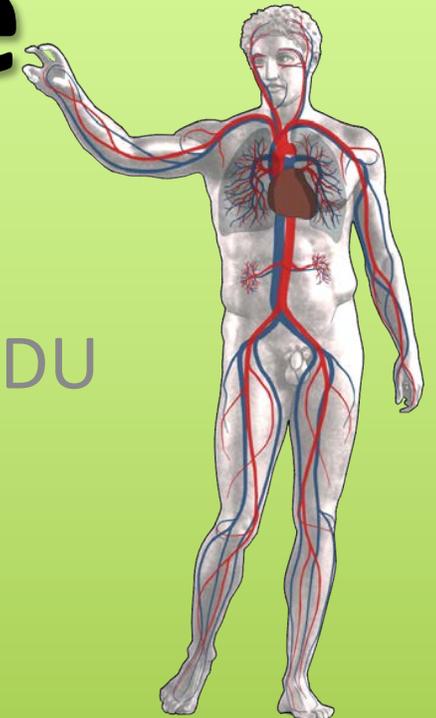


# L'appareil circulatoire

Préparation guide de palanquée niveau 4  
ANATOMIE, PHYSIOLOGIE ET PHYSIOPATHOLOGIE DU  
PLONGEUR

Circulation et plongée

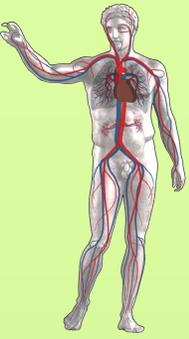


\* Arnaud Mèlèse \*

MF2 n°2032

Nitrox n°7491

[plouf@melese.com](mailto:plouf@melese.com)  
<http://plouf.melese.com>



# Objectif

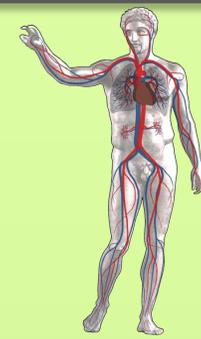
- Le **cœur** est un muscle vital pour l'organisme
- Le **système cardio-circulatoire** est très sollicité en plongée car il doit s'adapter à des conditions différentes de la surface et variant beaucoup, que ce soit en plongée loisir ou à l'effort
- La circulation sanguine intervient dans le **transport des gaz** et peut être le siège des accidents de désaturation
- Il intervient aussi dans la **thermorégulation** et l'**hydratation**

***Le guide de palanquée doit en comprendre le fonctionnement afin d'adapter son comportement lors de son entraînement et lorsqu'il encadre des plongeurs***



## Le système cardio-vasculaire

- le cœur
- le cycle cardiaque
- la circulation
- les vaisseaux sanguins
- le sang
- la lymphe



## Adaptation à la plongée

- « blood shift »
- rythme cardiaque
- foramen ovale perméable (shunt cardiaque)
- les enfants et la plongée

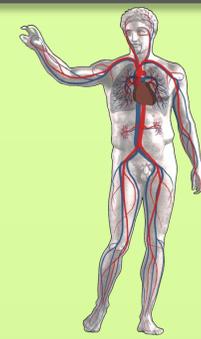


Exemples d'annales d'examen niveau 4



## Le système cardio-vasculaire

- le cœur
- le cycle cardiaque
- la circulation
- les vaisseaux sanguins
- le sang
- la lymphe



## Adaptation à la plongée

- « blood shift »
- rythme cardiaque
- foramen ovale perméable (shunt cardiaque)
- les enfants et la plongée



Exemples d'annales d'examen niveau 4



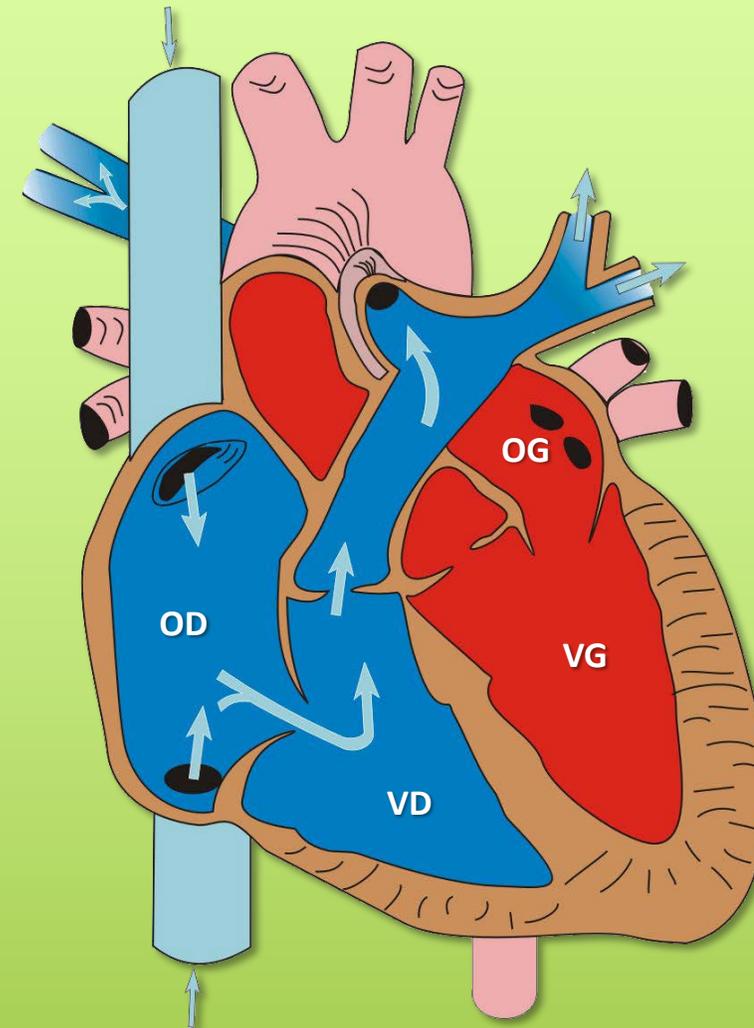
# Le système cardio-vasculaire

- Le **cœur** est un muscle creux qui anime la **circulation sanguine** en pompant le sang (myocarde)
- Le **sang** circule dans tout l'organisme apportant **oxygène** et nutriments aux cellules et permettant l'élimination du **gaz carbonique** par les poumons et d'autres déchets cellulaires par les reins
- La circulation sanguine intervient aussi dans la **thermorégulation** et le transport de neurotransmetteurs
- Le système circulatoire peut être le siège des **accidents de désaturation**
- L'organisme contient 5 à 6 litres de sang et le cœur pompe environ 5 l/min au repos (~70 battements)



# Le cœur

- Organe situé dans le **médiastin** et reposant sur le diaphragme, il pointe vers la gauche
- Il est entouré d'une membrane appelée **péricarde**
- Il est gros comme le poing et pèse environ 300 g
- Le cœur est composé d'une partie musculaire, le myocarde, et d'une partie creuse constituée de 4 cavités, les **oreillettes** et les **ventricules** :
  - cœur droit : OD et VD
  - cœur gauche : OG et VG

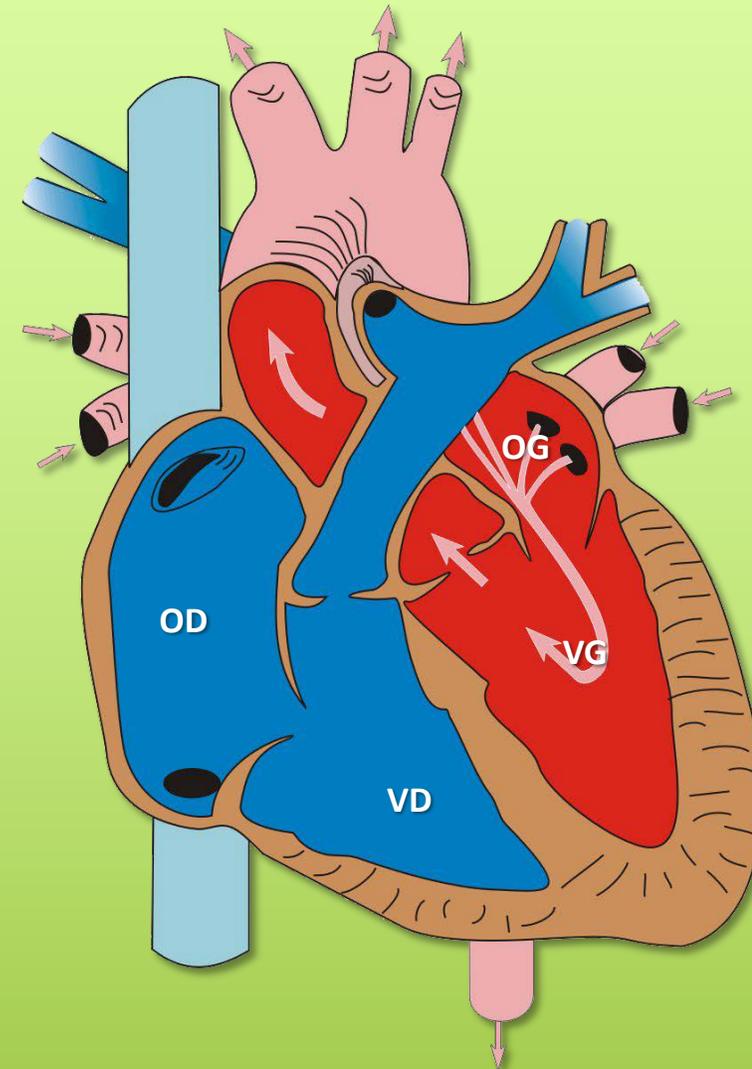




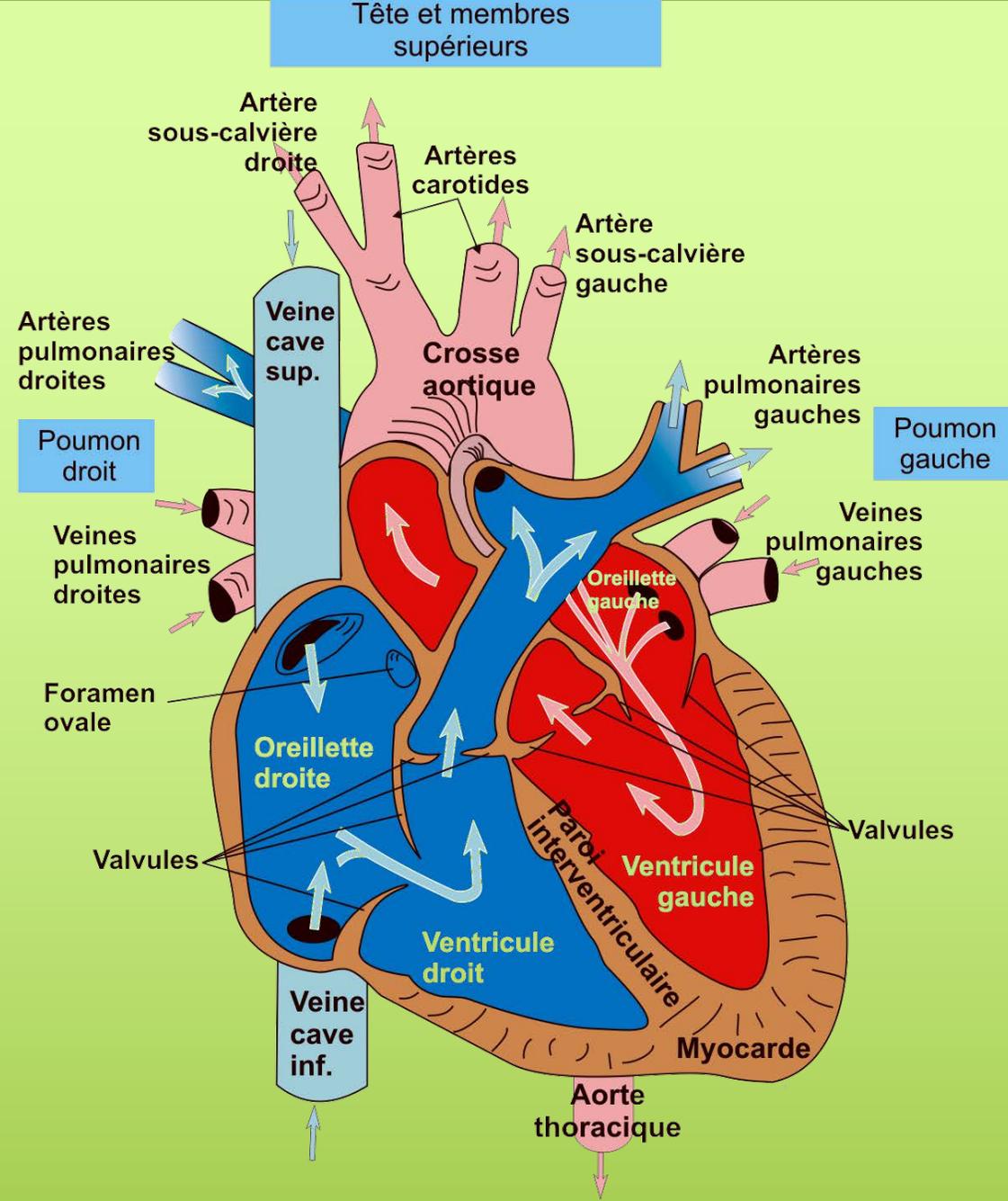
# Le cœur

- Le sang arrive au cœur par les oreillettes et le quitte par les ventricules
- Il est lui-même irrigué par les artères coronaires (non représentées)
- Il a un contrôle autonome par le nœud sinusal

Usuellement, le sang est représenté en **rouge** lorsqu'il est riche en oxygène ( $O_2$ ), et **bleu** lorsqu'il est pauvre en oxygène et riche en dioxyde de carbone ( $CO_2$ )



# Le cœur



Cœur droit

Cœur gauche



# Le cycle cardiaque

## **Diastole** (~0,5 sec)

Relâchement du myocarde et admission du sang dans les oreillettes

## **Systole** (~0,3 sec)

- **Auriculaire** (~0,1 sec) : passage des oreillettes aux ventricules
- **Ventriculaire** (~0,2 sec) : le sang est comprimé dans les ventricules puis chassé dans les artères



Un cycle représente moins d'une seconde, et il y a 60 à 70 cycles par minute



# Le rythme cardiaque

- Automatismes contrôlés par le **tissu nodal**, il est d'environ 70 battements par minute pour un débit sanguin d'environ 5 l/min
- Il est modulé par les systèmes **sympathique (+)** et **parasympathique (-)** suite à la stimulation de barorécepteurs (sensibles à la pression), volorécepteurs (sensibles aux variations de volume) et chémorécepteurs (sensibles aux variations chimiques)

➔ **Bradycardie** ( $f < 60$  batt/min)

À l'immersion (capteurs péri-oraux de la face), à cause du froid, lors d'une apnée, hyperoxie (relative ou Nitrox)

➔ **Tachycardie** ( $f > 100$  batt/min)

Stimulée par les efforts musculaires, l'hypercapnie, le stress (adrénaline) ; limitée par l'âge

*Le développement de l'endurance augmente l'action du système parasympathique*

# La circulation

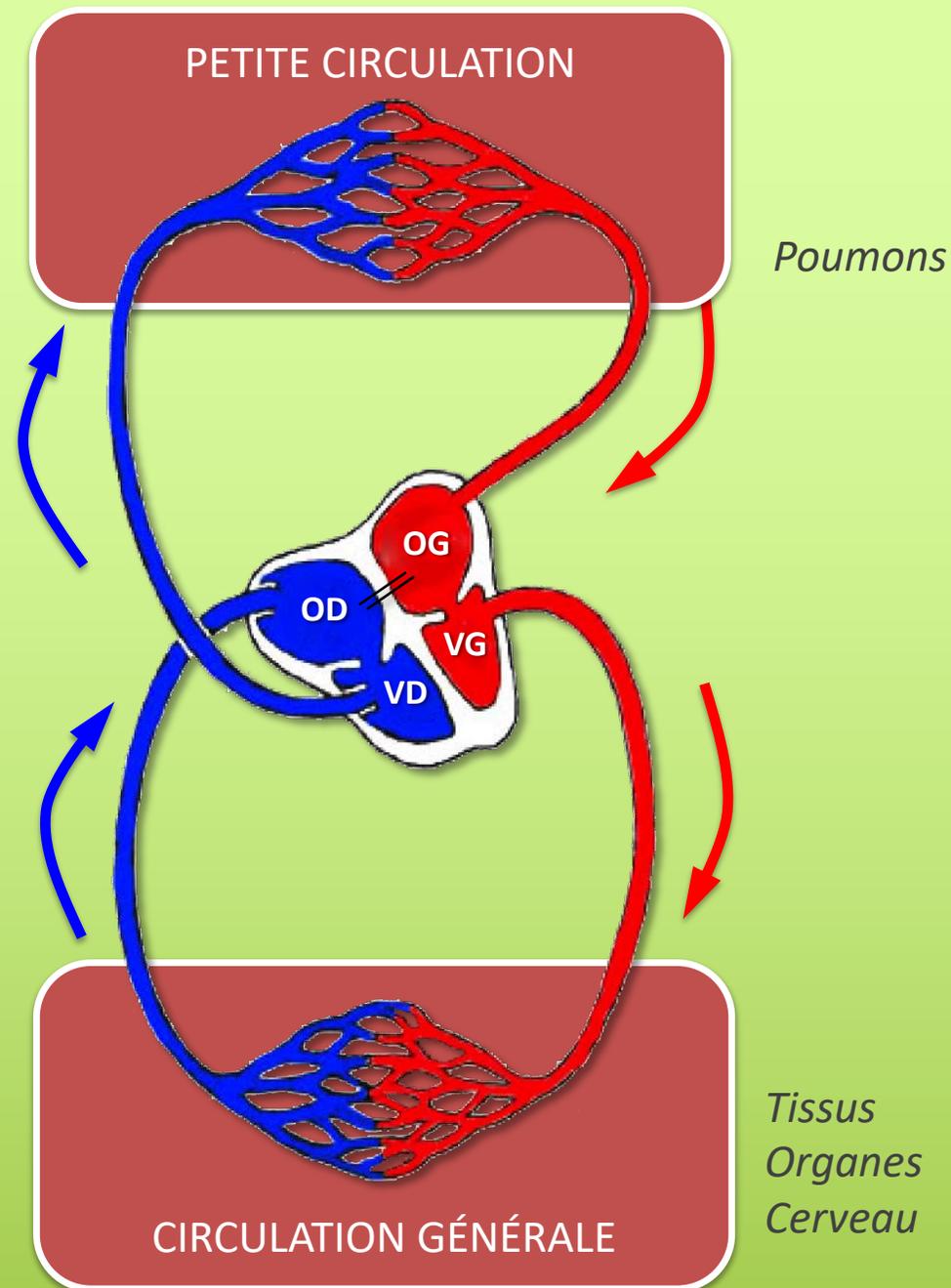
Le sang se charge en  $O_2$  au niveau des **poumons** et arrive au **cœur** par l'oreillette gauche

Il est alors propulsé dans la **circulation générale** depuis le ventricule gauche

Une partie de l' $O_2$  (~20 %) est consommée par les cellules en produisant  $CO_2$  qui sera réacheminé au **cœur** via l'oreillette droite

Le ventricule droit renvoie le sang vers les **poumons** où il se décharge du  $CO_2$  et se charge en  $O_2$

NB : les poumons sont aussi irrigués par la grande circulation





# Les vaisseaux sanguins

- **Artères**

Elles partent du cœur

Diamètre décroissant des troncs artériels aux artérioles et aux capillaires artériels

Les artères de gros calibre sont élastiques et pourvues de muscles lisses (vasomotricité\*)

La pression y est importante et la circulation d'abord discontinue

- **Veines**

Elles arrivent au cœur

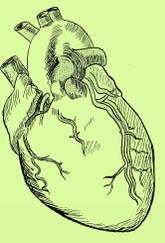
De diamètre croissant des capillaires veineux aux veinules aux troncs veineux, la pression sanguine y est très basse et de faible débit

- **Capillaires**

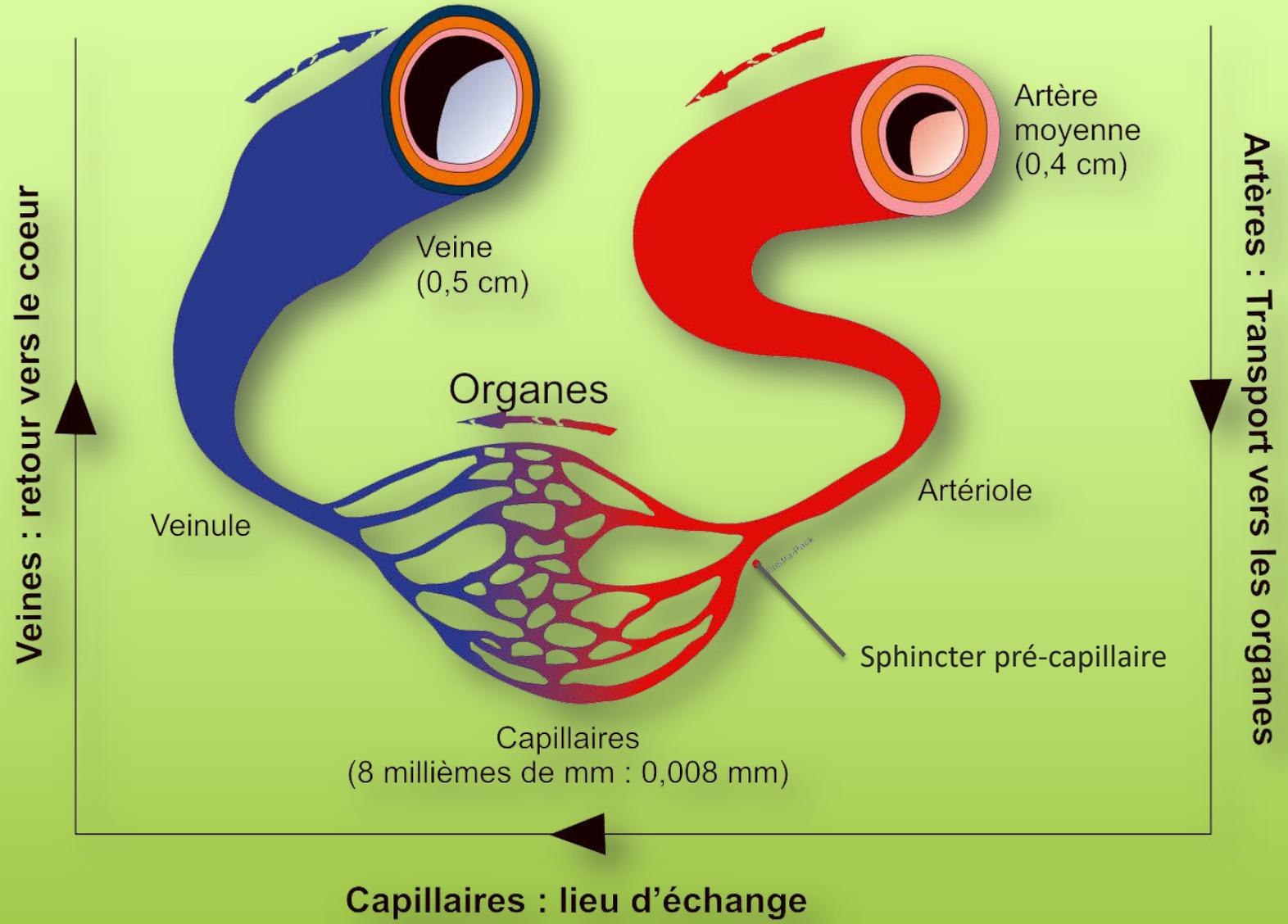
Très petit diamètre

C'est la zone des échanges gazeux et de nutriments, des déchets cellulaires

*\*mise en jeu lors de la vasoconstriction due au froid*



# Les vaisseaux sanguins





# La vasomotricité

- Les fibres musculaires des parois des vaisseaux sanguins de faible diamètre peuvent se contracter (**vasoconstriction**) ou se relâcher (**vasodilatation**)
- Ceci permet de réguler le débit sanguin irrigant les organes (ex. : digestion, effort musculaire...)
- C'est aussi un des moteurs de la **thermorégulation**

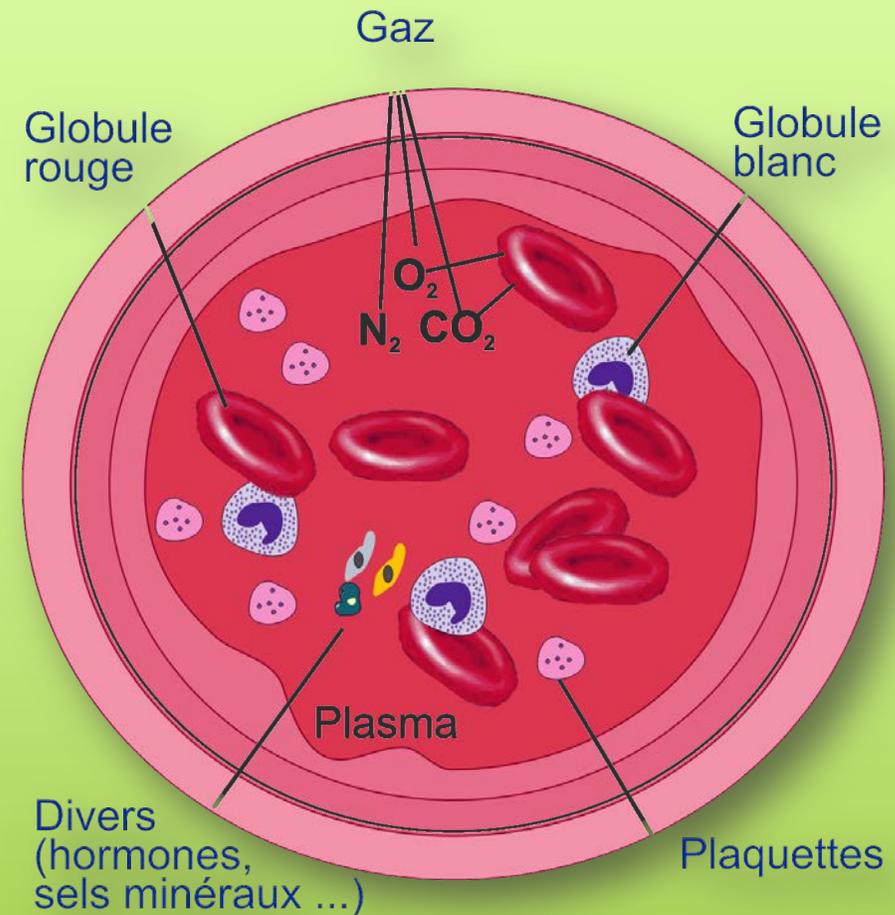




# Le sang

Le sang est composé de

- **55 % plasma** : eau (90 %), sels minéraux (sodium, potassium, calcium...), protéines (immunoglobulines, albumine...), nutriments (glucose, vitamines), déchets du métabolisme (urée, acide lactique), gaz respiratoires ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ), hormones (adrénaline, ADH)
- **45 % éléments figurés** : globules rouges (hématies), globules blancs (leucocytes), plaquettes (coagulation du sang)





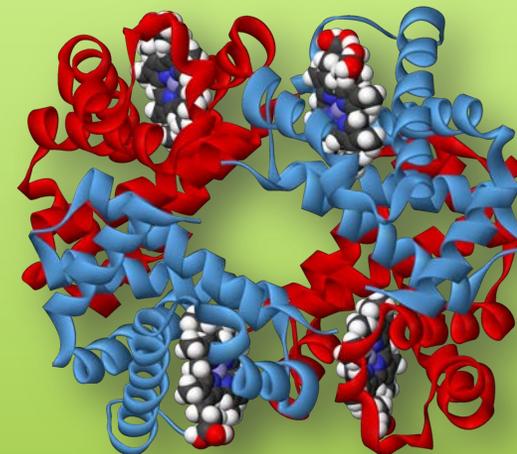
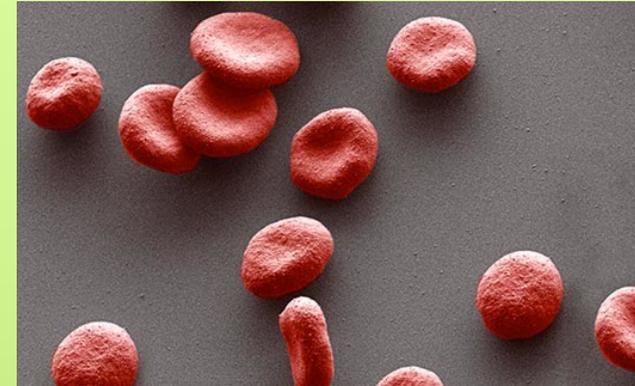
# Le sang

- Le sang a un rôle important de transporteur (gaz, nutriments), de messenger (hormones), de régulateur (température, hydratation), de protecteur (plaquettes, leucocytes)
- Transport des gaz dans le sang :
  - $O_2$  : combiné à l'hémoglobine (98 %) ou sous forme dissoute (2 %)
  - $CO_2$  : libre sous forme d'acide carbonique (87 %), combiné à l'hémoglobine (8 %) ou dissout (5 %)
  - $N_2$  : entièrement dissout dans le plasma



# Hématies et hémoglobine

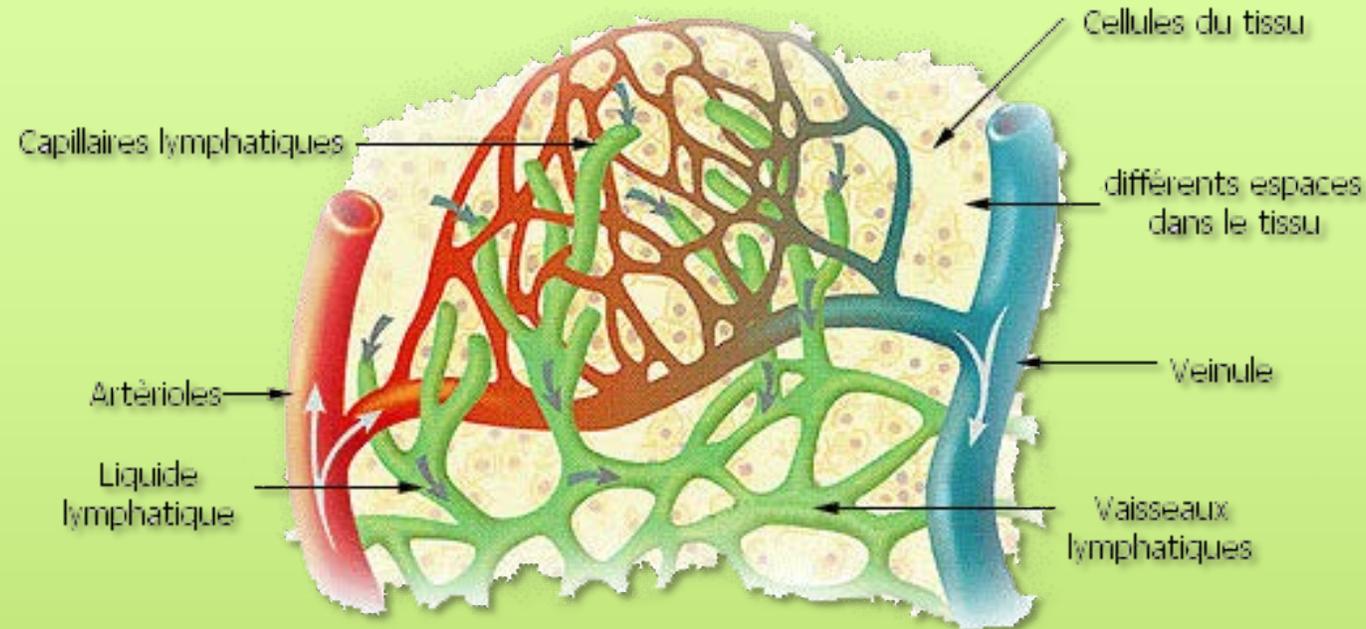
- Chaque globule rouge contient 280 millions de molécules d'hémoglobine (Hb)
- Une molécule d'hémoglobine est formée de 4 hèmes qui fixent les molécules d'O<sub>2</sub>
- 98 % de l'O<sub>2</sub> est véhiculé par l'Hb. Ce sont les 2 % restant qui participent aux échanges gazeux (alvéoles, cellules)



*NB : le CO, monoxyde de carbone, est un concurrent de l'O<sub>2</sub> → il se lie plus facilement et de manière beaucoup plus stable à l'hème*



# La lymphe



Contenant de nombreux composants du sang (sauf les globules rouges), elle s'accumule autour des vaisseaux sanguins et des tissus, rejoint des capillaires et des vaisseaux lymphatiques puis circule lentement vers le cœur par la veine cave supérieure

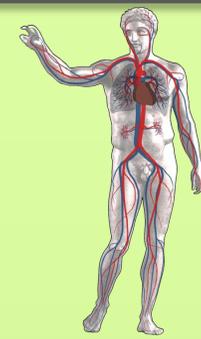
Elle recueille les déchets de l'activité cellulaires, siège des défenses immunitaires et transporte les **graisses**

Elle est filtrée par les ganglions lymphatiques



## Le système cardio-vasculaire

- le cœur
- le cycle cardiaque
- la circulation
- les vaisseaux sanguins
- le sang
- la lymphe

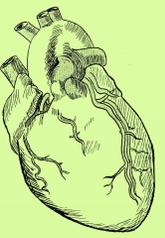


## Adaptation à la plongée

- « blood shift »
- rythme cardiaque
- foramen ovale perméable (shunt cardiaque)
- les enfants et la plongée



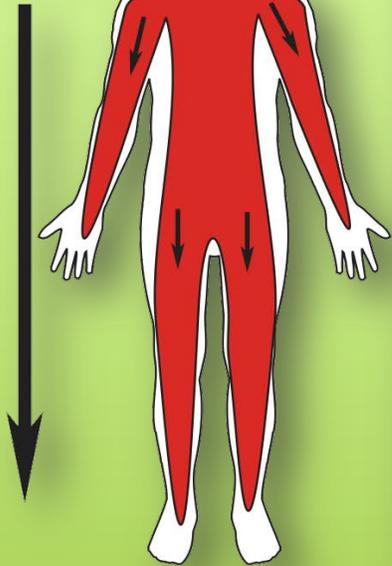
Exemples d'annales d'examen niveau 4



# « Blood Shift »

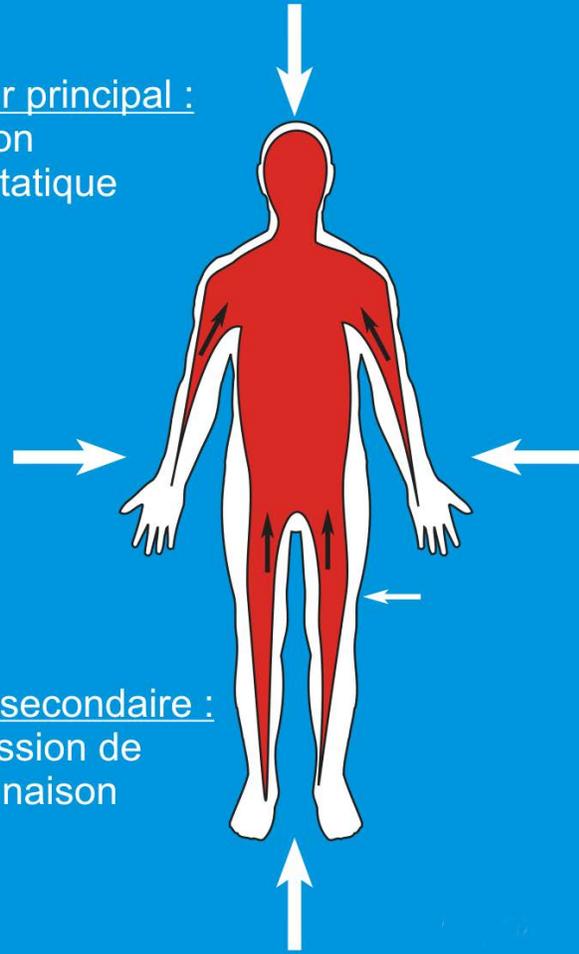
Hors de l'eau

Pesanteur  
Force de gravité



Facteur principal :  
Pression  
hydrostatique

Facteur secondaire :  
Compression de  
la combinaison



- Représente  $\sim 0,7$  l de sang
- Augmentation du W cardiaque et du W pulmonaire
- La ventilation devient plus difficile, le travail cardiaque plus important
- Cela cause la **diurèse d'immersion** afin de réduire la charge du cœur
- La répartition sanguine redevient normale après le retour en surface, mais il y a eu **déshydratation**

➔ se réhydrater après la plongée



# Variation du rythme cardiaque en immersion

Selon les individus, le rythme « terrestre » est d'environ 60 à 70 cycles par minute  
En immersion, il varie pour s'adapter aux conditions

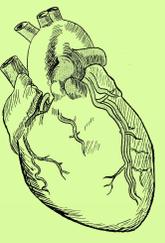
## Bradycardie ↘

- Immersion
- Froid
- Apnée
- Augmentation de la  $PpO_2$  (Nitrox, profondeur)

## Tachycardie ↗

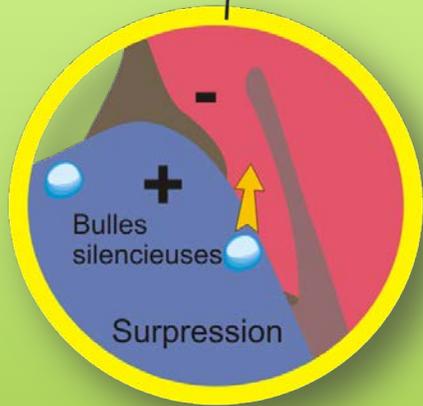
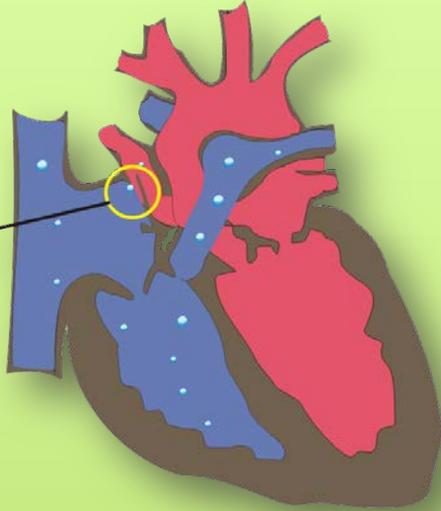
- Effort
- Stress
- « Blood Shift »
- Hypercapnie ( $\nearrow PpCO_2$ )



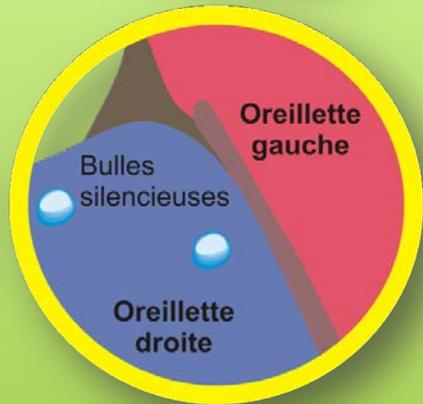


# Foramen ovale perméable (shunt cardiaque)

Foramen  
ovale  
perméable  
(FOP)



Foramen ovale  
ouvert



Foramen ovale  
fermé

Le **FOP** se situe dans la cloison inter-auriculaire et permet de shunter la petite circulation lors de la vie fœtale. Il est présent dans plus de 25 % de la population sans poser de problème particulier

En plongée, s'il s'ouvre, il peut favoriser le passage de bulles dans la grande circulation et l'apparition d'ADD

Pour prévenir son ouverture :

- **pas de Valsalva trop fort ou à la remontée**
- **pas de compression de la cage thoracique** (remontée semi-rigide, gonfler le gilet à la bouche, apnée)
- **pas d'effort après la plongée**
- **pas d'apnée après la plongée**

Si on découvre un FOP, il y a une limitation définitive des paramètres de la plongée



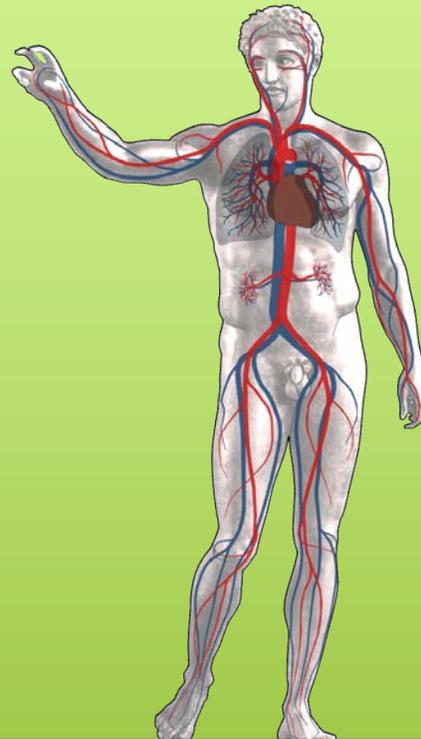
# Les enfants et la plongée

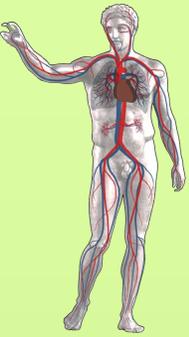
- **Réserve cardiaque** plus faible que chez l'adulte  
→ *efforts limités*
- **FOP** souvent persistant jusque vers 8 ans (~40 %, contre 25 % chez les adultes)
- Existence de turbulences à l'arrivée de la veine cave inférieure dans l'OD  
→ *risque d'ADD augmenté*

→ *limitation des conditions de plongée des enfants et attention particulière*



# Exemples de sujets d'examen





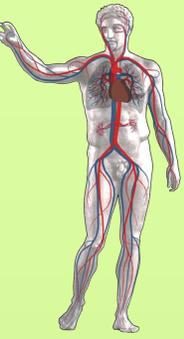
# Exemples de sujets d'examen

(6 points)

Faire un schéma légendé de la petite et de la grande circulation ; vous indiquerez les flux sanguins, le sang oxygéné et le sang chargé en  $\text{CO}_2$  et placerez les poumons, le cœur (oreillettes, ventricules et les quatre valvules) sur le schéma.

Vous décrirez les organes utilisateurs d'oxygène sur le circuit sanguin (au moins deux exemples) ainsi que le rôle de la petite et de la grande circulation.





# Exemples de sujets d'examen

(6 points)

Une « malformation » cardiaque est susceptible d'entraîner ou de favoriser un accident de désaturation, quelle est-elle ?

Par quel mécanisme cette « malformation » peut-elle favoriser la survenue d'un accident de désaturation ?

Les plongeurs ayant cette « malformation » ne le savent généralement pas et le découvrent malheureusement suite à un ADD. À titre préventif, que conseilleriez-vous à vos plongeurs pour minimiser le risque de la réouverture de cette « malformation » ?

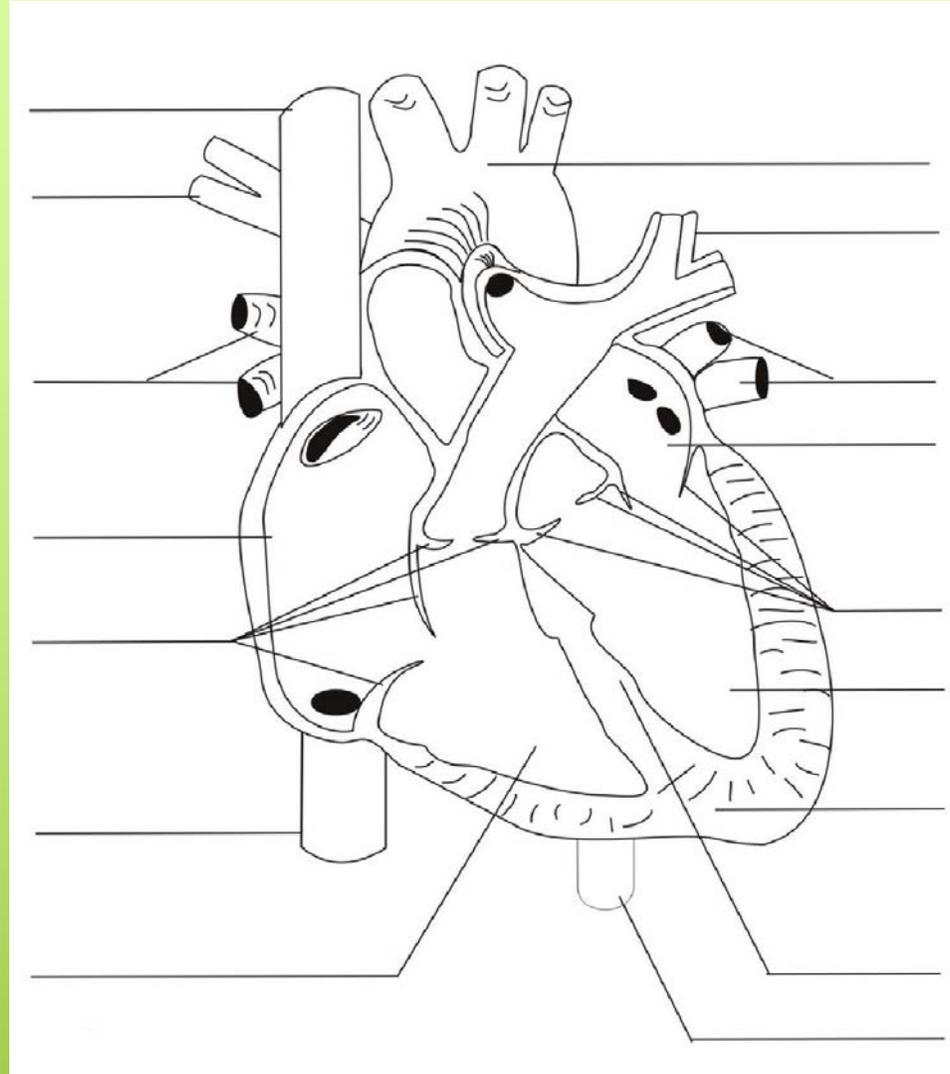




# Exemples de sujets d'examen

(4 points)

Annoter le schéma suivant



**Ben voilà, c'est tout !**



**FFESSM**

**HAUTS-DE  
-SEINE | 92**

