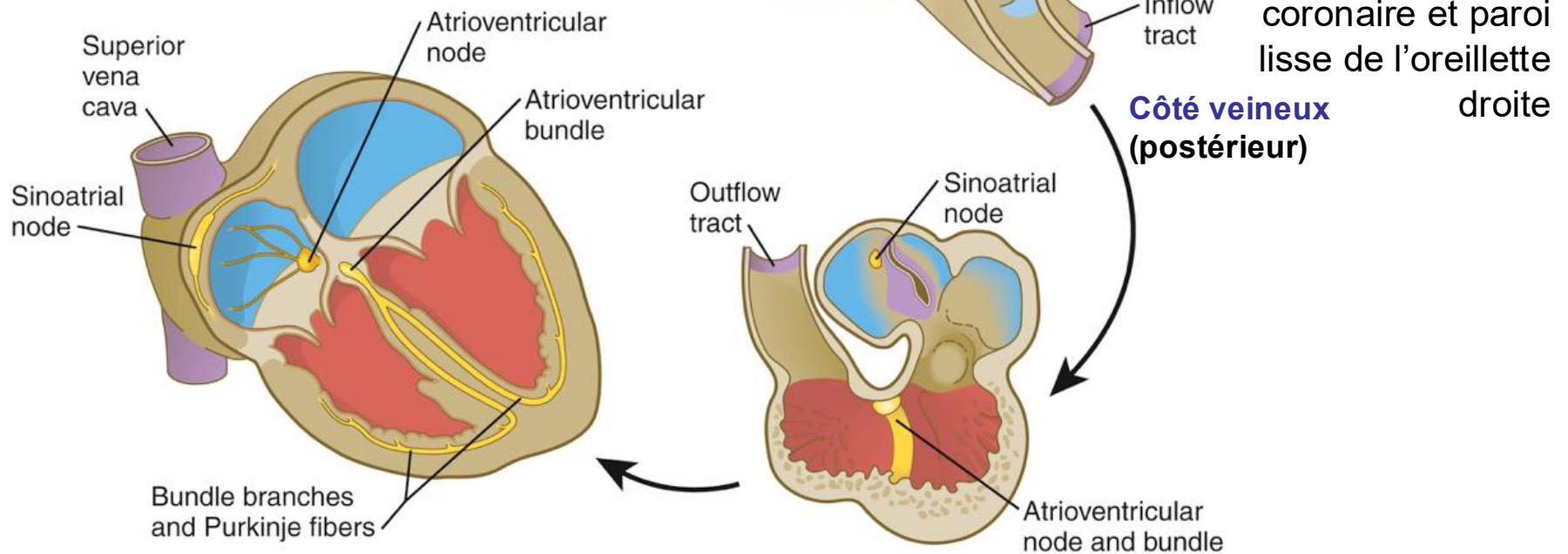
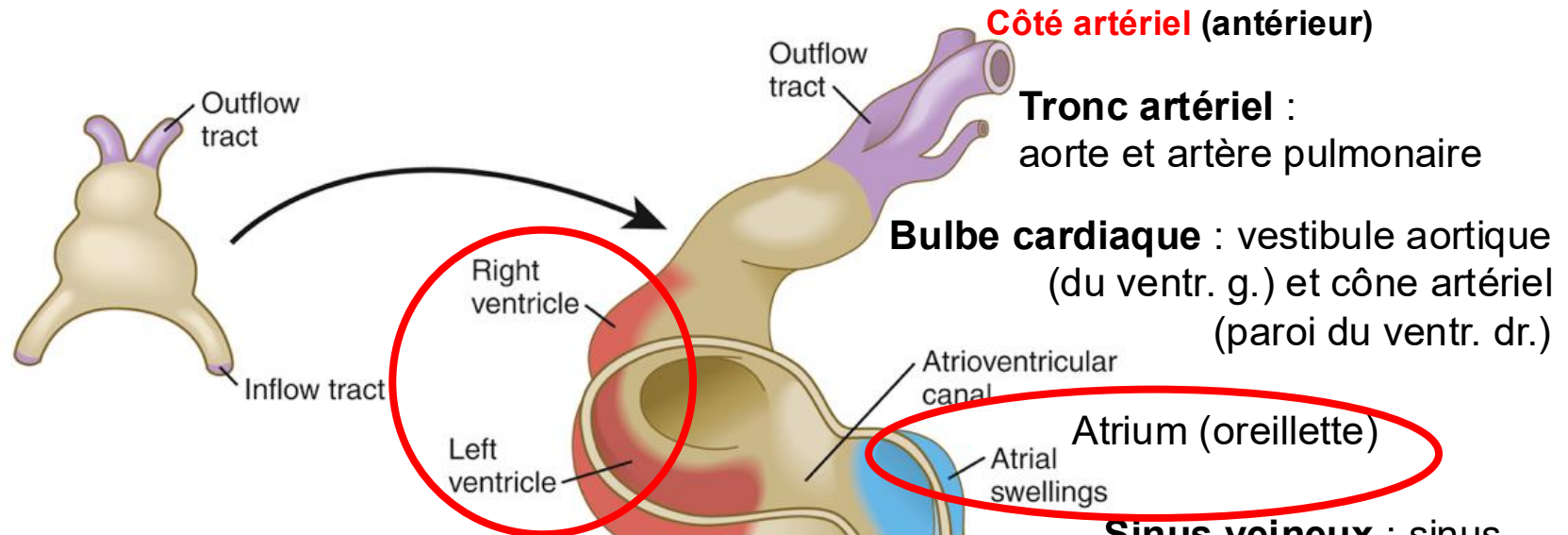
(vue de face)



Une seule cavité

**Le sang arrive du côté veineux dans l'oreillette et est propulsé dans le tronc artériel par les contractions du tube cardiaque**

# SEPARATION DES CAVITES CARDIAQUES



# SEPARATION DES CAVITES CARDIAQUES

## Objectifs :

- Individualiser les 4 cavités du coeur
  - Oreillette droite
  - Oreillette gauche
  - Ventricule droit
  - Ventricule gauche
- Individualiser l'artère pulmonaire et l'aorte

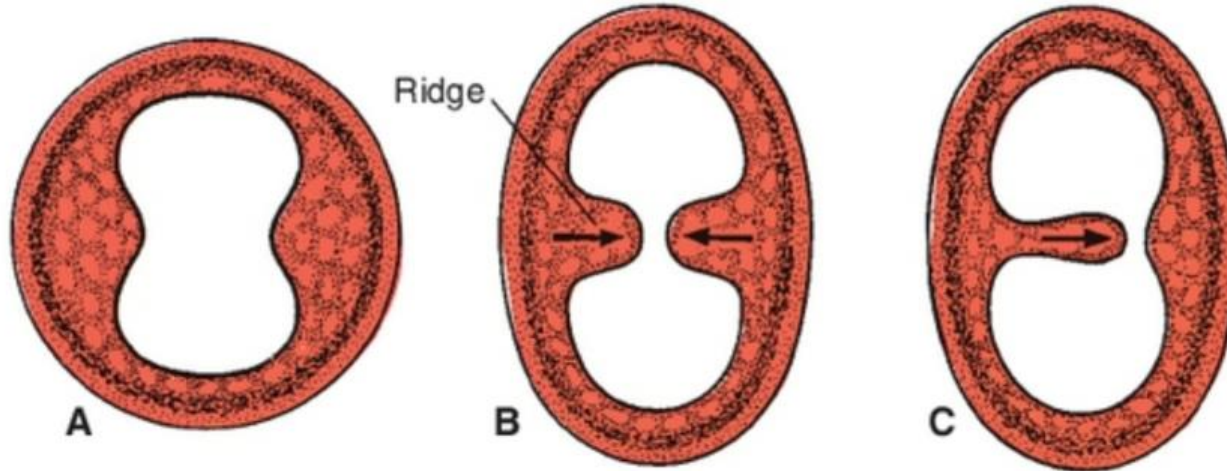
## Il faut :

- Séparer oreillette et ventricule  
*Septation atrio-ventriculaire*
- Séparer l'oreillette droite de l'oreillette gauche  
*Septation interauriculaire*
- Séparer le ventricule droit du ventricule gauche  
*Septation interventriculaire*
- Séparer l'artère pulmonaire de l'aorte  
*Septation du tronc artériel*

Les principaux septa se forment entre le 27<sup>ème</sup> et le 37<sup>ème</sup> jour (5<sup>ème</sup> semaine)

# Mécanismes de formation des septa

## 1. croissance des coussins endocardiques

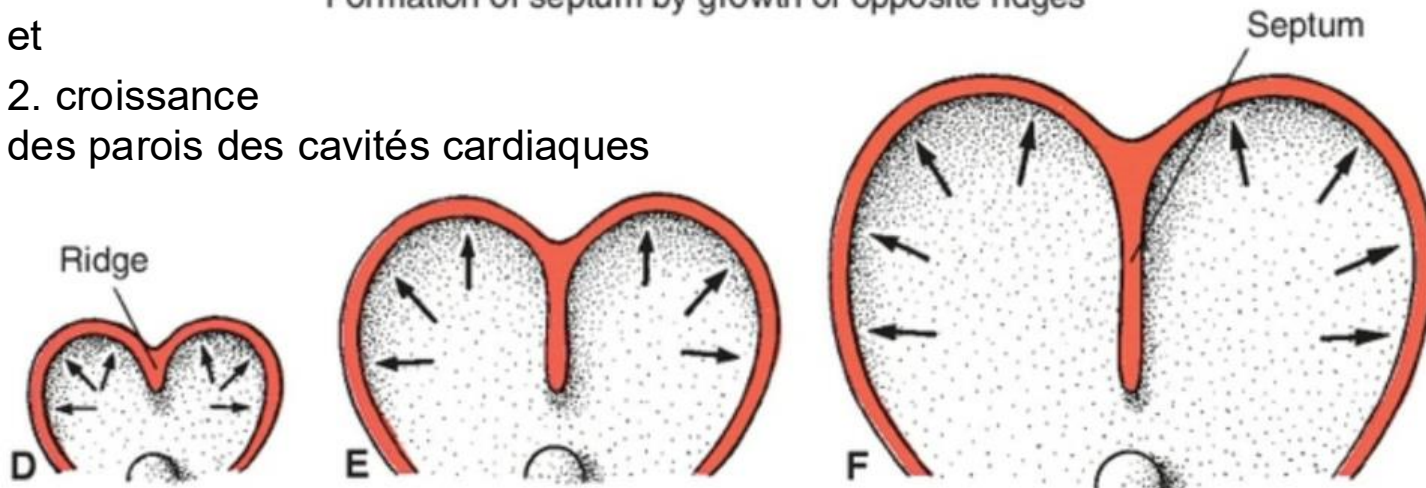


**PROLIFÉRATION CELLULAIRE, AVEC FORMATION DE BOURRELETS (CRÊTES) : LES COUSSINS ENDOCARDIQUES (p.e. : septation atrio-ventriculaire)**

Formation of septum by growth of opposite ridges

et

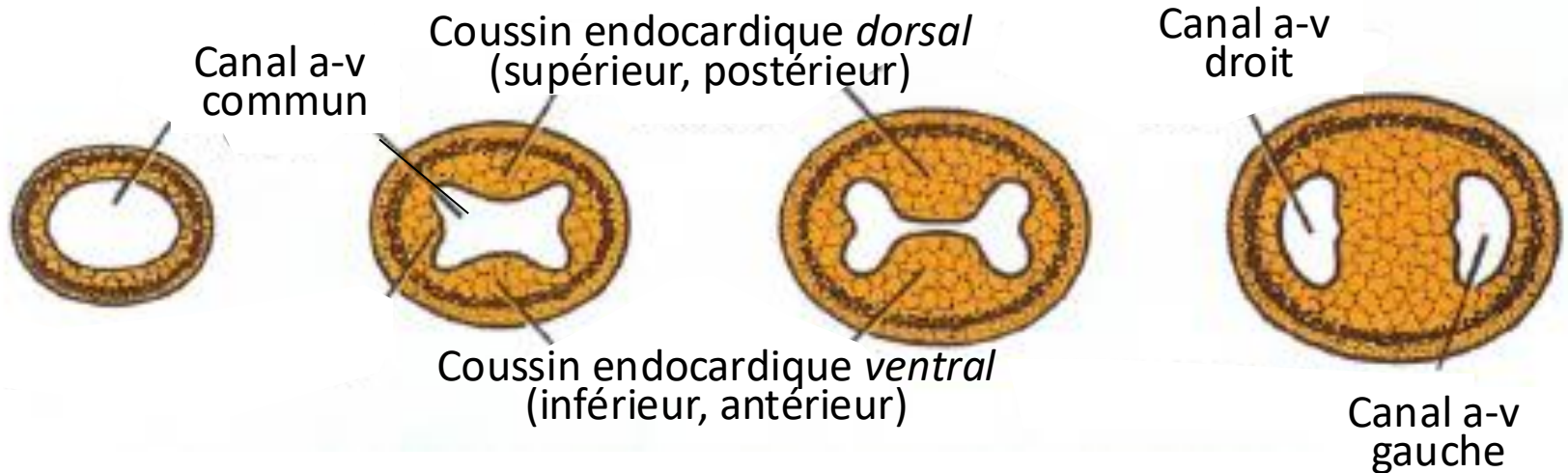
## 2. croissance des parois des cavités cardiaques



**EXPANSION DES PAROIS AVEC FUSION DES PARTIES MÉDIANES (SEPTA) (p.e. : septation inter-ventriculaire)**

# Septation atrio-ventriculaire (1)

1. Septation du canal atrio-ventriculaire commun :  
Les coussins endocardiques



Modification locale de la gelée cardiaque (influence locale de  $TGF\beta$ , du myocarde)

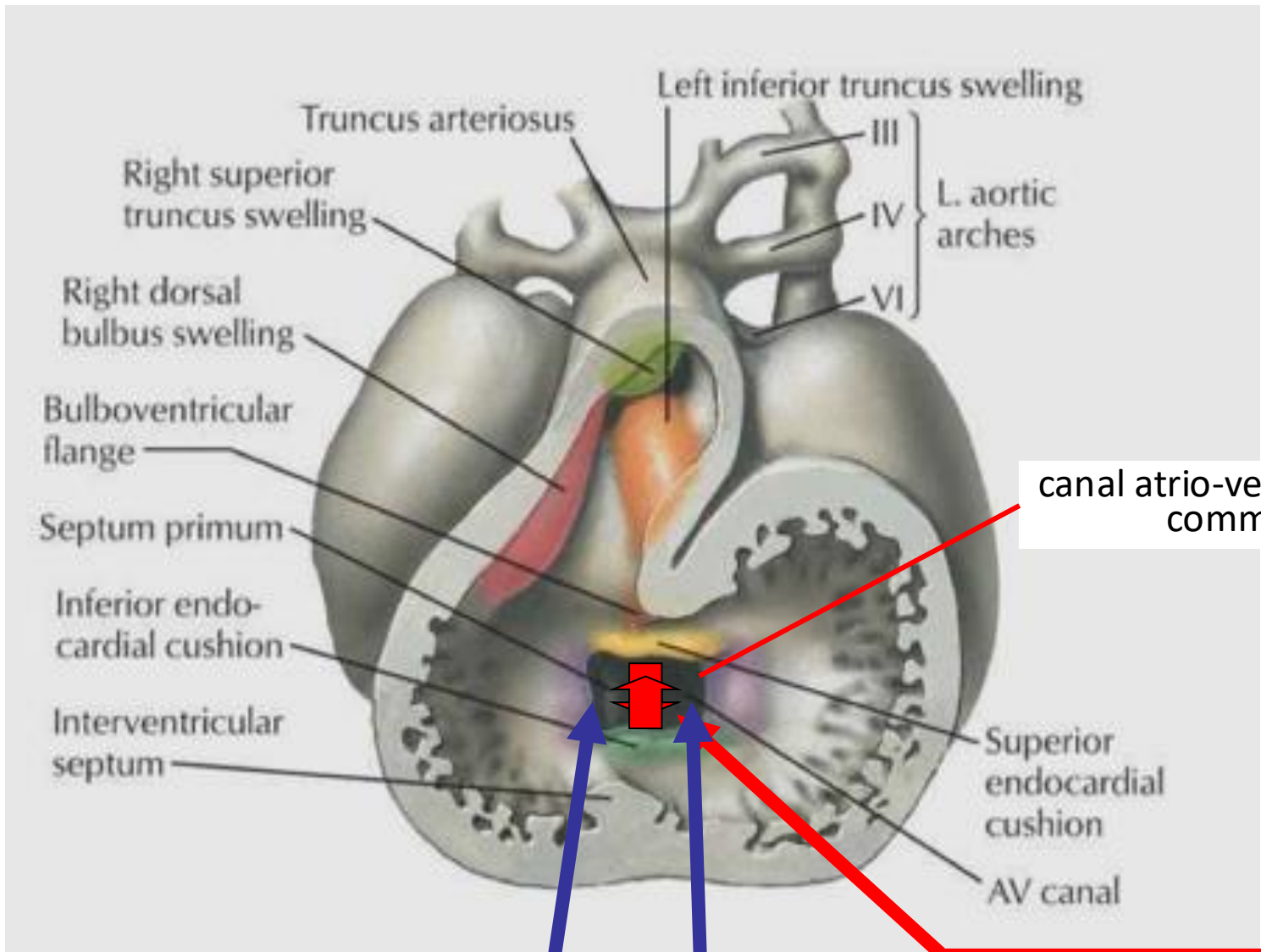
Modification locale des cellules de l'endocarde (diminution N-CAM, ...) : EMT

Changements des interactions endocarde – gelée cardiaque

Cellules de l'endocarde prolifèrent et envahissent la gelée cardiaque  
(transformation d'épithélium en mésenchyme)

Formation des coussins endocardiques

Le canal atrio-ventriculaire commun se divise en gauche et droit



canal atrio-ventriculaire commun

Fusion des coussins endocardiques inférieur et supérieur

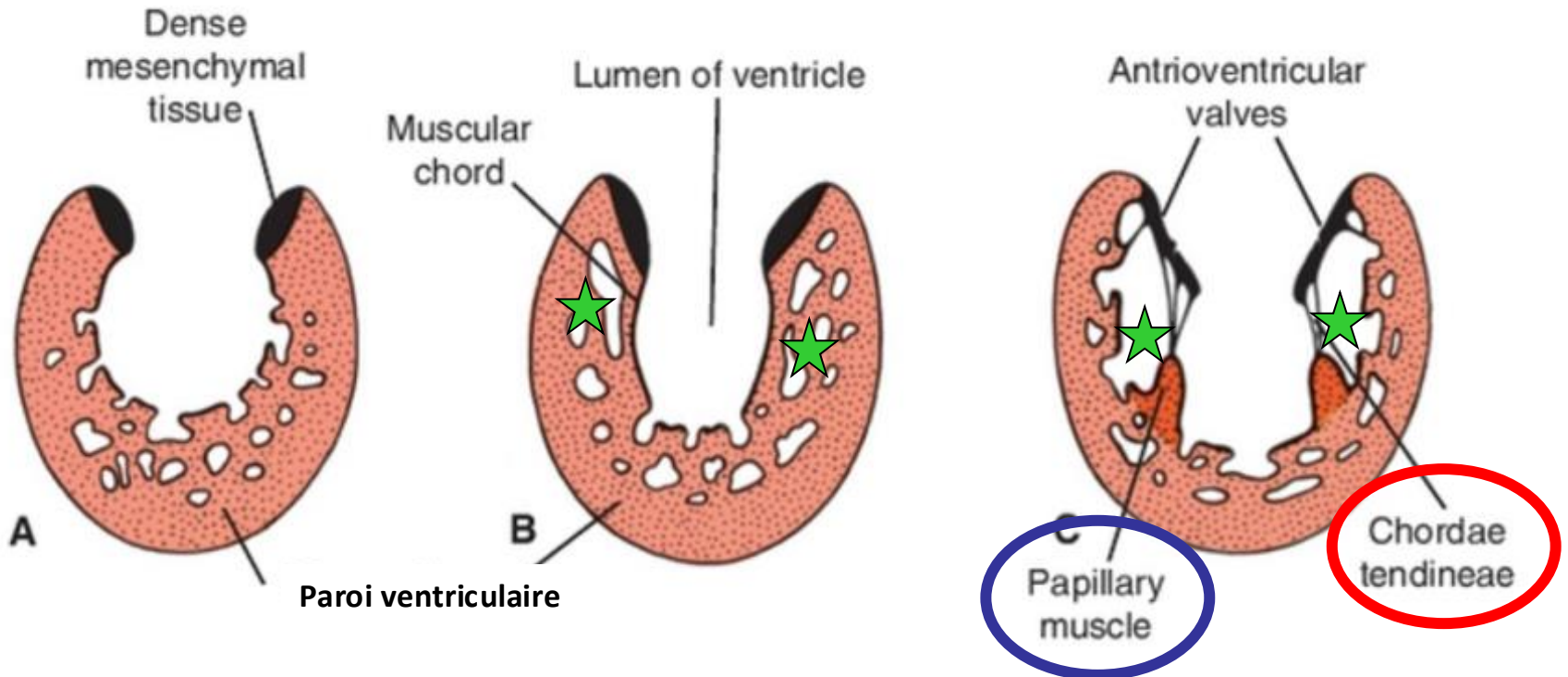
Canal atrio-ventriculaire droit

Canal atrio-ventriculaire gauche

# Septation atrio-ventriculaire (2)

## 2. Séparation oreillettes - ventricules:

Les valves atrio-ventriculaires (mitrale, à gauche, et tricuspide, à droite)



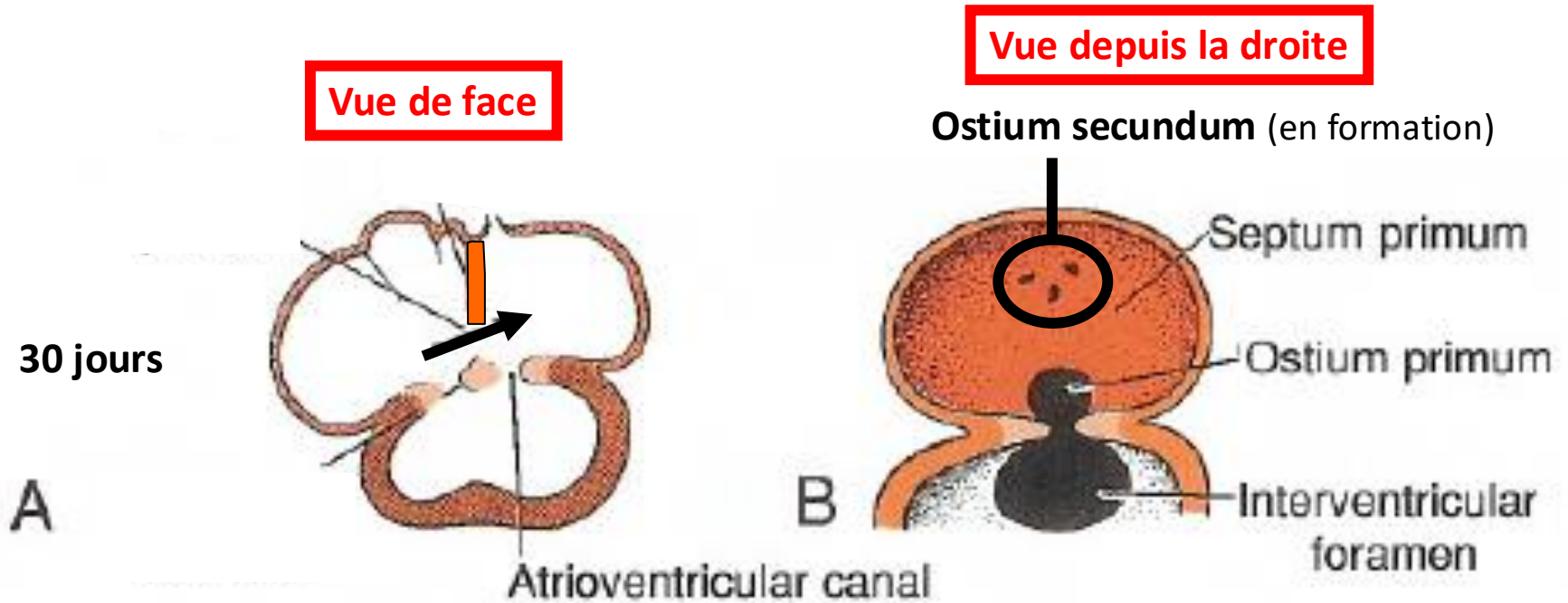
Les valves sont formées de l'endocarde et mésenchyme épaissi qui entoure les canaux a-v. Elles sont recouvertes d'endocarde.

Une partie de la paroi des ventricules **se vacuolise** → détachement des valves  
Les valves restent attachées à la paroi des ventricules par les **cordages tendineux**, eux-mêmes insérés sur les **muscles papillaires**.

# SEPARATION DES CAVITES CARDIAQUES

2. Comment se forme le trou de Botal ?  
Comment et quand se ferme-t-il ?  
*(séparation des oreillettes)*

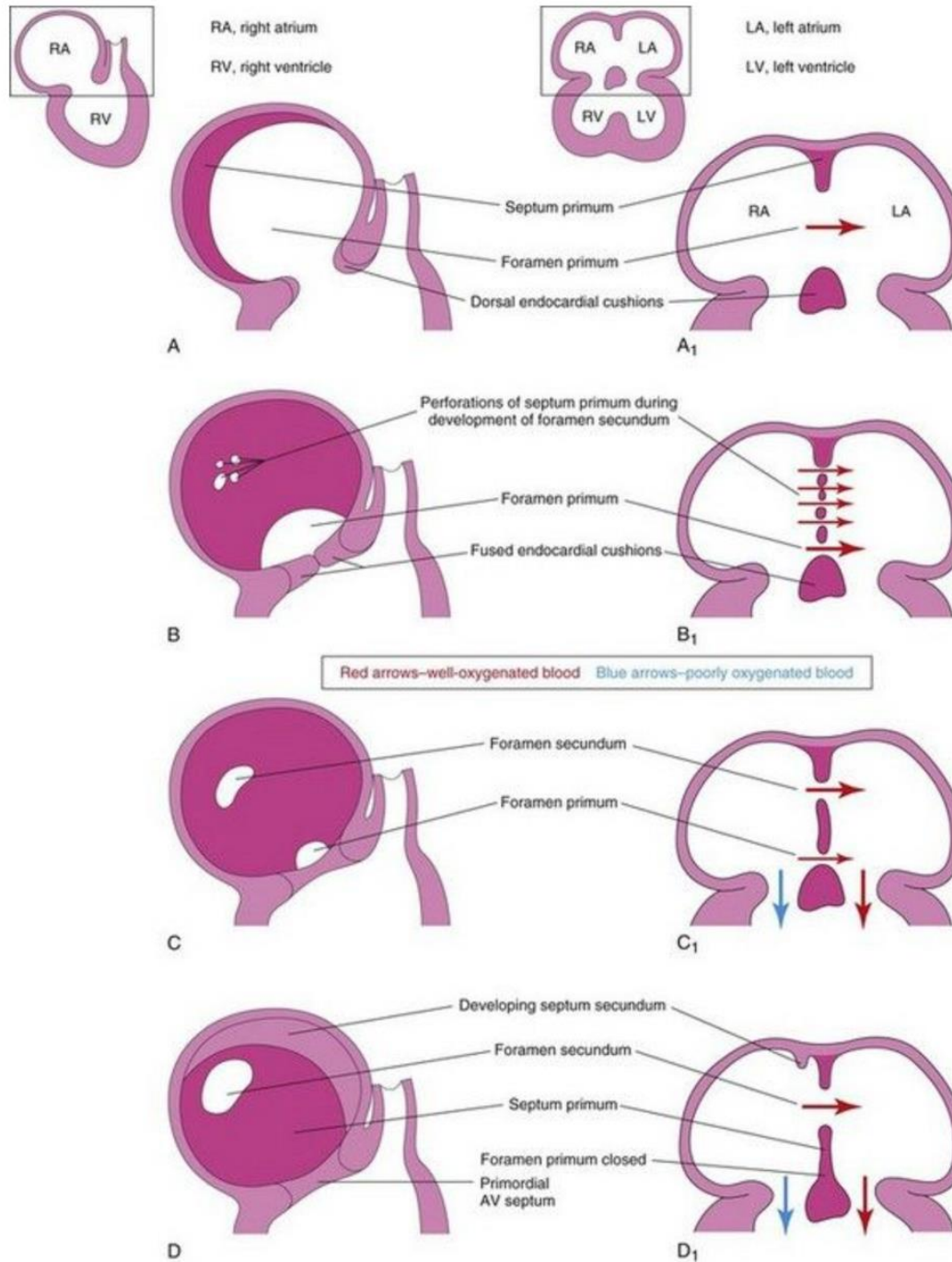
# Septation interauriculaire (1)



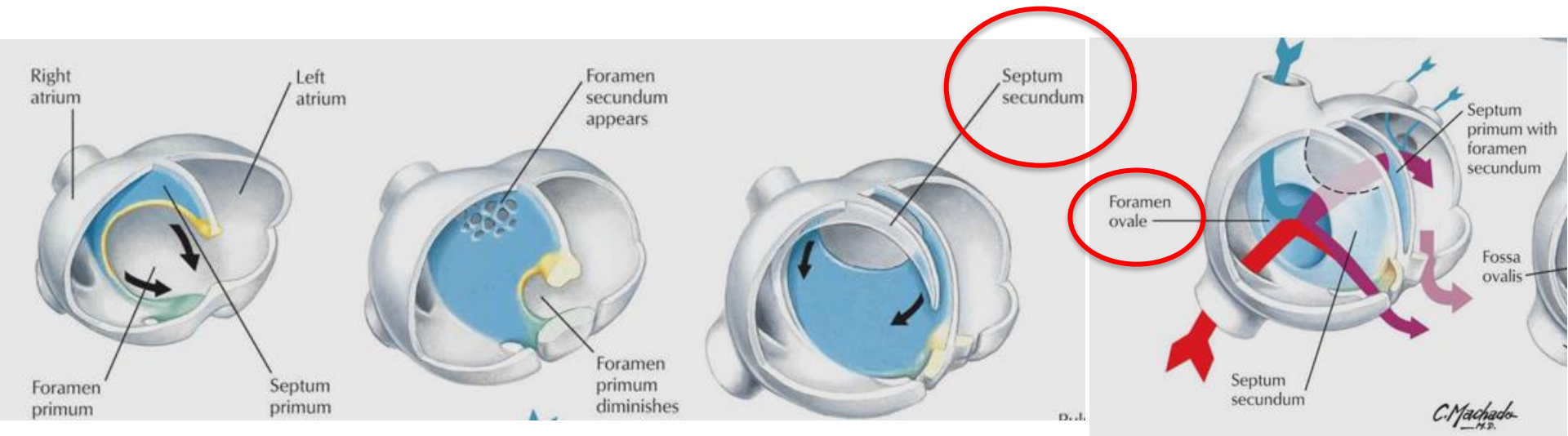
Septum primum: septum qui descend comme un rideau et rejoint les coussins endocardiques atrio-ventriculaires

Ostium primum : communication interauriculaire « primitive »

Ostium (foramen) secundum: le septum primum se « déchire » (apoptoses)



# Septation interauriculaire (2)

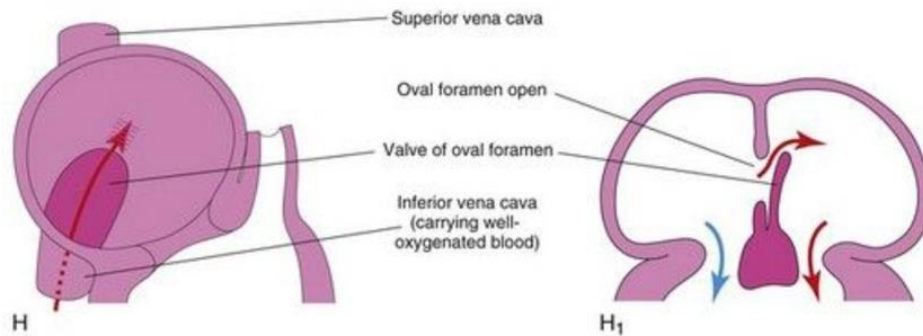
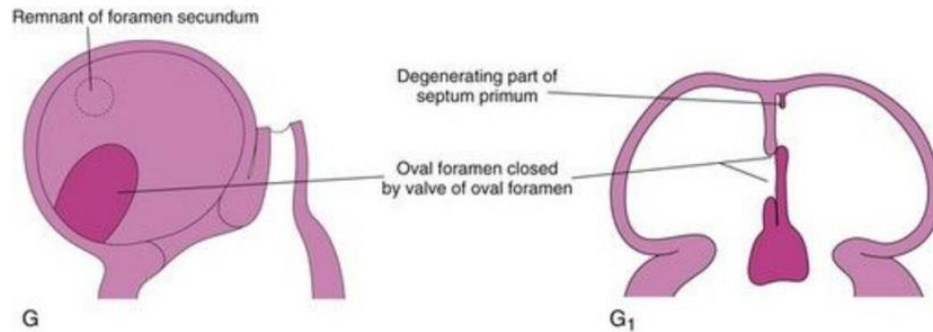
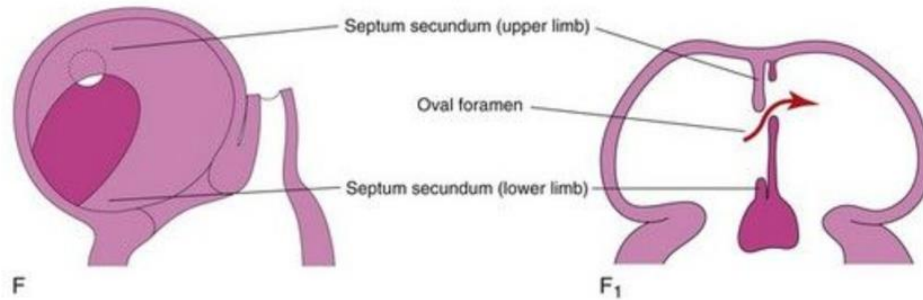
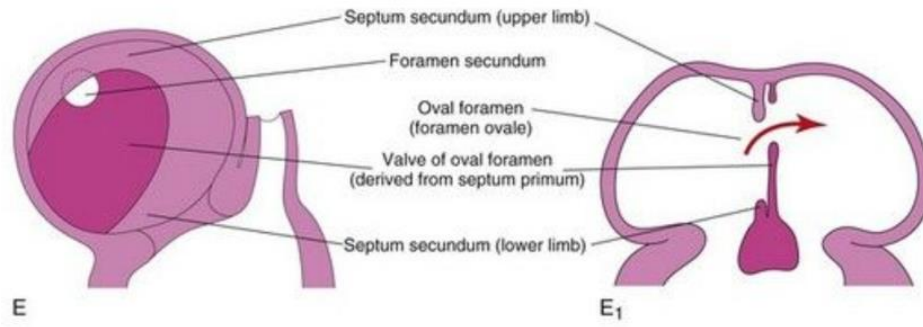


**33 jours**

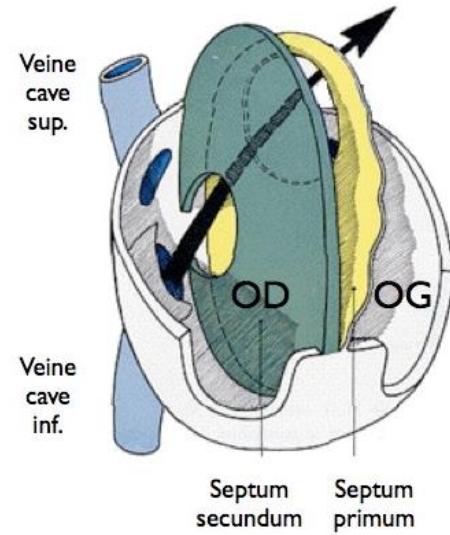
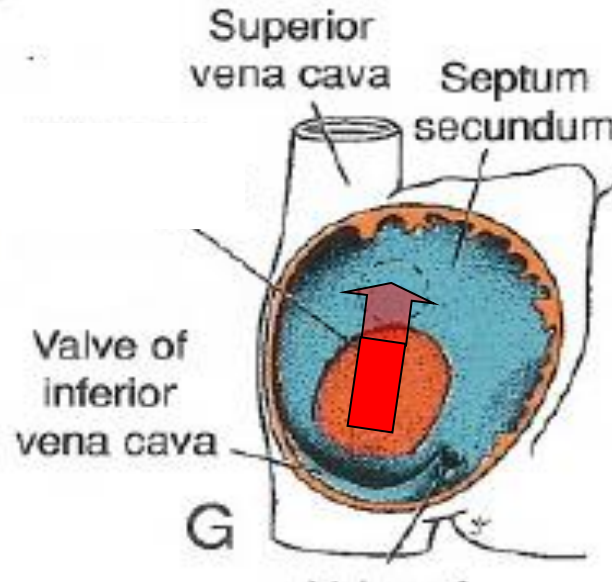
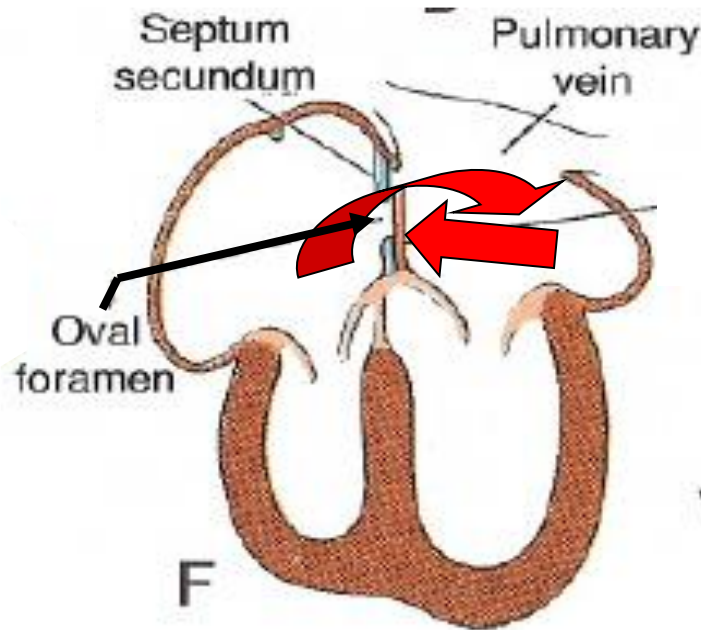
Septum secundum: 2<sup>ème</sup> septum, qui se forme aussi « en rideau ».

Ne ferme pas totalement la communication interauriculaire

Il reste un passage = formé par le foramen ovale avec l'ostium (foramen) secundum



# Septation interauriculaire (3)



**Foramen ovale** = Trou ovale, ou **Trou de Botal** (terme ancien)

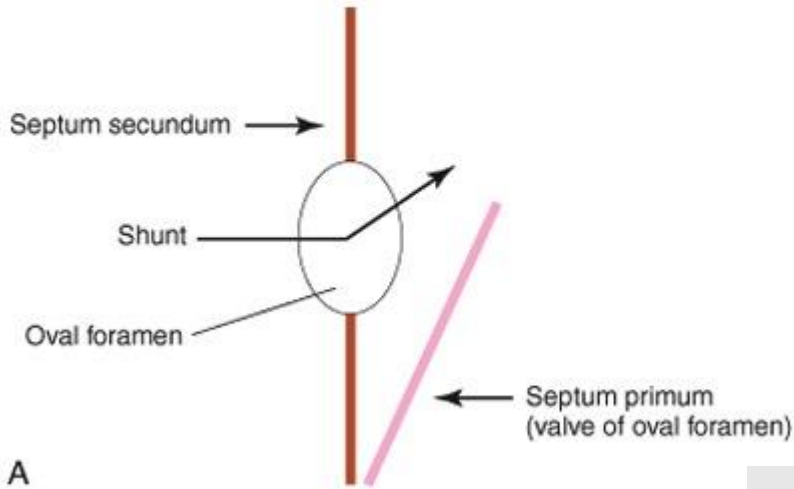
communication interauriculaire (passage «en chicane») qui persiste jusqu'à la naissance : la pression est plus élevée OD, alors la plus grande partie du sang passe de l'OD à l'OG.

A la naissance, inversion des pressions : pression devient plus élevée dans l'OG. Septum primum forme une valve qui se plaque sur le septum secundum. Fermeture du foramen ovale, d'abord fonctionnelle.

BEFORE BIRTH

**RIGHT ATRIUM**  
HIGHER PRESSURE

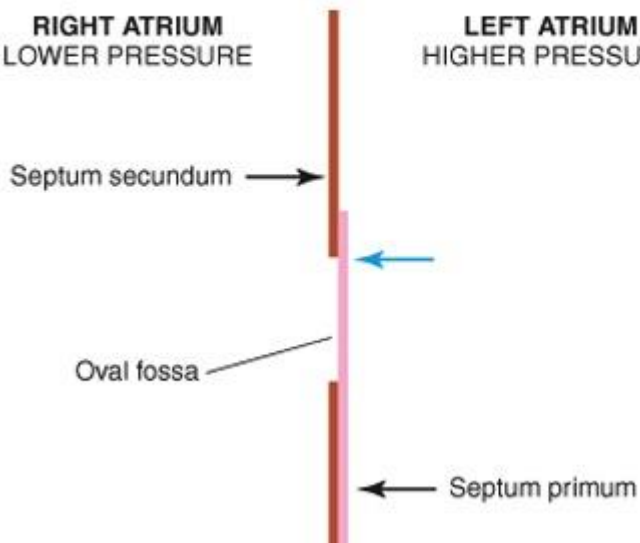
**LEFT ATRIUM**  
LOWER PRESSURE



AFTER BIRTH

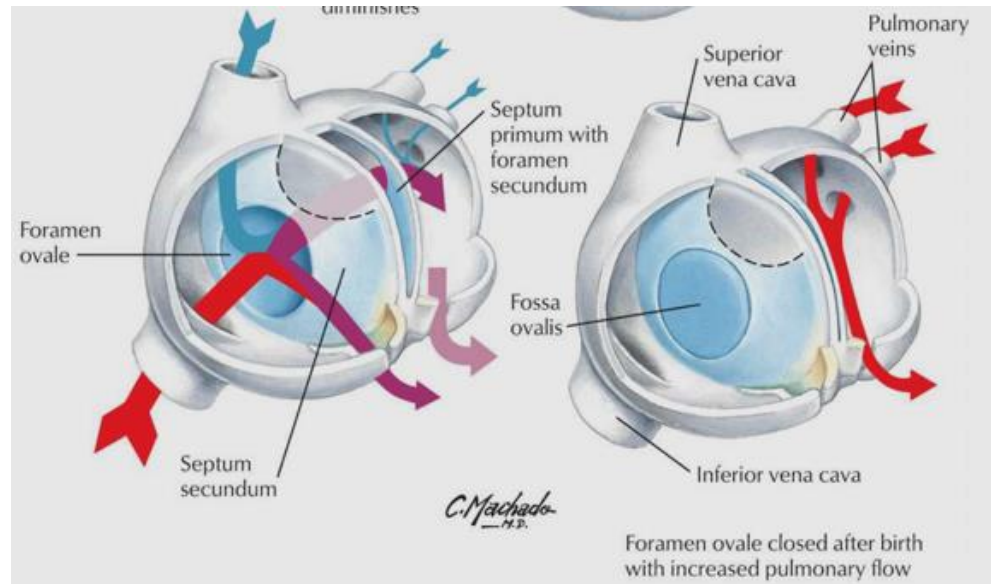
**RIGHT ATRIUM**  
LOWER PRESSURE

**LEFT ATRIUM**  
HIGHER PRESSURE



avant  
la naissance

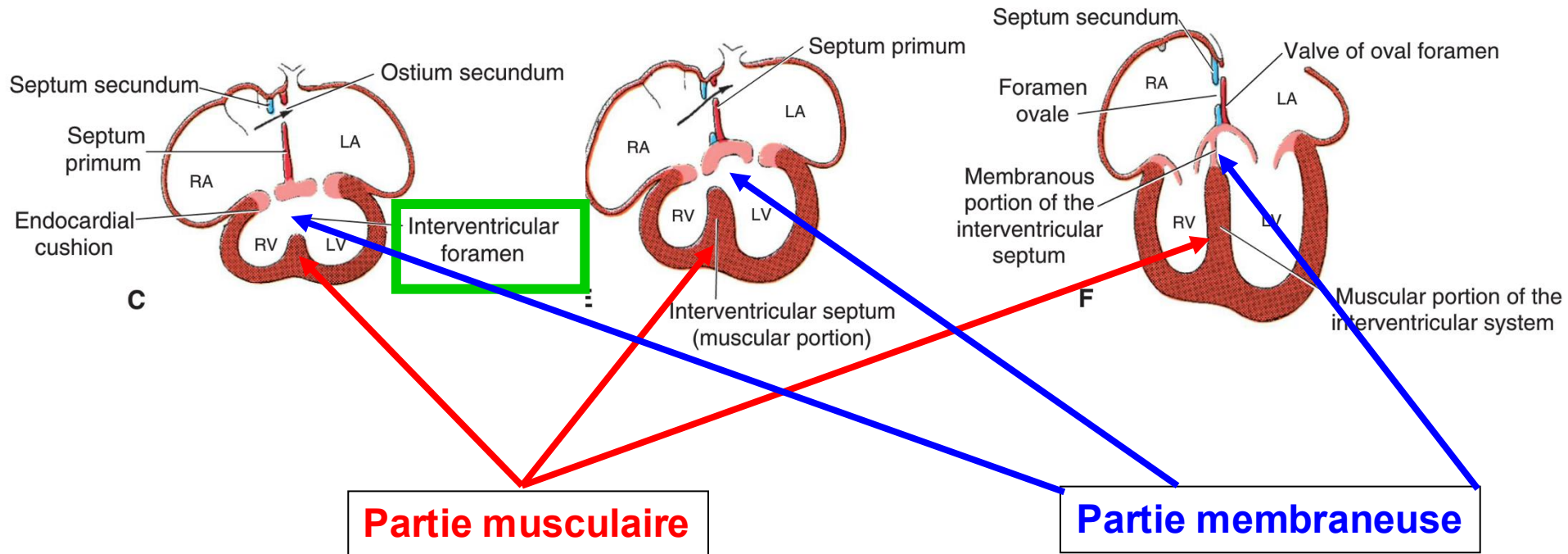
après  
la naissance



# SEPARATION DES CAVITES CARDIAQUES

3. Comment se séparent  
les deux ventricules ?

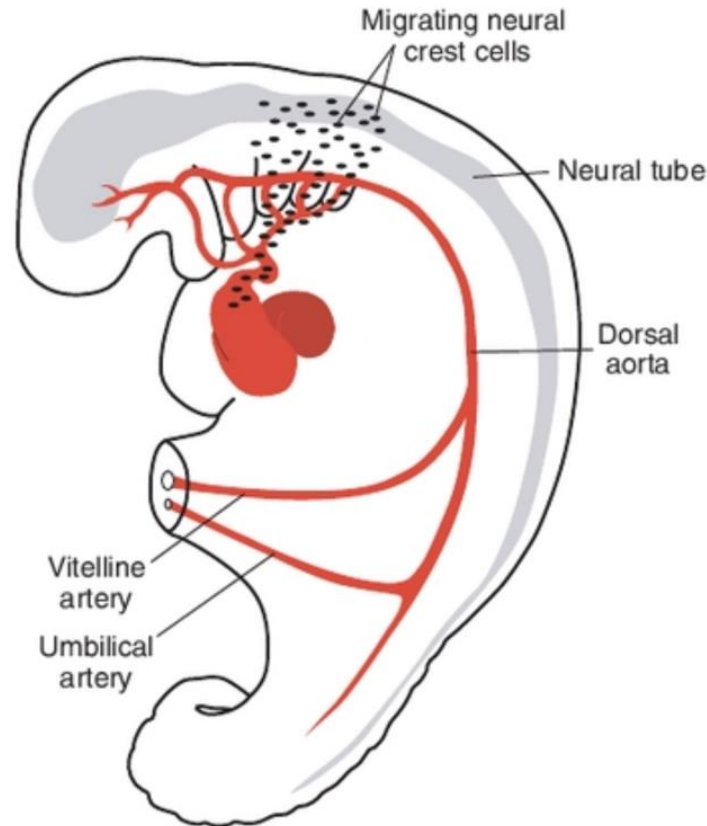
# Septation interventriculaire



1. **Partie musculaire** du septum interventriculaire se forme par :  
Expansion des ventricules et fusion de leurs parois médianes
2. **Partie membraneuse** du septum interventriculaire se forme avec :
  - Coussins endocardiques atrioventriculaires
  - Partie inférieure de la septation du bulbe (septum aortico-pulmonaire, formé par les crêtes bulbaires)

# Septation du bulbe et du tronc artériel

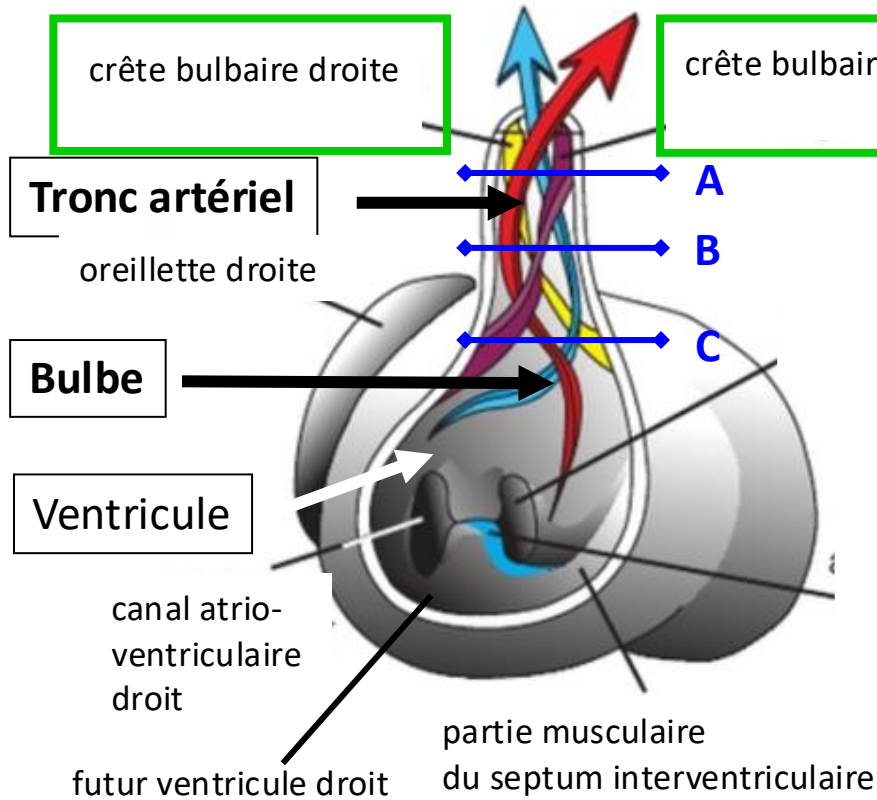
Crêtes bulbaires (tronco-bulbaires) : similaires aux coussins endocardiques. Mais leur formation implique des cellules provenant des crêtes neurales.



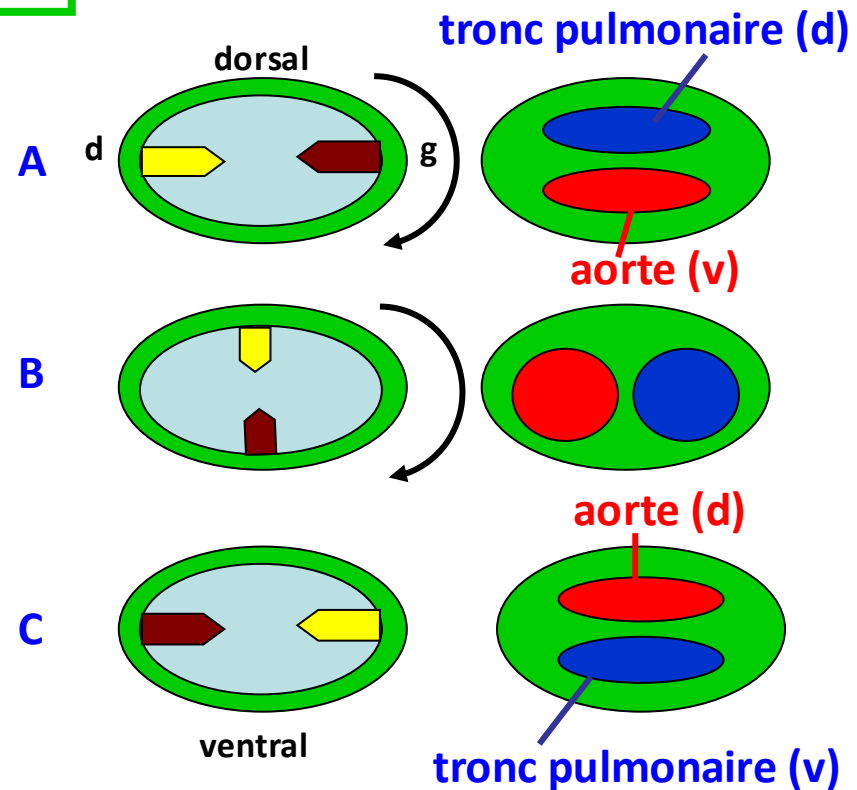
**Figure 13.27** Drawing showing the origin of neural crest cells in the hindbrain and their migration through pharyngeal arches 3, 4, and 6 to the outflow tract of the heart. In this location, they contribute to septation of the conus cordis and truncus arteriosus.

# Septation du bulbe et du tronc artériel

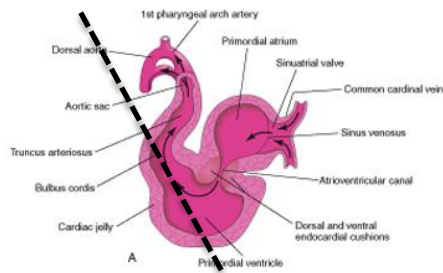
Crêtes bulbaires (tronco-bulbaires) : similaires aux coussins endocardiques. Leur formation implique des cellules provenant des crêtes neurales.



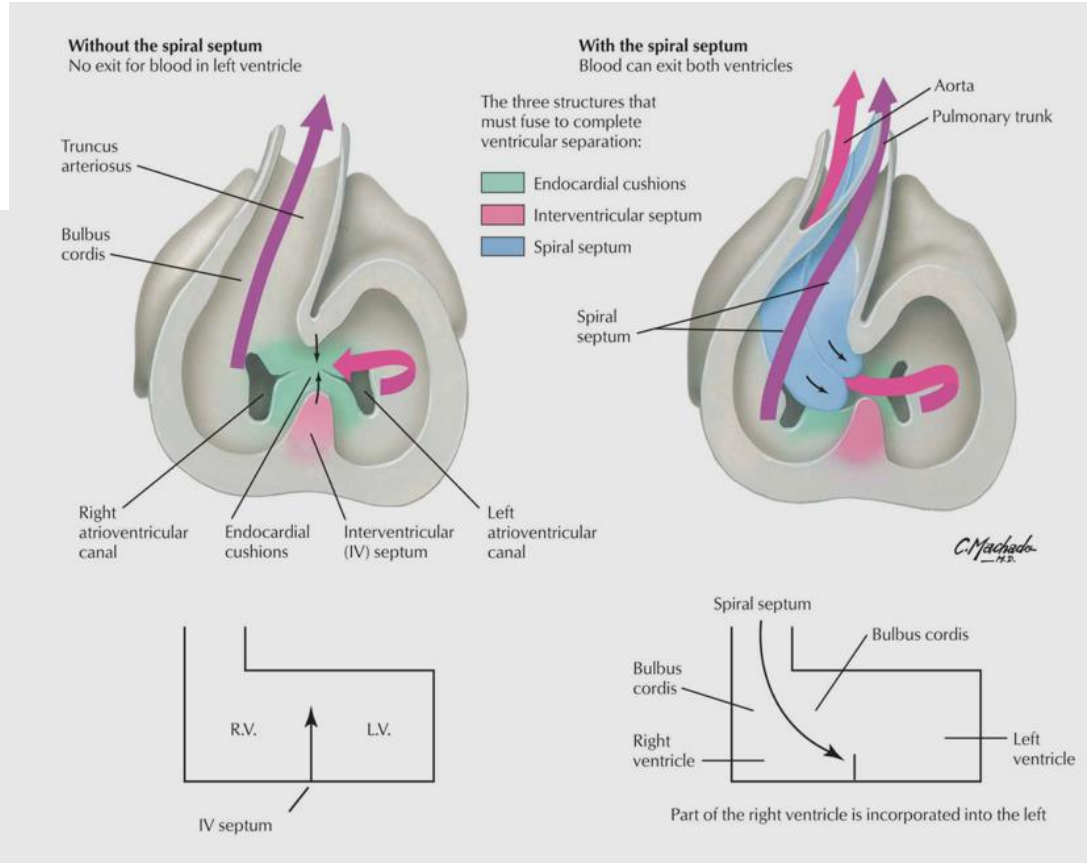
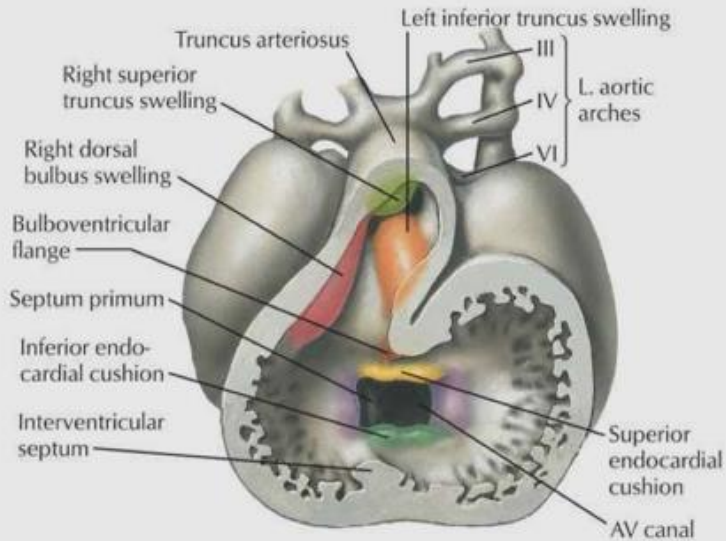
Descend en spirale du tronc artériel dans le bulbe



# septation du bulbe, du tronc artériel et des ventricules

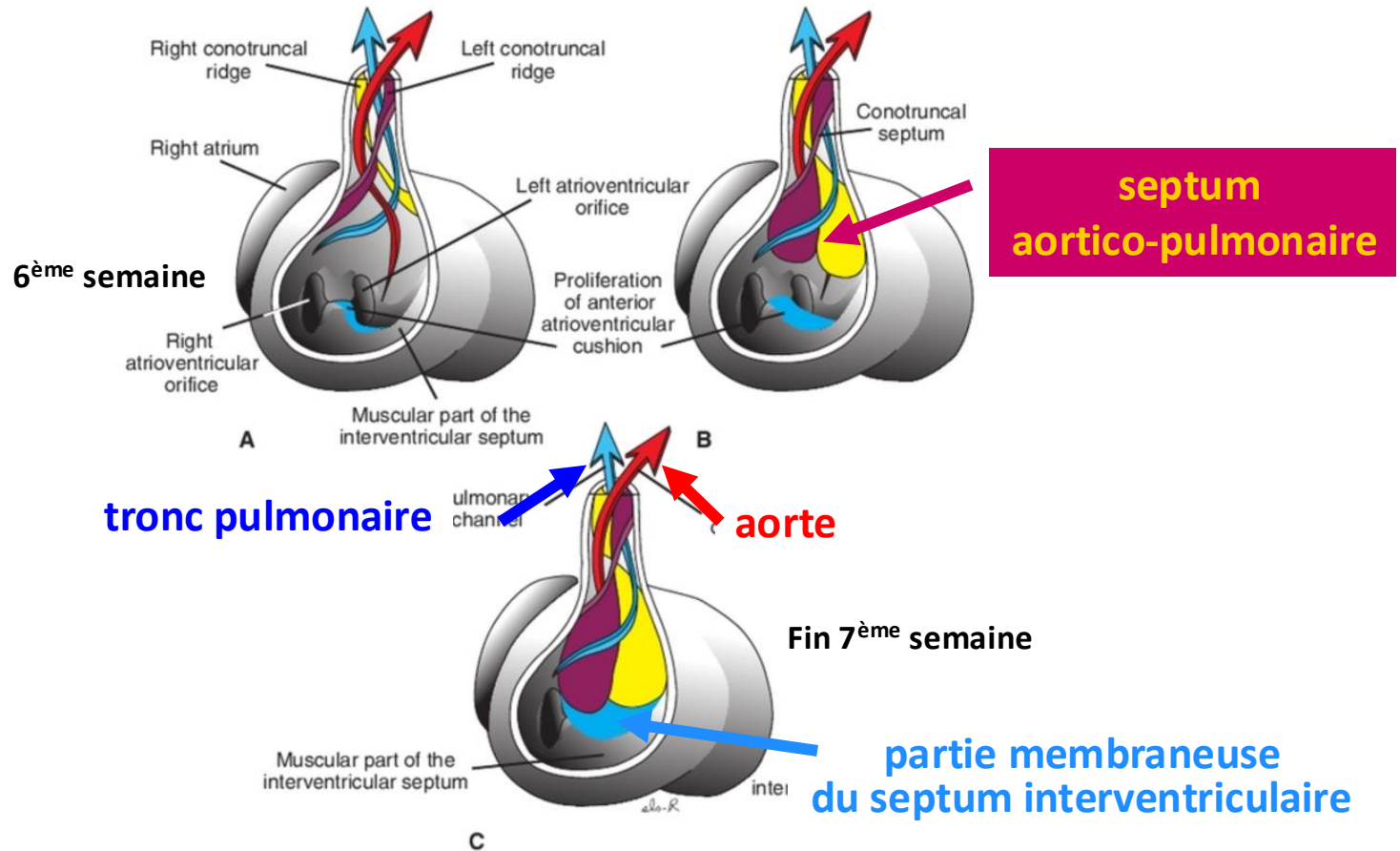


6 to 7 mm (approximately 29 days)



Le *bulbe* et le *tronc artériel* sont une *continuation du ventricule droit*. Si le septum interventriculaire arrivait directement jusqu'aux coussins endocardiques, le ventricule gauche n'aurait pas d'écoulement. **Trois bourgeons fusionnent** pour compléter la septation des ventricules : le septum aortico-pulmonaire en spiral, les coussins endocardiques du canal atrioventriculaire, et la partie musculaire du septum interventriculaire primaire. Les deux premiers forment la *partie membraneuse* du septum interventriculaire. Cette partie membraneuse concerne un grand nombre de malformations cardiaques.

# Septation du bulbe et du tronc artériel

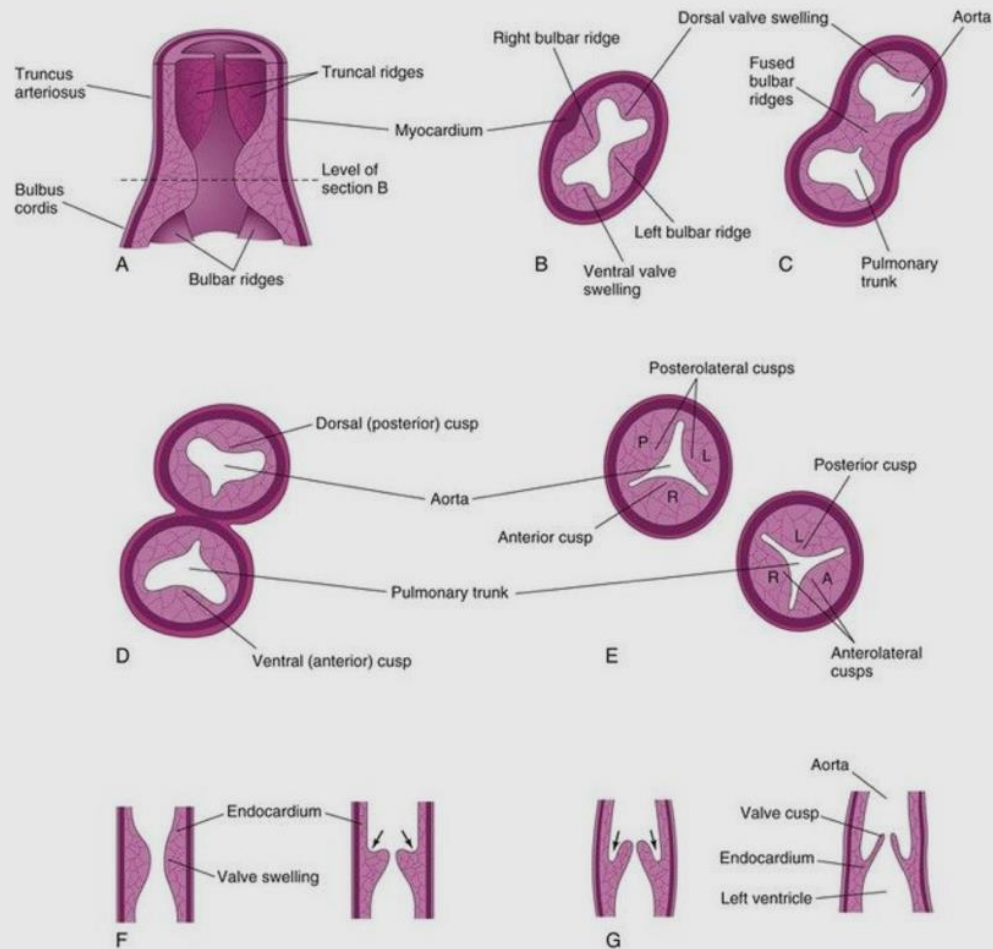


Les crêtes bulbaires forment le **septum aortico-pulmonaire**

Elles séparent deux vaisseaux : l'**aorte** et le **tronc pulmonaire** enroulés en spirale

Elles fusionnent avec les coussins endocardiques atrioventriculaires et forment la **partie membraneuse du septum interventriculaire**

valves  
*semi-lunaires*  
 (v. sigmoïdes :  
 aortique et  
 pulmonaire)

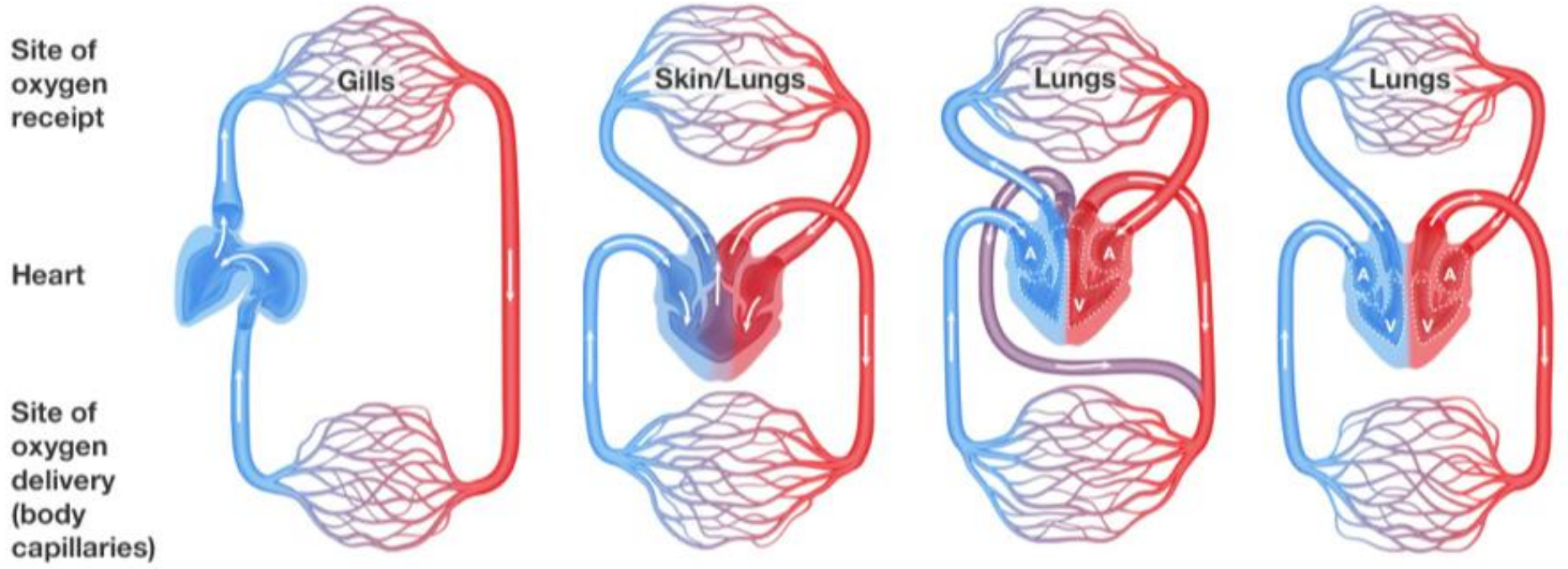


**FIGURE 13–22** Development of the semilunar valves of the aorta and pulmonary trunk. **A**, Sketch of a section of the truncus arteriosus and bulbus cordis showing the valve swellings. **B**, Transverse section of the bulbus cordis. **C**, Similar section after fusion of the bulbar ridges. **D**, Formation of the walls and valves of the aorta and pulmonary trunk. **E**, Rotation of the vessels has established the adult relations of the valves. **F** and **G**, Longitudinal sections of the aorticoventricular junction illustrating successive stages in the hollowing (*arrows*) and thinning of the valve swellings to form the valve cusps.

## 4. Comment est établi l'arbre vasculaire ?

développement du système artériel : à partir des *arcs aortiques*

développement du système veineux : à partir des *veines cardinales (ant. et post.)*,  
*veines vitellines* et *veines ombilicales*



**Fish**



**Amphibians**



**Most Reptiles**

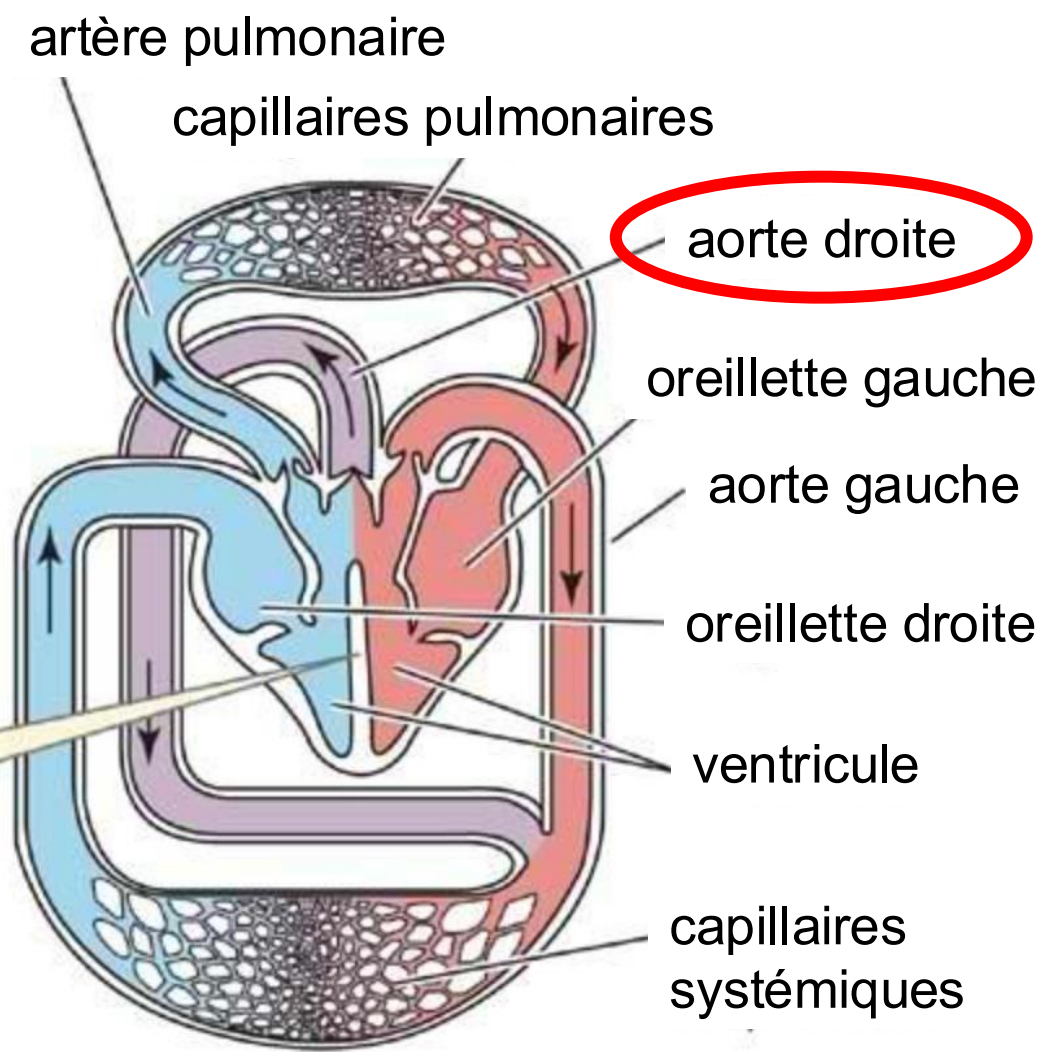


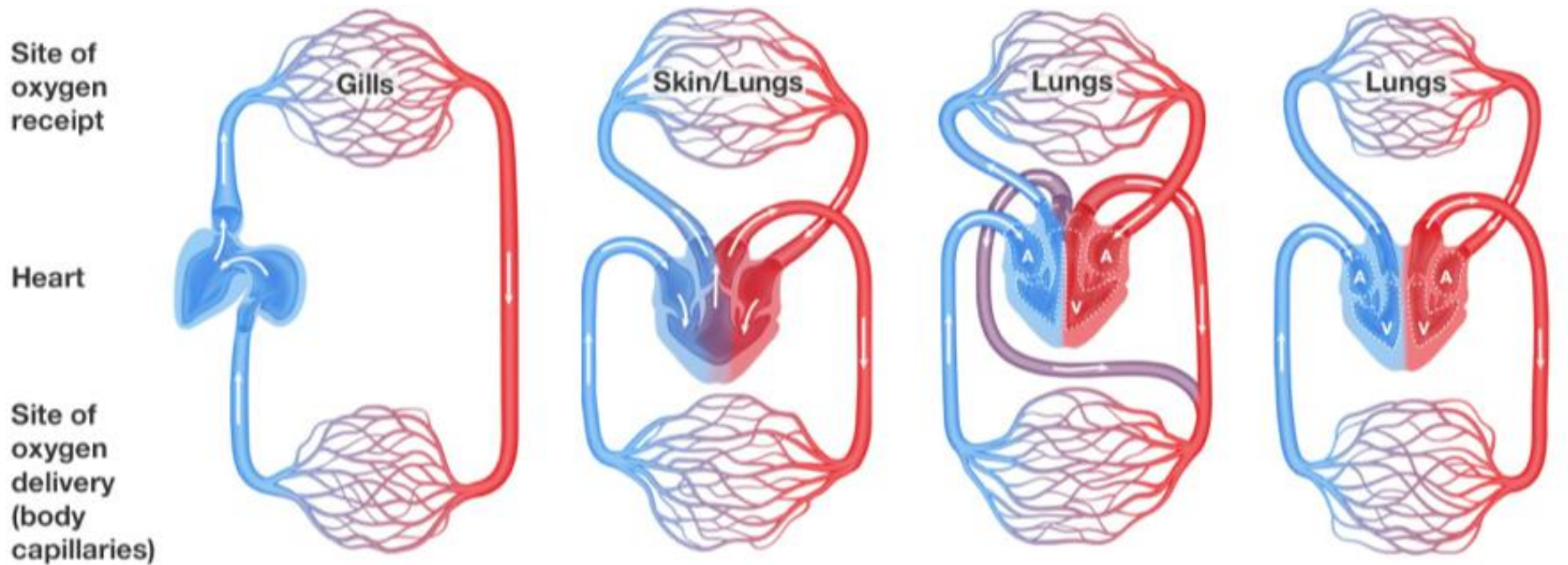
**Birds and Mammals**

<b>Circulation type</b>	Single-loop	Double-loop	Double-loop	Double-loop
<b>Number of heart chambers</b>	2	3	3 with partial septum dividing two halves of ventricle	4 with full septum dividing ventricle



dans le cœur à 3 chambres des reptiles, le ventricule est divisé *partiellement*, par un septum *incomplet*, ce qui réduit le mélange sanguin





**Fish**



**Amphibians**



**Most Reptiles**



**Birds and Mammals**

**Circulation type**

Single-loop

Double-loop

Double-loop

Double-loop

**Number of heart chambers**

2

3

3  
with partial septum  
dividing two halves  
of ventricle

4  
with full septum  
dividing ventricle

# Circulation sanguine avant la naissance

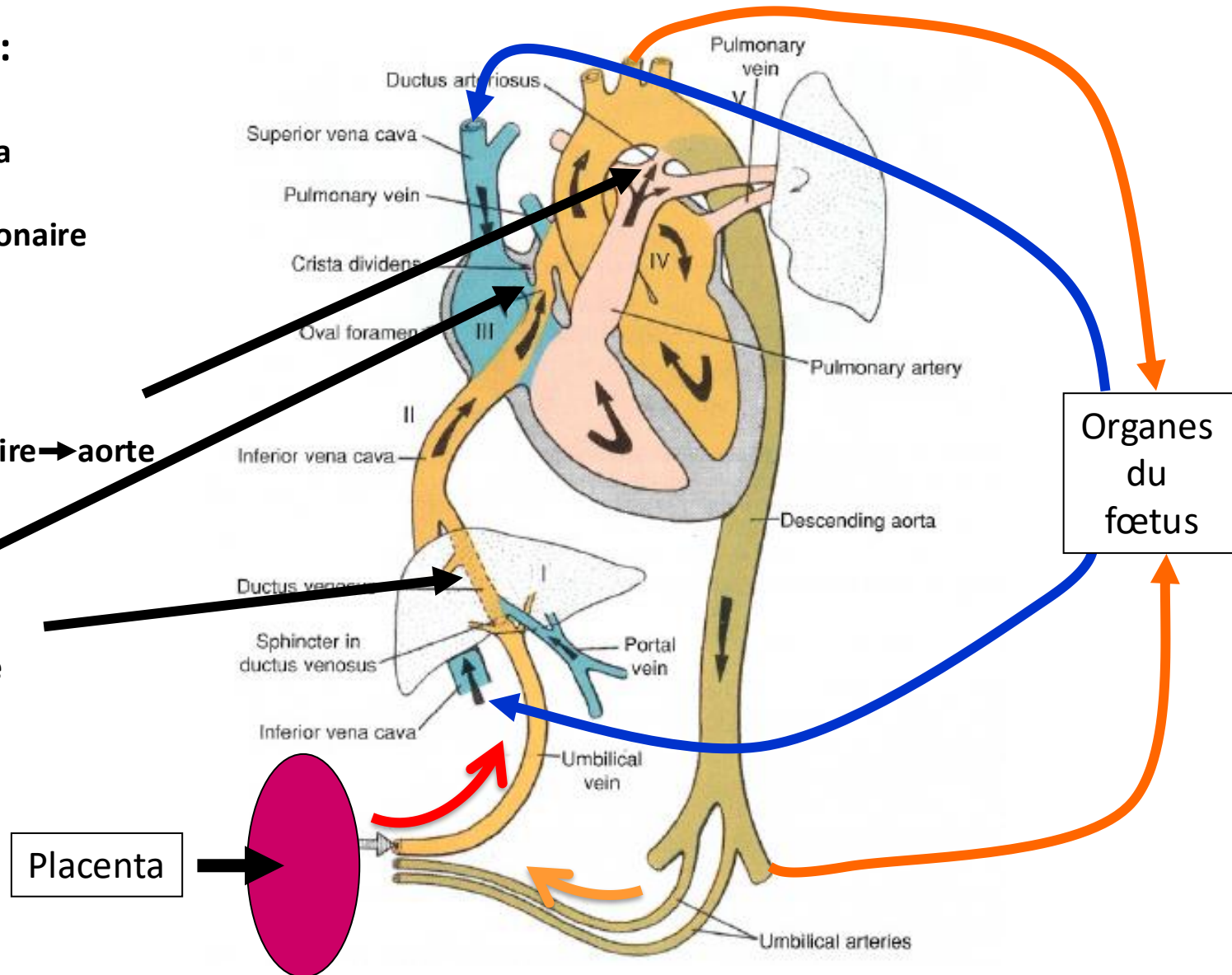
## Caractéristiques:

1. Sang oxygéné vient du placenta
2. Circulation pulmonaire à faible débit
3. Trois shunts:

[ Canal artériel  
Artère pulmonaire → aorte

[ Foramen ovale  
OD → OG

[ Canal veineux  
A travers le foie

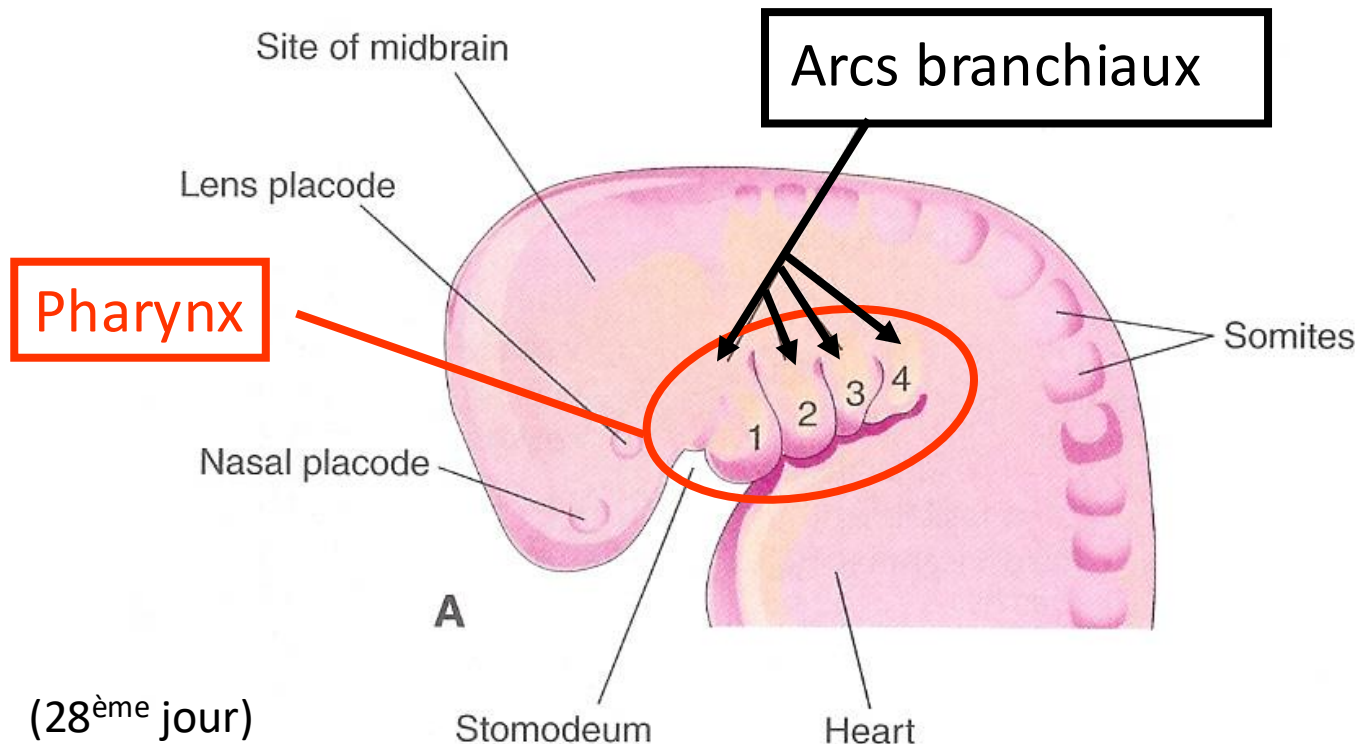


# Développement du système artériel : les arcs aortiques

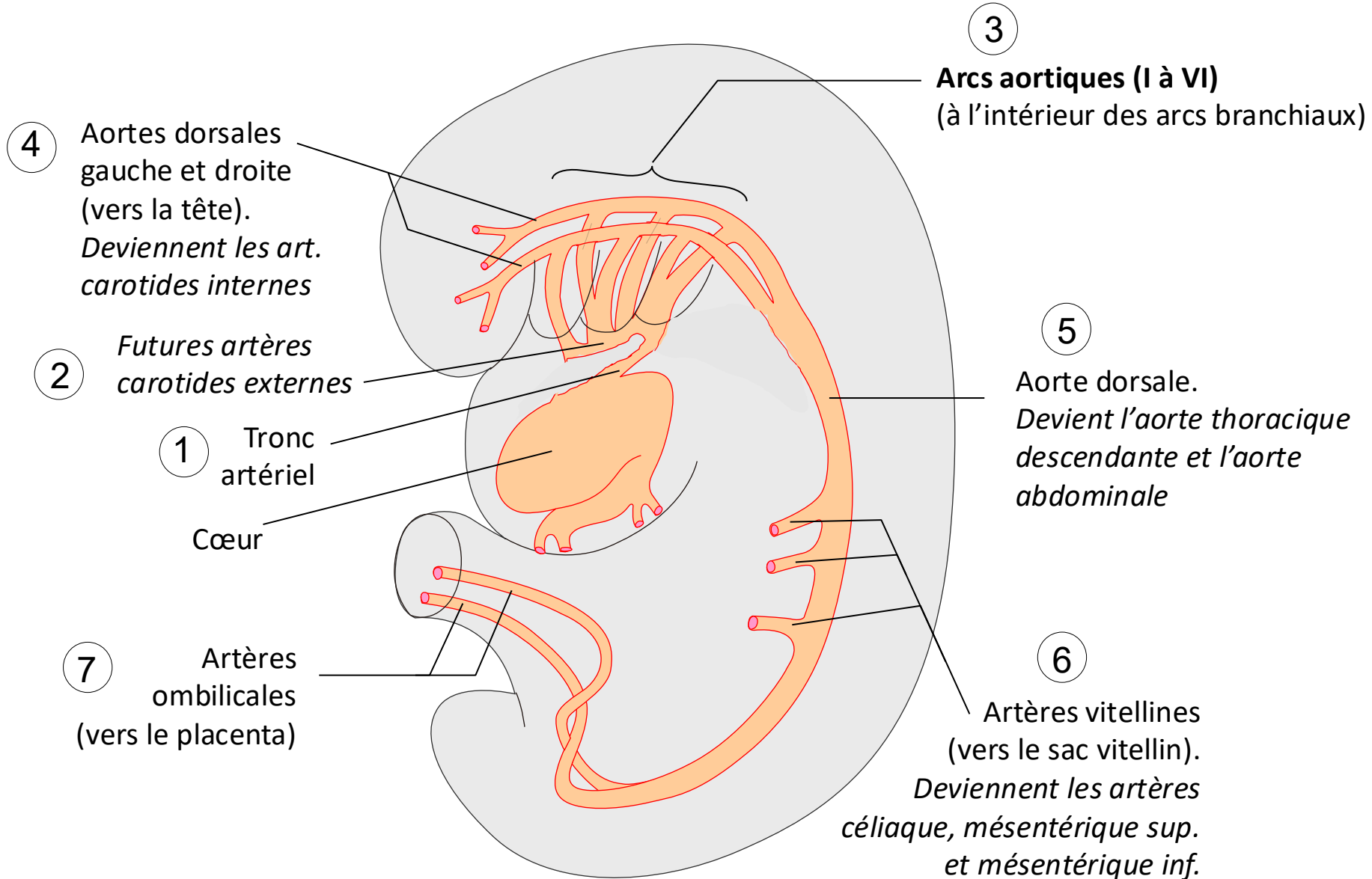
*Artères des arcs branchiaux* : les **arcs aortiques**.

# Le pharynx et les arcs branchiaux

- Pharynx : partie rostrale de l'intestin primitif (= endoderme).
- Limité latéralement et ventralement par cinq paires (5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> fusionnent) de colonnes mésodermiques qui se rejoignent ventralement : les arcs branchiaux (= pharyngiens), qui correspondent aux somites. Ils sont séparés par les fentes (épiderme) et les poches (endoderme) branchiales.

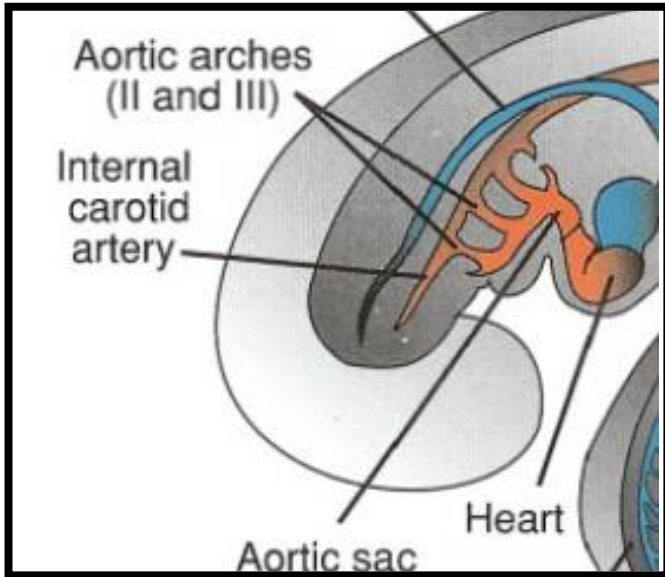


# systeme artériel (4è sem.)

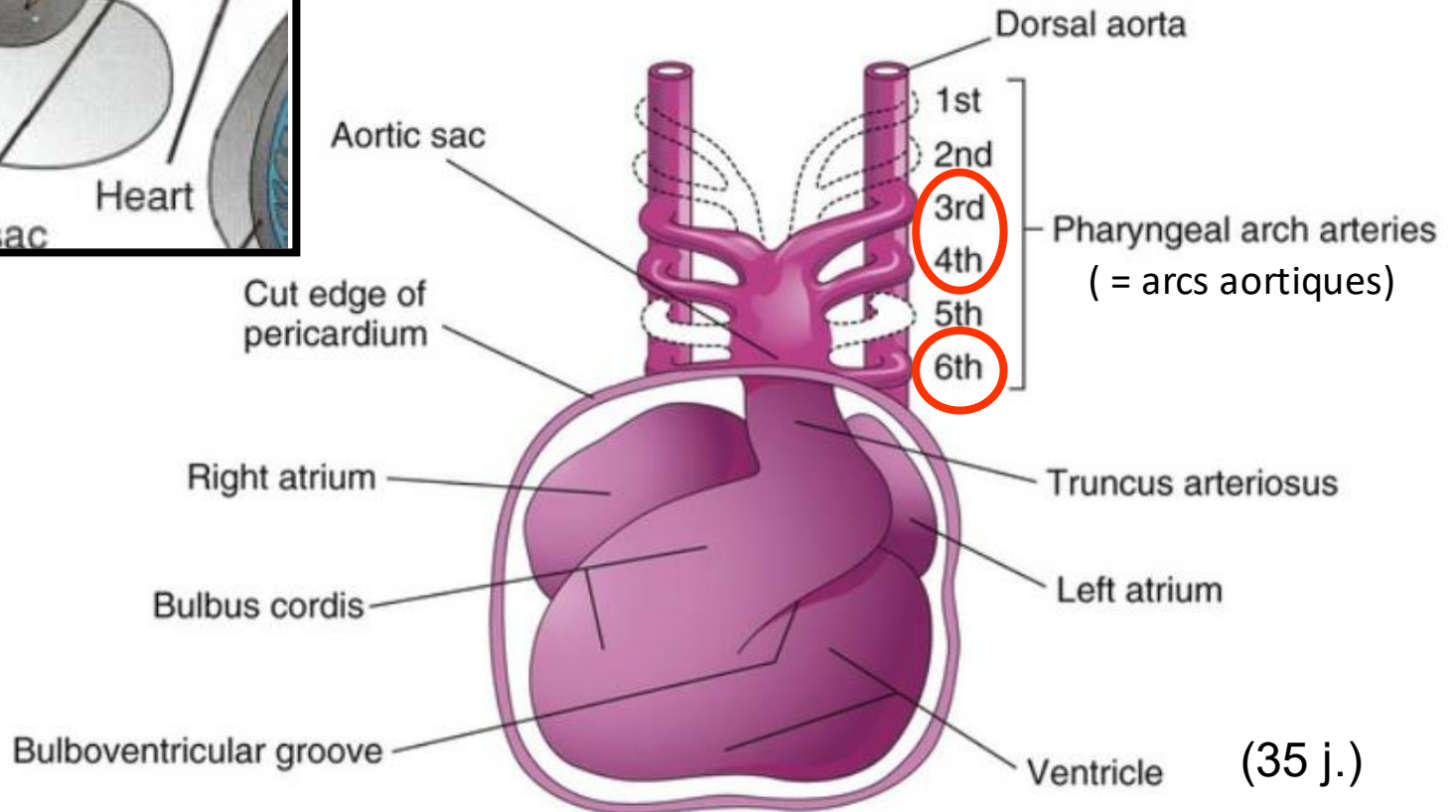


# Les arcs aortiques

*Artères des arcs branchiaux : les arcs aortiques.*

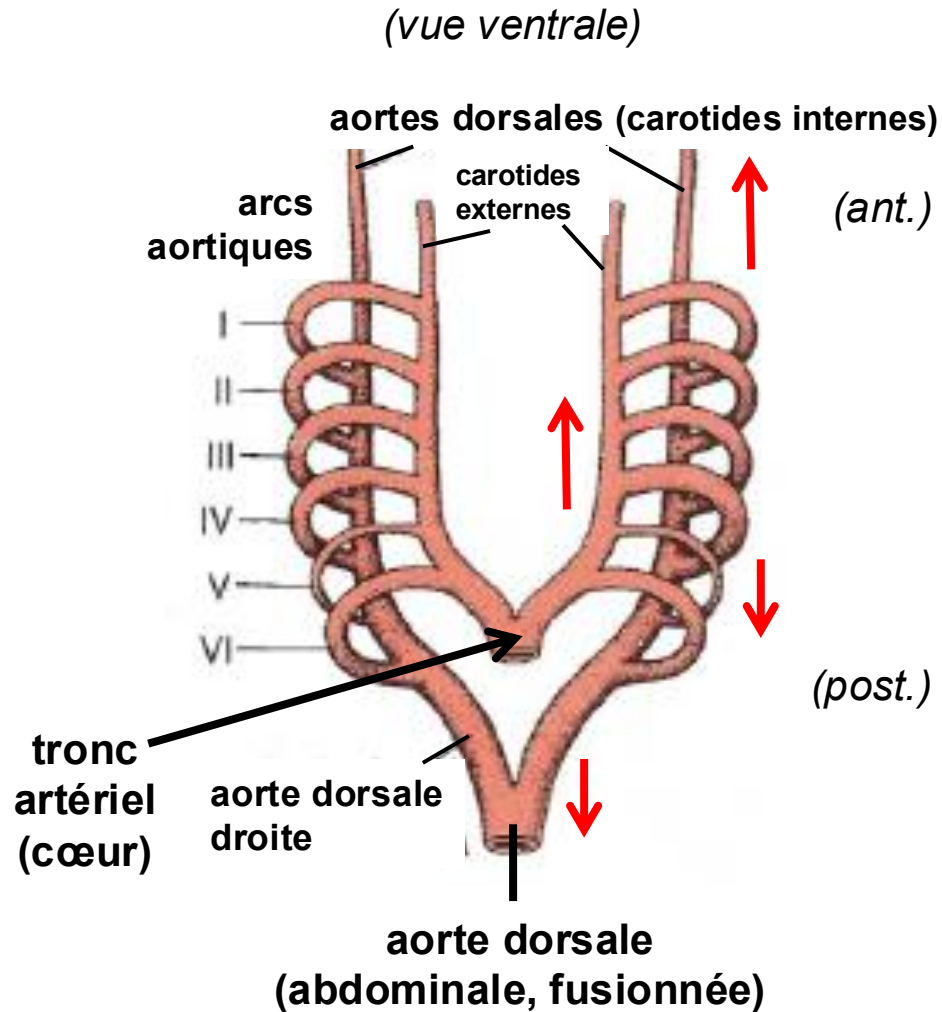


Il se forme **6 paires** d' arcs aortiques.

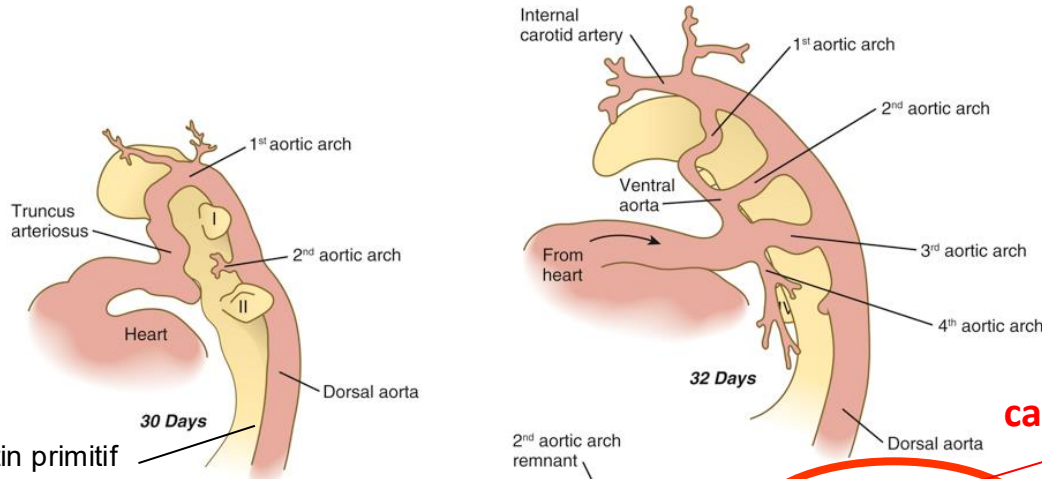


# Les arcs aortiques

*Artères des arcs branchiaux* : les arcs aortiques (6 paires).



# Les arcs aortiques (vues latérales)

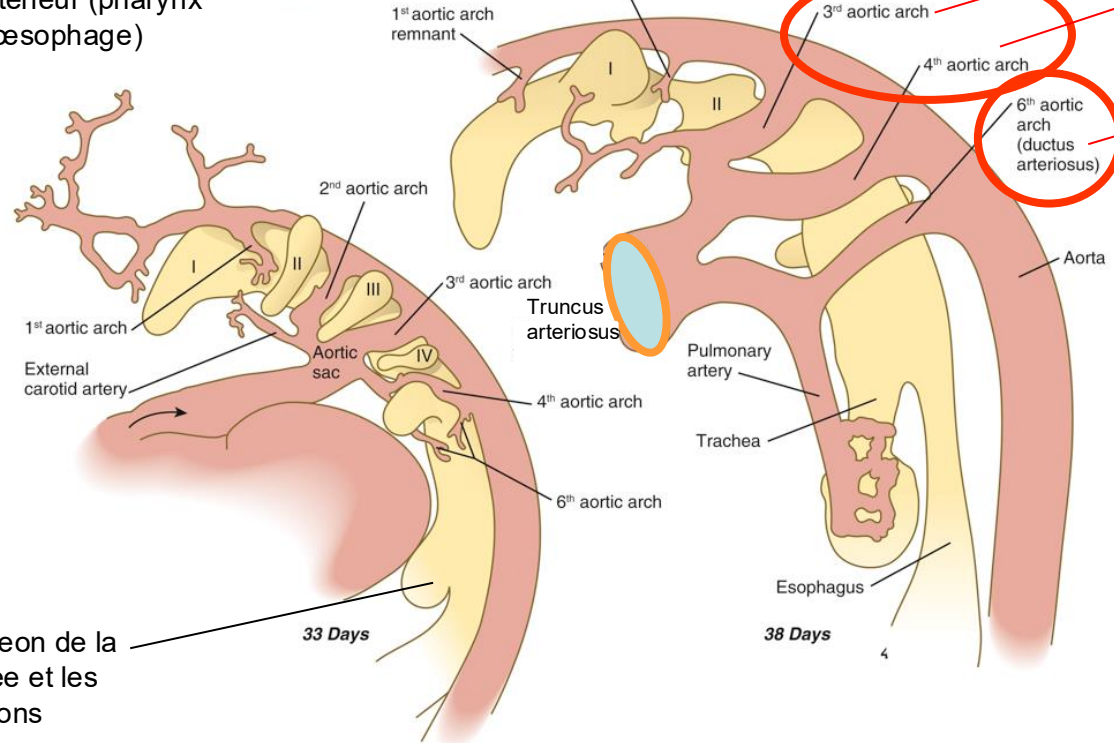


intestin primitif  
antérieur (pharynx  
& œsophage)

**carotides communes et internes**

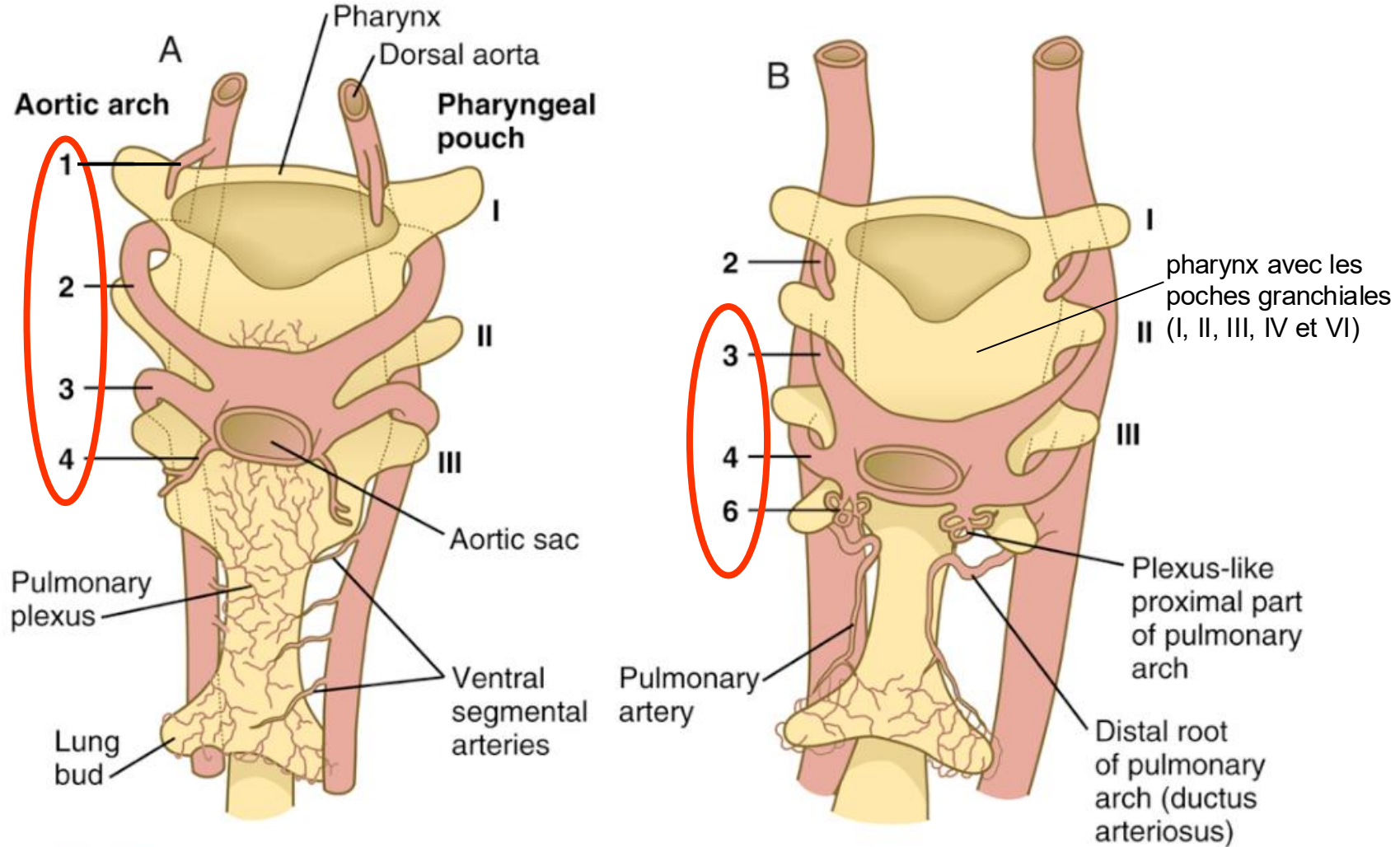
**art. sous-clavière droite  
et gauche de l'aorte**

**début artères pulmonaires  
D et G**



bourgeon de la  
trachée et les  
poumons

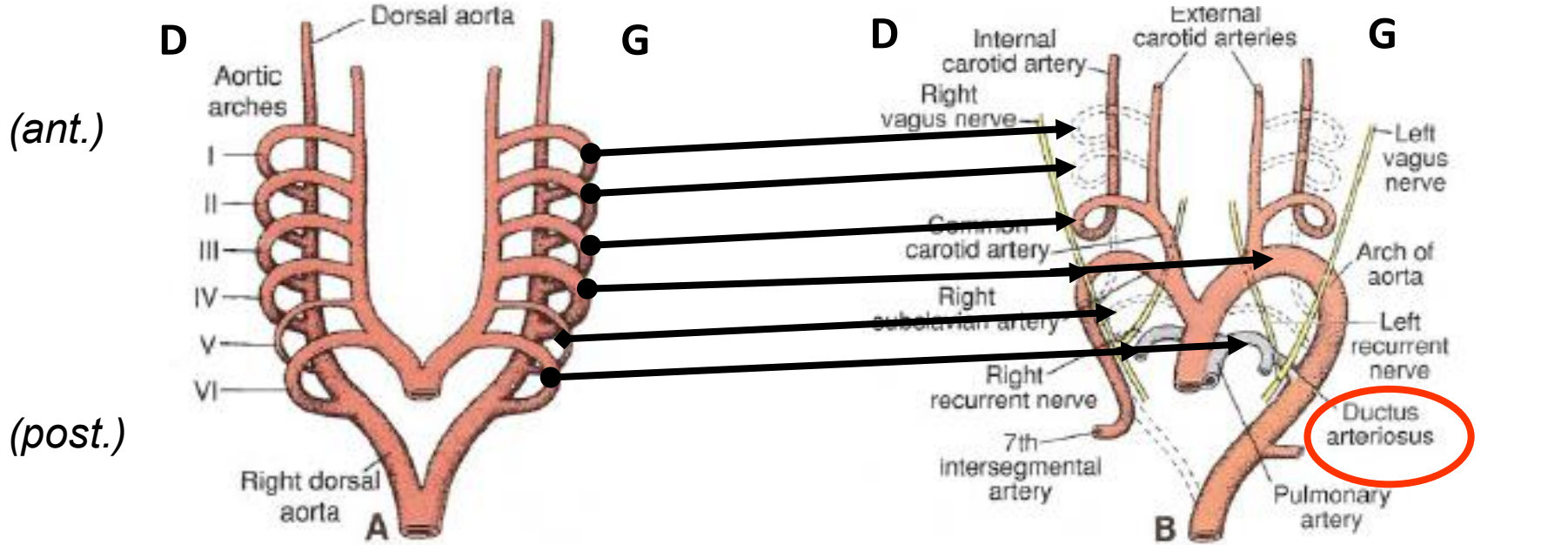
# Les arcs aortiques (vues ventrales = de face)



**FIG. 17.13** (A) and (B) Development of the pulmonary arch, showing the early pulmonary plexus in relation to several ventral segmental arteries associated with the early respiratory diverticulum (A) and their consolidation into discrete vessels that establish a connection with the bases of the fourth aortic arches (B).

Based on DeRuiter MC, et al. *Anat Embryol* 1989;179:309-325.

# Les arcs aortiques



- I Dégénèrent presque entièrement (artères maxillaires)
- II Dégénèrent presque entièrement (artères stapédiennes et hyoïdes)
- III Carotides communes et internes (avec contribution des aortes dorsales)
- IV Droite: art. sous-clavière D      Gauche: la crosse de l'aorte
- V Rudimentaires ou absents
- VI Partie prox. Droite: début art. pulmonaire D      Gauche: début art. pulmonaire G  
Partie dist. Droite: dégénère      Gauche: canal artériel → ligament artériel

# Les arcs aortiques

- Une “curiosité anatomique” révélatrice de *notre histoire évolutive*
- Asymétrie G-D : les trajets différents des *nerfs laryngés récurrents gauche et droit*

## **Le nerf vague \* : nerf crânien X ou pneumogastrique**

C'est une voie très importante de la régulation végétative (fréquences cardiaque et respiratoire, digestion et les mouvements du tube digestif...) et du contrôle sensorimoteur du larynx, donc de la phonation.

Il part de la base du cerveau (bulbe rachidien), et innerve le cœur, les bronches, l'appareil digestif et les reins.

**L'activation nerveuse du larynx est assurée par le nerf laryngé**, une branche dérivée du *nerf vague*, qui se scinde en deux branches :

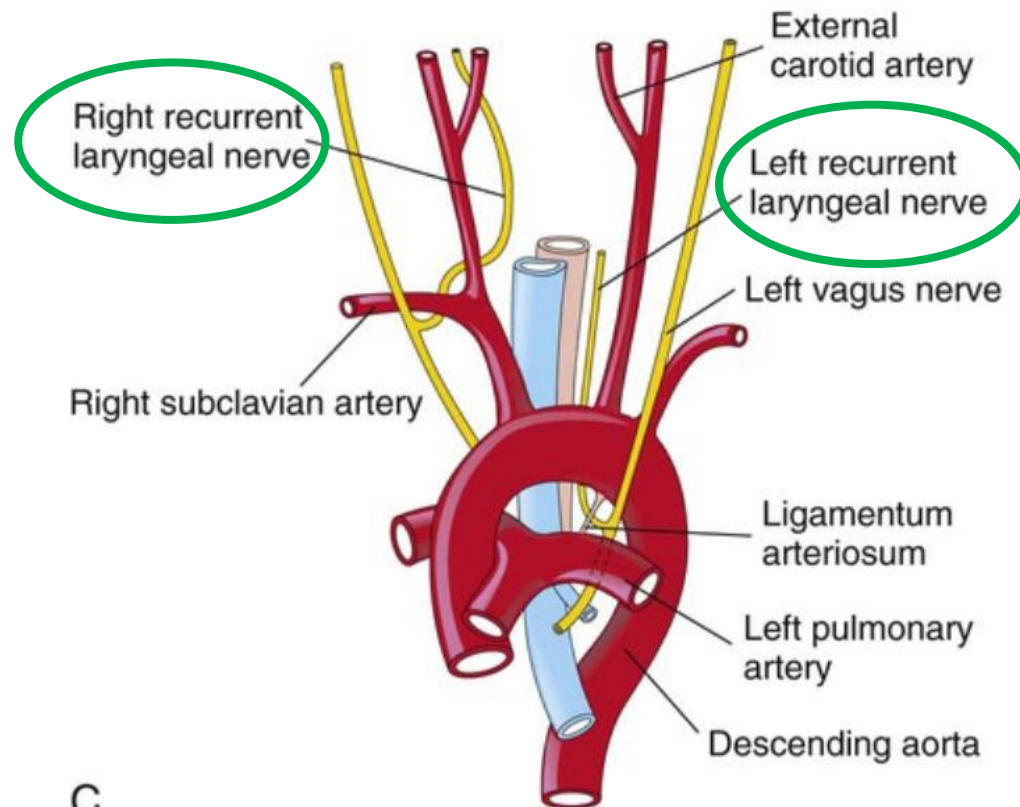
- le nerf laryngé supérieur ;
- et le nerf laryngé inférieur, aussi appelé nerf récurrent.

\* On l'appelle “vague” car il a un trajet “vagabond” ou “errant” descendant jusqu'à l'abdomen

## Le nerf laryngé inférieur (nerf récurrent)

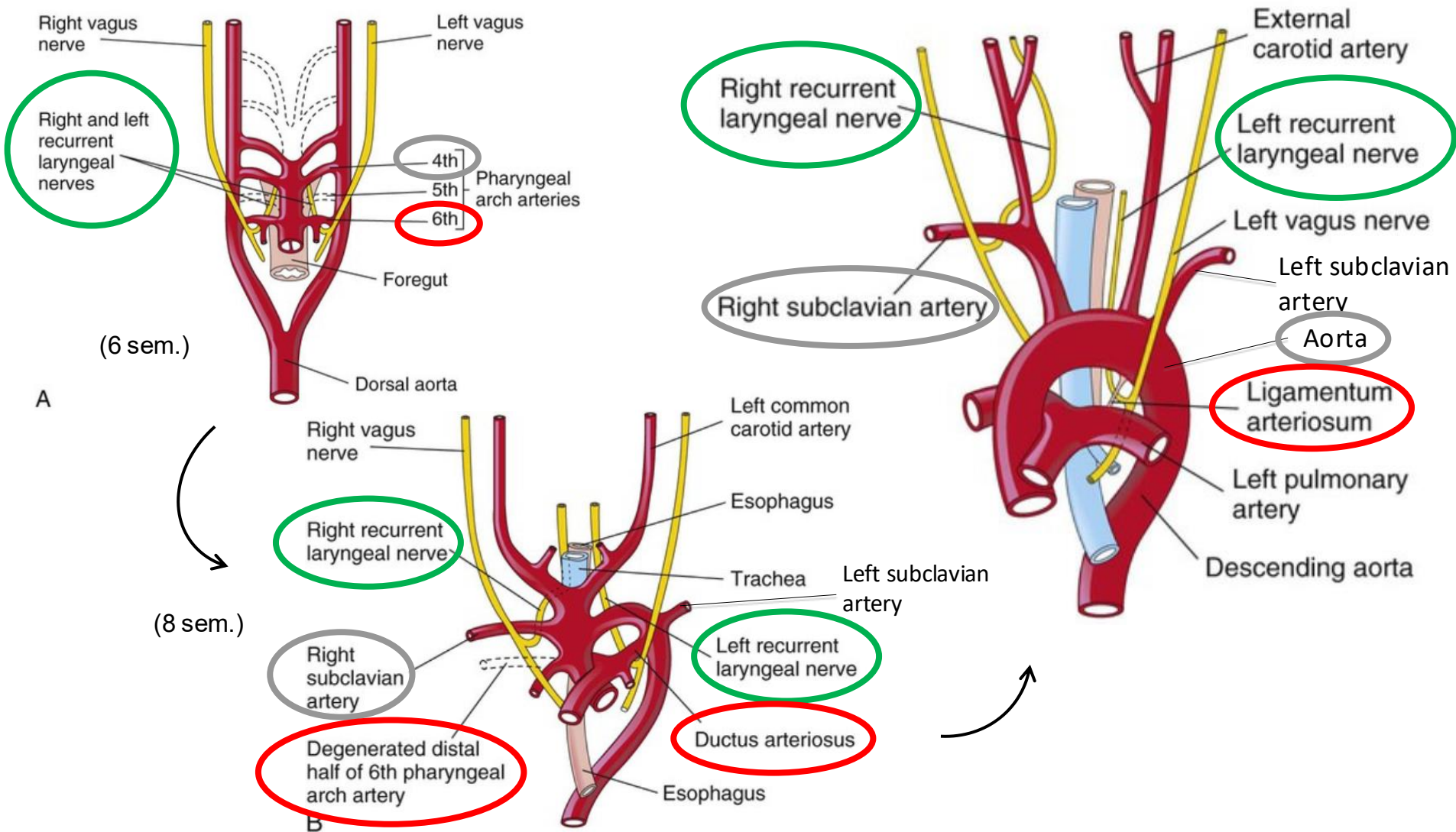
est le nerf moteur des cordes vocales. Il fournit une innervation à presque tous les muscles laryngés...

Le nerf laryngé inférieur suit deux chemins distincts, un du côté droit et un autre du côté gauche : sous l'artère sous-clavière droite et sous la crosse de l'aorte (IV arc aortique).



# Les arcs aortiques

Asymétrie G-D : notez les trajets différents des nerfs laryngés récurrents G et D



**C'EST À CAUSE DE CETTE ORIGINE EMBRYONNAIRE COMPLEXE DES ARTÈRES THORACIQUES ET DU COU QUE LES TRAJETS DES NERFS LARYNGÉS DROIT ET GAUCHE NE SONT PAS SYMÉTRIQUES...**

# Nerf laryngé récurrent

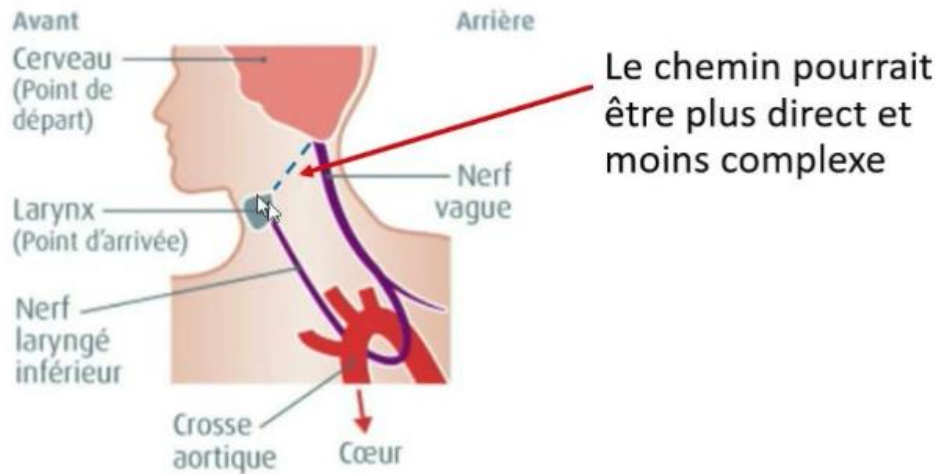
- Anatomie particulière au cours de l'évolution

Chez les poissons, et *chez les embryons des vertébrés*, le cœur et la région correspondant au larynx (c.-à-d. les paires de branchies les plus postérieures) sont très proches, mais chez les vertébrés terrestres adultes, comme l'homme, la girafe et le *Diplodocus*, ils sont séparés par un cou qui peut être extrêmement long !

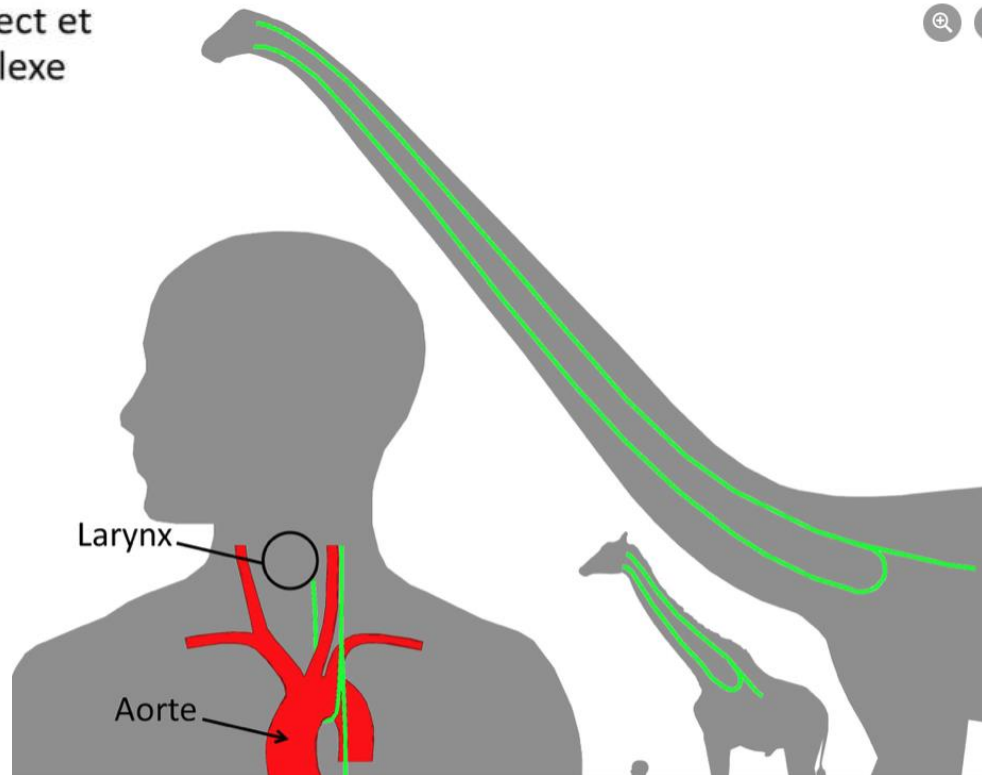
# Nerf laryngé récurrent

- Anatomie particulière au cours de l'évolution

Chez l'embryon de n'importe quel vertébré, le nerf vague suit toujours le même trajet. Ainsi, que le cou fasse 10cm ou 10m de long, le nerf récurrent gauche passera toujours derrière l'aorte avant d'aller rejoindre le larynx, quitte à faire un énormissime détour !



C'est un héritage légué par nos « ancêtres poissons ». Cette « curiosité anatomique » est porteuse d'un message montrant notre histoire évolutive.



# Développement du système veineux (1)

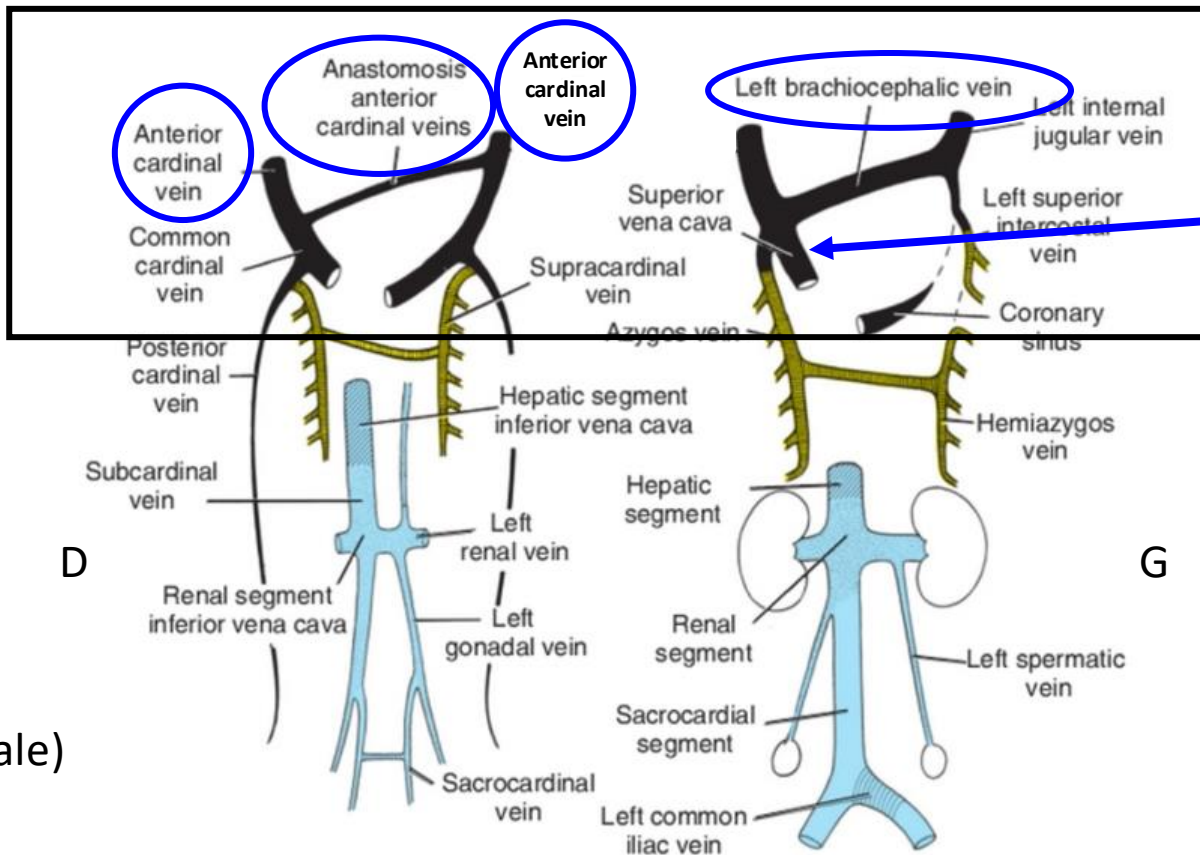
Initialement bilatéral et symétrique, il évolue vers une différenciation asymétrique

**Principe général: anastomoses transportent le sang de Gauche à Droite**

*(aussi pour le système lymphatique, avec anastomoses de réseaux lymphatiques)*

## Les veines cardinales

*Antérieur (thoracique):*



**Veine cave sup.  
(v. cardinale ant. droite)**

(vue ventrale)

# Système veineux (2)

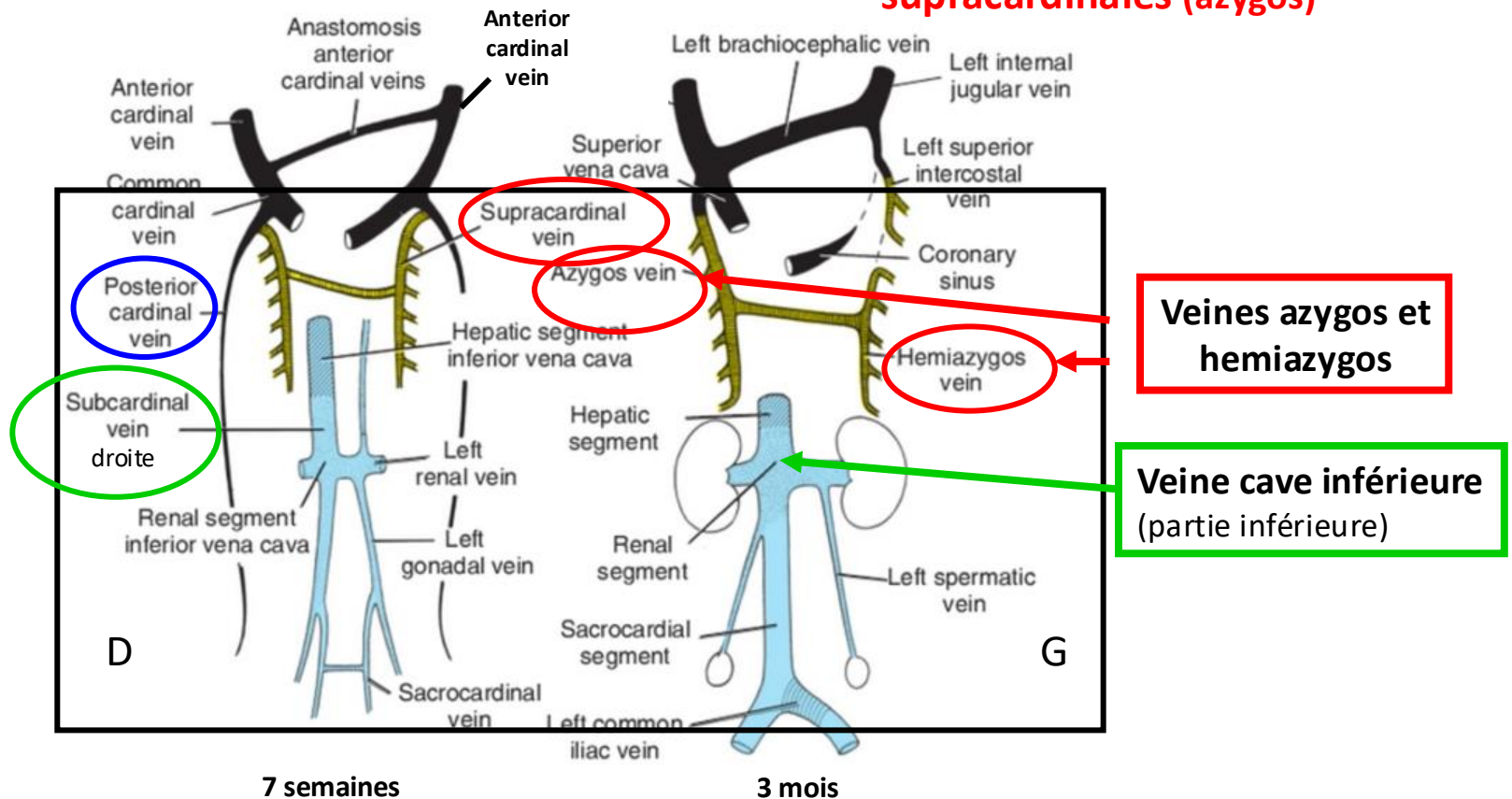
(principe général: anastomoses transportent le sang de gauche à droite)

## Veines cardinales (2)

*Postérieur (abdominal):*

Il se met en place 3 réseaux de veines:

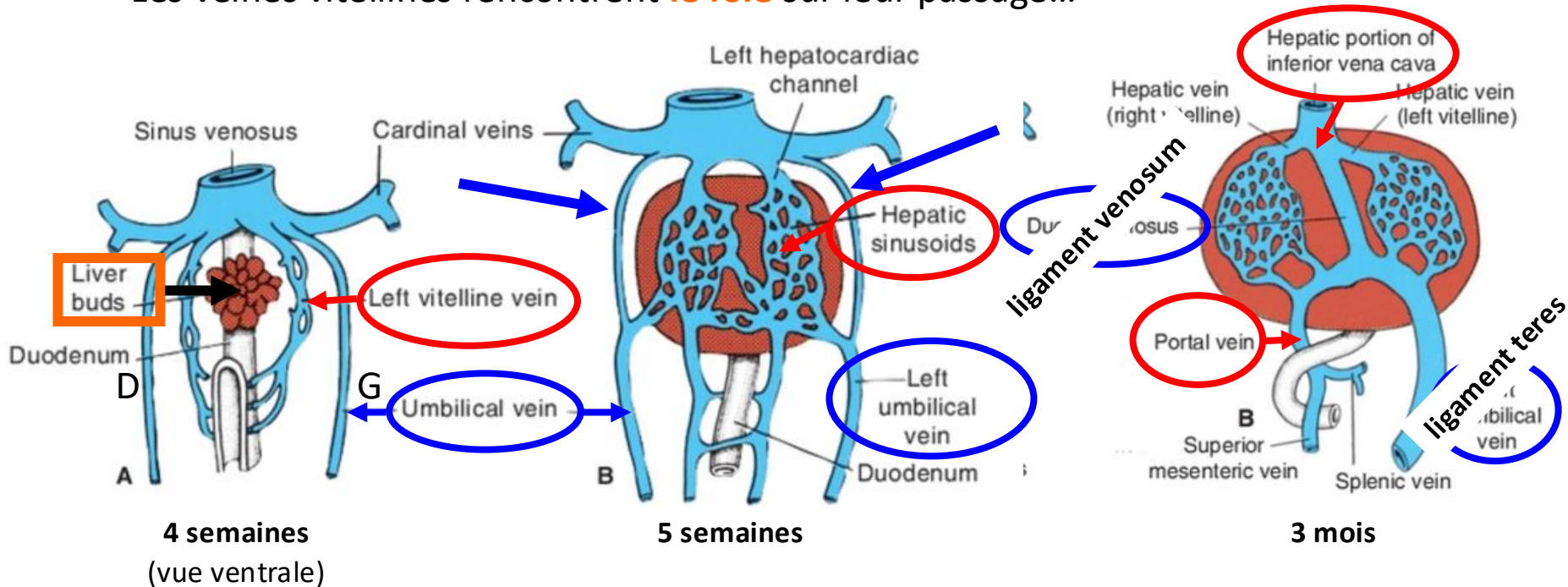
**cardinales post. (dégénèrent)**  
**subcardinale droite (v. cave inférieure)**  
**supracardinales (azygos)**



# Système veineux (3)

## Veines vitellines et ombilicales

Les veines vitellines rencontrent **le foie** sur leur passage...



### Veines vitellines :

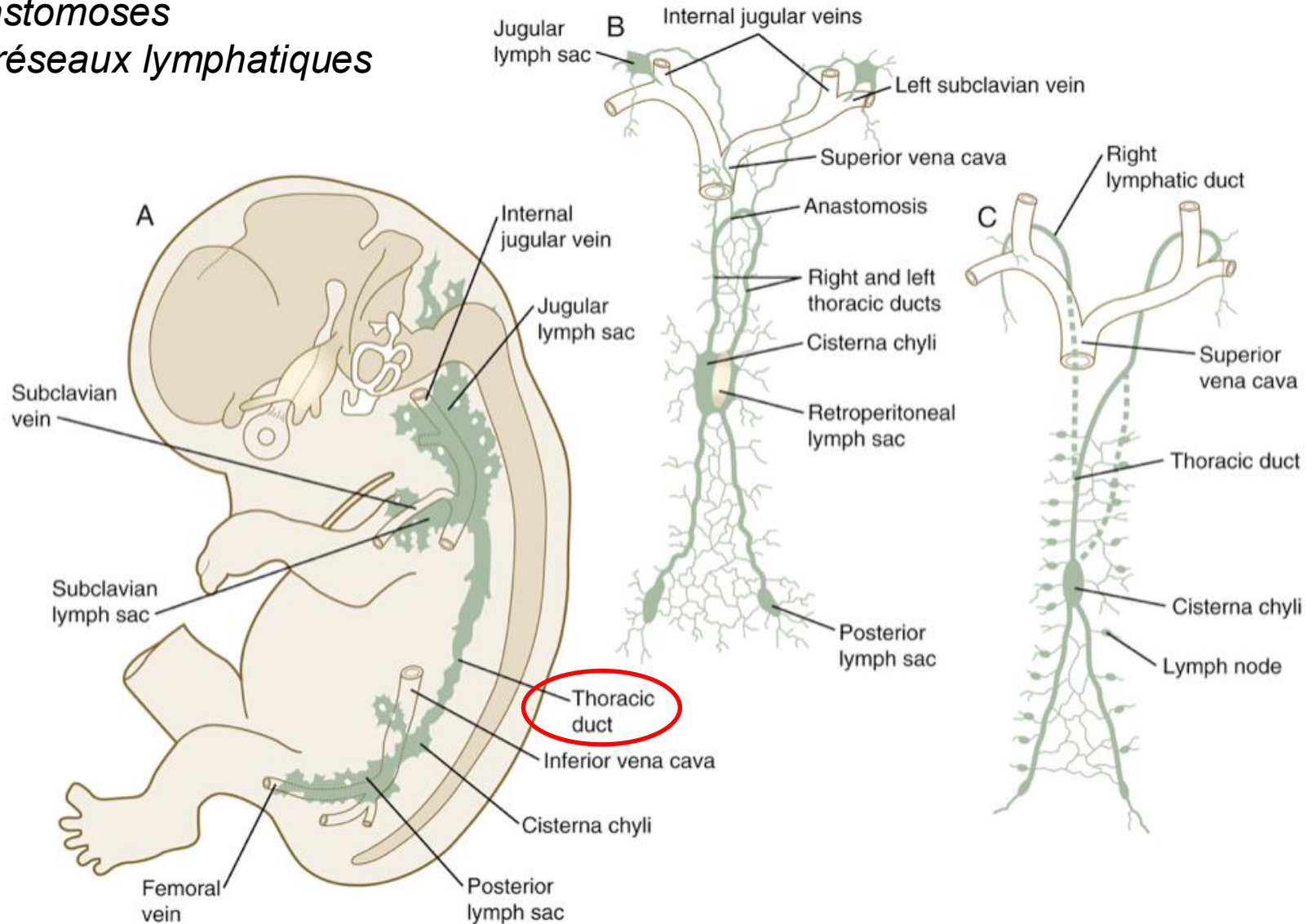
- veine porte (= vitelline droite)
- sinusoides hépatiques
- partie supérieure de la veine cave inférieure

### Veines ombilicales :

- D et G entre foie et sinus veineux dégénèrent
  - canal veineux = shunt à travers foie, vers v. cave inf.
- Après naissance :
- veine omb. G entre ombilic et foie = ligament teres
  - canal veineux = ligament venosum

# Système lymphatique

*anastomoses  
de réseaux lymphatiques*



**FIG. 17.20** Stages in the development of the major lymphatic channels. (A) and (B) show 9-week-old embryos. (C) shows the fetal period. Between (B) and (C) the transformation between the reasonably symmetrical disposition of the main lymphatic channels and the asymmetrical condition that is characteristic of an adult can be seen.

# Circulation sanguine avant la naissance

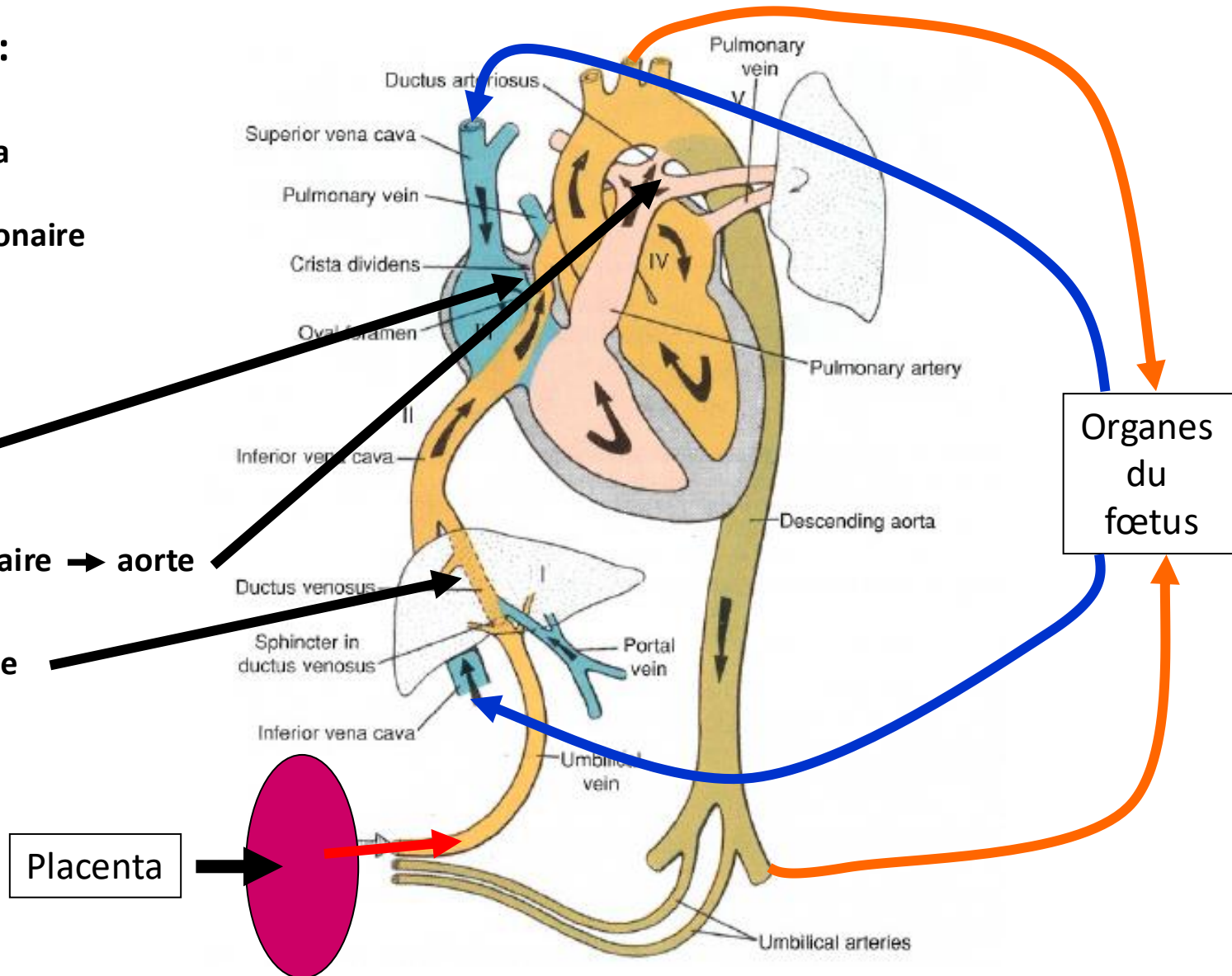
## Caractéristiques:

1. Sang oxygéné vient du placenta
2. Circulation pulmonaire à faible débit
3. Trois shunts:

[ Trou ovale  
OD → OG

[ Canal artériel  
Artère pulmonaire → aorte

[ Canal veineux  
A travers le foie



# Changements circulatoires à la naissance

1. Arrêt circulation placentaire  
Fermeture canal veineux



pression OD

2. Aération poumons  
↗ circulation pulmonaire



pression OG

3. Fermeture canal artériel  
↗ circulation pulmonaire



pression OG

1 + 2 + 3 =

Pression OG >> pression OD

Septum primum plaqué contre secundum



Fermeture foramen ovale / trou de Botal

Fermeture des shunts d'abord fonctionnelle



- *Ligament artériel* à 1-3 mois

- *Fusion septum primum – secundum* à 1 an

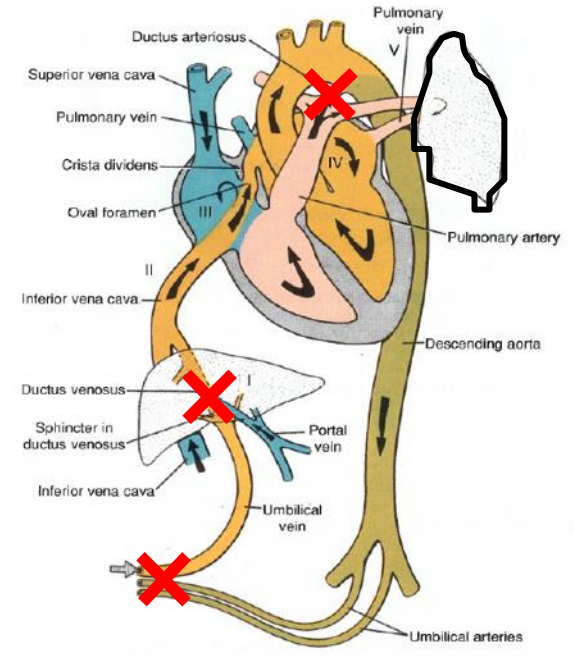
Non fermeture canal artériel  
= malformation congénitale la plus fréquente  
si rubéole maternelle 1<sup>er</sup> trimestre



Sang oxygéné repasse dans les poumons

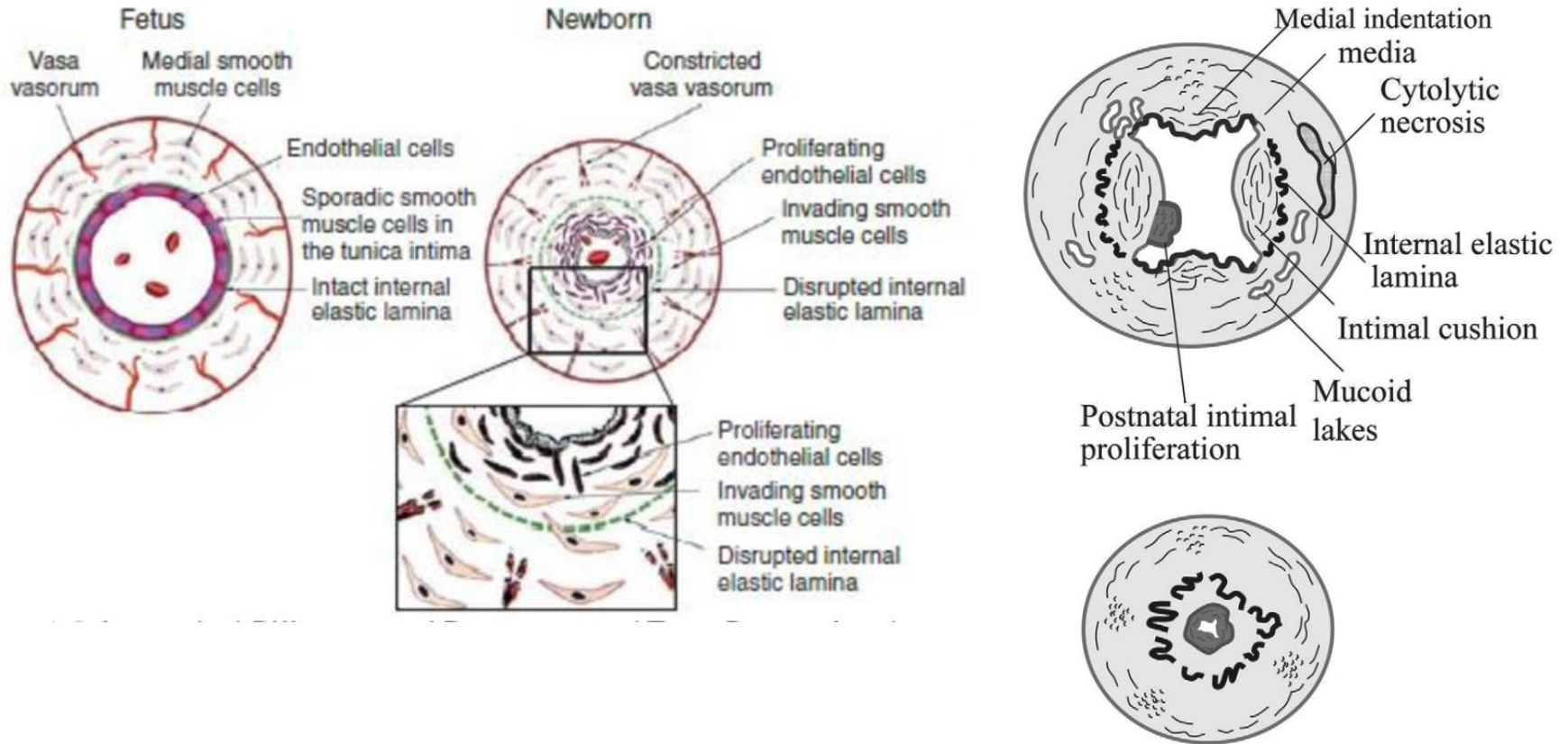
↗ travail cœur

40% meurent avant 45 ans si non traités



# Fermeture du canal artériel

fonctionnelle : 12-18 h après la naissance ; anatomique : après 2-3 semaines

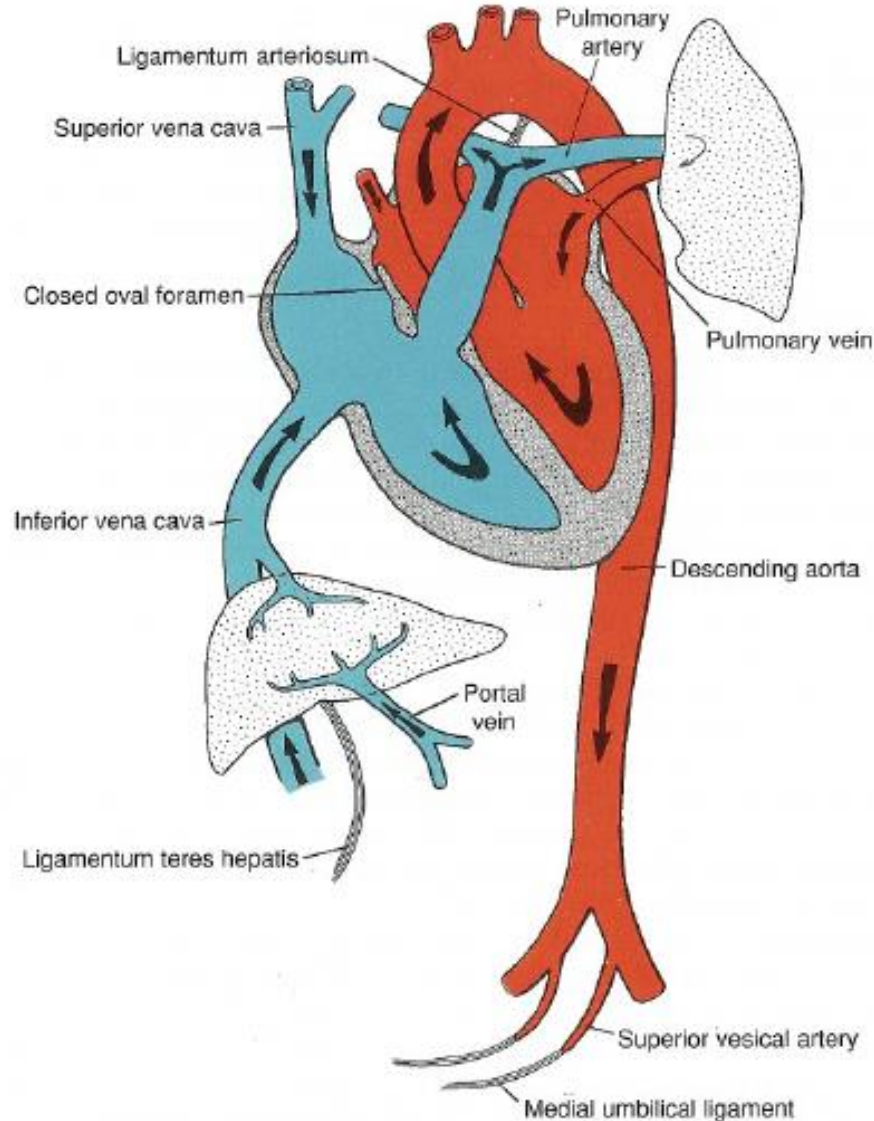


1. Vasoconstriction soutenue
2. Compression des « vasa vasorum »
3. Prolifération des cellules endothéliales ; invasion de la tunica intima ; nécroses
4. Accumulation de plaquettes et formation de thrombi

# Circulation sanguine après la naissance

## Caractéristiques:

1. Sang oxygéné vient des poumons
2. Circulations pulmonaire et systémique: même débit
3. Pas de shunts: circulations pulmonaire et systémique séparées



# Malformations cardiaques

## Les plus fréquentes des malformations congénitales

- 0.5 – 0.8% des nouveaux-nés vivants
- 20% des malformations congénitales observées chez les enfants nés vivants
- 10% des avortements spontanés

## Causes

- Facteurs génétiques 8%  
p.ex. trisomie 21, etc...
- Facteurs environnementaux 2%  
p.ex. rubéole maternelle, etc...
- Le plus souvent: multifactoriel

## Peuvent concerner :

- L'asymétrie gauche-droite  
dextrocardie
- Le septum interauriculaire  
p.ex. persistance fonctionnelle du foramen ovale (fréquent; non fermé : jusqu'à 30% !)
- La fusion des coussins endocardiques atrio-ventriculaires  
c/o 20% des trisomies 21
- Le septum interventriculaire (partie membraneuse)  
*malformation cardiaque la plus fréquente (20%)*
- La septation du bulbe et du tronc artériel
- La formation des valves semi-lunaires  
p.ex. sténose aortique ou pulmonaire

## FIGURE 4.23 CONGENITAL HEART DEFECT CONCEPTS

### Clinical characteristics of too little pulmonary flow



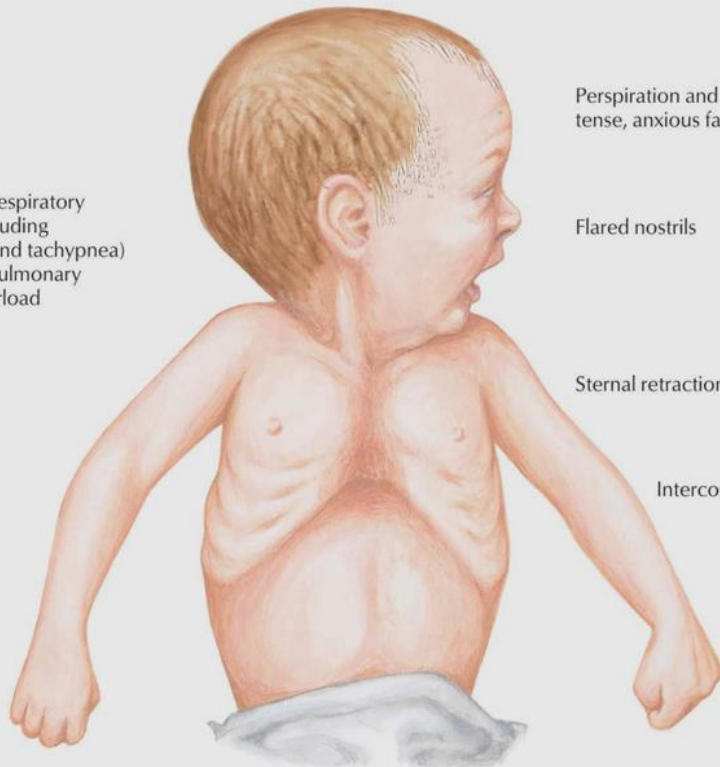
Cyanosis



Clubbing of fingers

### Clinical characteristics of too much pulmonary flow (pulmonary volume overload)

Infant with respiratory distress (including orthopnea and tachypnea) caused by pulmonary volume overload



Perspiration and tense, anxious facies

Flared nostrils

Sternal retraction

Intercostal retractions

JOHN A. CRAIG MD

insuffisance cardiaque (défaillance congestive du cœur) : trop peu de sang dans les poumons (sténose du tronc pulmonaire) peut gêner l'oxygénation des organes et perturber les besoins métaboliques du corps (en haut : cyanose = hypoxémie).

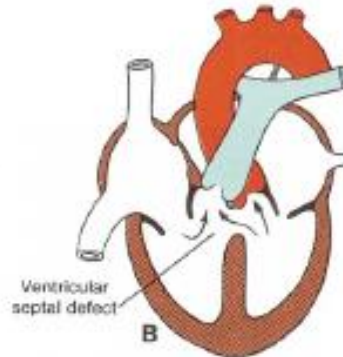
trop de sang arrivant depuis les poumons (surcharge du ventricule gauche, problème de valve mitrale) : accumulation de sang dans poumons, respiration accélérée et œdème pulmonaire !

# Quelques exemples de malformations cardiaques

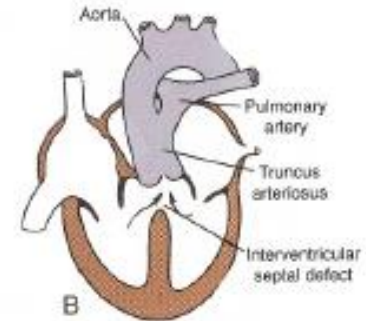
problèmes de septation du bulbe et du tronc artériel



Cœur normal

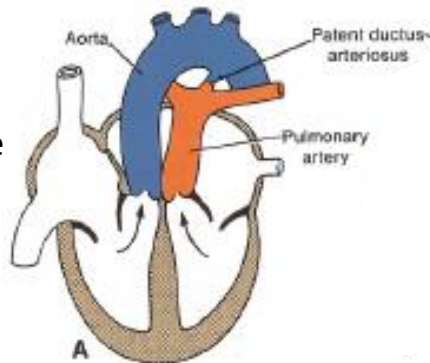


Défaut isolé de la partie membranaire du septum interventriculaire

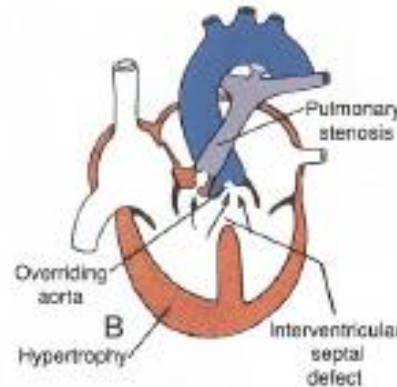


Persistance du tronc artériel et du bulbe

Septation bulbe-tronc ne se fait pas en spirale



Transposition complète des grands vaisseaux



Tétralogie de Fallot (cyanose)

Division inégale du tronc artériel



- .Sténose du tronc pulmonaire
  - .Hypertrophie du ventricule droit
  - .Déficit du septum interventriculaire
  - .Aorte à cheval
- = 8% des cardiopathies congénitales

sans traitement, 90% des patients meurent avant 20 ans

Comment expliquer *l'association* de malformations cardiaques (persistance du tronc artériel), faciales, palatines, thymiques et parathyroïdiennes ?

*(Syndrome CATCH 22 ou de DiGeorge)*

*Microdélétion 22q11, avec perte du gène TBX1*

