

LE SYSTÈME CIRCULATOIRE

Formation GP
2023 / 2024

Claire SOUBITEZ

LES ATTENDUS DÉFINIS DANS LE MFT

Circulation et plongée.

- **Anatomie simple de l'appareil circulatoire** : réalisation de schémas limités aux principes généraux et mise en place de légendes sur des planches anatomiques muettes.
- **Cœur** :
 - Explication de son rôle sous forme de schéma simple.
 - Foramen Ovale Perméable : localisation, danger au cours de la désaturation.
- **Petite et grande circulation** : expliquer leur rôle à l'aide d'un schéma simple.
- **Transport des gaz par le sang** : O_2 , CO_2 , N_2 et CO . Les valeurs chiffrées des pressions partielles ne sont pas exigibles.
- **Modifications de la circulation en immersion** : effet « bloodshift » et diurèse d'immersion.



OBJECTIFS DE CE COURS

- Notre système cardiovasculaire est soumis à des modifications au cours de l'immersion
- Ces modifications peuvent avoir des conséquences importantes que vous devez comprendre afin de prévenir la survenue d'accident en plongée pour vous et les plongeurs que vous encadrerez
- En tant que futurs GP, vous serez amenés à adapter votre comportement en conséquence
- Vous serez amenés à répondre aux questionnements des plongeurs et à avoir un comportement préventif

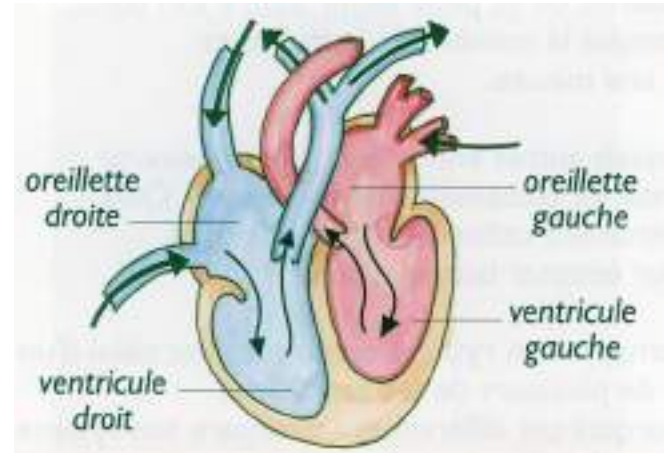
LE CŒUR

- Pour que le sang circule dans notre organisme il faut une pompe : c'est le rôle du cœur
- Muscle creux divisé en 2 parties et séparé par une paroi musculaire
 - côté droit
 - côté gauche
- Il possède 4 cavités :
 - 2 oreillettes
 - 2 ventricules

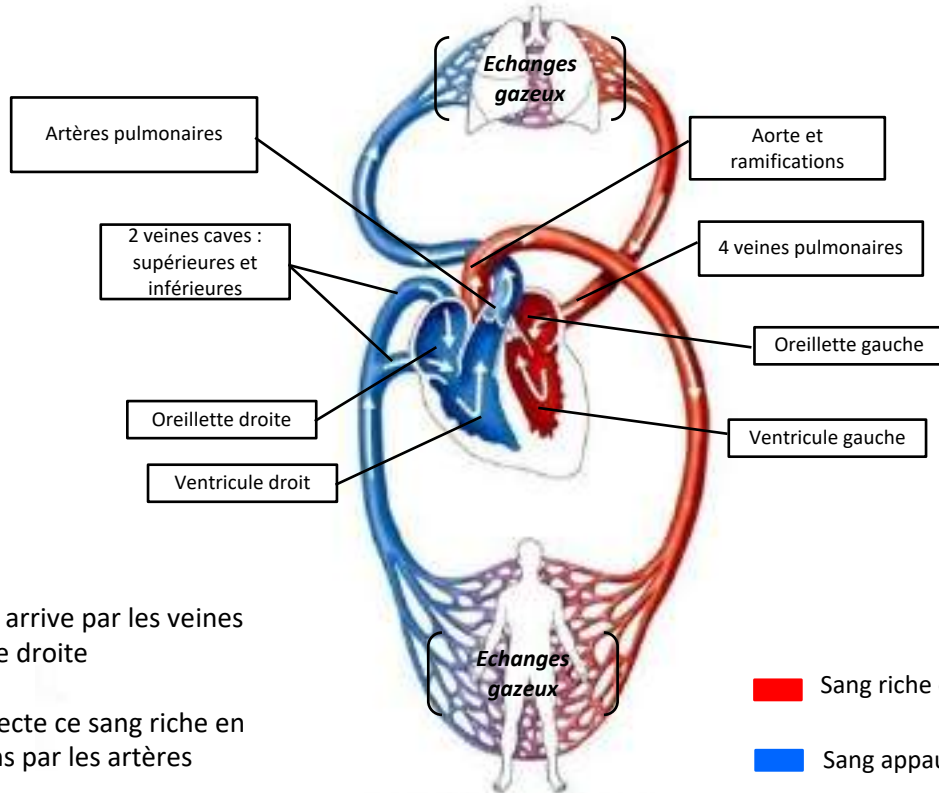
Par convention, on dessine la personne en face de nous

Le cœur gauche est représenté en rouge

Le cœur droit est représenté en bleu



LE CŒUR



Le cœur droit :

Le sang riche en CO₂ arrive par les veines caves dans l'oreillette droite

Le ventricule droit éjecte ce sang riche en CO₂ vers les poumons par les artères pulmonaires

Le cœur gauche :

Est en charge de la distribution du sang enrichi en oxygène par les poumons
L'oreillette gauche reçoit le sang riche en oxygène acheminé par les veines pulmonaires.

Le ventricule gauche éjecte le sang riche en oxygène par les aortes pour aller vers les différents organes

Oreillettes : cavités réceptrices
Ventricules : cavités éjectrices

Les veines arrivent au cœur
Les artères partent du cœur

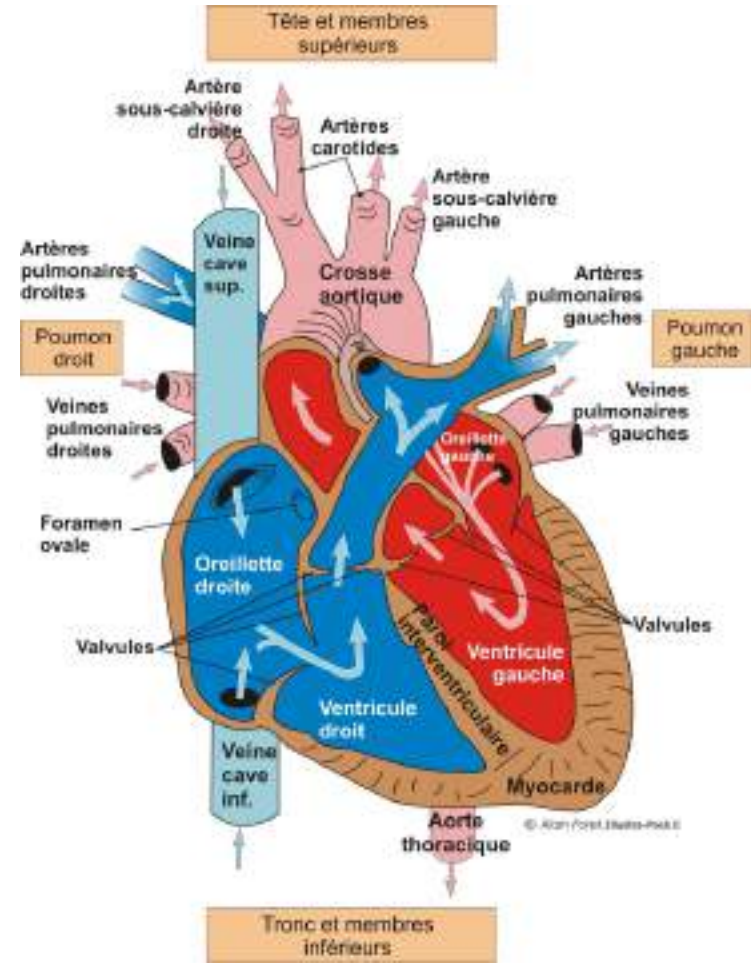
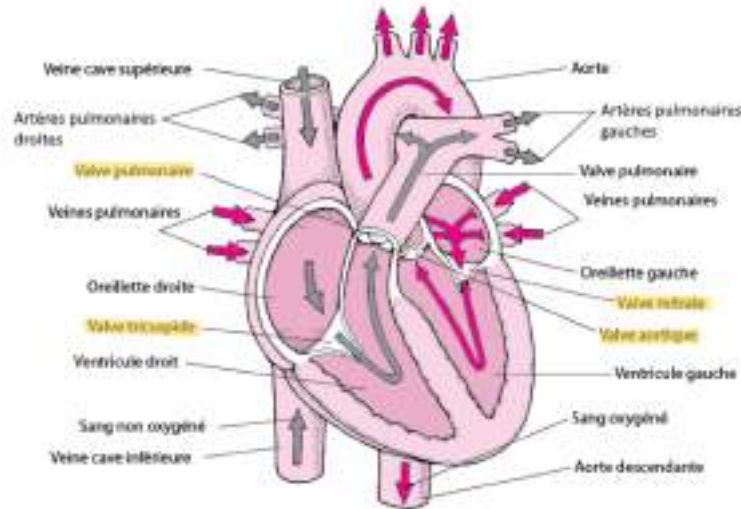
■ Sang riche en oxygène (O₂) et pauvre en dioxyde de carbone (CO₂)

■ Sang appauvri en O₂ et enrichi en CO₂

LE CŒUR

Des valves cardiaques assurent le bon fonctionnement et empêchent les reflux = portes à sens unique / clapet anti-retour

Valves entre les oreillettes et les ventricules
Valves entre les ventricules et les artères





RÉGULATION CARDIAQUE

- Le cœur bat grâce à une activité électrique autonome, pas de contrôle volontaire
- Au repos ~ 60 battements minutes : succession de contractions et relâchements
 - Systole auriculaire : contraction des oreillettes = envoi du sang dans le ventricule
 - Systole ventriculaire : contraction des ventricules = propulsion du sang vers les artères
 - Diastole : relâchement général = remplissage oreillettes
- La modulation de l'activité cardiaque est gérée par le système nerveux autonome
 - Le système sympathique est cardio-accélérateur
 - Le système parasympathique est cardio-modérateur
- En plongée la rythme cardiaque est impactée par :
 - L'immersion
 - Activité physique : effort de palmage
 - Condition physique
 - Le stress
 - Le tabac
 - La température de l'eau
 - Les médicaments, ...

LE FORAMEN OVALE PERMÉABLE (FOP)

Le foramen ovale perméable est une communication entre les deux oreillettes présente chez tous durant la vie fœtale

Pendant la vie fœtale, l'alimentation en oxygène se fait par le sang du cordon ombilical puisque les poumons ne sont pas fonctionnels

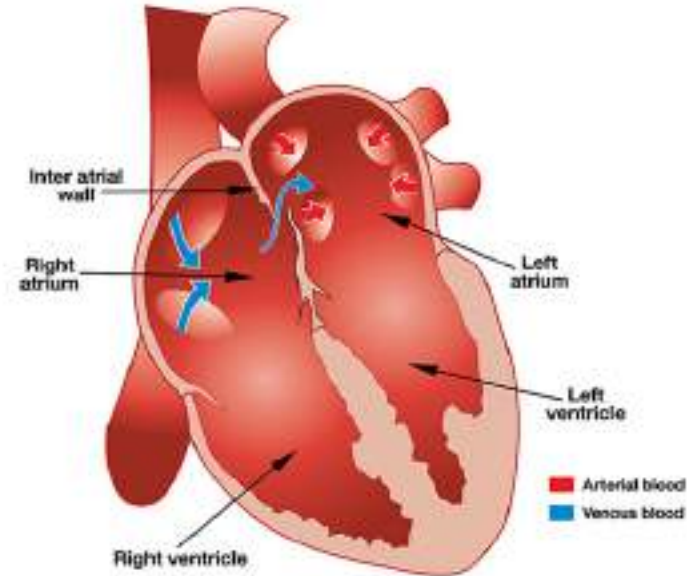
A la naissance, un clapet dans l'oreillette gauche recouvre ce FOP et le ferme

Or chez **25 à 30 %** de la population adulte le FOP reste plus ou moins ouvert, perméable.

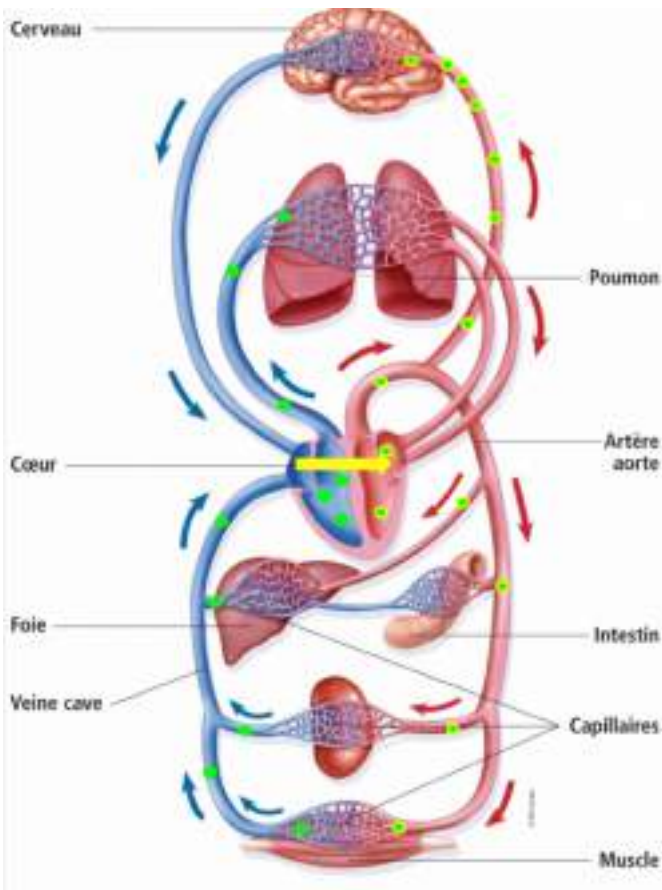
Au quotidien et sans effort, la pression du cœur gauche est supérieure à la pression dans le cœur droit. La membrane entre les oreillettes est plaquée . Pas de passage entre les 2 oreillettes.

Un passage s'établit lorsqu'il y a inversion des pressions et augmentation de la pression dans les cavités droites

Se produit lors d'un effort à glotte fermée : provoque une hyperpression thoracique



LE FORAMEN OVALE PERMÉABLE (FOP)



En phase de désaturation, des bulles d'azote se trouvent dans la circulation sanguine, arrivent dans l'oreillette droite et partent vers les poumons pour être éliminées via le filtre pulmonaire

En cas d'ouverture du FOP : passage anormal de l' N_2 et du CO_2 dans l'oreillette gauche = **Shunt droite-gauche**

Les bulles N_2 passent alors dans l'oreillette gauche -> aorte -> passage dans la grande circulation (circulation artérielle)

Augmentation du risque d'accident de désaturation, principalement cérébral ou vestibulaire

En tant que GP, vous devrez être particulièrement vigilant et conduire une prévention +++ afin d'éviter l'ouverture d'un potentiel FOP en fin de plongée et après la plongée

PREVENTION :

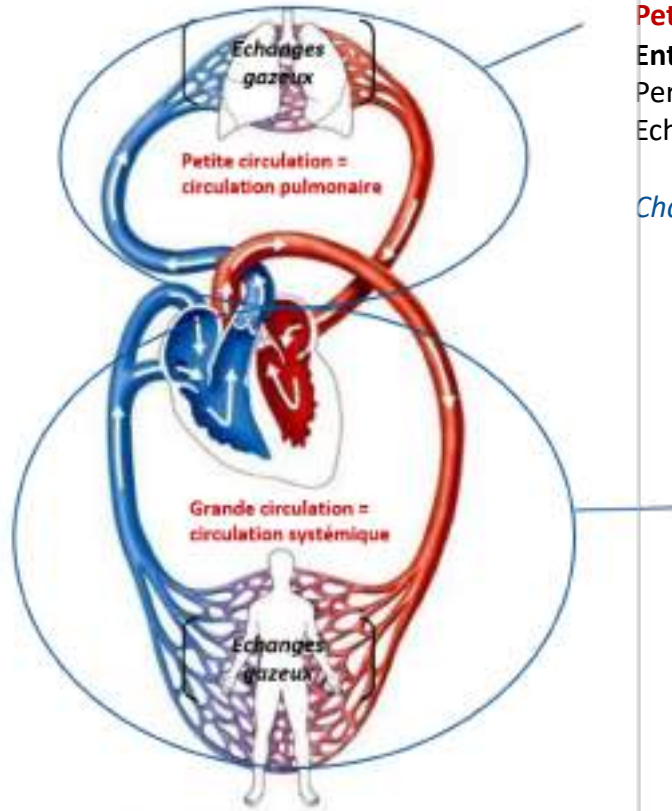
Proscrire toute situation d'hyperpression thoracique
Valsalva à la remontée

Eviter tout effort sur inspiration ou en apnée. Insister sur la remontée à l'échelle sur expiration, attention au port du bloc

Après la plongée : ne pas faire d'effort violent, ne pas gonfler son gilet avec la bouche pour chasser l'eau qu'il contient

Se faire aider / proposer son aide

LA CIRCULATION SANGUINE



Petite circulation ou circulation pulmonaire

Entre les poumons et le cœur

Permet l'élimination du CO₂ et l'enrichissement en O₂ du sang

Echange gazeux au niveau alvéolo-capillaire des poumons

Charge et décharge de N₂ au niveau du filtre pulmonaire

Grande circulation ou circulation systémique

Entre le cœur et tous les organes

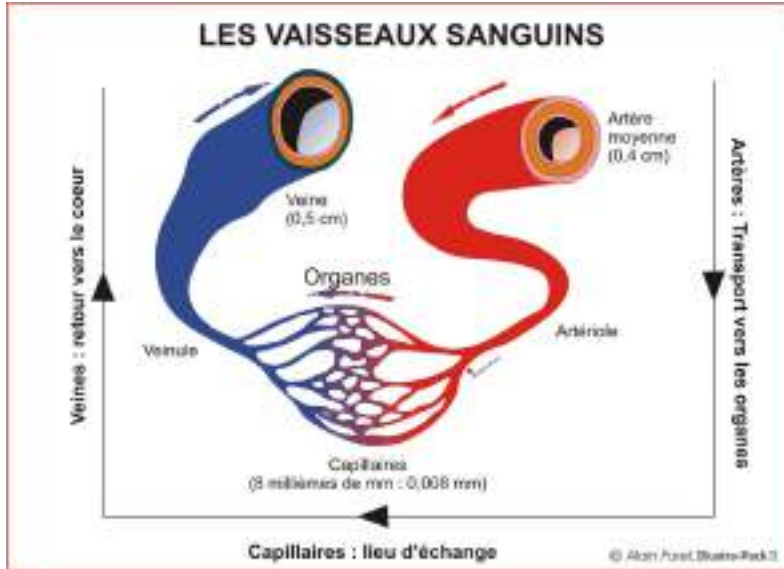
Permet l'apport des gaz du sang vers les tissus : O₂ et N₂ au cours de la plongée.

Les déchets produits dans les tissus (CO₂) sont transférés au sang et envoyés au cœur droit

Echanges gazeux aux niveaux des capillaires sanguins

Charge et décharge de N₂ dans tous les tissus / organes

LES VAISSEAUX SANGUINS



Les artères partent du cœur, se changent en artérioles puis en capillaires artériels.

Leur calibre peut varier : vasodilatation ou vasoconstriction.
Régulé par le système nerveux autonome

Les capillaires veineux donnent des veinules puis **veines qui ramènent le sang au cœur**.

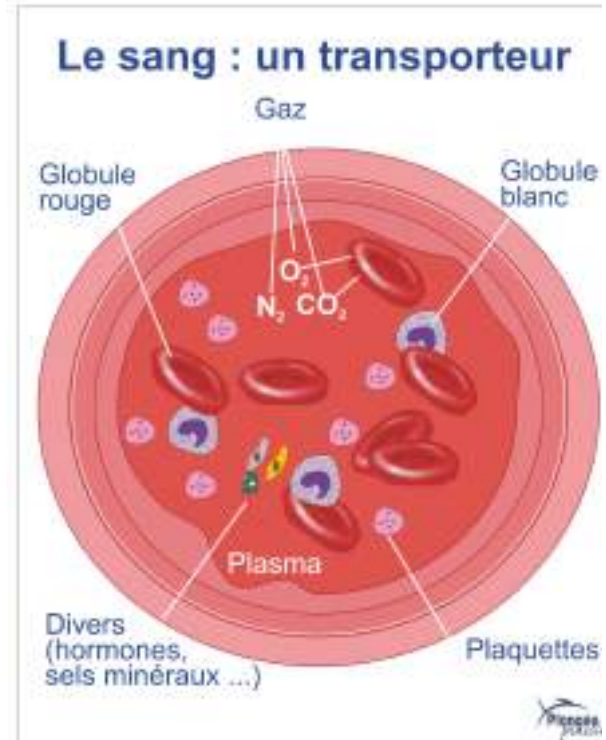
Leurs parois sont plus souples que les artères.

Capillaires sont de tout petits vaisseaux microscopiques à paroi très fines : configuration idéale pour que les échanges gazeux se fassent entre le sang et les tissus



LE SANG : environ 5 L

- Se trouve dans les vaisseaux
- Le sang transporte les gaz : principalement O₂ et CO₂ + N₂ en plongée
- Il charge de l'élimination des déchets
- Certaines cellules sanguines assure un rôle de défense de l'organisme
- Il transporte de substances nutritives
- Composition :
 - Plasma : partie liquide
 - Globules rouges : transport de l'O₂ et du CO₂
 - Globules blancs : défense de l'organisme
 - Plaquettes : coagulation sanguine
 - Sels minéraux, hormones

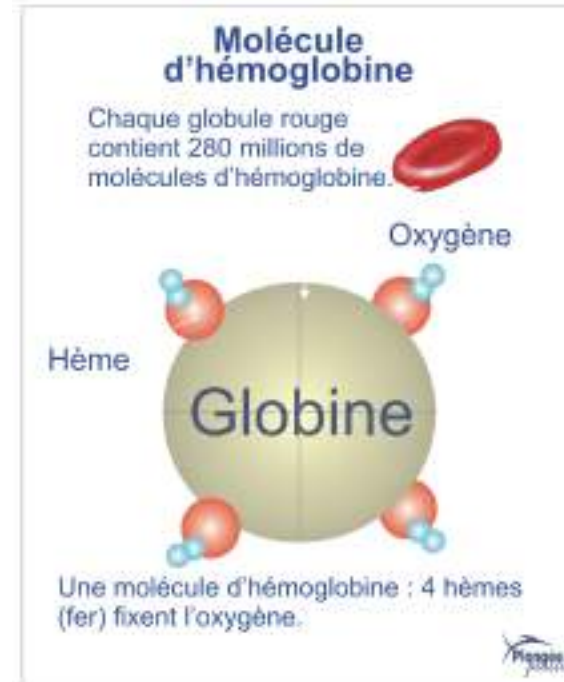


TRANSPORT DES GAZ DANS LE SANG

L'OXYGENE

- Il est transporté à **98 % fixé** sur les molécules d'hémoglobine présentent dans les globules rouges
- **2% est transporté sous forme dissoute dans le plasma**
- Seules les molécules dissoutes participent aux échanges gazeux.

L'O₂ fixé sur les molécules d'hémoglobine est libéré peu à peu dans le plasma et va diffuser dans les tissus
- La part d'oxygène dissous est augmenté lorsque l'on respire de l'oxygène pur



TRANSPORT DES GAZ DANS LE SANG

Le DIOXYDE DE CARBONE : CO₂

- Il est transporté par le sang pour être éliminé par les poumons
- 87 % sous forme de bicarbonates
- 8 % combiné à l'hémoglobine : Ne se fixe pas au même endroit que l'O₂
- 5 % est transporté sous forme dissoute dans le plasma

L'AZOTE : N₂

- Il est transporté à 100 % sous forme dissoute
- La fraction dissoute d'N₂ augmente avec l'augmentation de la pression ambiante
- La solubilité de l'N₂ est 5 x plus élevée dans les tissus gras que dans les tissus aqueux

LE MONOXYDE DE CARBONE : CO

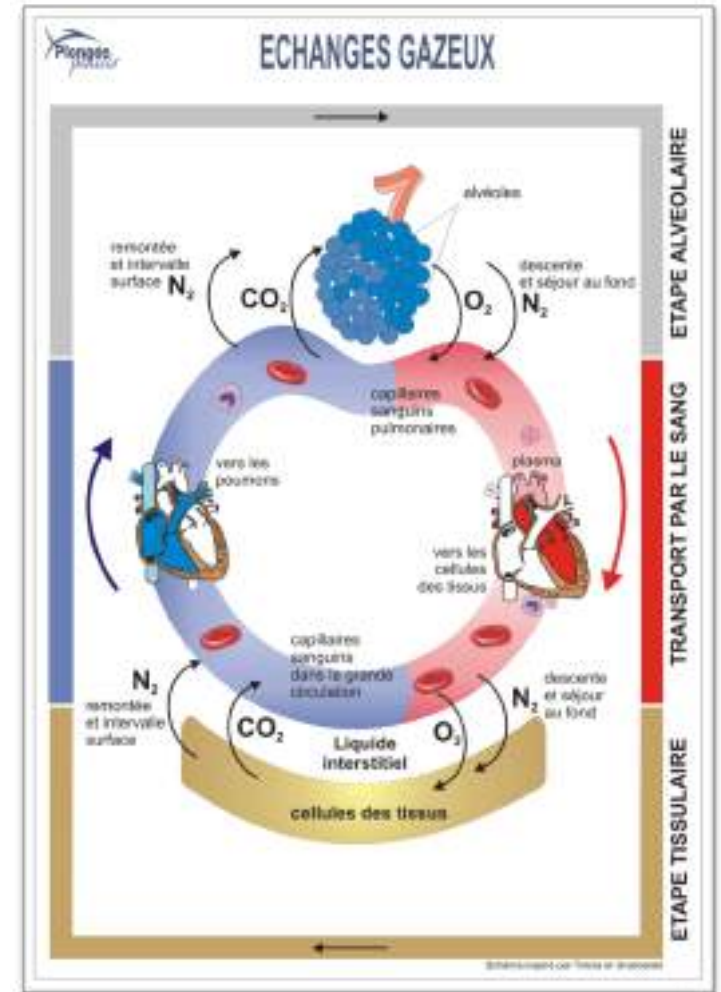
- Il possède une affinité pour l'hémoglobine 200 à 250 fois supérieure à celle de l'oxygène
- Diminution de la délivrance de l'oxygène dans les tissus
- Attention aux prises d'air des compresseurs

Affinité des gaz pour l'hémoglobine :

CO ₂	+
O ₂	+++
CO	+++++

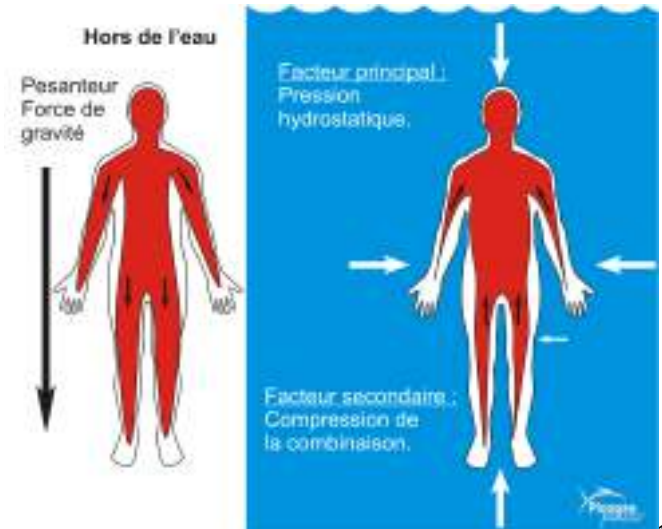
LES ÉCHANGES GAZEUX

- **Les échanges gazeux se font toujours du tissu le plus concentré en gaz vers le tissu le moins concentré en gaz**
- L'O₂ fixé au globules rouges, passe sous forme dissoute dans le sang et diffuse à travers la paroi capillaire vers les cellules.
La forme dissoute conditionne les échanges gazeux
- En plongée, la PpO₂ augmente avec la profondeur. Il va saturer l'hémoglobine à 100% puis augmenter sa fraction dissoute à la descente et, inversement, à la remontée.
- L'azote voit également sa quantité dissoute augmenter à la descente (augmentation de la PpN₂) et rebaisser à la remontée. Les échanges gazeux liés à l'N₂ imposent le respect des vitesses de remontée et des procédures de décompression
- Le gaz carbonique ne voit pas sa Pp varier avec la profondeur car il n'existe qu'à l'état de trace dans l'air inspiré. La PpCO₂ est uniquement liée à la production de CO₂ par les cellules et cette production est stable quelle que soit la valeur de la pression ambiante



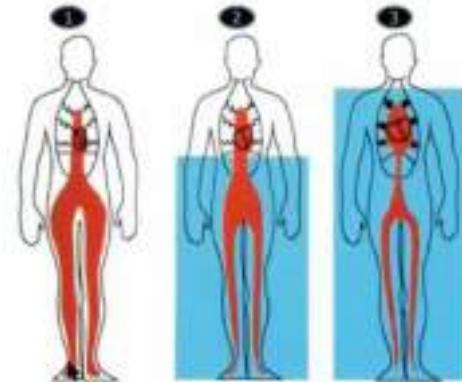
IMMERSION ET CIRCULATION SANGUINE

- L'eau est un milieu qui sollicite fortement le système cardio vasculaire et respiratoire
 - En immersion, l'augmentation de la pression ambiante sur les parties molles provoque un transfert de sang compris entre 250 et 700 ml de sang vers le cœur.
 - La combinaison exerce une pression sur les membres qui vient s'ajouter à la pression ambiante
-
- Redistribution de la masse sanguine des extrémités vers le thorax
= **BLOOD SHIFT**



DIURÈSE D'IMMERSION

- Majoration du volume sanguin intra thoracique de 20 à 40 %
En quelques secondes, le cœur augmente son débit cardiaque (fréquence et/ou volume d'éjection systolique)
= ↗ de la tension artérielle
- Cette augmentation est enregistrée par des capteurs de pression appelé **barorécepteurs** situés dans la crosse aortique et les sinus carotidiens
Le système nerveux parasympathique agit alors en provoquant un ralentissement du cœur pour tenter de rétablir l'équilibre
- D'autre part, les **volorécepteurs** situés dans les oreillettes et la circulation pulmonaire agissent sur le système nerveux sympathique avec inhibition de l'ADH (hormone anti diurétique) ce qui provoque une augmentation de la diurèse = **DIURÈSE D'IMMERSION**
- L'objectif de ce mécanisme est de diminuer la masse sanguine afin de réduire la quantité de sang envoyé par le cœur à chaque cycle
L'eau passe ainsi de la circulation sanguine vers la vessie
- La diminution du volume sanguin entraîne le rétablissement d'un rythme cardiaque proche de la normale



La diurèse d'immersion n'est pas un indicateur de bonne hydratation
mais le signe d'une perte excessive de liquide



IMMERSION ET CIRCULATION SANGUINE

A LA SORTIE DE L'EAU :

- Le sang retrouve sa répartition habituelle / terrestre avec une diminution de volume liée à la diurèse d'immersion
Situation de déshydratation, ce qui impacte l'élimination de l' N_2
Echanges gazeux moins efficaces : **augmentation du risque d'ADD**

IMMERSION EN EAU FROIDE

En plus du blood shift provoqué par la pression ambiante, le froid provoque une vasoconstriction périphérique (artérielle et veineuse)
Un afflux de sang supplémentaire arrive au niveau du noyau central

Le blood shift se potentialise avec les réactions vasculaires induites par le froid

IMMERSION ET CIRCULATION SANGUINE

ACTIVITE PHYSIQUE ET STRESS

En cas d'effort, l'organisme adapte le débit sanguin en augmentant la fréquence cardiaque

Les causes sont nombreuses en plongée :

Augmentation du travail respiratoire

Effort de palmage

- Le stress conduit initialement à une augmentation de la fréquence cardiaque

En plongée : manque de technique

situation nouvelle

conditions de plongée

matériel inadapté

Se retrouve chez tous les niveaux de plongeurs et chez les encadrants

PREVENTION

Insister sur une hydratation constante
avant et après la plongée.

Eviter tout réchauffement trop rapide
(douche chaude, frictions) ->
vasodilatation avec hypovolémie -> peut
provoquer malaise cardiaque

Le stress est un facteur à ne pas négliger
dans l'encadrement des plongeurs

Veillez à ce que vos plongeurs aient un
matériel adapté au froid

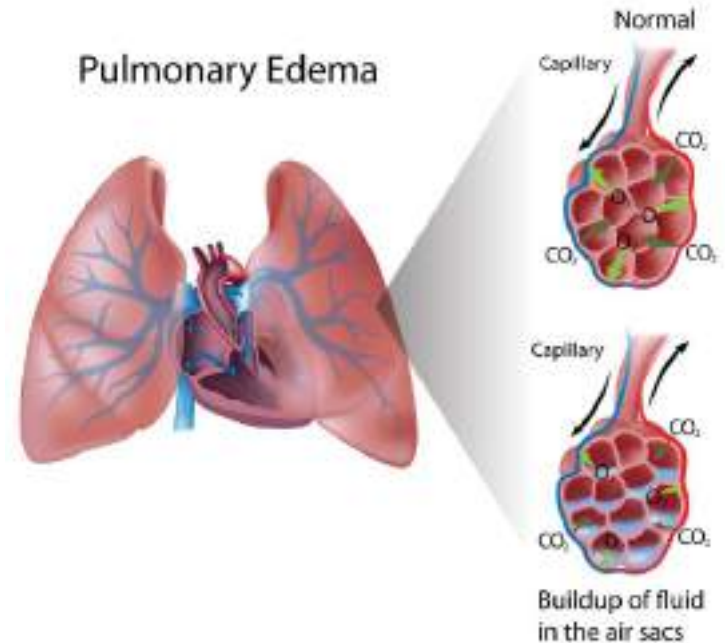
ŒDÈME PULMONAIRE D'IMMERSION

- L'œdème pulmonaire d'immersion est une pathologie liée aux contraintes d'immersion sur le système cardio vasculaire
- L'OPI se manifeste par l'accumulation de liquides dans les alvéoles pulmonaires suite à une défaillance mécanique de la barrière alvéolo-capillaire
- Le blood shift et les efforts intenses provoquent une surcharge de travail pour le cœur.

Le cœur est à même de supporter ce travail supplémentaire, mais dans certaines circonstances favorisantes (efforts très intenses, stress important, froid, maladies cardiaques préexistantes,...) ou non, il peut ne plus l'être et entraîner un œdème pulmonaire d'immersion.

L'OPI est lié à une situation d'engorgement au niveau des capillaires pulmonaire avec élévation de pression des capillaires pulmonaire et diminution de la pression alvéolaire.

La présence de liquide dans les alvéoles **réduit les échanges gazeux** et, par conséquent, le niveau d'oxygène dans le sang et l'organisme





ŒDÈME PULMONAIRE D'IMMERSION

- SYMPTOMES :

Une gêne / difficulté ventilatoire en cours de plongée, un essoufflement, des difficultés à l'inspiration, une toux avec crachats mousseux plus ou moins rosés

S'aggravent à la remontée du fait de la diminution de la pression partielle de l'O₂ dans les poumons
L'insuffisance respiratoire peut conduire à un malaise, une perte de connaissance voire un décès

- CONDUITE A TENIR :

Même si le plongeur, une fois sorti de l'eau se sent mieux, une prise en charge est nécessaire

Assister un plongeur ayant des difficultés respiratoires

Sortie de l'eau

Privilégier la position assise et mettre sous O₂ normobare 15 L / min

Alerter les secours

- L'OPI peut être confondu avec une surpression pulmonaire en raison de symptômes proches

La surpression pulmonaire se manifeste à la remontée

L'OPI peut se manifester durant toutes les phases de plongée



ŒDÈME PULMONAIRE D'IMMERSION (OPI)

- Cette pathologie d'immersion est favorisée par un terrain cardio-vasculaire mais peut également toucher des cœurs sains suite un exercice physique associé à un effort ventilatoire important

L'eau froide, le stress et l'effort physique provoquent une augmentation de la pression capillaire pulmonaire

Les personnes en bonne santé ne sont pas exemptes du risque d'OPI.

Plusieurs cas d'OPI ont été signalés chez des nageurs, des apnéistes ou de plongeurs militaires en bonne santé

Il est souvent issu d'une association de plusieurs facteurs favorisants

- Un OPI comporte un risque élevé de récurrence
- Certains OPI restent inexpliqués

PREVENTION

S'assurer d'un bon suivi cardiologique surtout en cas de pathologie cardio-circulatoire préexistante : HTA, problème de thyroïde, problème valvulaire

Un suivi cardiologique est recommandé même en l'absence de facteurs de risque

Importance d'une bonne hydratation avant la plongée sans hyperhydratation.

Bonne condition physique



EN CONCLUSION – VOTRE RÔLE DE GP

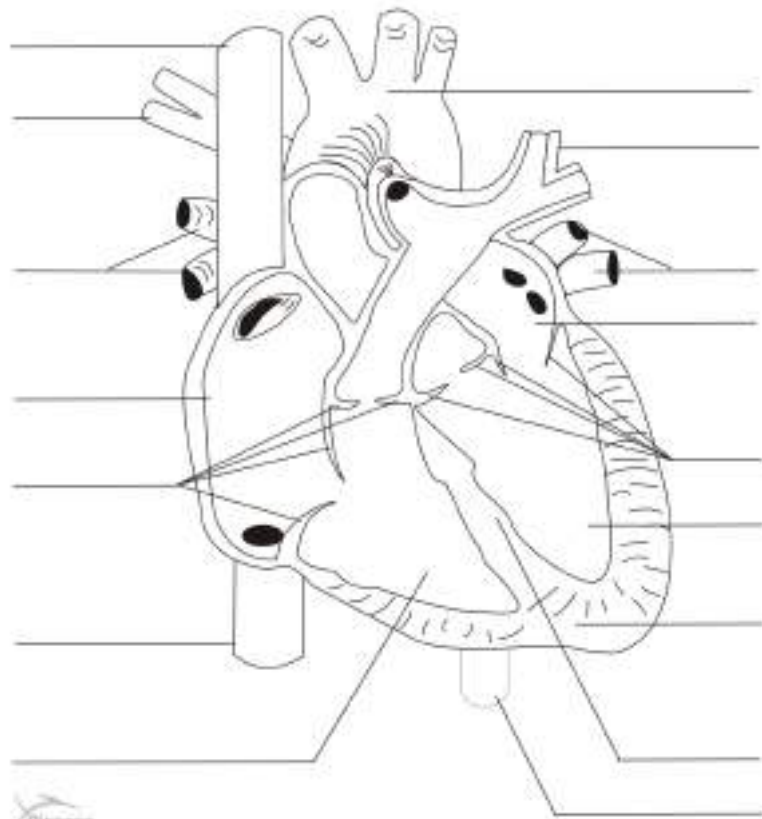
L'immersion a de nombreuses conséquences sur notre organisme, notamment au niveau cardio vasculaire

Votre rôle sera d'assurer une prévention **effective** afin d'éviter tout incident ou accident et d'expliquer **simplement** le pourquoi de cette prévention

Une bonne hygiène de vie favorisera une meilleure adaptation de l'organisme à cet environnement

A VOUS DE LE PROMOUVOIR

Tous ces facteurs peuvent se cumuler, vous devrez donc être particulièrement vigilant ... d'autant plus en situation de plongée saturante



Penguin
2011

MERCI DE VOTRE ATTENTION

