

Embryologie cardio-vasculaire

1. Introduction :

Le système cardio-vasculaire humain est le premier système fonctionnel à se développer. Ainsi ; les battements cardiaques pouvant être entendus à l'échographie vers la 6^{ème} semaine du développement embryonnaire. Cela met en évidence sur la fonction essentielle du cœur dans la distribution du sang dans les vaisseaux et dans l'échange vital de nutriments, d'oxygène et de déchets vers et depuis le bébé en développement. L'origine embryologique du cœur est le mésoderme. Le cœur termine sa formation après le développement des artères coronaires au environ 8^{ème} semaine du développement embryonnaire

2. Vasculogenèse et Angiogenèse : (Fig.2)

- Au cours de la 3^{ème} semaine du développement embryonnaire (DE) apparaisse des îlots cellulaires dans l'épaisseur de la splanchnopleure recouvrant le feuillet endoblastique de la vésicule ombilicale (ou sac vitellin)
- Ces îlots sont issus des cellules mésenchymateuses du mésoblaste extra-embryonnaire en forme d'amas cellulaires (les îlots de WOLFF et de PANDER).
- Les cellules périphériques de ces îlots s'allongent et forment les angioblastes à l'origine de la paroi des vaisseaux.
- Les cellules centrales se séparent deviennent libres dans la lumière et donneront les hémangioblastes primordiaux.
- Les hémangioblastes, situés au centre des amas, donnent des cellules souches hématopoïétiques multipotentes (CSH) dont une partie se différencie en érythroblastes embryonnaires (cellules nucléées contenant de l'hémoglobine embryonnaire qui formeront les 1^{ers} globules rouges.
- Les angioblastes, précurseurs des cellules endothéliales vasculaires, apparaissent dès le 17^{ème} jour de vie intra-utérine
- Ceux-ci fusionnent pour former les vaisseaux embryonnaires (vasculogenèse).
- Ce qui donnera un plexus vasculaire primaire.
- Les vaisseaux sanguins du plexus vasculaire acquièrent ensuite des identités artérielle et veineuse le long d'un axe artériel-capillaire-veineux
- L'angiogenèse, formation de cellules endothéliales à partir de vaisseaux déjà existants, participe ensuite au développement vasculaire.
- Ces deux mécanismes sont régulés par des facteurs de croissance présents au niveau des cellules endothéliales elles-mêmes.
- Le système vasculaire se développe de façon centrifuge.
- Les premiers arcs aortiques apparaissent dès le 23^{ème} jour de vie intra-utérine.
- Les veines se développent à partir du 26^{ème} jour de vie intra-utérine.
- Les lymphatiques apparaissent un peu plus tard, à la cinquième semaine du développement embryonnaire.
- Le système vasculaire embryonnaire est achevé vers le deuxième mois de vie intra-utérine.

3. Formation du tube cardiaque primitif : (Fig.3)

- Le cœur se forme à partir du mésoderme au environ des 18^{ème} – 19^{ème} jours après la fécondation.
- Le cœur commence à se développer près de la tête de l'embryon, dans une région appelée zone cardiogénique. (Air cardiaque).

- Sous l'induction de facteurs provenant de l'endoderme sous-jacent ; la zone cardiogénique commence à former deux cordons appelés cordons cardiogéniques.
- Au fur et à mesure que les cordons cardiogéniques s'allongent et se développent, une lumière apparaît rapidement en leur sein.
- À ce stade, ils sont appelés tubes endocardiques
- Les deux tubes migrent ensemble dans la future région thoracique et vont fusionner pour former un seul tube cardiaque primitif entouré du sac péricardique.
- Le tube cardiaque est composé à ce niveau de trois couches : l'épicarde, le myocarde et l'endocarde.
- La couche la plus externe du côté de la cavité péricardique est appelée l'épicarde.
- Elle est suivie du manteau myocardique et forme avec ce dernier le myocarde.
- La distance notable entre le myocarde et le tube endocardique est remplie par la gelée cardiaque.
- La lumière du cœur est tapissée par les cellules endocardiques.
- Ensuite ce tube cardiaque primitif se dilate et s'allonge et va présenter des zones dilatées séparées par des zones rétrécies. Nous avons ainsi, d'arrière en avant : (de la région caudale à la région céphalique) :
 - ✓ Le sinus veineux : c'est une portion dilatée dans laquelle débouchent caudalement les deux veines ombilicales et les deux veines vitellines ; impliqué dans la formation d'une partie de l'oreillette droite, de la veine cave, du nœud sinusal et le sinus coronaire.
 - ✓ L'oreillette primitive zone dilatée : Forme les oreillettes.
 - ✓ Le canal auriculo-ventriculaire zone rétrécie.
 - ✓ Le ventricule primitif zone dilatée : Forme les ventricules.
 - ✓ Le bulbe artériel zone dilatée se continue avec les deux aortes ventrales et Impliqué dans la formation du tronc pulmonaire et de l'aorte (sortie du cœur).

4. **Boucle cardiaque : (Fig.3)**

- Le tube cardiaque nouvellement formé est entouré par le sac péricardique.
- À mesure que le tube cardiaque grandit et s'allonge, il devient trop long pour le sac.
- Cela signifie que pour s'adapter, il doit se boucler en forme de S puis en forme de U.
- Ainsi ; le ventricule primitif se déplace ventralement et vers la droite, tandis que l'oreillette primitive se déplace dorsalement et vers la gauche.
- Cela place la partie d'entrée du cœur (veines et oreillettes) derrière la partie de sortie (ventricules et artères) : « la même forme et la même orientation que les cœurs matures ».
- Et le canal auriculo-ventriculaire qui relie l'oreillette commune aux premiers ventricules embryonnaires.
- C'est à ce moment (environ 28^{ème} jours) que les contractions commencent dans le cœur et que le rythme cardiaque démarre.
- Les premières contractions cardiaques sont dues à une activité myogène.
- La circulation s'effectue du sinus veineux vers l'oreillette droite, vers l'oreillette gauche, puis vers le canal auriculo-ventriculaire et les ventricules.

5. **Le canal atrio-ventriculaire :**

- Le canal atrio-ventriculaire est une zone importante du tube cardiaque primitif.
- C'est lui qui va assurer la connexion entre le vestibule d'entrée (sinus veineux et oreillettes) et les ventricules.
- Les bourgeons endocardiques du canal atrioventriculaire se développent :
- Leur fusion antéro-postérieure sépare l'orifice auriculoventriculaire unique en deux orifices ;
- Leur développement latéral contribue à l'élaboration du feuillet septal des valves mitrale et tricuspide ;

- Leur croissance vers l'oreillette et le ventricule contribue au cloisonnement septal : fermeture de l'ostium primum par coalescence avec le septum primum, fermeture de la partie postérieure de la cloison interventriculaire ou septum d'admission entre les deux valves.

6. Cloisonnement auriculaire : (Séparation auriculaire) : (Fig.3)

- La formation des septa dans le cœur résulte du développement d'un bourgeon endocardique dans le canal auriculo-ventriculaire et la région tronconique.
- Cela se produit entre le 27^{ème} et le 37^{ème} jour du développement, lorsque l'embryon mesure de 4 à 14 mm de longueur.
- L'oreillette primitive se cloisonne grâce à deux ébauches successives :
 - Le septum primum est la première ébauche de cloisonnement.
- Il apparaît à la partie médiane du toit de l'oreillette primitive et s'étend vers le bas en forme de croissant jusqu'à la zone du canal atrio-ventriculaire où il délimite l'ostium primum. L'ostium primum sera fermé par le développement des bourgeons endocardiques du canal atrio-ventriculaire.
- À la partie céphalique du septum primum apparaît une déhiscence, l'ostium secundum.
- Le septum secundum, deuxième ébauche septale, double sur sa face droite le septum primum.
- Il ne recouvre que les deux tiers de la cloison inter-auriculaire et délimite un orifice central, la fosse ovale.
- La fosse ovale centrale et l'ostium secundum antéro-supérieur permettent un shunt de l'oreillette droite vers l'oreillette gauche pendant toute la vie fœtale.
- Ce shunt s'inversera et se fermera après la naissance.

7. Le cloisonnement des ventricules : (Séparation des ventricules) : (Fig.3)

- La formation de la cloison ventriculaire se déroule en deux étapes.
- ✓ Premièrement, une partie musculaire du tissu cardiaque se développe vers le haut depuis le plancher du ventricule primitif vers les bourgeons endocardiques.
- Il n'atteint pas complètement les bourgeons, formant le foramen interventriculaire primaire.
- ✓ Une partie membraneuse se développe ensuite à partir des bourgeons endocardiques pour rejoindre la partie membraneuse et fermer le foramen.
- Un défaut dans la formation de la partie membraneuse est une cause fréquente de communication interventriculaire.

8. Formation des valvules :

Les valvules auriculo-ventriculaires se forment entre la cinquième et la huitième semaine et les valvules semi-lunaires aortiques et pulmonaires se forment entre la cinquième et la neuvième semaine.

9. Le système de stimulation et de conduction cardiaque :

- Le nœud sino-atrial se met en place le premier, il est situé dans la partie droite de l'oreillette primitive près du sinus veineux qui a été envahie par la crête neurale.
- Le nœud sinusal est doué d'automatisme et peut engendrer spontanément, grâce à des propriétés électriques bien identifiées, des impulsions qui sont à la source du battement cardiaque.
- Les contractions cardiaques prennent naissance ainsi spontanément par la partie auriculaire primitive du tube cardiaque et se propage de cellules en cellules.
- Très rapidement des cellules musculaire du bourgeon endocardique supérieur se mettent à former un second centre de stimulation : le nœud auriculo-ventriculaire.
- A partir du nœud auriculo-ventriculaire va s'allonger au niveau du septum ventriculaire pour donner le faisceau de His à son tour il va se diviser en deux branches droite pour le ventricule droit et une gauche pour le ventricule gauche.
- Une fois le nœud sinu-auriculaire ainsi que le nœud av et le faisceau de His différenciés, la fréquence cardiaque augmente rapidement et atteint 140 battements/min.

- La région avec la fréquence la plus élevée (région des sinus) assume la fonction de stimulateur cardiaque

10. Le rythme cardiaque fœtal :

- À partir de 6^{ème} semaines d'aménorrhée (SA), le nœud sinusal assure l'automatisme contractile des oreillettes.
- Il parvient à maturité vers la 9^{ème} SA, accélérant la fréquence cardiaque fœtale de 100b à 180b/min. (b : Battement).
- Par la suite, le rythme se ralentit autour de 160b/min vers 14 SA, puis $140b \pm 20/min$ à 20 SA.
- Il décroît peu ensuite, s'établissant à $130b \pm 20/min$ chez le fœtus proche du terme.
- En pratique, on considère que le rythme cardiaque fœtal (RCF) normal est compris entre 110 b et 160b/min et peut varier dans cette fourchette lors d'un examen échographique.
- Tachycardie ; si RCF supérieur à 160 bpm pendant plus de 10 minutes.
- Bradycardie ; si RCF inférieur à 110 bpm pendant plus de 10 minutes.

11. La circulation fœtale : (Fig.4)

11.1. Avant la naissance :

- La circulation fœtale fonctionne très différemment de la circulation adulte.
- Les étapes suivantes décrivent le flux sanguin du placenta vers la circulation systémique du fœtus :
- Le sang oxygéné est transporté du placenta vers la circulation fœtale via la veine ombilicale.
- Le sang oxygéné pénètre dans la veine cave inférieure.
- Il contourne le foie en développement via le canal veineux.
- Le sang pénètre dans l'oreillette droite et passe dans l'oreillette gauche via le foramen ovale, contournant ainsi la circulation pulmonaire.
- Le sang peut circuler du côté droit vers le côté gauche du cœur car la pression dans le côté droit du cœur est plus élevée que dans le côté gauche chez le fœtus.

➤ **Remarque :** *Le fœtus ne respire pas et le sang du fœtus est oxygéné par le sang de la mère. Le sang n'a donc pas besoin d'aller vers les alvéoles pour l'oxygénation, la circulation pulmonaire peut donc être contournée. Le sang oxygéné pénètre dans la veine cave inférieure et se mélange au sang désoxygéné. Il contourne le foie en développement via le canal veineux.*

- Le sang est pompé du ventricule gauche vers l'aorte.
- Après y avoir circulé, le sang retourne dans l'oreillette droite du cœur par la veine cave supérieure.
- Au lieu de remonter par le foramen ovale, il pénètre dans le ventricule droit.
- Ce sang moins oxygéné est pompé du ventricule droit vers l'artère pulmonaire.
- Une petite quantité de sang continue vers les poumons.
- La majeure partie de ce sang est acheminée par le canal artériel vers l'aorte descendante.
- Ce sang pénètre ensuite dans les artères ombilicales et s'écoule vers le placenta.
- Dans le placenta, le dioxyde de carbone et les déchets sont libérés dans le système circulatoire de la mère.
- L'oxygène et les nutriments du sang de la mère sont libérés dans le sang du fœtus.

11.2. La circulation sanguine après la naissance :

- Lorsque le bébé prend sa première respiration, la pO₂ augmente.
- Ce changement provoque la fermeture du canal artériel.
- Le canal artériel devient le ligament artériel.
- Une plus grande quantité de sang circule désormais dans la circulation pulmonaire, car le sang présent dans le tronc pulmonaire ne peut plus sortir par le canal artériel.
- Cela provoque une augmentation du retour sanguin vers l'oreillette gauche, entraînant une augmentation de la pression auriculaire gauche.
- La pression dans l'oreillette gauche dépasse celle de l'oreillette droite, ce qui provoque la fermeture du foramen ovale.

Le foramen ovale devient la fosse ovale.

- Lorsque le cordon ombilical est coupé, le sang ne circule plus dans la veine ombilicale, provoquant l'effondrement du canal veineux.
- Le canal veineux devient le ligament rond .

12. Les applications cliniques :

- La tétralogie de Fallot est une malformation cardiaque présente à la naissance (cardiopathie congénitale). Elle est caractérisée par quatre anomalies, d'où l'appellation tétralogie ("tétra" signifie "quatre" en grec) : (**Fig.5**)
 - ✓ Une communication interventriculaire (CIV) ;
 - ✓ Une sténose de l'artère pulmonaire ; (Un rétrécissement)
 - ✓ Un déplacement de l'aorte qui se retrouve "à cheval" sur la communication interventriculaire ;
 - ✓ Une hypertrophie ventriculaire droite (augmentation anormale de l'épaisseur du ventricule droit).
- Les sujets atteints présentent une teinte bleutée de la peau (cyanose) observée progressivement à la naissance.
- En effet, le sang drainé dans les organes contient peu d'oxygène.
- Ce phénomène apparaît lorsque le nourrisson pleure, fait un effort ou tète.
- D'autre part, l'on rapporte un malaise anoxique ou malaise de Fallot, susceptible d'entraîner une perte de connaissance chez les nourrissons.
 - Cet état fait l'objet d'une urgence médicale, voire chirurgicale.

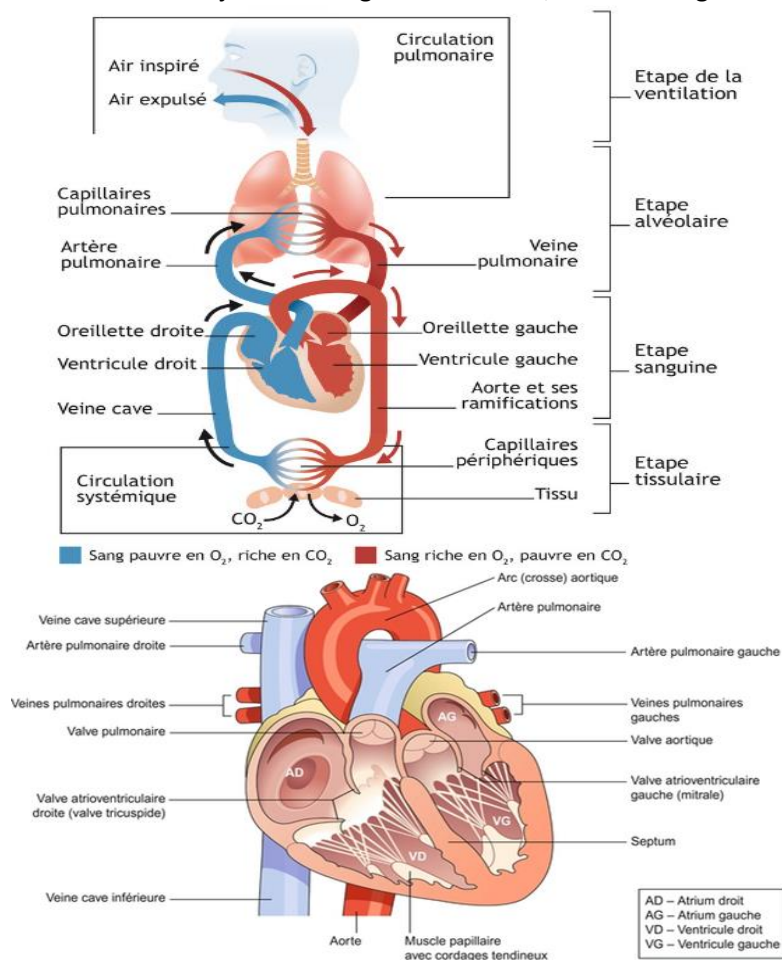


Figure 01 : Anatomie et système circulatoire chez l'enfant et l'adulte

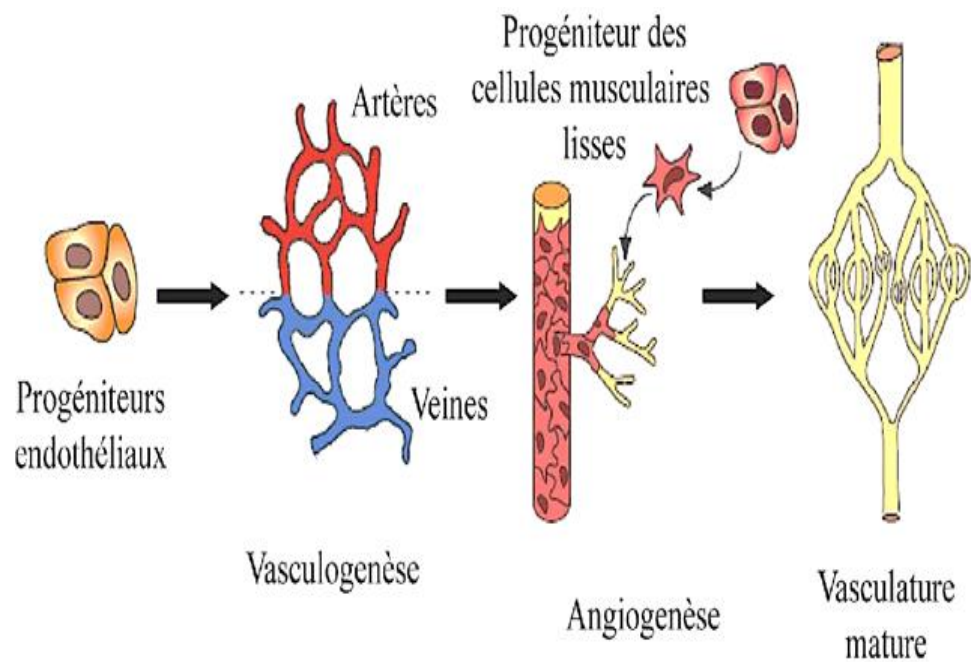
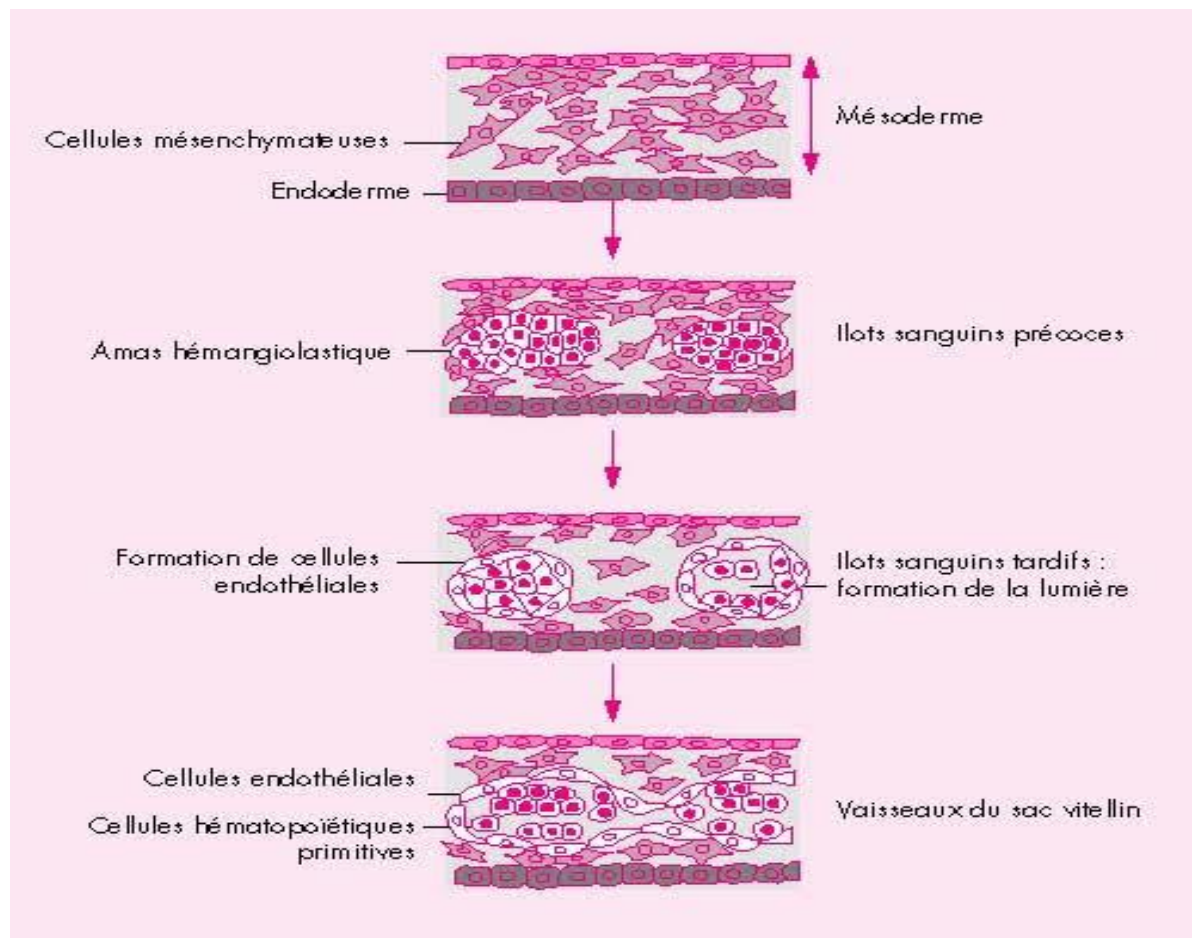


Figure 02 : Vasculogenèse et Angiogenèse

Extrémité céphalique = pôle artériel



Extrémité caudale = sinus veineux

E22	E24	E28- Lateral view	E28- Ventral view	E56
<p>Truncus arteriosus</p> <p>Bulbus cordis</p> <p>Ventricle</p> <p>Sinus venosus</p>	<p>Truncus arteriosus</p> <p>Sinus venosus</p>	<p>Truncus arteriosus</p> <p>Atria</p> <p>Ventricle</p> <p>Sinus venosus</p>	<p>Sinus venosus</p>	<p>Aortic arch</p> <p>Ductus arteriosus</p> <p>Pulmonary trunk</p> <p>RA</p> <p>LA</p> <p>Pulmonary vein</p> <p>RV</p> <p>LV</p>
	<p>Atria</p> <p>RV</p> <p>LV</p>	<p>Sup. vena cava</p> <p>SA valve</p> <p>Pulmonary vein opening</p> <p>RA</p> <p>LA</p> <p>Septum primum</p> <p>Septum secundum</p> <p>Lateral cushions</p> <p>Endocardial cushions</p> <p>RV</p> <p>LV</p>	<p>Sup. vena cava</p> <p>SA valve</p> <p>Pulmonary vein opening</p> <p>RA</p> <p>LA</p> <p>Septum primum</p> <p>Septum secundum</p> <p>Lateral cushions</p> <p>Endocardial cushions</p> <p>RV</p> <p>LV</p>	<p>Foramen ovale</p> <p>Septum secundum</p> <p>Pulmonary vein</p> <p>RA</p> <p>LA</p> <p>Tricuspid valve</p> <p>RV</p> <p>LV</p> <p>Mitral valve</p>

Figure 03 : Formation du cœur

Fetal Circulation

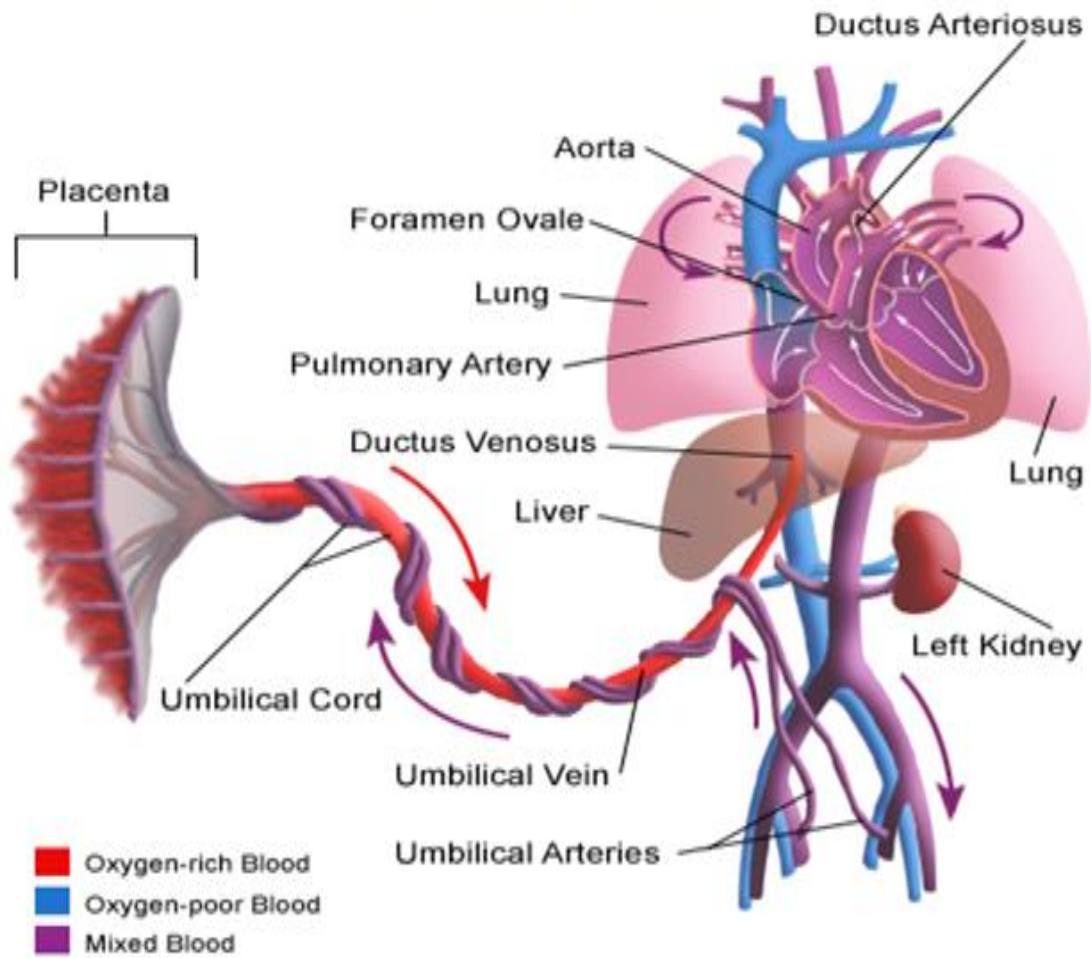


Figure 04 : Circulation fœtale

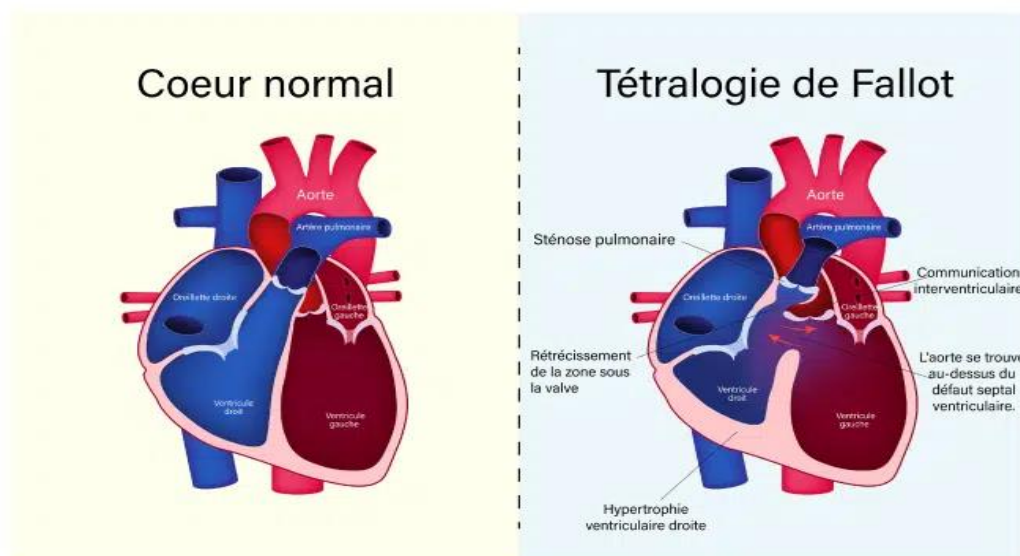


Figure 05 : La tétralogie de Fallot