

Anatomie Physiologie

L'appareil circulatoire

Catherine Novarina

L'appareil circulatoire

- ◆ Préambule
- ◆ 1 Fonctions
- ◆ 2 Le cœur et les vaisseaux sanguins
- ◆ 3 Le sang, son rôle
- ◆ 4 Circulation du sang
- ◆ 5 Foramen ovale perméable
- ◆ 6 Déshydratation et plongée

1 Fonctions

- ◆ Le système **cardio-vasculaire** se compose du **cœur**, du **sang** et des **vaisseaux** (artères veines capillaires). Ses fonctions sont essentielles à la vie puisqu'il **distribue** oxygène et nutriments aux cellules, **élimine** déchets et gaz carbonique.
- ◆ En plongée le système cardio-vasculaire est particulièrement sollicité que ce soit pour réguler **la température** du corps, pour faire face à **la déshydratation** ou lors de **la décompression**.

2 Le cœur et les vaisseaux sanguins

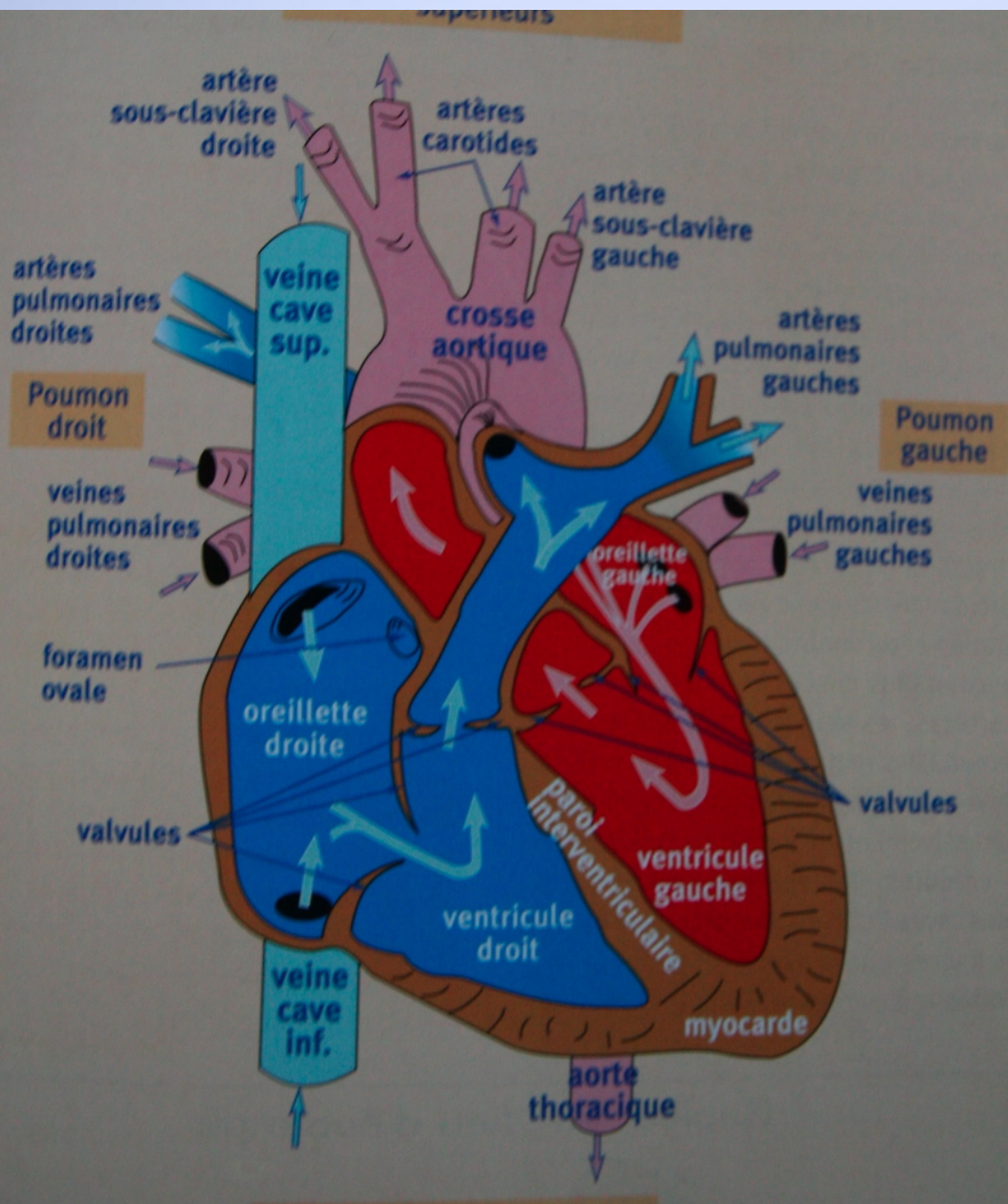
- ◆ Situé entre les deux poumons dans le **médiastin**, le cœur est un muscle creux, formé d'un tissu musculaire épais le **myocarde**. C'est une pompe dont le rôle est de faire circuler le sang dans les vaisseaux.
- ◆ Il se compose de deux compartiments étanches: **le cœur droit** et **le cœur gauche**.
- ◆ Chacune des ces deux parties contient deux cavités: **les oreillettes** et **les ventricules** séparées par des **valvules** afin d'empêcher le reflux sanguin vers les oreillettes pendant la contraction ventriculaire
- ◆ Le cycle cardiaque alterne des périodes de contraction des oreillettes et des ventricules appelées **systoles** (systole auriculaire et systole ventriculaire) afin de propulser le sang de l'une à l'autre et de **diastoles**, période de relâchement pendant laquelle les oreillettes et les ventricules se remplissent de sang.

- ◆ Le **rythme cardiaque** traduit le nombre de fois ou l'ensemble de ce cycle se produit. Au repos il est d'environ **70 pulsations par minute**. Lors d'un stress ou d'effort le rythme s'accélère sous l'influence d'hormones et des nerfs cardiaques, ce qui accroît la quantité de sang et donc d'O₂ transmise aux organes.
- ◆ ▪ Contrairement aux autres muscles, il n'y a pas de commande volontaire du système circulatoire. Il est sous la direction de deux systèmes de commande:
- ◆ ◦ **Le système nerveux végétatif ou commande réflexe**: cellules nerveuses implantées dans la paroi du cœur et qui déterminent un rythme toujours identique, produit d'un équilibre entre les 3 centres excitateurs du noyau nodal. C'est la **régulation intrinsèque**.
- ◆ ◦ **Le système nerveux de régulation ou commande automatique** comprenant des récepteurs sensitifs répartis dans l'organisme à la périphérie des artères appelés chémorécepteurs, barorécepteurs etc. **Régulation extrinsèque**. Ils analysent l'état du sang et transmettent les informations aux deux systèmes suivants:

- Le **système sympathique** qui est un **accélérateur**. Il augmente la fréquence du rythme cardiaque. Les neurotransmetteurs sont l' **adrénaline** et la **noradrénaline** (médiateurs chimiques) .
- Le **système parasympathique** (nerf vague) qui est un **ralentisseur** du rythme. Si la stimulation est assez forte; elle peut provoquer un arrêt cardiaque. Son neurotransmetteur est **l'acétylcholine**.
- Les effets de cette régulation se manifestent par la modification:
 - du **débit** de sang pompé (**fréquence**)
 - de la **pression artérielle**
 - de la **résistance** du réseau sanguin (**dilatation ou constriction**)
 - ▪ ▪

Lors de la mise à l'eau, la température provoque un réflexe de bradycardie qui est rapidement compensé.

Mais si au départ le rythme cardiaque est lent, ce réflexe (réflexe vagal) peut entraîner une syncope par défaut d'irrigation cérébrale.



Bradycardie: Ralentissement du rythme cardiaque au dessous de 60 battements / minute

Bradycardie réflexe: l'eau froide au contact des narine, du pourtour des lèvres et des pupilles de l'œil provoque un ralentissement du rythme cardiaque.

Tachycardie: accélération durable ou permanente de la fréquence cardiaque au delà de 100 battements/minute.

Les **valvules mitrales et aortiques** sont situées dans le **cœur gauche**,

Les **valvules sigmoïde et tricuspide** sont situées dans le **cœur droit**

Le fonctionnement du cœur est susceptible de variation de fréquences .

- le stress, l'exercice **stimulent le tonus sympathique** et augmentent les battements
- le froid sur le visage, la compression des globes oculaires **stimulent le nerf parasympathique** provoquant un ralentissement (bradycardie) pouvant aller jusqu'à la syncope et l'arrêt cardiaque.

Si il y a une **augmentation** de la **Pression Artérielle** , il y a **inhibition du tonus sympathique**.

Si il y a **diminution** de la **Pression Artérielle**, il y a **augmentation du tonus sympathique**

Si le débit sanguin est d'environ 5 litres d'air/minute, il peut atteindre 20 à 25 l/m lors d'une accélération du rythme. Une telle augmentation du débit sanguin a une incidence certaine sur la quantité d'azote dissous dans l'organisme. (**adaptation des procédures de décompression**)

Le débit cardiaque (DC) dépend de la **fréquence cardiaque (FC)** et de la quantité de sang propulsée à chaque contraction ou **Volume d'Ejection Systolique (VES)** : **$DC = VES \times FC$**

Les vaisseaux sanguins

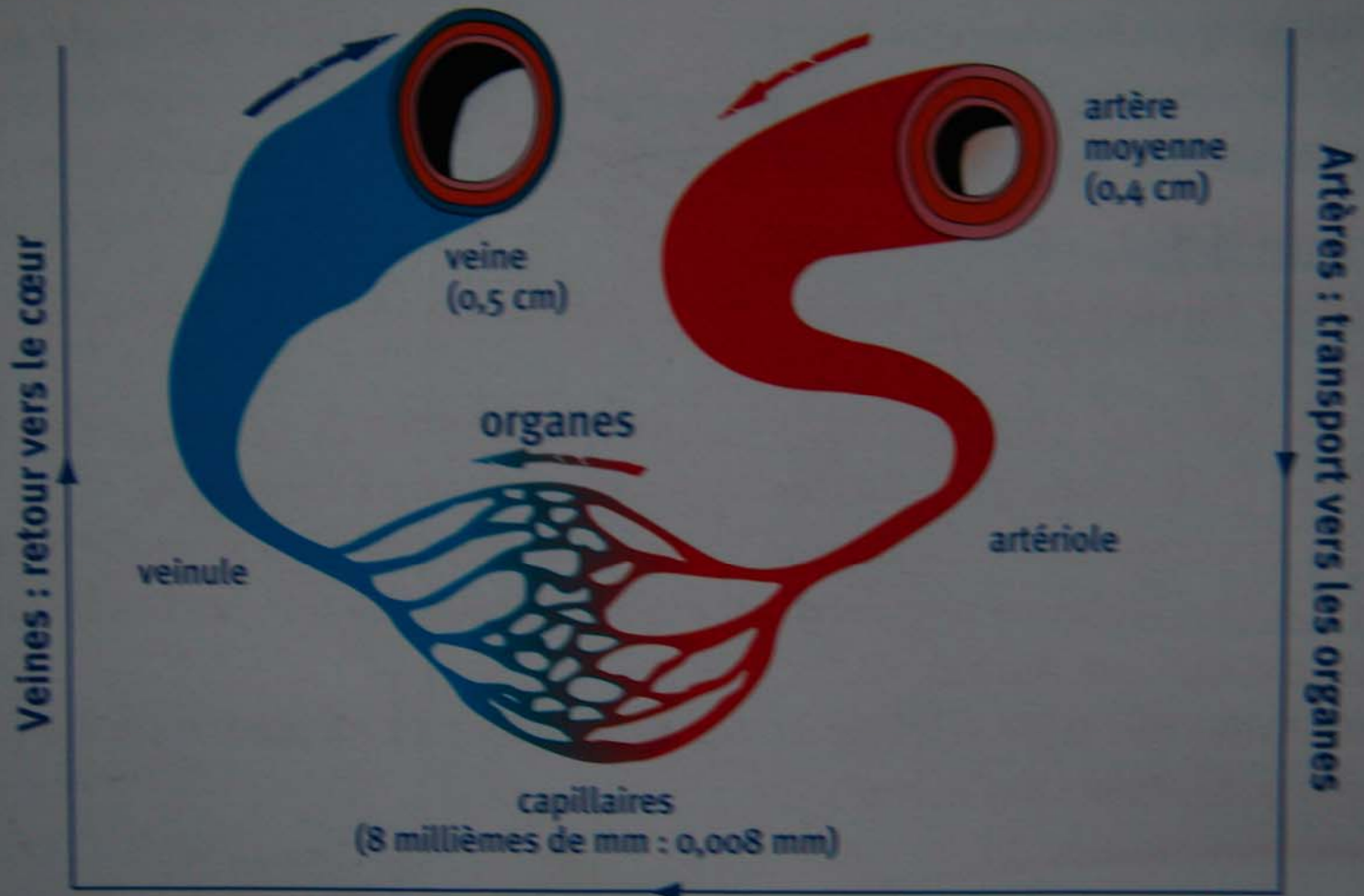
Ils permettent au sang propulsé par le cœur de circuler dans le corps humain. On distingue les **artères** les **veines** et les **capillaires**.

Les **artères** transportent le sang du cœur vers les organes. L'**Aorte** d'un diamètre de 2,5 cm est la plus grosse des artères ; leur taille décroît en **moyenne** et **petite artère** puis **artérioles** et **capillaires**. Ceux-ci ont la particularité d'avoir des parois extrêmement fines pour permettre les échanges entre le sang et les cellules. Les artères ont une paroi élastique et contractile qui permet de réguler la circulation sanguine par phase de dilatation et contraction.

Les **Veines** beaucoup plus minces et extensibles que les artères, **ramènent le sang des organes vers le cœur**. Faisant suite aux **capillaires**, elles augmentent progressivement de diamètre pour devenir **veinules**, **veines** et aboutir aux **veines caves** (3 cm de diamètre)-. Les veines plus basses que le cœur contiennent des valvules afin d'empêcher le sang de retourner vers la périphérie canalisent son transport vers le cœur. Elles contiennent environ 60% du volume sanguin total.

Echanges cellulaires

Capillaires : lieu d'échange



Le sang : son rôle

Il transporte les éléments nutritifs à nos cellules, les hydrate et répartit la chaleur. Il transporte également les anticorps qui sont les défenses de l'organisme ainsi que les gaz: azote oxygène et gaz carbonique.

Il joue un rôle primordial dans l'équilibre thermique,
dans la défense contre les attaques bactériennes
et virales
dans l'oxygénation et l'évacuation des déchets de
nos cellules.

Le Sang : composition

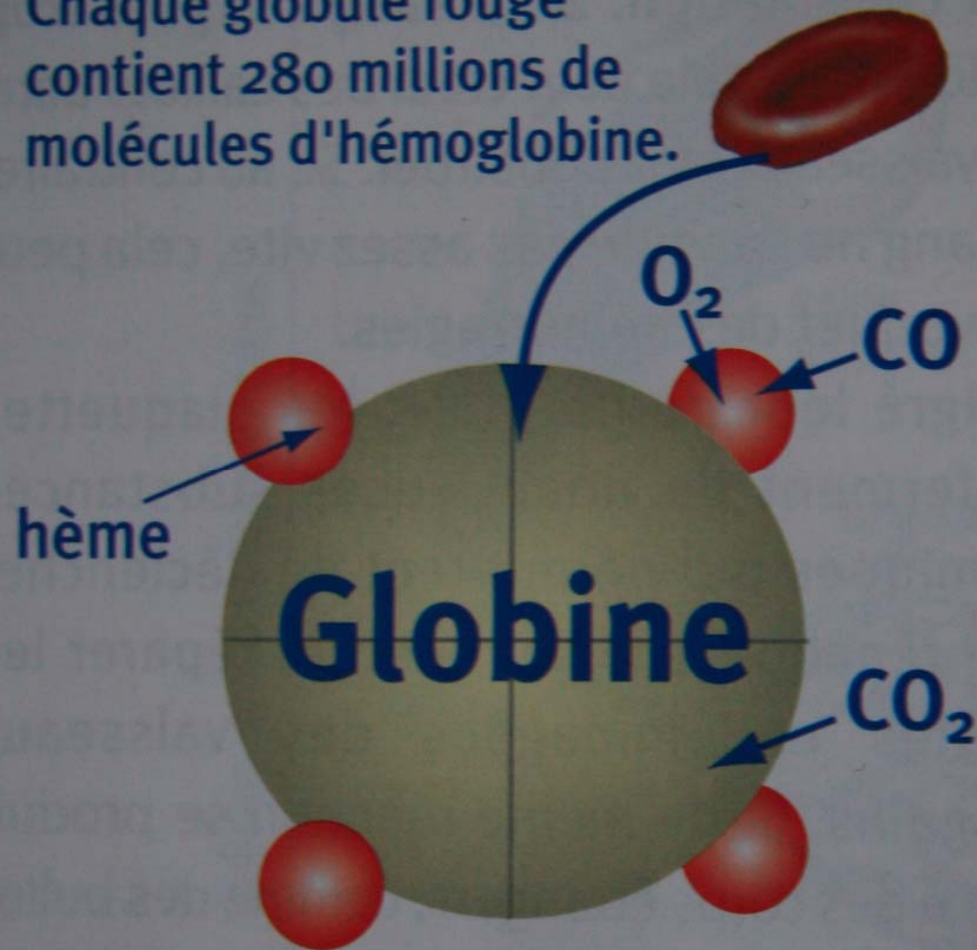
Les globules rouges: au nombre de 4 500 000/mm³ participent au transport de l'O₂ et du CO₂ entre les poumons et le reste de l'organisme. Chaque globule rouge renferme des molécules **d'hémoglobine**. Chaque molécule d'hémoglobine contient 4 ions ferreux les **hèmes** sur lesquels viennent se combiner 4 molécules d'**oxygène**: l'**oxyhémoglobine**. Le sang est alors rouge vif. Lorsque chaque molécule aura déchargé l'oxygène dans les tissus et se sera chargé de 4 molécules de **dioxyde de carbone**, elle devient **Carbhémoglobine**, le sang est alors rouge foncé.

Les globules blancs: de 5 à 6 000/ mm³ sont les agents de défense de l'organisme (virus, bactéries corps étrangers etc.)

Les plaquettes ou thrombocytes jouent un rôle primordial dans la coagulation du sang ; entre 200 à 300 000/mm³. Elles ont pour propriété de réparer les parties endommagées des vaisseaux et de s'agglutiner. Cette réaction se produit face à des corps étrangers comme des bulles d'azote .

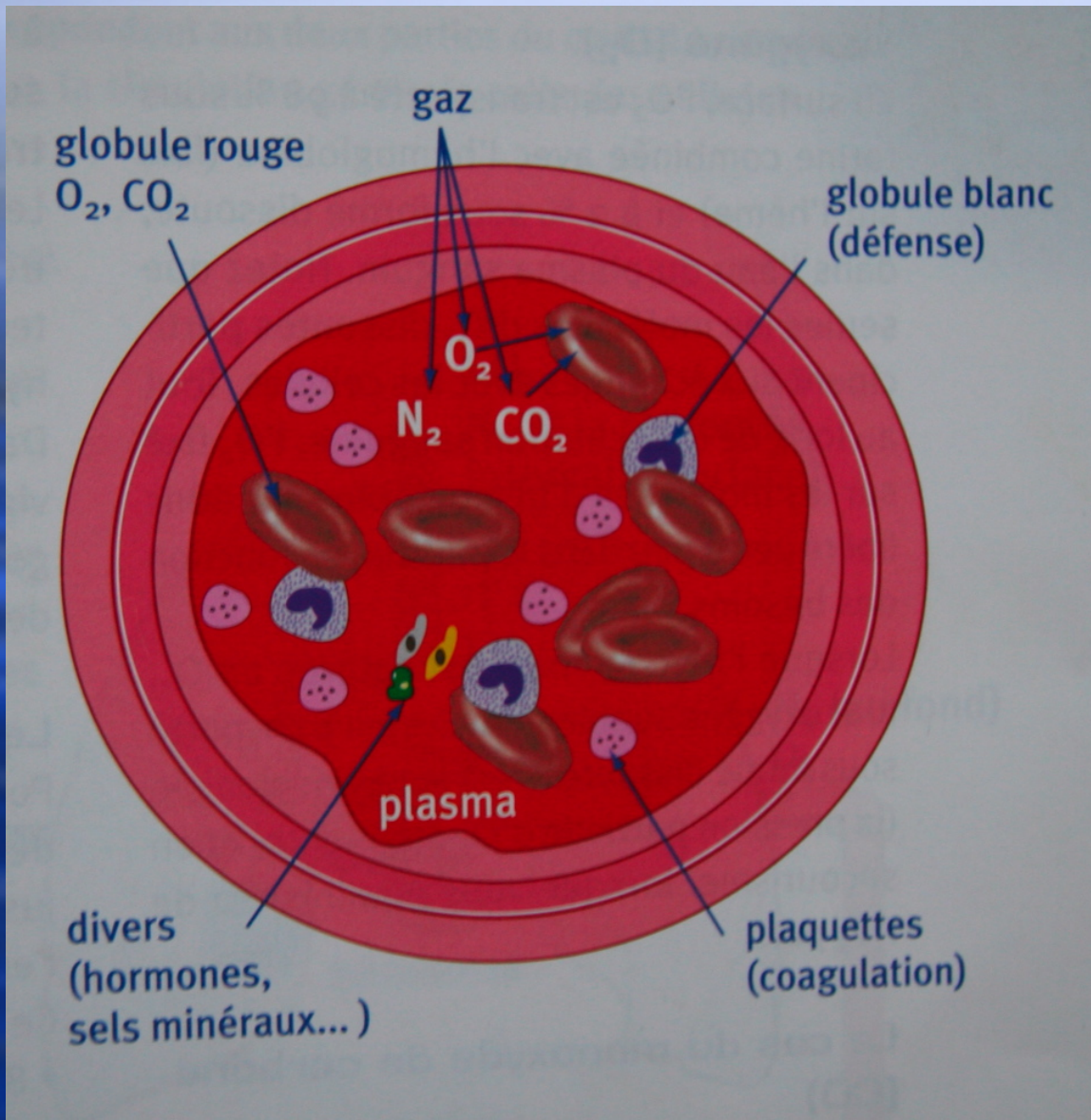
Molécule d'hémoglobine

Chaque globule rouge contient 280 millions de molécules d'hémoglobine.



une molécule d'hémoglobine :
4 hèmes (fer) fixent l'oxygène.

Composition du sang



Chaque globule rouge contient 280 millions de molécules d'hémoglobine

Sur chaque molécule d'hémoglobine se trouvent 4 hèmes (ions ferreux) sur lesquels se fixent soit l'O₂ soit le CO₂ ou encore le CO lors des intoxications au monoxyde de carbone

Le Sang : vecteur

Mode de transport des gaz:

1° L' Oxygène: O₂

Sur terre, l'O₂ est transporté dans l'organisme à **98%** sous forme combinée avec l'hémoglobine et à **2%** sous forme dissoute dans le plasma. Seules les molécules dissoutes participent aux échanges avec les cellules. Tout au long de la circulation sanguine, l'O₂ fixé sur les molécules est libéré dans le plasma, en fonction des besoins.

Lorsque l'hémoglobine est saturée en O₂ (oxyhémoglobine) tout oxygène supplémentaire est transporté sous forme dissoute; c'est le cas en plongée (augm. de la PP de O₂ et en secourisme sous O₂ pur);

2° Le dioxyde de Carbone (gaz carbonique) CO₂

Il est le résultat de la combustion de l'O₂ dans les cellules. Pour être éliminé il doit être transporté jusqu'aux poumons ou il est évacué par l'expiration.

Ce transport s'effectue à 87% sous forme d'acide carbonique résultat

d'une réaction du **CO₂** en présence de l'eau contenue dans le sang.

8% en se combinant à l'hémoglobine (**carbhémoglobine**).

5% sous forme dissoute dans le plasma.

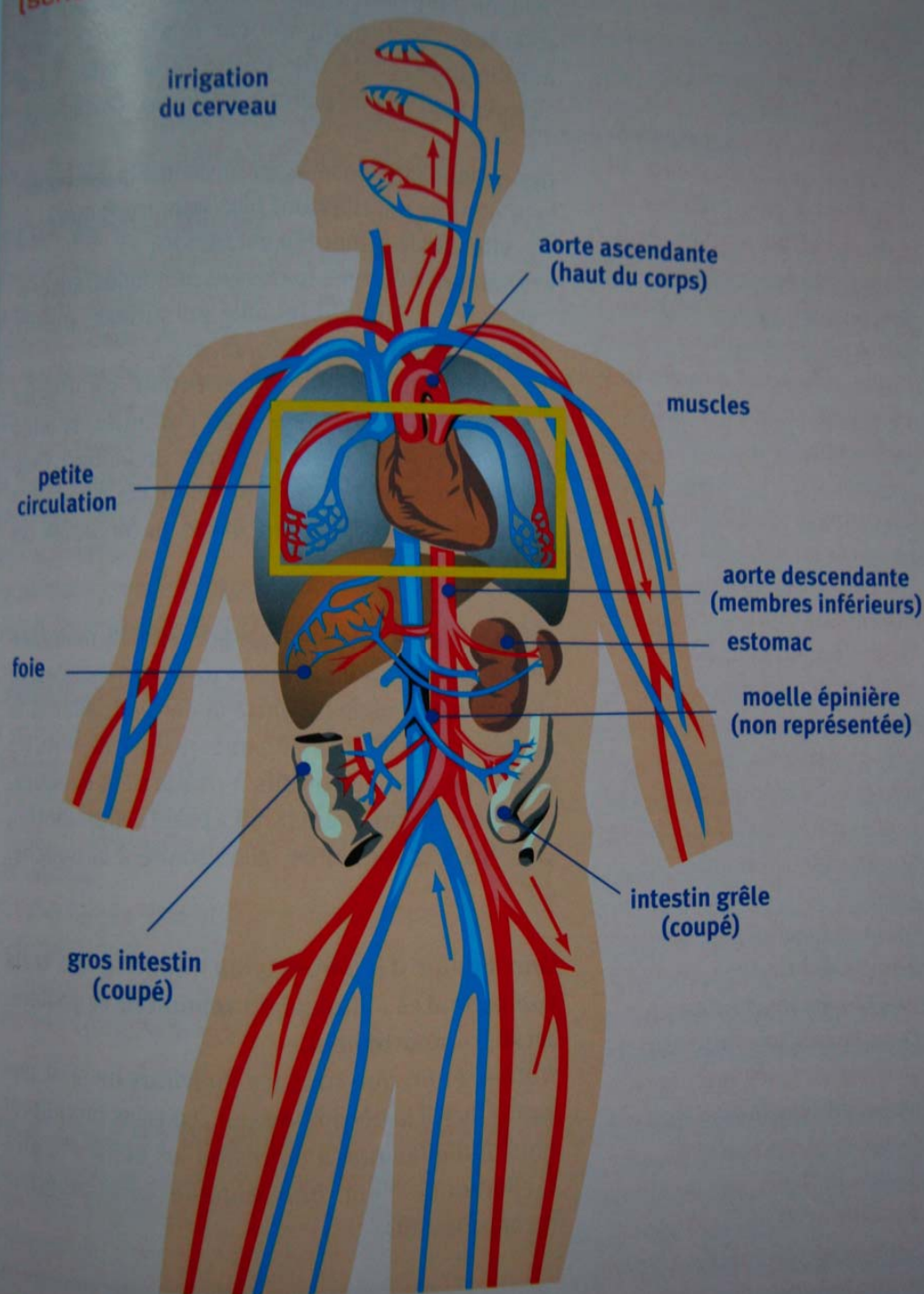
Le cas du **monoxyde de carbone (CO)**. Gaz indolore et inodore (d'où son danger !) il est le sous-produit de la combustion de divers matériaux (charbon, gaz d'échappement etc..) Il se combine de manière stable à l'hémoglobine, (**carboxyhémoglobine**) prenant la place de l'O₂, ce qui conduit à l'hypoxie. La présence de 0,1% de CO diminue de moitié la capacité de transport de l'O₂ dans le sang.

L'azote est un gaz neutre qui ne provoque aucune réaction chimique dans l'organisme; il est transporté à 100% sous forme dissoute.

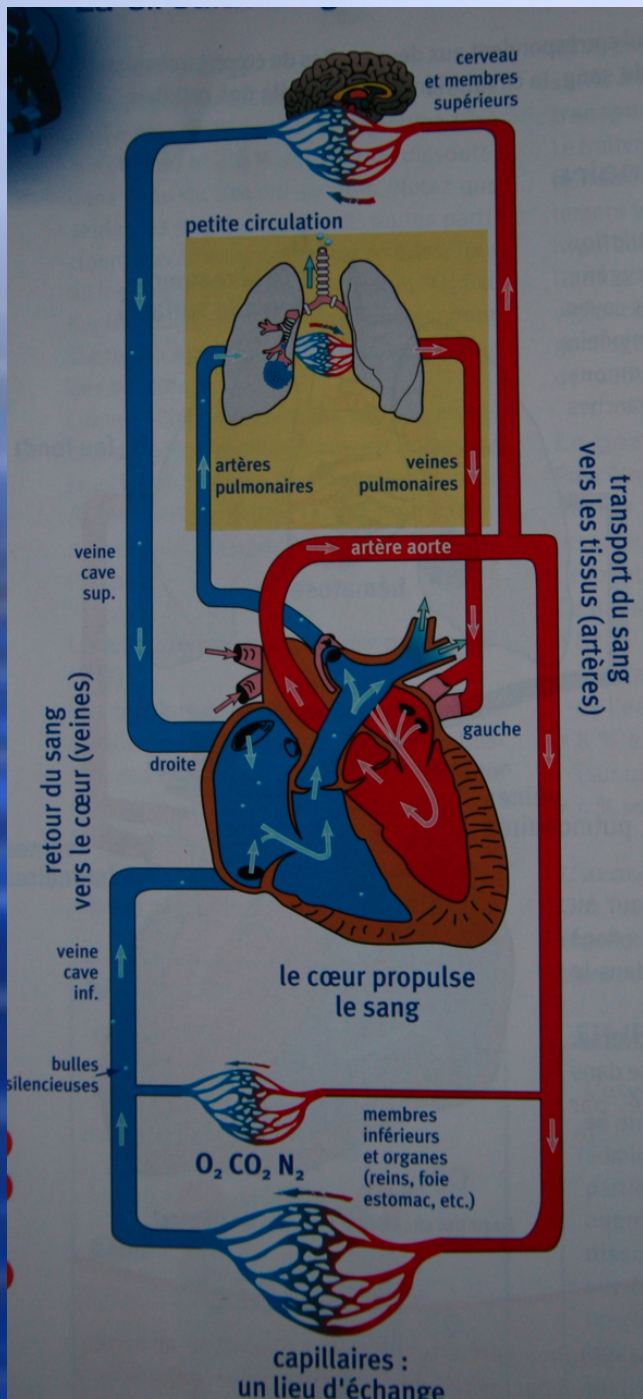
La circulation du sang

Il y a **deux circulations sanguines** qui correspondent aux **deux parties du cœur**: la **petite circulation ou circulation pulmonaire (cœur droit)** qui assure l'oxygénation du sang et la **grande circulation ou circulation générale qui est celle qui va aux cellules. (cœur gauche).**

- 1° la **circulation pulmonaire: le sang veineux**, pauvre en O₂ mais chargé de CO₂ (**sang carbonaté**) parvient au cœur par les **veines caves**, il est propulsé dans l'**artère pulmonaire** qui se divise en 2 puis en artérioles puis en capillaires et part dans les alvéoles pulmonaires. Le sang se charge en O₂, rejette le CO₂, c'est l'**hématose**. Le sang riche en O₂ (**sang hématosé**) rejoint le cœur par les veines pulmonaires et de là repart dans la grande circulation.
- 2° la **grande circulation ou circulation systématique** ou circulation générale parcourt tout le corps. Le **sang du cœur gauche** est propulsé dans la **crosse aortique**. Les **artères carotides** l'acheminent vers le cerveau, les **artères sous-clavières** vers les membres supérieurs et l'**aorte descendante** vers les membres inférieurs (moelle, foie, reins (tous les organes)). Au niveau des capillaires en contact avec les tissus, le sang libère son O₂ et récupère le CO₂ ainsi que les déchets produits. Il repart dans le circuit veineux pour déboucher dans le cœur droit par la **veine cave** et repartir vers les poumons.



Il est important de noter que le système veineux de la moelle épinière est à faible débit, ce qui en entraînant des engorgements peut expliquer en partie, (ne pas oublier la grande compatibilité entre les graisses et l'azote), les accidents de décompression d'origine médullaire.



La circulation générale

En plongée on se souvient que le N₂ est dissous dans le sang puis transporté dans l'organisme. A la remontée et dans les heures qui suivent, le N₂ en excédent dans nos cellules passe dans le sang veineux et il est éliminé par les poumons.

Ce phénomène de décompression génère des **bulles silencieuses** dans la circulation veineuse.

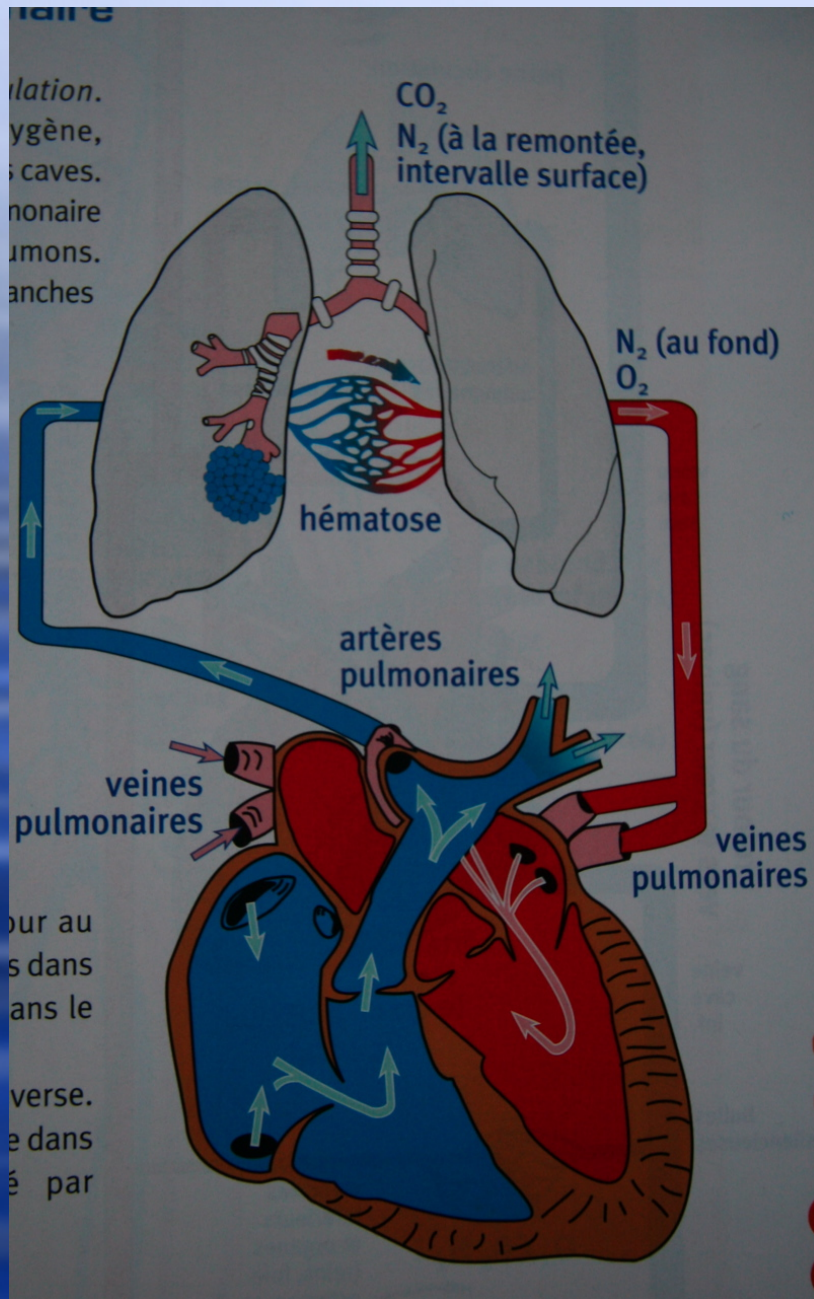
Leur nombre est d'autant plus important que:

La **vitesse de remontée est rapide**

La **saturation est élevée**

(plongée profonde, successives, atypiques etc..)

Le Doppler permet de détecter les bulles silencieuses 19

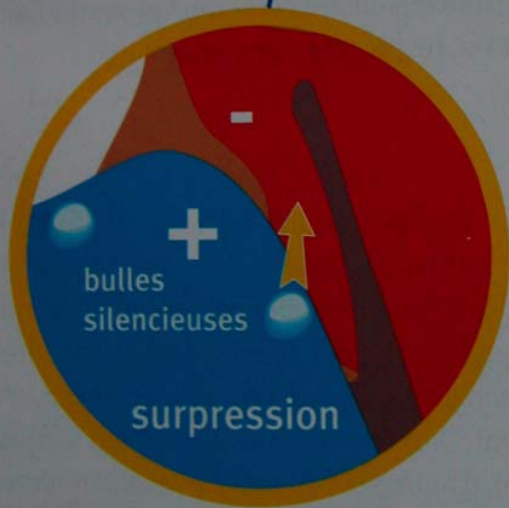
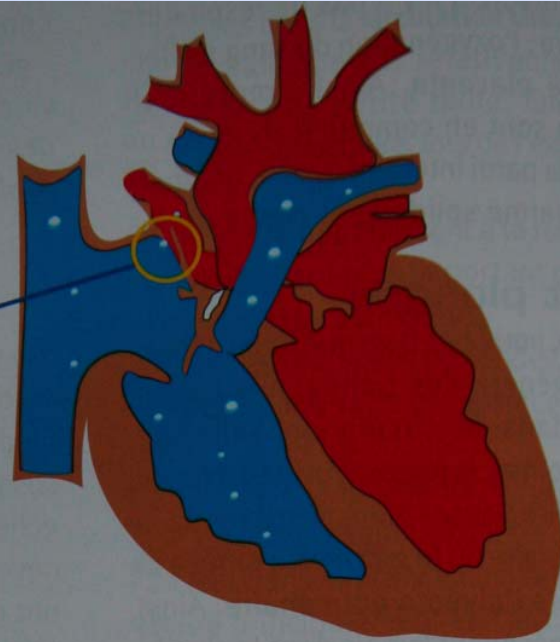


Hématose

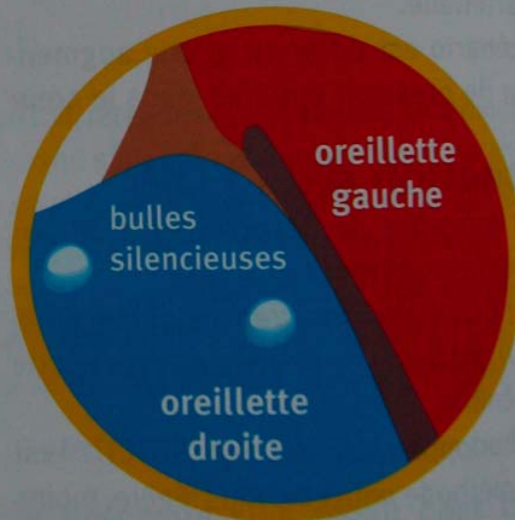
C'est l'ensemble des échanges alvéolo-capillaires permettant l'apport d'oxygène au sang et l'élimination du gaz carbonique produit par les cellules. Sang hématosé = sang riche en oxygène.

En plongée, l'azote se dissous dans le sang pendant la descente et l'explo. Elle passe dans les poumons lors de la remontée puis est rejetée par l'expiration. (loi de Henry)

Foramen ovale perméable (FOP)



Foramen ovale ouvert



Foramen ovale fermé

Qu'appelle t-on Foramen Ovale Perméable:

C'est une minuscule connexion entre l'oreillette droite et l'oreillette gauche.

On commence à parler du FOP en plongée dans les année 80 lors d'accidents dits « immérités » (DAN research). En effet il apparaissait que environ 66% des plongeurs ayant souffert d'un ADD étaient porteurs d'un FOP.

Le Fop ne présente aucun danger dans la vie de tous les jours, il n'interfère jamais dans la capacité à l'effort ou à la santé en général,, mais il représente une connexion possible entre le sang veineux et le sang artériel. 21

Explication du F.O.P

- ◆ Lors de notre vie utérine, cette ouverture est beaucoup plus large, elle laisse passer environ **80% du sang veineux vers le côté artériel de la circulation, court-circuitant les poumons**. Tout l'oxygène et les nutriments sont fournis par la **circulation placentaire** et le sang est transporté de la **veine centrale de l'organisme (veine cave inférieure) directement à la partie droite du cœur**, il passe par le FOP directement dans le sang artériel, puis il est expulsé par le ventricule gauche dans l'aorte vers le cerveau et les organes vitaux.
- ◆ Au moment de la naissance, la **dépression puis compression** du thorax va permettre aux alvéoles pulmonaires de s'ouvrir entièrement et de s'emplir **d'air frais**. Non seulement de l'air mais aussi **du sang** ; en effet la soudaine chute de la pression de l'artère pulmonaire provoque une aspiration du sang veineux dans la circulation sanguine pulmonaire. Ce phénomène engendre une **chute de pression** dans le **cœur droit**, pression inférieure à **celle du cœur gauche** provoquant la fermeture de la valvule formant le FOP.
- ◆ En l'espace de quelques heures voire quelques jours, cette valvule se soude sauf si vous faites partie des 30% chez qui une petite ouverture persiste.

Risques liés au F.O.P.

Suite à de nombreuses études menées entre autre par DAN sur des plongeurs ayant eu un ADD il s'avère que **80%** d'accidents accompagnés de **symptômes cérébraux, oculaires, ou auriculaires/vestibulaires**, sont liés à la présence d'un FOP contrairement aux accidents avec des symptômes osseux, articulaires ou médullaires inférieurs.

Cependant et fort heureusement tous les porteurs d'un FOP ne déclarent pas d'ADD,

Conclusion

Même si le risque d'un ADD chez les plongeurs présentant un FOP est deux fois plus élevé, ce risque reste négligeable si les plongées réalisées ne produisent pas un nombre élevé de bulles et c'est le cas si l'on s'en tient à une pratique sûre de l'activité. (ex: le risque est beaucoup plus élevé pour les plongées profondes en eaux froides environ 1/1000) que pour les plongées récréatives (dans la courbe de sécurité) (environ 1 sur 35000) selon les statistiques de DAN Europe

Dans tous les cas, porteur d'un FOP ou non, les plongées à forte saturation (plongées profondes) font courir un risque d'ADD.

Déshydratation et plongée

L'eau et la vie :

Le corps est composé de 60% de liquide contenu dans les cellules dans lequel elles baignent (liquide interstitiel) et dans le sang. Chaque jour nous éliminons **1,5 l** par les reins ; **0,5 l** par la peau ; **0,3 l** par les poumons et **0,2 l** par le tube digestif. Nous devons compenser cette perte par un apport journalier de **2,5 l** par les boissons et les aliments.

Ces besoins sont majorés lors **d'efforts**, de **chaleur**, de **troubles intestinaux**

De son côté la plongée crée des besoins spécifiques liés à l'immersion :

Le froid, la sécheresse de l'air inspiré ;

La diurèse d'immersion :

Sous l'eau, du fait de la pression hydrostatique, on constate une redistribution des masses sanguines depuis les membres inférieurs vers le thorax et l'abdomen.

Cette nouvelle répartition des liquide provoque une augmentation du volume sanguin, le cœur doit alors s'adapter à cette augmentation pour retrouver un débit normal.

Deux actions de régulations sont alors mises en œuvre successivement:

1° Action sur la fréquence:

Du fait de l'afflux sanguin vers le cœur, chaque battement éjecte une plus grande quantité de sang. Les barorécepteurs situés sur la crosse aortique détectent cette augmentation et envoient un message chimique au système nerveux réflexe (parasymphatique) lequel diminue la fréquence cardiaque.

2° Action sur le volume d'éjection systolique:

Le corps essaie de trouver une solution durable en diminuant le volume d'éjection systolique, donc le volume sanguin, donc perdre de l'eau.

Les volorécepteurs (capteurs) situés sur l'oreillette droite vont envoyer des messages chimiques qui auront pour effet de provoquer une diurèse (urine).

Pour compenser, de l'eau va passer dans la vessie, diminuant ainsi la masse sanguine, le cœur retrouve un rythme cardiaque normal au bout de qq's minutes.

Ce mécanisme de diurèse d'immersion est différent de celui de lutte contre le froid mais les effets peuvent se combiner.

Risques à la sortie

De retour sur terre, la déperdition de liquide (hypo volémie) aura pour effet de gêner l'élimination de l'azote et favoriser son accumulation et les risques AdD entraînant des complications par manque de fluidité du sang.

D'ou l'importance de boire beaucoup d'eau après une plongée