



LE SYSTÈME CIRCULATOIRE

Formation GP 2024 / 2025



Claire SOUBITEZ – Valérie HEIDT

LES ATTENDUS DEFINIS 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 Ovalé 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 entraîner des conséquences importantes que vous devez comprendre afin de prévenir la survenue d'accident en plongée pour vous et les plongeurs que vous encadrerez



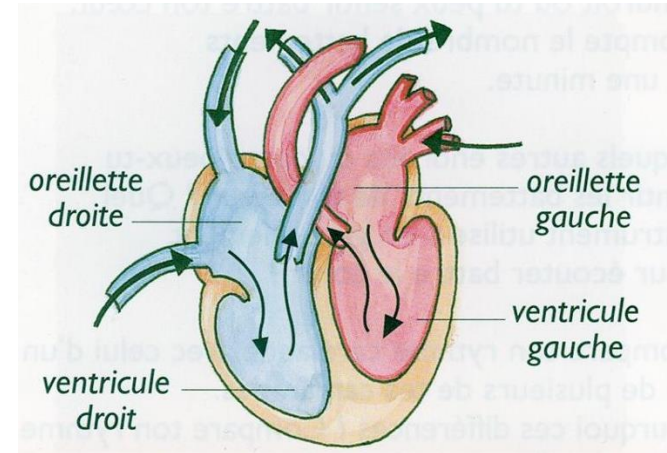
En tant que futurs GP, vous serez amenés à adapter votre comportement en conséquence



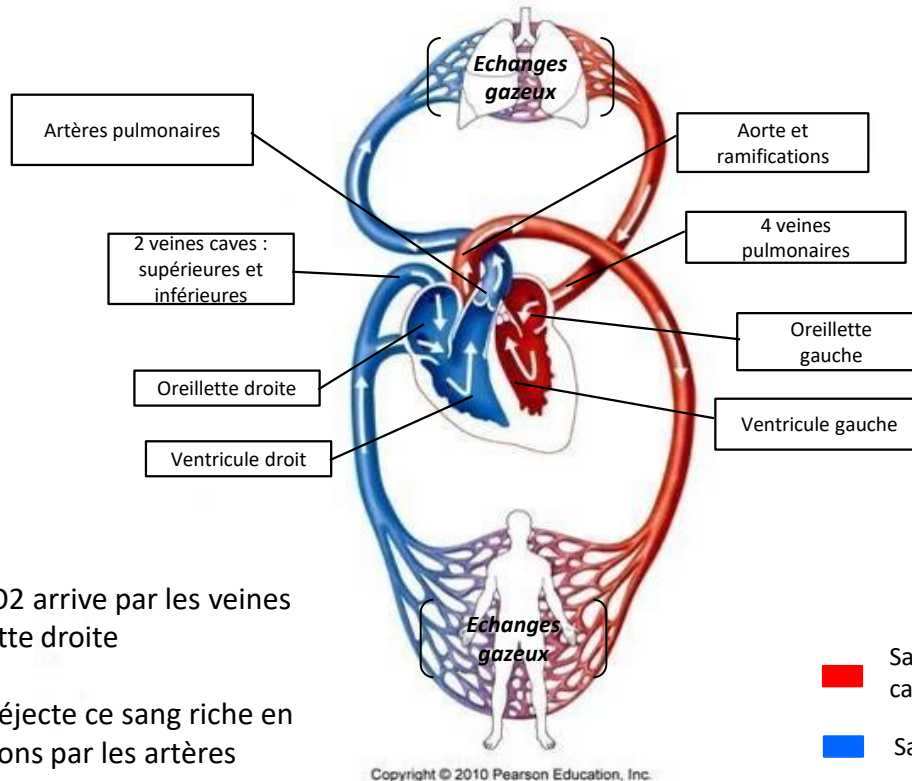
Vous serez amenés à répondre aux questionnements des plongeurs et à avoir un comportement préventif

LE COEUR

- 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 COEUR



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

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

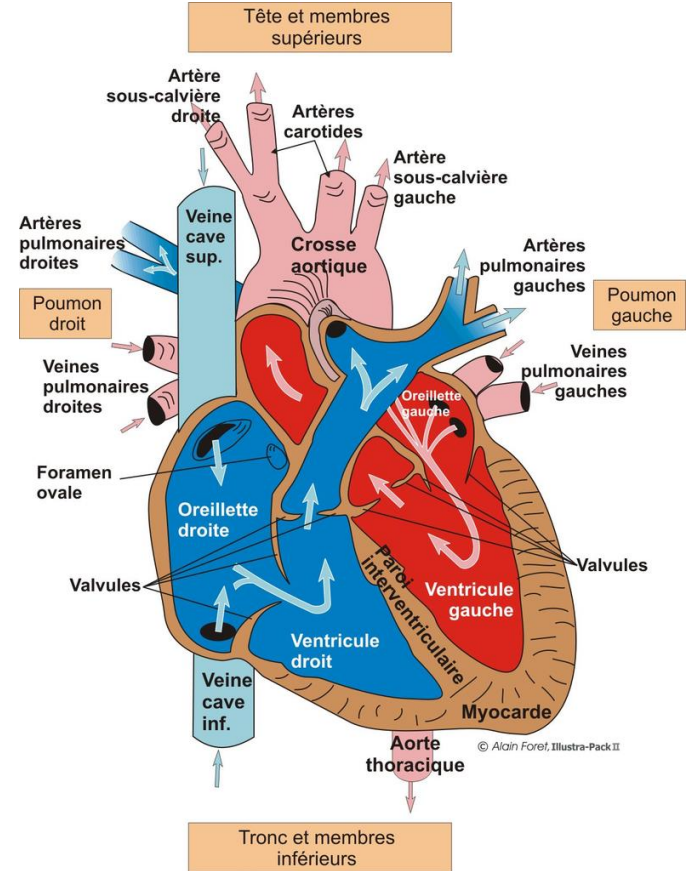
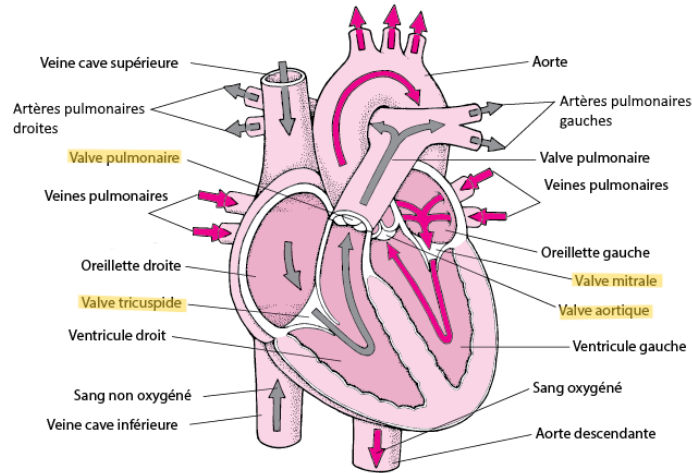
■ Sang pauvre en O₂ et riche en CO₂

LE COEUR

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

Valves entre les oreillettes et les ventricules

Valves entre les ventricules et les artères



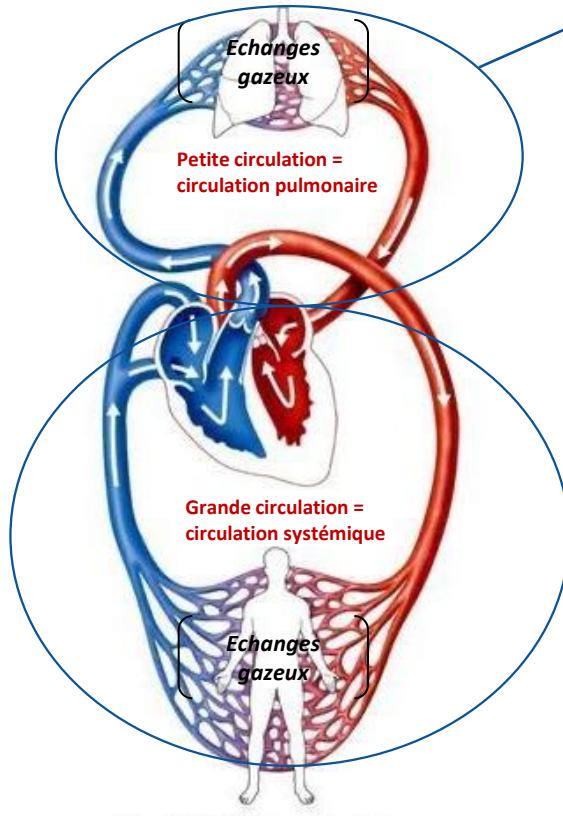




REGULATION CARDIAQUE

- Le cœur bat grâce à une activité électrique **autonome**, pas de contrôle volontaire
- Au repos ~ 60 battements minutes : 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 fréquence cardiaque est impactée par :
 - L'immersion
 - Activité physique : effort de palmage
 - Condition physique
 - Le stress
 - Le tabac
 - La température, ...

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

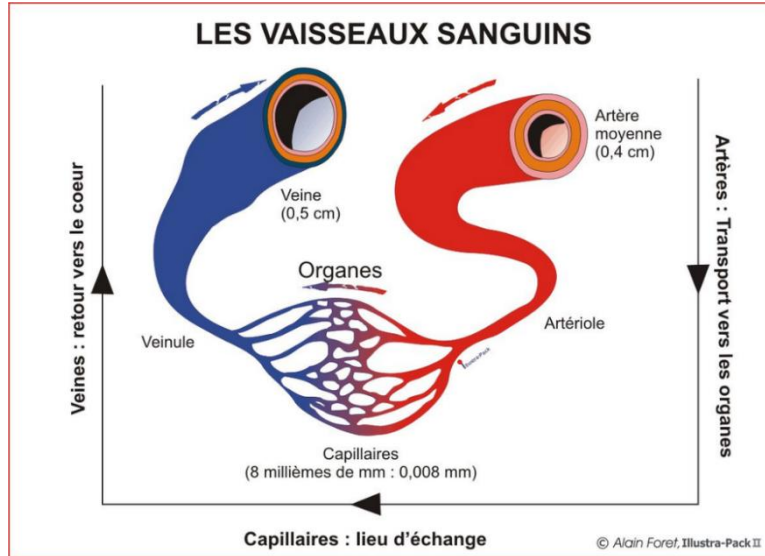
Permet l'apport des gaz du sang vers les tissus : O₂ et N₂ au cours de la plongée.

Les déchets produits dans les tissus (CO₂) sont transférés au sang et envoyé 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 :

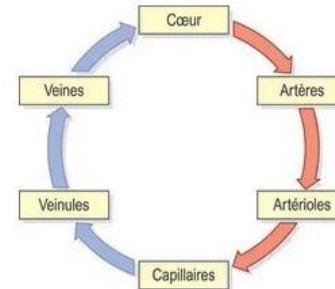
- partent du cœur,
- se changent en artérioles
- puis en capillaires artériels.

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 à paroi très fines : configuration idéale pour que les échanges gazeux se fassent entre le sang et les tissus



LE FORAMEN OVALE PERMEABLE (FOP)

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

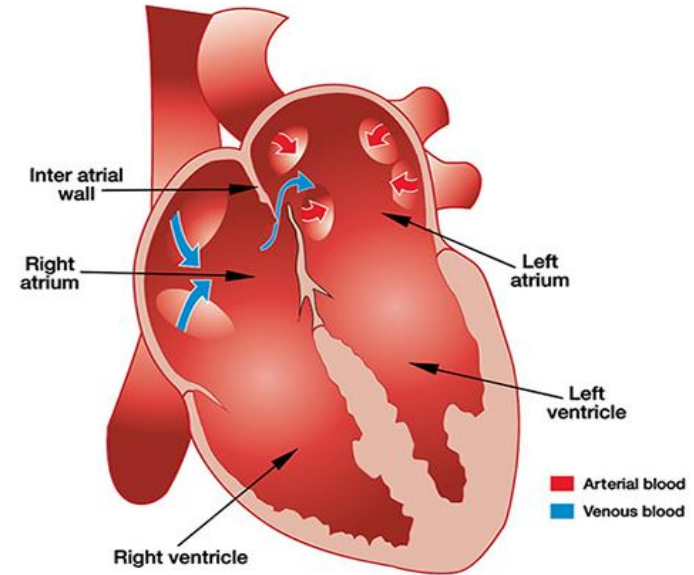
Pendant la vie fœtale, l'alimentation en oxygène se fait par le sang du cordon ombilical puisque les poumons ne sont pas fonctionnels
A la naissance, un clapet dans l'oreillette gauche recouvre ce FOP et le ferme

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

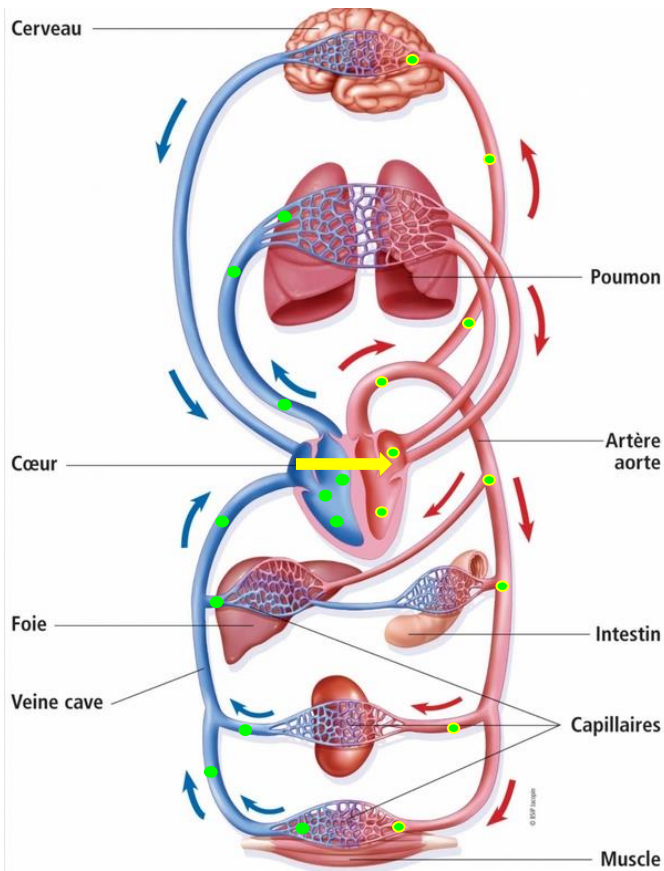
Au quotidien et sans effort, la pression du cœur gauche est supérieure à la pression dans le cœur droit. La membrane entre les oreillettes est plaquée .
Pas de passage entre les 2 oreillettes.

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 PERMEABLE (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 et après la plongée

PREVENTION :

Proscrire toute situation d'hyperpression thoracique

Valsalva à la remontée

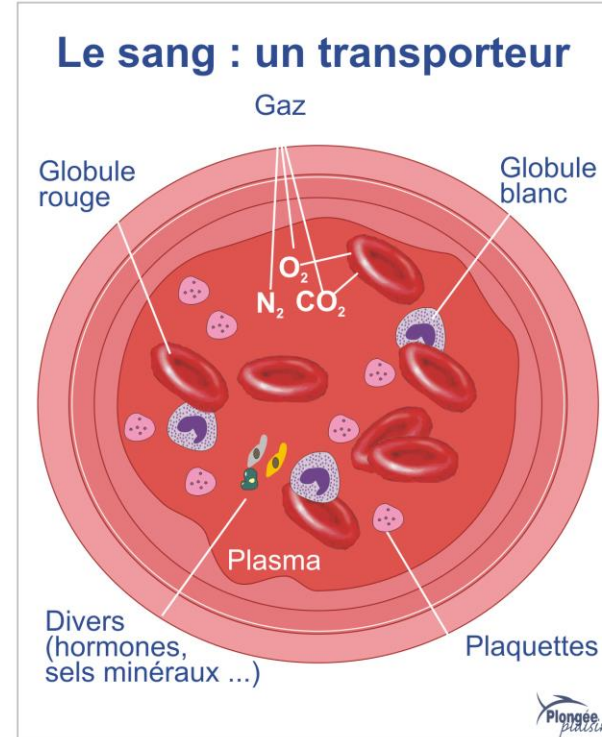
Eviter tout effort sur inspiration ou en apnée. Insister sur la remontée à l'échelle sur expiration, attention au port du bloc

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

LE SANG : environ 5 L

- Se trouve dans les vaisseaux
- Le sang transporte l'O₂ et les gaz dissous vers les organes pour permettre la respiration cellulaire.
Le sang transporte également le CO₂ et N₂ pour être expiré via les poumons.
D'autres déchets sont évacués par les reins
- Composition :
 - Plasma : partie liquide
 - Globules rouges : transport de l'O₂
 - 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 présentes dans les globules rouges
- **2% est transporté sous forme dissoute dans le plasma**
- Seules les molécules dissoutes participent aux échanges gazeux.

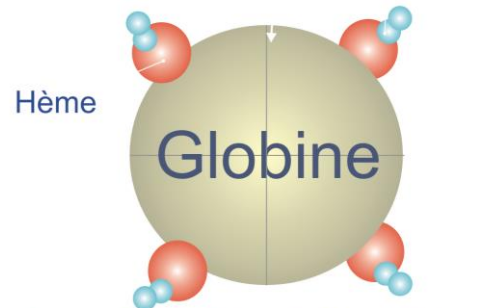
L'O₂ fixé sur les molécules d'hémoglobine est libéré peu à peu dans le plasma et va diffuser dans les tissus
- La part d'oxygène dissous est augmenté lorsque l'on respire de l'oxygène pur

Molécule d'hémoglobine

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



Oxygène



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



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
- 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

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

:

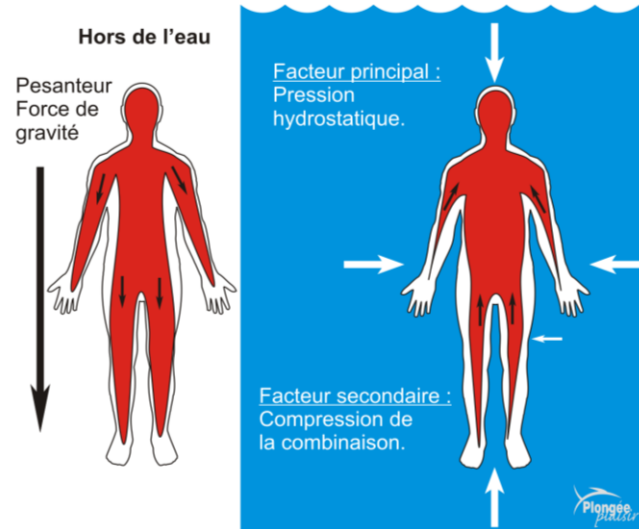
CO₂ +

O₂ +++

CO ++++++

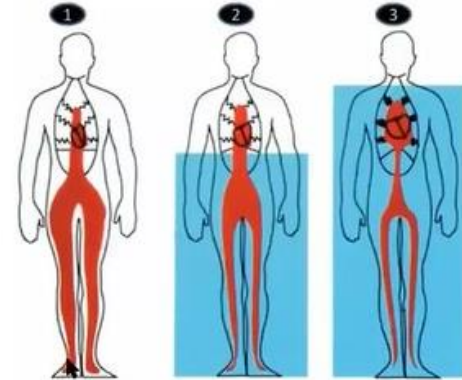
IMMERSION ET CIRCULATION SANGUINE

- 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.
- Redistribution de la masse sanguine des extrémités vers le thorax = **BLOODSHIFT**



DIURESE D'IMMERSION

- Majoration du volume sanguin intra thoracique de 20 à 40 %
Le cœur augmente son débit cardiaque (fréquence 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 temporaire du cœur
- D'autre part, les **volorécepteurs** situés dans les oreillettes et la circulation pulmonaire agissent sur le système nerveux sympathique avec diminution de l'ADH (hormone anti diurétique) ce qui provoque une augmentation de la diurèse = **DIURESE D'IMMERSION**
- L'objectif 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 entraine le rétablissement d'un rythme cardiaque proche de la normale



IMMERSION ET CIRCULATION SANGUINE

RETOUR EN SURFACE :

- 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 ET BLOODSHIFT

- Le principe de redistribution sanguine (bloodshift) est aggravé par une **vasoconstriction** périphérique (artérielle et veineuse) en réponse au froid.
Une température froide de l'eau entraîne une vasoconstriction → envoi du sang vers le noyau central
- Bloodshift lié à la pression ambiante et au froid → Diurèse d'autant plus importante

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,
Lutte contre le froid...

Ce mécanisme est majoré lors de l'immersion par la redistribution sanguine centrale

- Le stress conduit à une augmentation de la fréquence cardiaque

PREVENTION

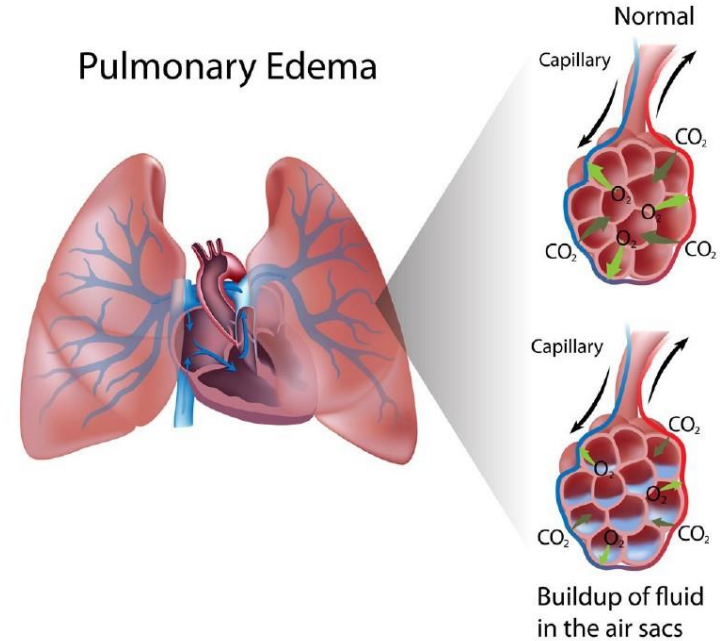
Insister sur **une hydratation constante** avant et après la plongée.
Eviter tout réchauffement trop rapide (douche chaude, frictions) -
> vasodilatation

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

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

OEDEME 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
- Le bloodshift et les efforts provoquent une surcharge de travail pour le cœur.
- Le cœur est à même de supporter ce travail supplémentaire, mais dans certaines circonstances favorisantes (efforts intenses, stress important, maladies cardiaques pré-existantes,...) **ou non** il peut ne plus l'être et entraîner un œdème pulmonaire d'immersion.
- La pression sanguine dans les capillaires pulmonaires peut augmenter jusqu'à un niveau supérieur à celle des alvéoles. On a alors passage du sang dans les alvéoles.
- La présence de ce liquide dans les alvéoles **réduit les échanges gazeux** et, par conséquent, le niveau d'oxygène dans l'organisme.





OEDEME PULMONAIRE D'IMMERSION



SYMPTOMES :

Une gêne 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

Peut conduire à une
perte de connaissance
jusqu'à l'arrêt
cardiaque



CAT :

Assister un plongeur
ayant des difficultés
respiratoires

Sortie de l'eau et mise
sous O₂ 15 L L / min

Appel des secours



**La plongée est
un facteur
favorisant de
déclenchement
d'un OPI mais il
peut se
déclencher en
nage de surface
ou apnée**



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



**Le stress &
l'effort physique
provoquent une
augmentation de
la pression
capillaire
pulmonaire**



**Peut être
confondu avec
une surpression
pulmonaire en
raison de
symptômes
proches**

OEDEME PULMONAIRE D'IMMERSION (OPI)



PLUSIEURS CAS DE NAGEURS OU DE PLONGEURS MILITAIRES EN BONNE SANTÉ ATTEINTS D'OPI ONT DÉJÀ ÉTÉ SIGNALÉS

L'**EAU FROIDE** ENTRAÎNE UNE VASOCONSTRICTION, LE **STRESS ET L'EFFORT**, PEUVENT ÉGALEMENT ENTRAÎNER UNE AUGMENTATION DE LA PRESSION ARTÉRIELLE.



UNE BONNE **HYDRATATION** AVANT LA PLONGÉE EST IMPORTANTE POUR RÉDUIRE LE RISQUE D'ACCIDENT DE DÉCOMPRESSION, MAIS UNE SURHYDRATATION N'EST PAS NON PLUS SOUHAITABLE CAR ELLE POURRAIT AUGMENTER LE RISQUE D'OPI.



CERTAINS OPI RESTENT INEXPLIQUÉS

- PREVENTION
- S'assurer d'un bon suivi cardiologique, même en l'absence de facteurs de risque mais surtout en cas de pathologie cardio-circulatoire préexistante : HTA, problème de thyroïde, problème valvulaire
- Bonne hydratation avant la plongée
- Bonne condition physique



EN CONCLUSION – VOTRE ROLE 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



Une bonne hygiène de vie favorisera une meilleure adaptation de l'organisme à cet environnement : à vous de le promouvoir



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

