

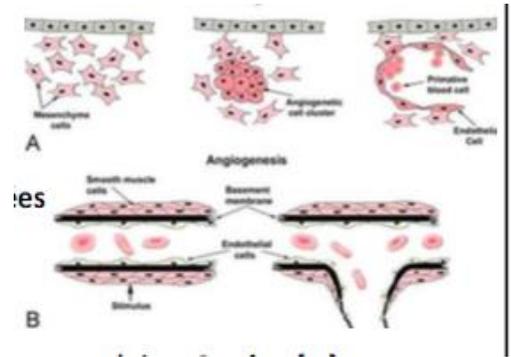
# 4<sup>ème</sup> semaine : mise en place de la circulation sanguine

## I/ La circulation extra-embryonnaire

→ Elle débute dans le **mésenchyme extra-embryonnaire** au niveau des **ilots angioformateurs de Wolff et Pander**.

→ Ces ilots sont formés **d'angioblastes en périphérie** et **d'hémangioblastes au centre**.

Les angioblastes sont les **progéniteurs des cellules endothéliales**, ils vont fusionner pour former les **parois vasculaires**.



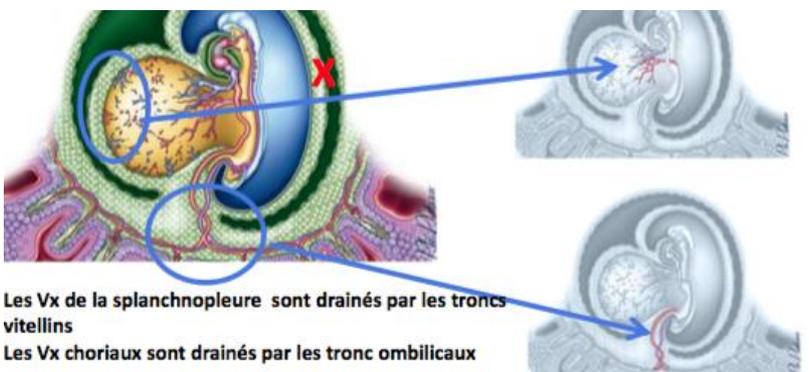
→ La formation de cette circulation extra-embryonnaire se fait en **2 étapes** :

- 1) Les ilots vont former **la paroi des vaisseaux = les ébauches vasculaires** → c'est la **VASCULOGENÈSE +++**
- 2) Ces vaisseaux vont confluer **en réseau, se connecter entre eux et se ramifier** → c'est **L'ANGIOGENÈSE +++**

À la fin de la 3<sup>ème</sup> semaine cela formera **un réseau** drainé par les **vaisseaux ombilicaux** qui iront rejoindre **les vaisseaux du MIE** :

→ Les vaisseaux de la **splanchnopleure** sont drainés par **les troncs vitellins**.

→ Les **vaisseaux choriaux** sont drainés par **les tronc ombilicaux**.



Les Vx de la splanchnopleure sont drainés par les troncs vitellins  
Les Vx choriaux sont drainés par les tronc ombilicaux

→ Le **réseau extra-embryonnaire** se forme au niveau de la **lame vitelline**, de **la splanchnopleure** et au niveau de **la lame choriale**.

→ Il ne se forme **pas du tout** au niveau de **la cavité amniotique** car il n'y a **pas d'ilots angioformateurs** au niveau de cette lame.

## II/ La circulation intra-embryonnaire

La circulation intra-embryonnaire se met en place en parallèle de la mise en place de la circulation extra-embryonnaire.

Elle débute aussi dans le **mésenchyme intra-embryonnaire** à partir **d'îlots vasculo-sanguins** (très similaires à ceux de Wolff et Pander). Ces îlots intra-embryonnaire vont **confluer en plexus (=réseau)**.

Ce réseau permettra la formation :

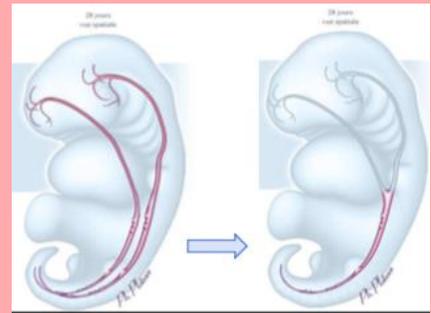
- Des **aortes dorsales primitives droite et gauche**
- Des **veines primitives cardinales**

### Le réseau artériel : AORTES DORSALES

→ Il est le **1er à se former.**

→ Il se forme tout d'abord les **aortes dorsales primitives droite et gauche**. Ces aortes dorsales sont donc bilatérales et s'étendent sur toute la longueur de l'embryon.

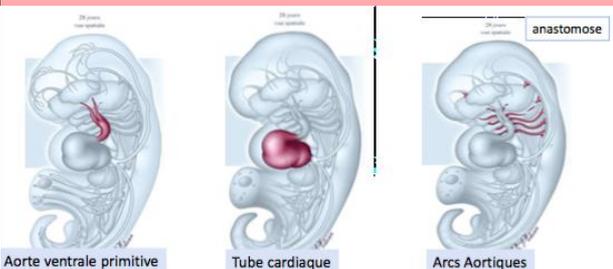
→ Très rapidement, elles vont **fusionner dans leur portion caudale**. Ainsi les aortes dorsales primitives D et G seront **bien séparées dans la partie crâniale de l'embryon** alors qu'il n'y aura qu'une seule aorte dans la partie caudale!



### Le réseau artériel : AORTES VENTRALES

→ Par la suite vont se former **les aortes ventrales**.

→ Ces aortes ventrales sortent du cœur, sont bilatérales (D et G) et vont émettre des **ramifications (= des anastomoses +++)**.



→ Ces anastomoses qui sont responsables de la **vascularisation des arcs aortiques +++** (au niveau de l'appareil branchial)

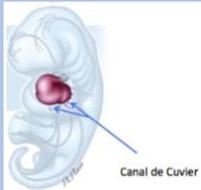
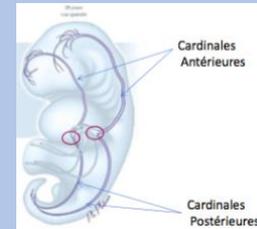
→ Les aortes ventrales vont se connecter avec la **partie crâniale** du tube cardiaque +++

## Le réseau veineux

→ Il se forme après le réseau artériel! +++

→ Il est constitué de 4 veines primitives:

- 2 veines cardinales **antérieures** pour la partie crâniale de l'embryon
- 2 veines cardinales **postérieures** pour la partie caudale de l'E



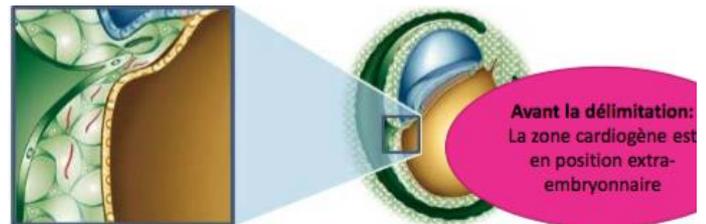
Les portions antérieures et postérieures **ne sont PAS en continuité!** Elles se rejoignent au niveau d'un canal : **le canal de Cuvier** qui lui même s'abouchera dans la **portion caudale du futur cœur** au niveau du **sinus veineux**. +++

## III/ Formation du tube cardiaque primitif

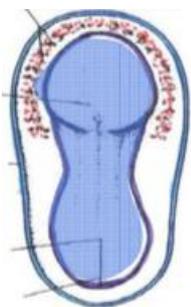
→ La **zone cardiogène** se forme pendant la **3<sup>ème</sup> semaine** durant l'étape de la **gastrulation**.

→ Son origine est **mixte** car la zone cardiogène est formée du :

- **MIE** : Le MIE a migré en avant en direction de la membrane pharyngienne jusqu'en extra-embryonnaire
- **MEE** : les ilots angioformateurs



→ Avant la délimitation, la zone cardiogène est bien en **extra-embryonnaire** ++



→ Lors de la plicature, la zone cardiogène est internalisé dans la portion médiane de l'embryon, elle devient **intra-embryonnaire**.

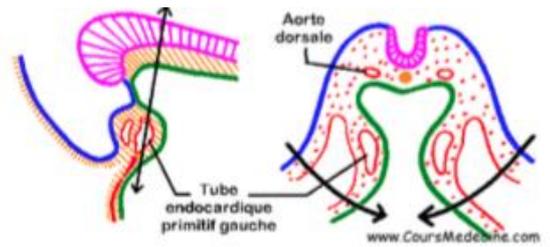
→ Cette zone est une condensation de mésenchyme en avant et latéralement par rapport à la plaque neurale.

Elle est donc en **extra-embryonnaire**, **en avant**, et à une **forme de fer à cheval**.

→ La zone cardiogène est constituée de 2 types de cellules :

- **d' angioblastes** → dérivant des ilots angioformateurs donc du **MEE**
- **de myoblastes** → dérivant de l'épiblaste I donc du **MIE**

→ Dans cette zone cardiogène (en extra-embryonnaire), 2 tubes cardiaques primitifs droit et gauche vont se creuser ; ce sont les tubes endocardiques.



→ Leur paroi est formée :

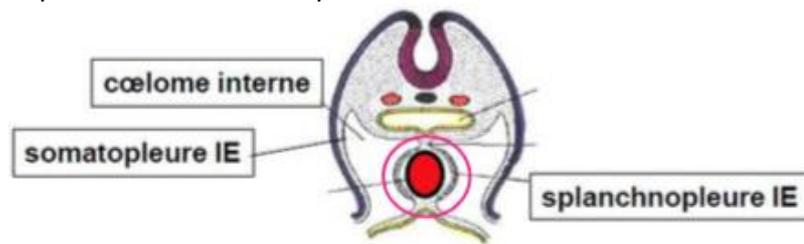
- d'angioblastes en dedans → ils vont participer à la formation de l'endothélium (la paroi des vaisseaux).

- de myoblastes en dehors → ils seront à l'origine du muscle cardiaque.

→ Grâce à la plicature transversale, les 2 tubes vont se rapprocher et fusionner sur la ligne médiane et cela donnera 1 seul et unique tube cardiaque.

*Le tube cardiaque est entouré en périphérie par la splanchnopleure IE qui est elle-même entourée par le cœlome interne, lui-même entouré par le somatopleure IE (le + externe). Plus tard le cœlome interne va s'effacer, ce qui permettra à la splanchnopleure et à la somatopleure de s'accoler.*

→ Donc le tube cardiaque (unique) est entouré par la **splanchnopleure IE** et est circonscrit par le **coelome interne**.

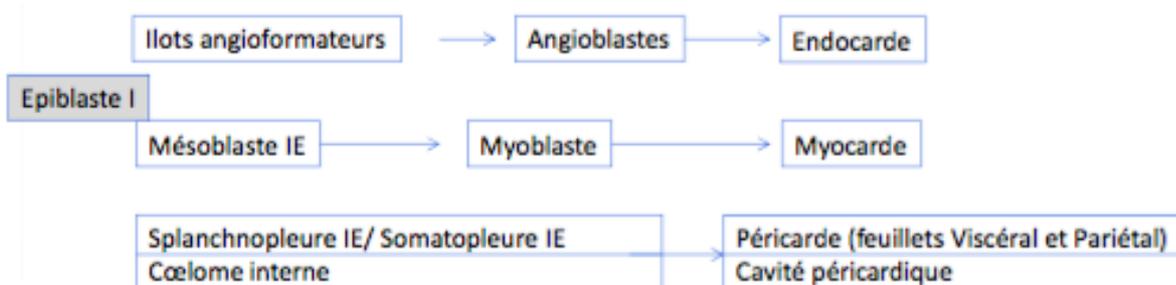


→ Les premiers battements cardiaques ont lieu à **J22**.

→ Au final, le cœur est formé de **3 tuniques**:

- **L'endocarde** (en interne) qui dérive des angioblastes (endothélium)
- **Le myocarde** (intermédiaire) qui dérive du mésoblaste
- **Le péricarde** (périphérique) constitué de splanchnopleure et de somatopleure, qui dérive du mésoblaste latéral

→ Le cœlome interne disparaît, se réduit à une cavité virtuelle que l'on nommera **la cavité péricardique**. +++



## IV/ Interconnexion des vaisseaux et du tube cardiaque primitif

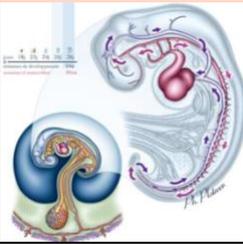
→ Au cours de la 4<sup>ème</sup> semaine, il va y avoir une **interconnexion entre les vaisseaux et le tube cardiaque primitif**!

→ Les réseaux **veineux** et **artériels** vont venir se connecter au cœur!  
La circulation primitive est donc fonctionnelle, la sang circule grâce à :

- Une circulation intra-embryonnaire
- Un réseau vasculaire ombilical (vaisseaux de la splanchnopleure)
- Un réseau vasculaire vitellin (vaisseaux choriaux)

### La circulation intra-embryonnaire

- le sang est éjecté du tube cardiaque via les **aortes ventrales**  
→ puis il va soit passer dans les **anastomoses des arcs aortiques** pour irriguer les arcs branchiaux soit continuer vers la **portion céphalique** de l'embryon  
→ il est ensuite capté par les **veines cardinales antérieures** et est ramené au cœur au niveau du **canal de cuvier**



Pour le réseau dorsal, c'est la même chose. On a une **irrigation jusqu'à la partie caudale de l'embryon**; puis le sang est ramené au cœur par le réseau des **veines cardinales postérieures** qui viennent s'aboucher dans le sinus veineux du **canal de cuvier** (dans la partie postérieure du cœur)

### La circulation ombilicale

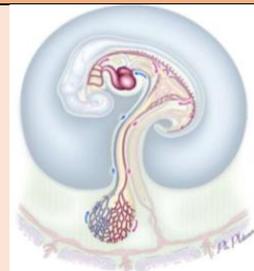
- C'est cette circulation qui permet d'amener du sang oxygéné à l'embryon !  
→ Le sang **oxygéné maternel du placenta** arrive à l'embryon par la **ombilicale**. Il diffuse en intra-embryonnaire puis retournera au placenta **artères ombilicales**!



**veine**  
par les

### La circulation vitelline

- La circulation est **branchée en dérivation/en parallèle** (elle n'est pas connecté au corps maternel, c'est une dérivation de la circulation intra-embryonnaire).  
→ Le sang arrive par les **aortes dorsales** via l'**artère vitelline** et **repart par la veine vitelline jusqu'au coeur**. Cette vascularisation permet de **vasculariser la VV II**.



→ Le sang qui arrive au cœur (**au niveau du sinus veineux**) est à la fois **pauvre en O2** (en récupérant le sang des circulations **intra-embryonnaire** (réseau cardinal) et **vitelline**) mais également **riche en O2** (en récupérant le sang **d'origine placentaire** (via les veines ombilicales))

→ Au niveau du sinus veineux, dans la partie **caudale** du cœur, il y a à la fois du **sang riche ET pauvre en O2**. On peut donc dire que l'E est vascularisé par du **sang mêlé!** +++

---

## Mise en place du cœur

---

### I/ Plicature du tube cardiaque

→ Le cœur adulte est formé de **4 cavités** : **2 ventricules** et **2 oreillettes**.

→ À la 4<sup>ème</sup> semaine, la croissance du **tube cardiaque** (formé par la fusion des 2 tubes endocardiques) est **plus importante** et **plus rapide que celle de la cavité péricardique** qui le contient.

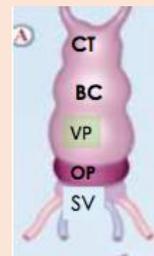
→ Ceci aboutira à un phénomène de **plicature et de déplacement des cavités primitives**

→ Cette plicature se fait dans 2 plans de l'espace :

- **Sagittal** : l'oreillette primitive vient se **placer en arrière du ventricule primitif**
- **Frontal** : le **bulbus cordis** va glisser et se placer **à droite du ventricule primitif**.

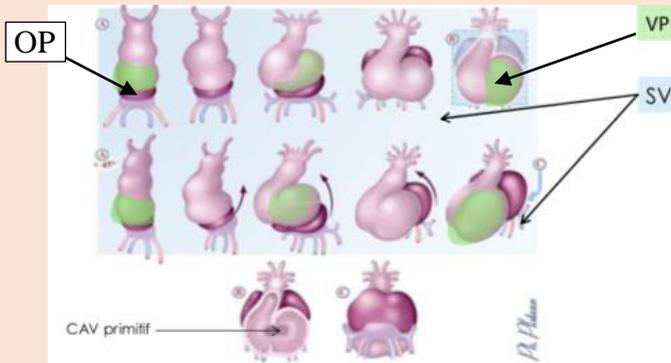
De **bas en haut**, nous avons :

- Le **sinus veineux** (endroit où s'abouchent les veines)
- L'**oreillette primitive** ( donnera les 2 oreillettes)
- Le **ventricule primitif** : (donnera le ventricule gauche)
- Le **bulbus cordis** (donnera le ventricule droit)
- Le **conotruncus** (point de départ des artères)



## PLICATURE SAGITTALE

→ L'oreillette primitive vient se placer **en arrière** et **vers le haut** du ventricule primitif entraînant en arrière d'elle le sinus veineux et l'abouchement des vaisseaux afférents (=vaisseaux qui arrivent au cœur)

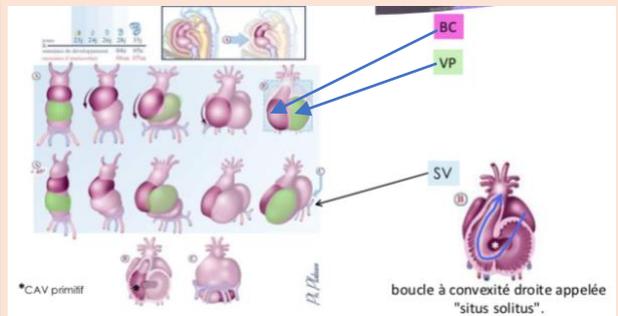


## PLICATURE FRONTALE

→ Le bulbus cordis vient se placer à **droite** du VP.

→ On voit sur le plan frontal que le BC fait une **boucle à convexité droite** c'est-à-dire qu'il glisse vers la droite pour venir se placer à côté du VP. (Cette boucle s'appelle aussi *situs solitus*; lorsque cette rotation se fait dans le mauvais sens on l'appelle « *situs inversus* », tous les organes thoraciques et abdominaux se trouvant aussi inversés)

→ Au début, le BC et le VP sont superposés et au final ils se retrouvent à côté, dans le **même plan latéral**.



→ A la fin de la plicature, l'**oreillette primitive** s'élargit et vient complètement **se plaquer à la face postérieure du BC**. L'oreillette est donc plaquée contre les 2 futurs ventricules.



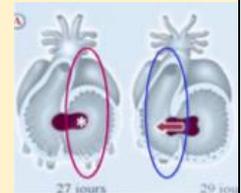
→ Les **expansions antéro-supérieures** de l'oreillettes formeront les **auricules** (=oreillettes définitives). Sa paroi postéro-inférieure va progressivement incorporer le sinus veineux.

## II/ Déplacement des cavités

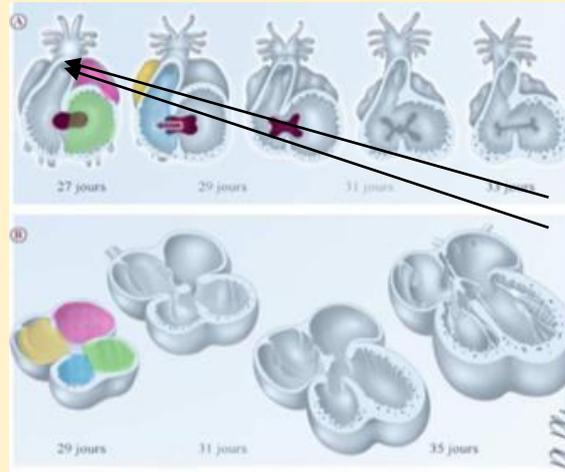
### 1. Le canal auriculo-ventriculaire

→ Le canal auriculo-ventriculaire (CAV\*) fait communiquer la partie gauche de l'OP avec le VP.

→ Au début de la 5ème semaine, le CAV s'élargit, **pousse vers la droite** pour mettre en communication la partie droite de l'OP avec le BC.



→ Sur une coupe à 4 cavités on voit qu'au début le CAV est un peu excentré vers la gauche puis il se recentre et permet la communication entre les 4 cavités en prenant une forme de papillon, en H.



Partie G OP

Ventricule Primitif

Partie D OP

Bulbus Cordis

### III/Cloisonnement des cavités (auriculo-ventriculaire, inter-ventriculaire)

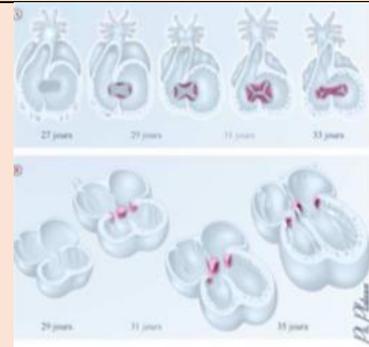
→ Une fois que ce CAV s'est agrandi, il va se cloisonner (pour aboutir au cœur définitif).

#### Les bourgeons endocardiques

→ Ils correspondent à des **poussées/saillies de l'endocarde** sur les bords latéraux du CAV.

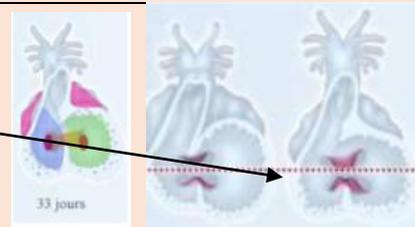
→ Au total, **4 bourgeons endocardiques** vont se former :

- **2 principaux** :
  - ↳ en position antéro-supérieure et postéro-inférieure
- **2 accessoires ou latéraux**
  - ↳ à droite et à gauche



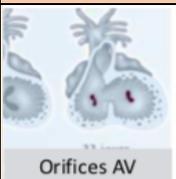
#### Le septum intermédiaire

→ Les **bourgeons principaux** vont s'agrandir, se rejoindre pour venir **fusionner sur la ligne médiane** former le **septum intermédiaire** (1<sup>ère</sup> cloison auriculo-ventriculaire qui apparaît).



pour

#### Les orifices auriculo-ventriculaire



Orifices AV

→ Ce septum divise donc la cavité auriculo-ventriculaire en **deux orifices auriculo-ventriculaires droit et gauche**.

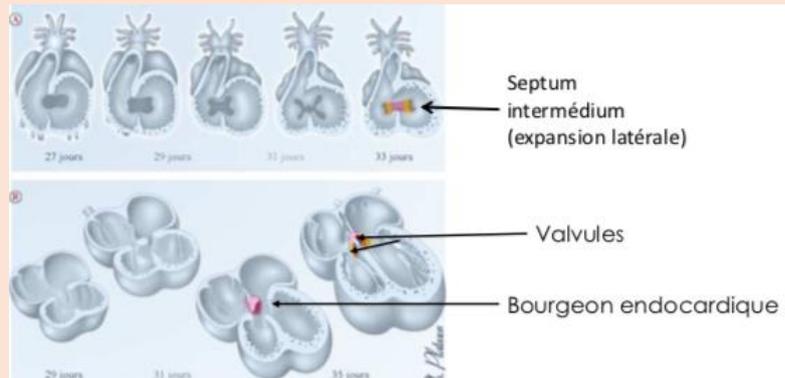
→ Ils mettent de chaque côté en **communication l'oreillette primitive avec le futur ventricule**



## Les valvules

→ L'intérêt des valvules est de permettre la **circulation du sang** dans **un seul sens** pour éviter les reflux.

→ Le septum intermedium qui vient de se former émet des **expansions latérales** de chaque côté qui **rejoignent les bourgeons latéraux**. Le but de ce cloisonnement étant de former à terme des valvules (petits clapets) entre les oreillettes et les ventricules : **les valvules des orifices auriculo-ventriculaires**.



→ Le **septum intermedium** sera aussi à l'origine de **deux autres expansions**:

- Une **vers le haut** qui participe au **cloisonnement inter-auriculaire** (cloisonne l'OP)
- Une **vers le bas** qui participera à la **formation de la cloison interventriculaire** (sépare le VP et le BC)

## 1. FORMATION DES OREILLETES

→ Le cloisonnement de l'OP pour aboutir à la formation des 2 oreillettes définitives droite et gauche dépend de 2 mécanismes :

1- du **cloisonnement** de la **région auriculaire**

2- mais aussi de **l'incorporation du système veineux** d'une part, et des **transformations de la circulation veineuse** d'autre part.

→ Cloisonnement de la région auriculaire :

### Le septum primum

→ Une nouvelle cloison naît du **plafond de l'OP** et se développe **vers le bas** en direction du septum intermedium : c'est le **septum primum**.

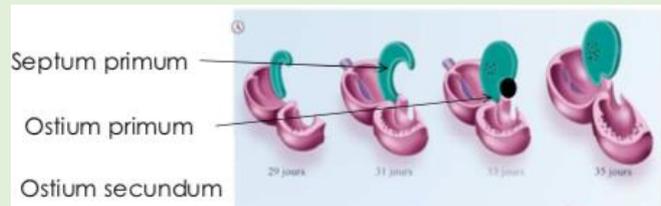


→ Cette première cloison est **incomplète** et laisse persister un orifice appelé **l'ostium primum**. Cet orifice maintient la

**communication entre les deux moitiés de l'OP**. → Ensuite, cette 1<sup>ère</sup> cloison se **complète** et se **soude complètement** au septum intermedium en comblant l'ostium primum qui disparaît donc.

→ Comme on doit laisser cette communication entre les oreillettes (au stade d'embryon/fœtus l'oxygénation se fait via le cordon ombilical au niveau du placenta, il faut donc qu'il y ait communication entre les 2 oreillettes pour que le sang oxygéné puisse circuler) il va y avoir un

phénomène d'apoptose faisant apparaître un nouvel orifice de communication. Il est situé **dans la supérieure du septum primum** et possède un aspect criblé (plein de trou). On appelle cet orifice

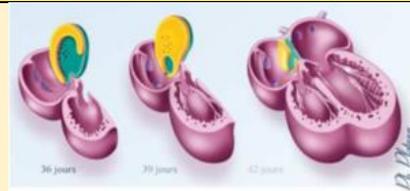


partie  
petits

**l'ostium secundum**. → Ici nous avons un cœur sur une coupe 4 cavités (on a coupé le cœur sur un plan frontal, on a enlevé une partie des cavités et on le regarde par au-dessus : en haut l'OP et en bas les 2 futurs ventricules). Le septum primum se développe bien à partir du toit vers le bas, vers le SI d'abord de façon incomplète (= ostium primum). Dans un 2<sup>ème</sup> temps la cloison se complète et puis l'ostium secundum apparaît par un phénomène d'apoptose dans la partie supérieure du septum primum.

### Le septum secundum

→ Pendant la 6<sup>ème</sup> semaine, une deuxième cloison, le **septum secundum**, apparaît **à droite de la précédente** et vient le doubler complètement sur sa face droite. → De la même manière il naît du **plafond de l'oreillette**, se développe vers le bas et s'accroche au septum intermedium.



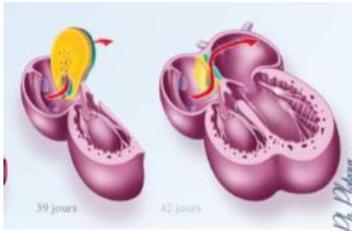
→ Ce septum reste aussi incomplet et laisse persister un orifice dans sa **partie inférieure** : le **trou de Botal** ou **foramen ovale** (FO) qui maintiendra jusqu'à la naissance la communication et le passage du sang entre les deux oreillettes droite et gauche.



→ On se retrouve donc avec un **orifice** sur la partie **droite et inférieure** de l'oreillette et un **orifice** dans la partie **supérieure gauche** de la future oreillette gauche.

→ Le **septum primum** est donc latéralisé plutôt sur la **gauche**.

L'ensemble permet de faire circuler le sang selon un mécanisme que l'on appelle **en chicane** ; la partie inférieure de septum primum constituant donc un **clapet**. Le but est d'éviter que le sang ne reflux pour que la circulation du sang n'est lieu que dans un seul sens.

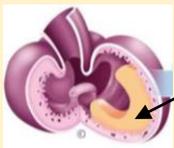


→ La **valvule du foramen ovale** est soulevée au passage du flux sanguin. Donc le sang **rentre par le FO**, soulève la valvule du FO et **ressort en haut pas l'ostium secundum**.

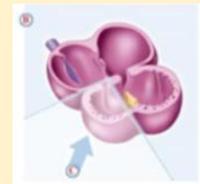
## 2. FORMATION DES VENTRICULES

→ Le cloisonnement inter-ventriculaire à lieu vers la **fin de la 4<sup>ème</sup> semaine**.

### Le septum inferius



→ Il est lié à une **croissance musculaire** que l'on appelle **crête musculaire** qui forme le **septum inferius** (nous sommes effectivement dans la partie inférieure du cœur maintenant). → Ce septum se localise en regard du

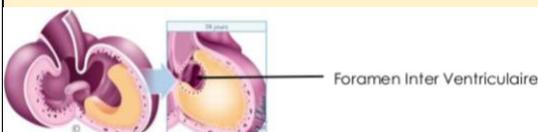


**sillon bulbo-ventriculaire** :

c'est un sillon que l'on peut voir sur la face externe du cœur qui délimite le BC d'un côté et le VP de l'autre (d'où le nom « bulbo-ventriculaire »). → Ce septum s'accroît **vers le haut** en **direction des bourrelets endocardiques** du CAV. → L'intérêt de ce septum est de séparer le ventricule gauche (dérivé du VP) du ventricule droit (dérivé du BC).

### Le foramen inter-ventriculaire

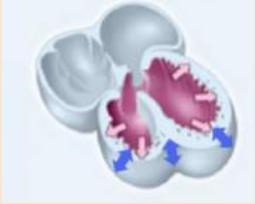
→ Mais encore une fois cette cloison est **incomplète** et laisse persister un orifice de communication inter-ventriculaire entre le **bord supérieur du septum inferius** et le **septum intermedium**. Cet orifice s'appelle le **foramen inter-ventriculaire**.



...La fermeture de cet orifice surviendra un peu plus tard dans le développement embryonnaire et sera lié **aux transformations du cono-truncus** (là où sortent l'aorte et l'artère pulmonaire)...

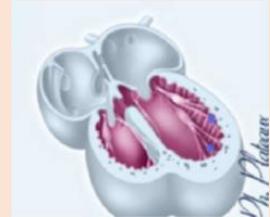
## Les piliers et les cordages

→ Un autre mécanisme survient pour le cloisonnement inter-ventriculaire et va avoir pour but d'aboutir à la formation des piliers et des cordages.



→ Vers 5<sup>ème</sup> / 6<sup>ème</sup> semaine de développement il y a un **épaississement des parois ventriculaires**. Dans un deuxième temps ces parois **se creusent**, afin d'**augmenter le volume des cavités ventriculaires**.

→ Les **bourgeons endocardiques** des orifices auriculo-ventriculaires **s'allongent** progressivement et **se transforment en valvules**.



→ L'**extrémité libre** de cette valvule reste **attachée à la paroi ventriculaire par des piliers et des cordages** \*. Ces derniers correspondent à des **fragments de la paroi ventriculaire** qui s'est rétrécie, ce sont des **liens musculaires et fibreux**. → Ces valvules, faisant le clapet entre les cavités auriculaires et ventriculaires, prennent leur **aspect définitif** vers la **12<sup>ème</sup> semaine**.