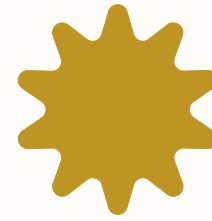


NIVEAU 4 : GUIDE DE PALANQUEE

LE SYSTEME VENTILATOIRE



SCHMITT Kathy & HOUDE Maxime



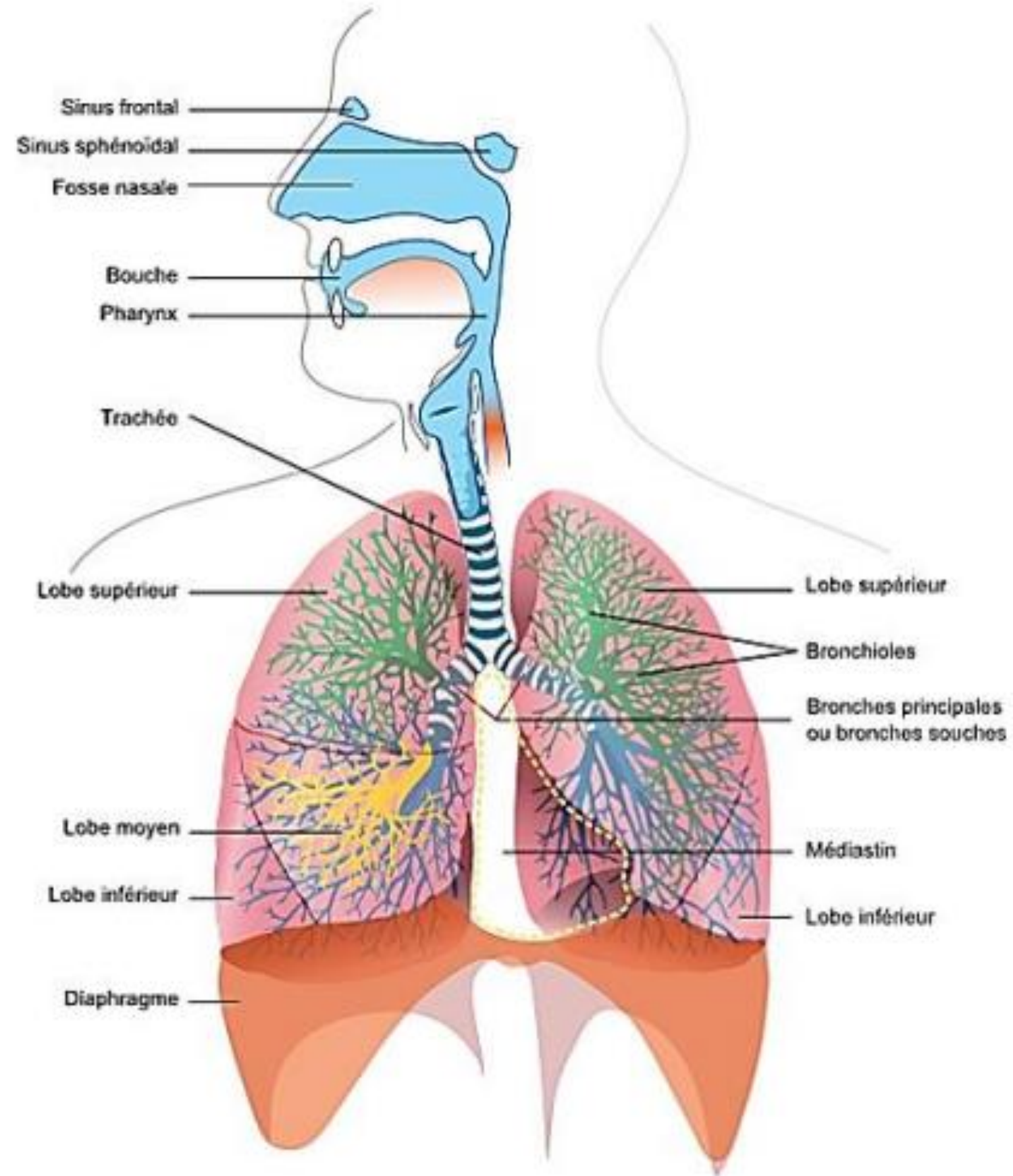
OBJECTIF DE CE COURS

- Comprendre les mécanismes ventilatoires
- Notions d'anatomie de l'appareil ventilatoire
- Mécanismes ventilatoires :
 - Inspiration, expiration, muscles concernés.
 - Volumes pulmonaires.
- Échanges gazeux alvéolo-capillaires
- Modifications de la ventilation en immersion et conséquences
- En tant qu'encadrant, vous devez comprendre, expliquer et surtout **prévenir** les possibles complications liées à la pratique de la plongée
- Adapter votre comportement pour vous-même et votre palanquée

- Le système ventilatoire se décompose en 2 parties

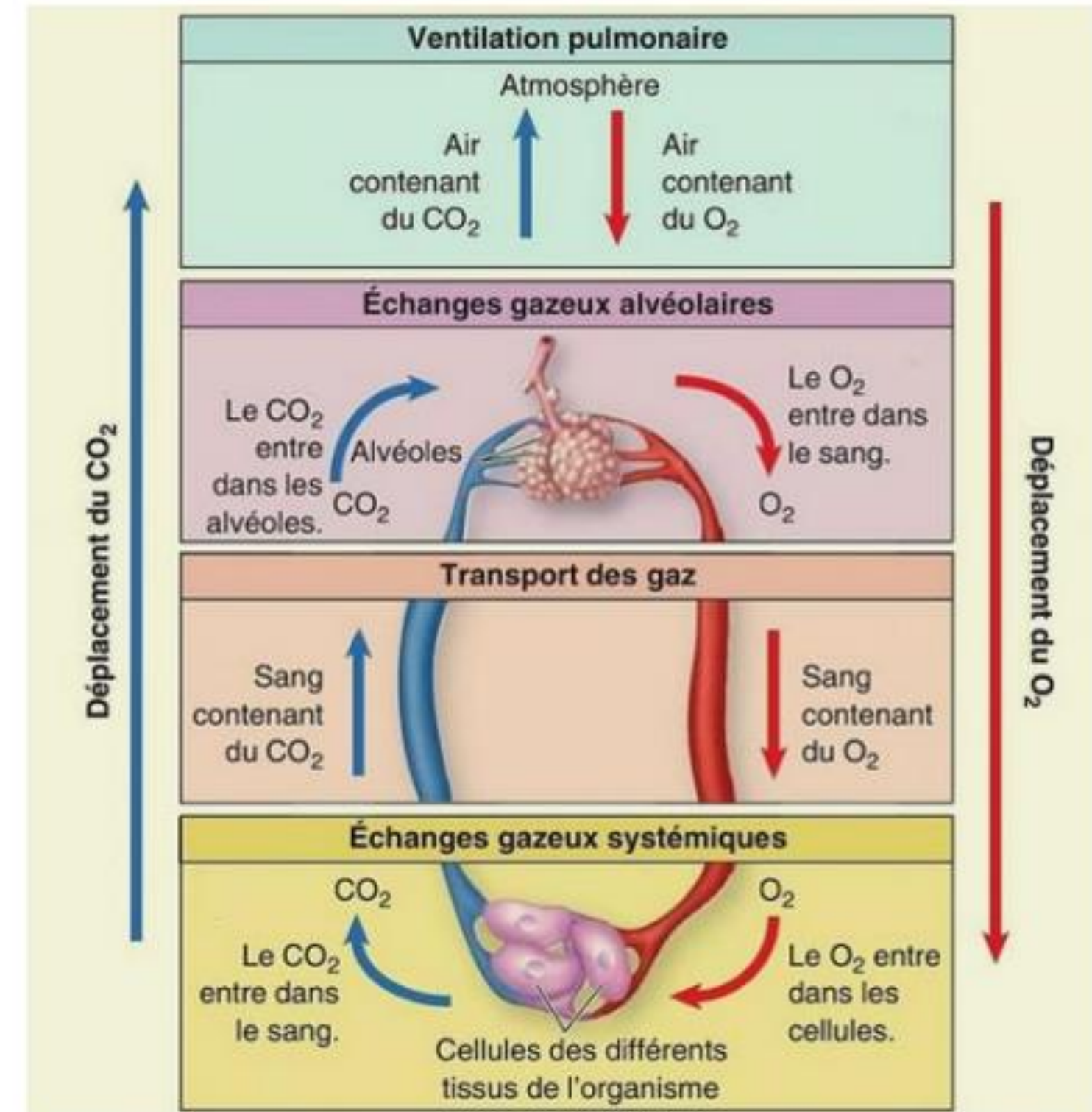
Voies aériennes supérieures

Voies aériennes inférieures



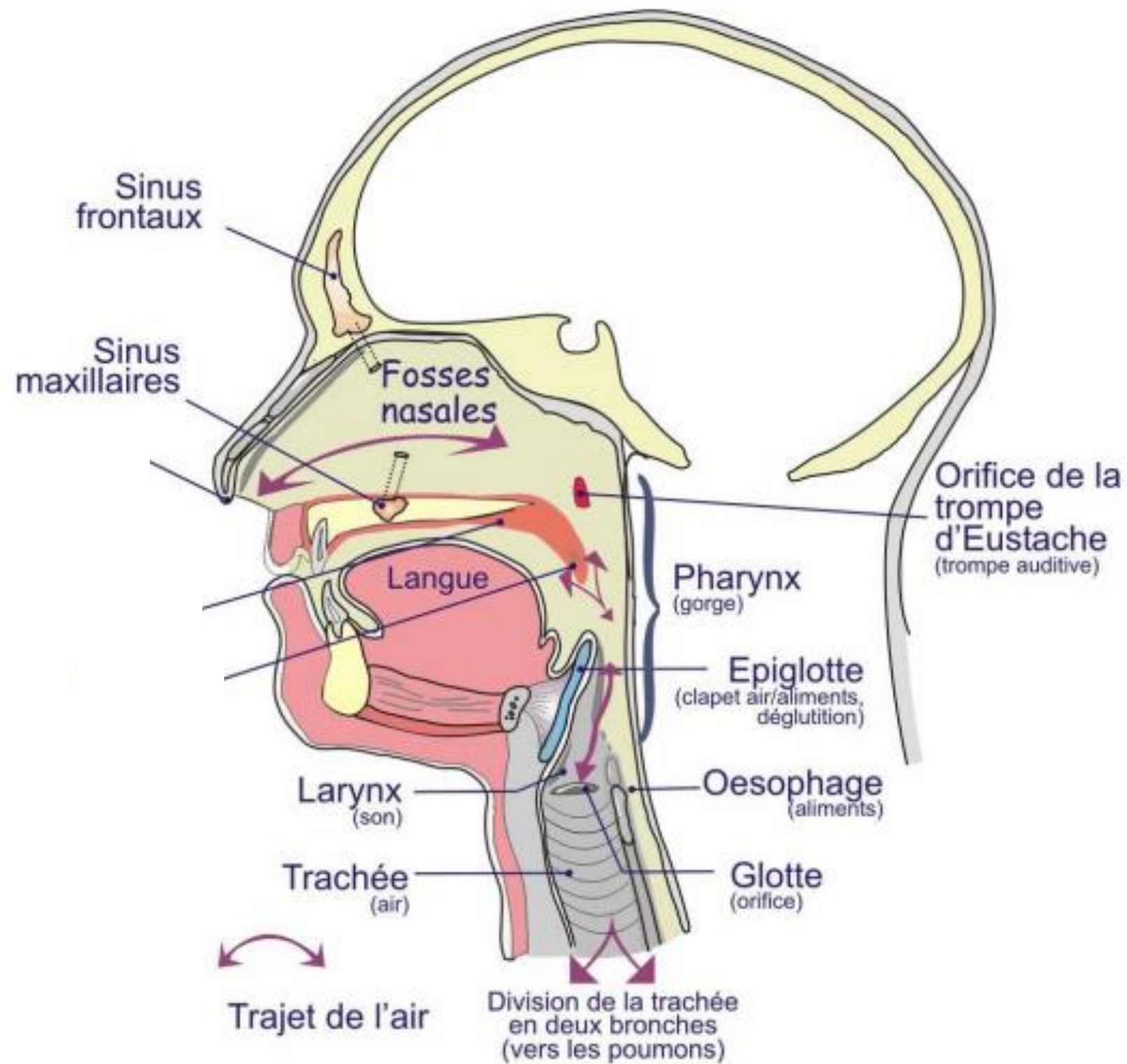
Ventilation et respiration :
2 étapes d'un continuum, 2 processus liés

► VENTILATION	► RESPIRATION
Processus mécanique	Processus biologique
Assure le renouvellement de l'air dans les poumons.	- Echanges gazeux : Alvéoles ↔ circulation sanguine ↔ cellules
Elle correspond à l'entrée d'air et de sortie de l'air des poumons.	- Processus cellulaire qui conduit à la production d'énergie par consommation de l'O₂ et production de CO₂
Elle comporte l'inspiration et l'expiration.	



En tant que plongeur, se rajoute les échanges gazeux de N₂

LES VOIES ARIENNES SUPERIEURES



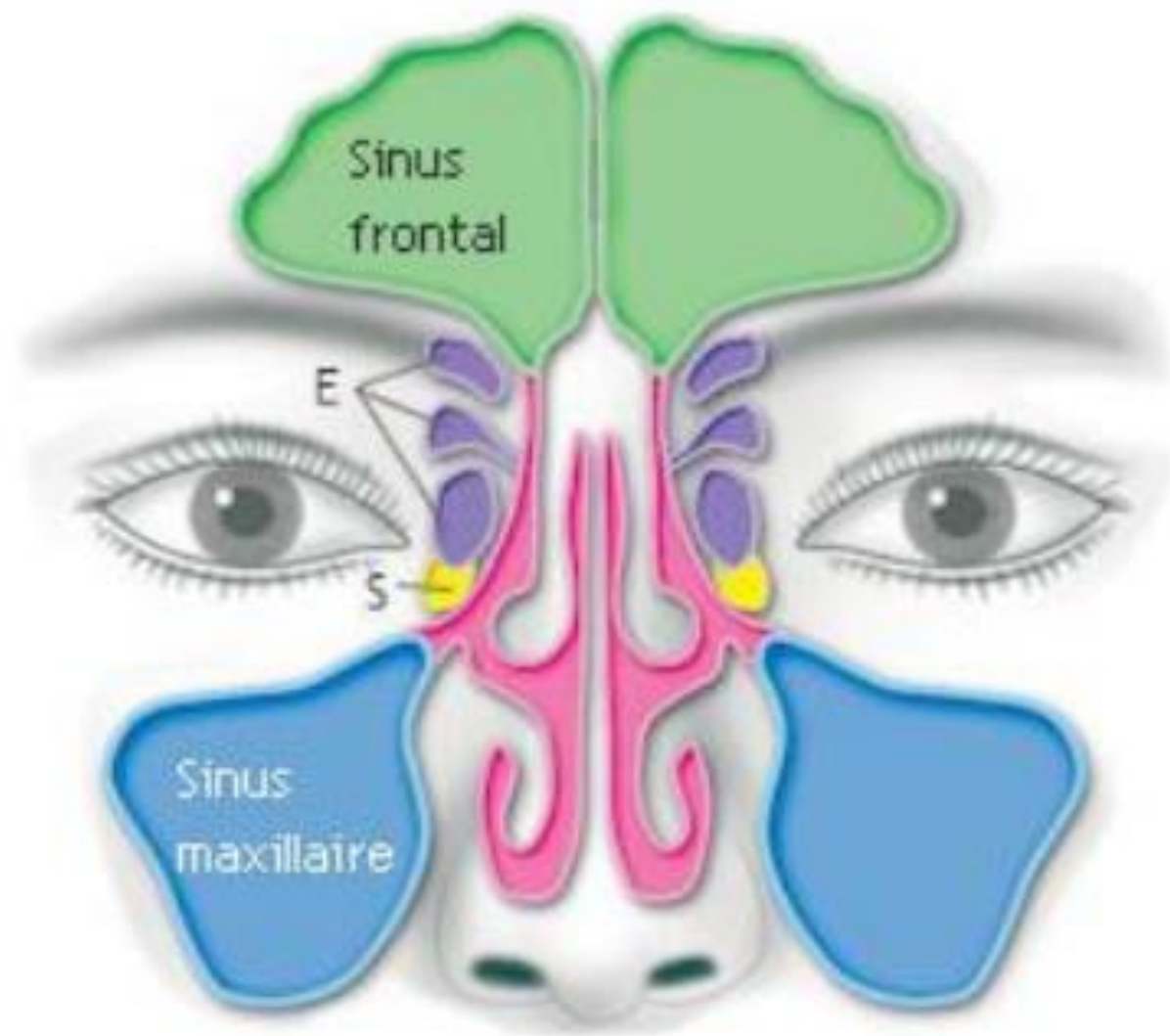
Les voies aériennes supérieures assurent l'écoulement de l'air vers les poumons et inversement

Elles sont composées :

- Les **fosses nasales** : filtrent les particules. Réchauffent et humidifient l'air inspiré.
- Les **sinus**
- Le **pharynx** : zone entre orifice trompe d'Eustache et entrée du larynx / œsophage
A l'extrémité du pharynx se trouve l'**épiglotte** : clapet ouvert pendant la respiration. Il ferme la trachée lors de la déglutition
- Le **larynx** : organe cartilagineux. Carrefour entre la trachée et l'œsophage.
- La partie supérieure de la **trachée**



LES SINUS



Les sinus sont des cavités remplies d'air, reliées aux fosses nasales par de minces canaux.

Ils sont tapissés d'une muqueuse vascularisée constituée de cils.

Les sinus allègent la structure osseuse

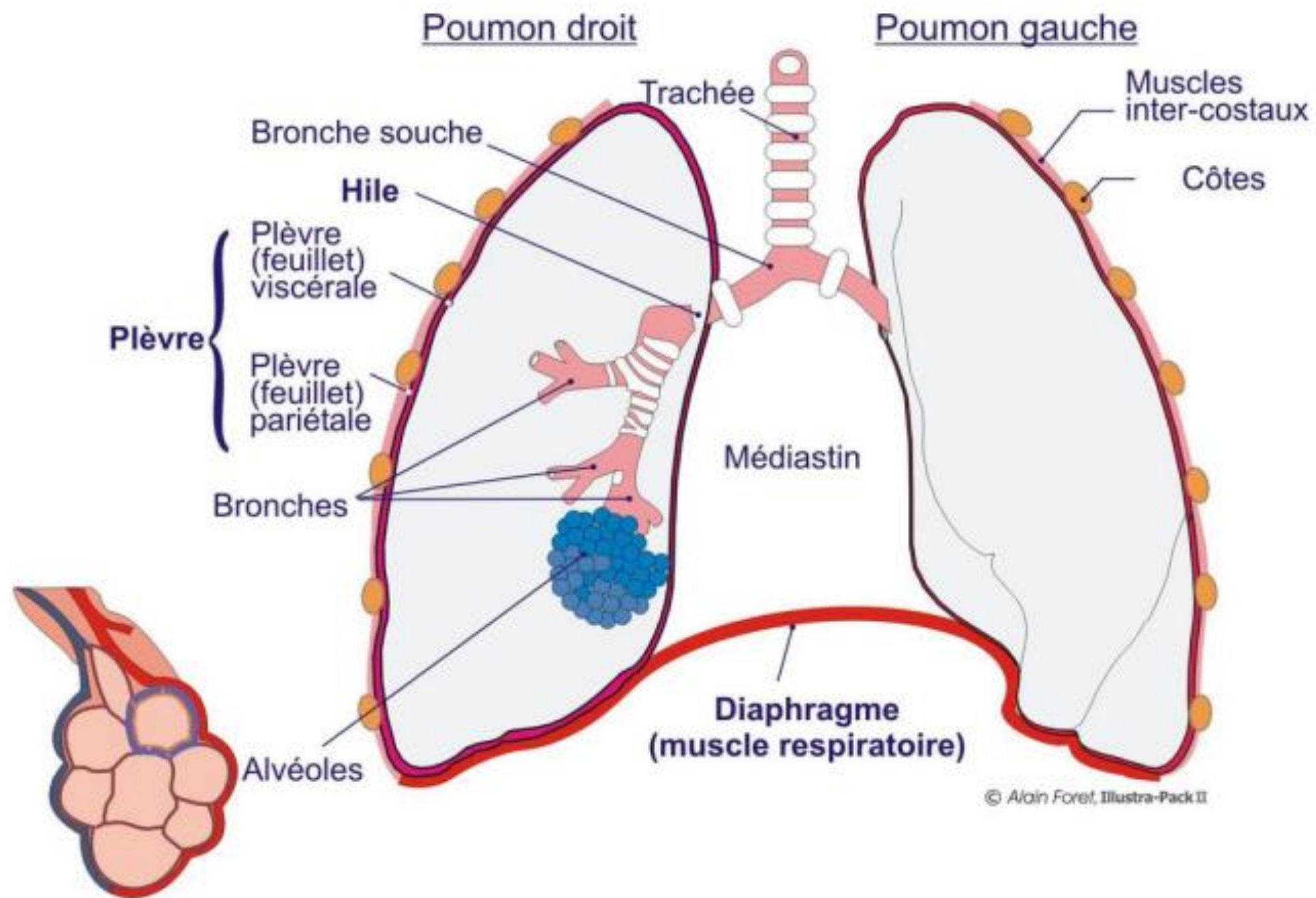
Les sinus et fosses nasales ont pour fonctions :

- Filtrer les impuretés
- Humidifier l'air respiré
- Réchauffer l'air respiré



Rhume / sinusite : obstruction des canaux.
Risque de barotraumatismes

LES VOIES AERIENNES INFERIEURES

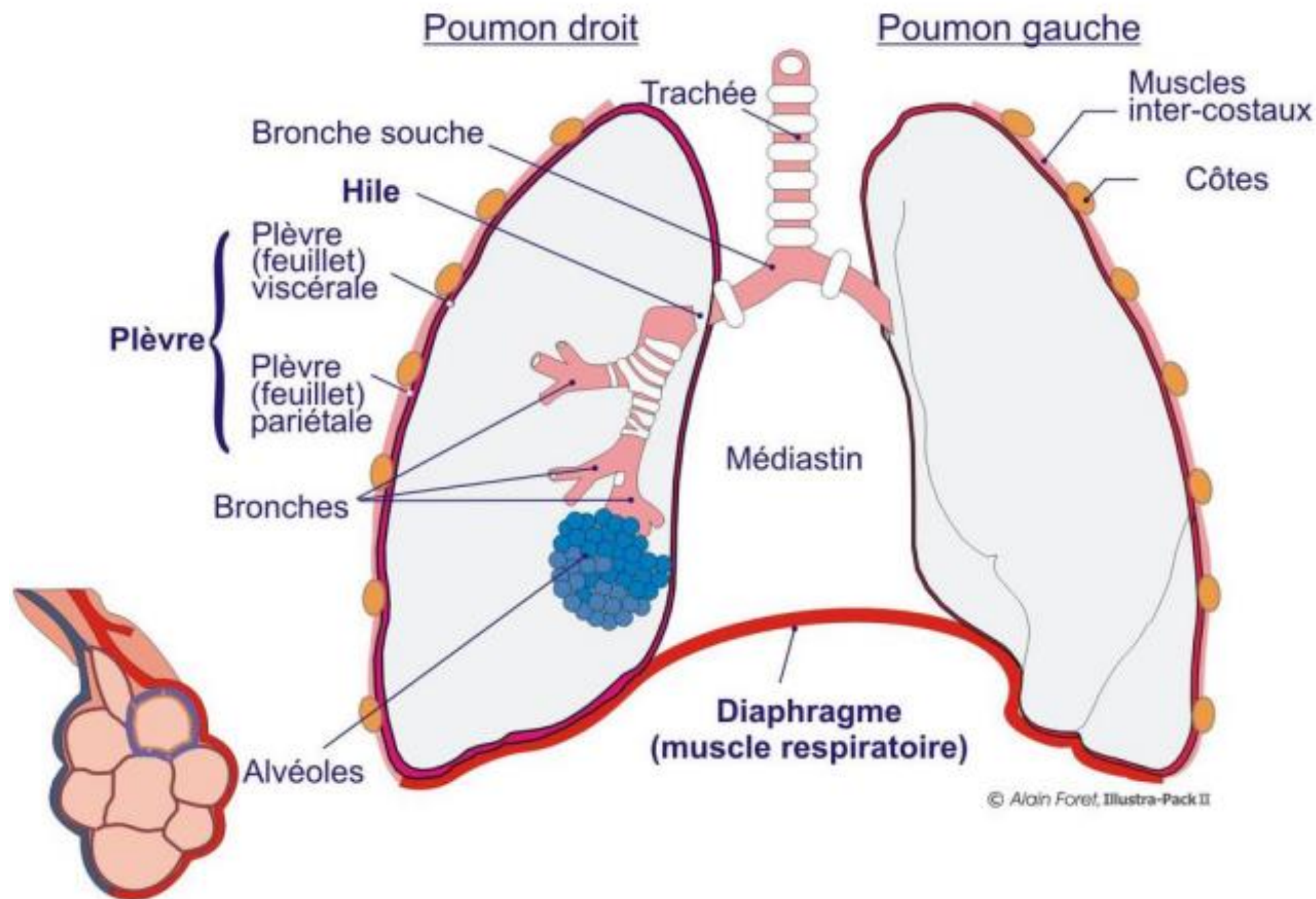


Les voies aériennes inférieures débutent par la partie inférieure de la trachée et se terminent par les poumons

Se composent de :

- La partie inférieure de la trachée
- 2 bronches souches droite et gauche qui pénètrent dans les poumons par le hile
- Les bronches souches se ramifient jusqu'à former des bronchioles
- Les alvéoles : zone d'échanges gazeux

LES VOIES AERIENNES INFERIEURES



► Plèvre : enveloppe qui entoure les poumons.

Constituée de 2 feuillets

- Feuillet interne (viscéral) : solidaire des poumons
- Feuillet externe (pariétal) : accolé à la paroi intérieure de la cage thoracique.

Entre les 2 feuillets de la plèvre se trouve une infime quantité de liquide (liquide pleural) qui assure la solidarité et la lubrification permet à ces 2 feuillets de glisser l'un sur l'autre

► Le diaphragme : muscle respiratoire

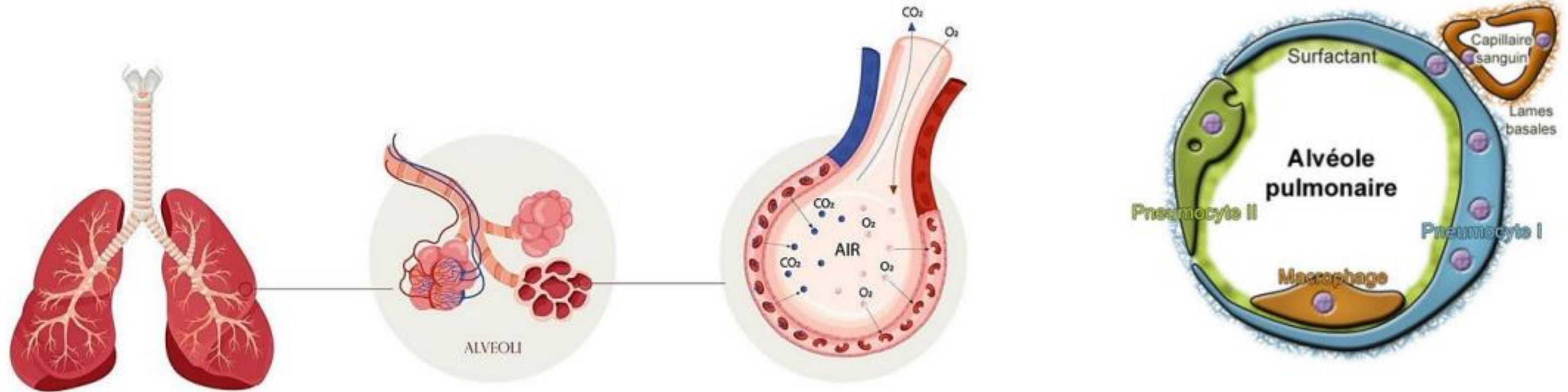
En se contractant, il crée une dépression dans la cavité thoracique qui permet l'entrée d'air dans les voies respiratoires. Cette contraction est périodique et automatique . Sa décontraction permet l'expiration.

► Les alvéoles

Structure terminale des voies respiratoires. Sont regroupées en grappe.

Surface d'échange des gaz entre l'air et le sang

LES ALVEOLES



L'arbre bronchique se termine par des sacs alvéolaire qui regroupent une dizaine d'alvéoles et ressemble à une grappe de raisin .
La paroi est extrêmement fine (0,5 à 1 μm), entouré d'un réseau de capillaires pulmonaires (veinules et artérioles) = membrane alvéolo-capillaire

800 millions d'alvéoles soit 150 m^2 (surf terrain tennis)

Siège des échanges gazeux.

Echanges au travers de la membrane alvéolo-capillaire entre les gaz de l'air et ceux du sang : O_2 , CO_2 , N_2

Elles se gonflent à l'inspiration et se vident en partie à l'expiration.

L'intérieur des alvéoles est recouvert de **surfactant** indispensable à la ventilation : liquide qui tapisse la face interne des alvéoles

Empêche l'affaissement des alvéoles en fin d'expiration

En diminuant la tension superficielle le travail nécessaire pour les distendre à chaque inspiration est réduit

Grande élasticité qui a ses limites



SURPRESSION PULMONAIRE

LA MECANIQUE VENTILATOIRE – hors plongée

■ L'INSPIRATION

C'est une phase **active**.

A l'inspiration le diaphragme se contracte, s'abaisse, écarte les parois thoraciques. Les muscles intercostaux se contractent et relèvent les côtes.

L'ensemble est solidaire, il crée une augmentation du volume pulmonaire, ce qui engendre une dépression à l'intérieur des poumons par laquelle l'air s'engouffre.

■ L'EXPIRATION

C'est une phase **passive**.

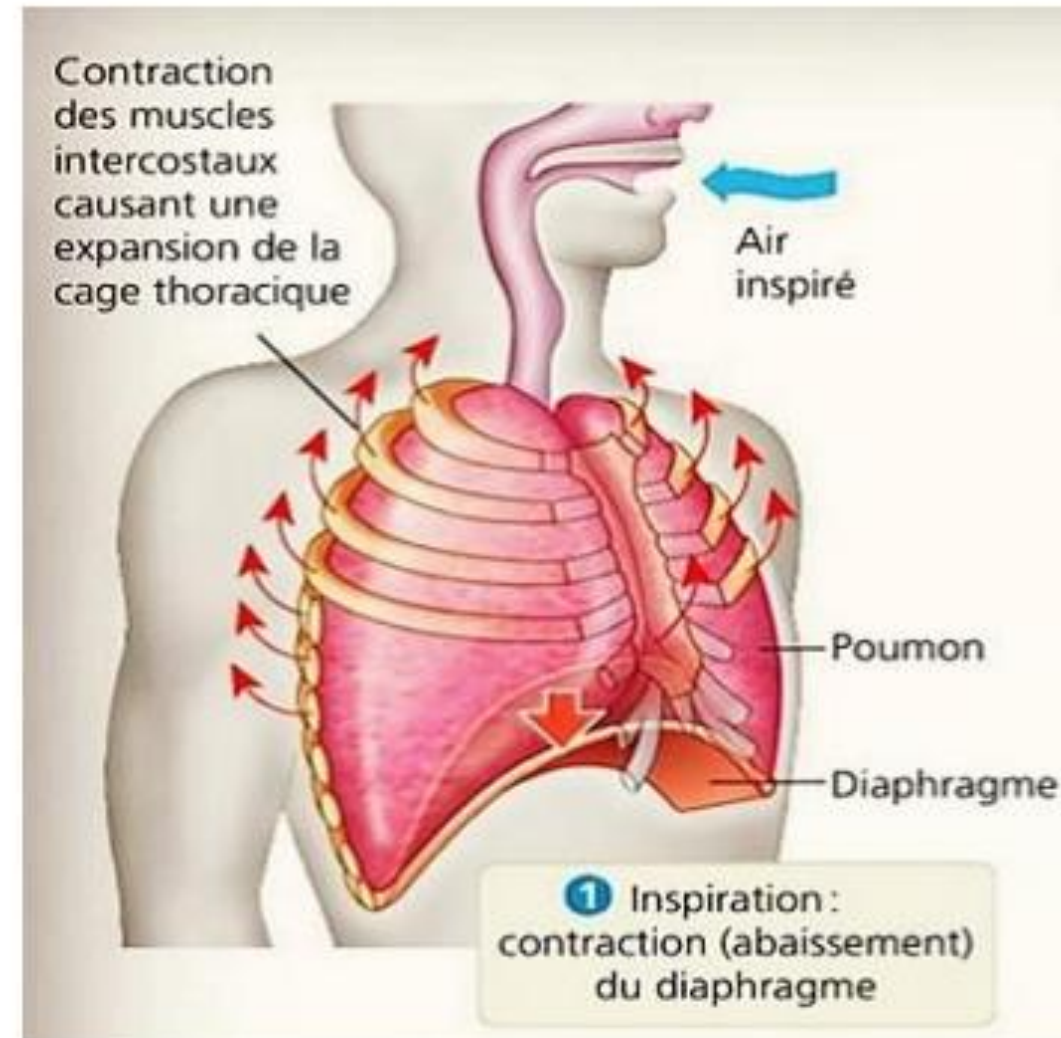
Relâchement musculaire

Les muscles intercostaux se relâchent, le diaphragme se relâche et remonte ce qui va diminuer le volume à l'intérieur des poumons.

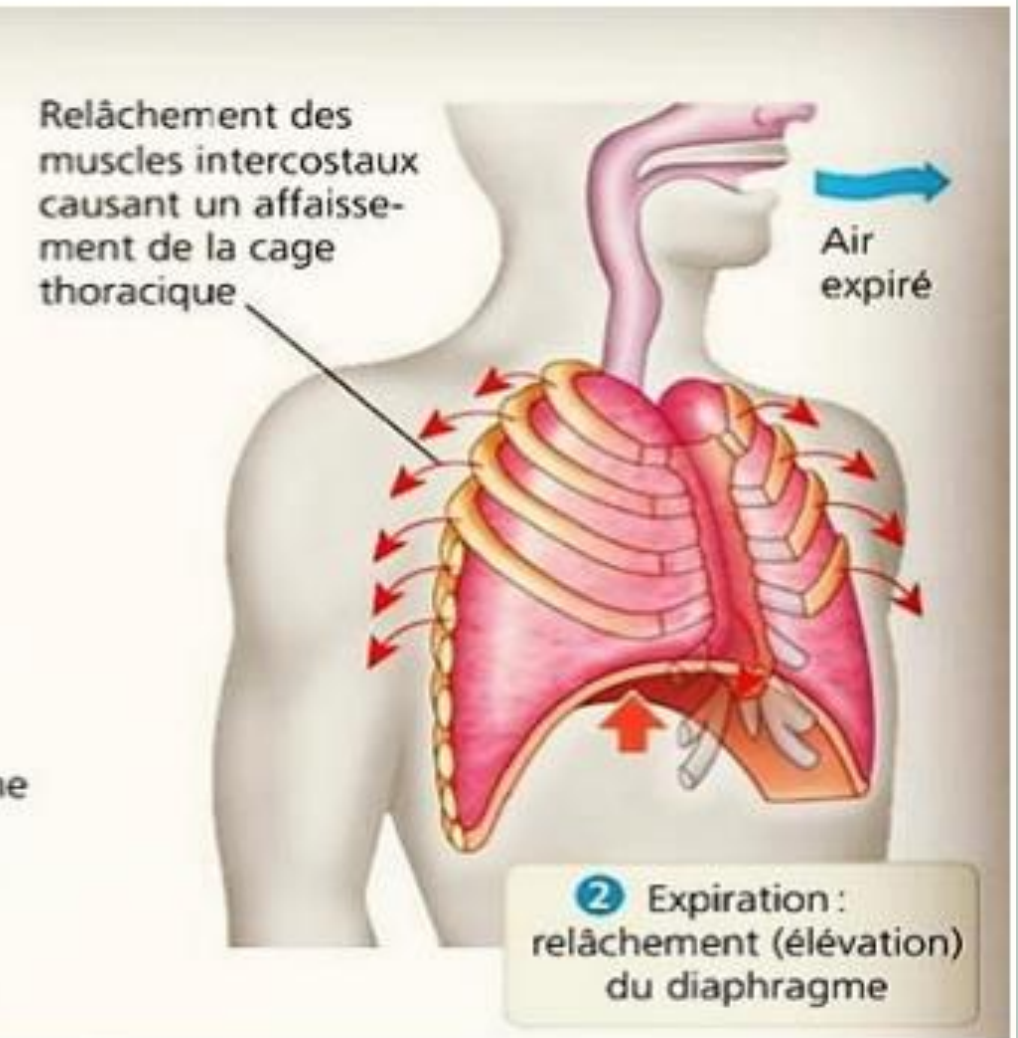
Une surpression se crée, ce qui expulse l'air vers l'extérieur.

2 phases

INSPIRATION ACTIVE



EXPIRATION PASSIVE



LA MECANIQUE VENTILATOIRE – en plongée

- ➡ L'INSPIRATION et L'EXPIRATION sont **ACTIVES**

La ventilation sur détendeur implique une expiration active afin de contrer la résistance mécanique du détendeur, même équipé de détendeur souple

Accroissement de l'effort inspiratoire et expiratoire



Plus il y a d'effort musculaire, plus on produit de CO₂

2 phses

INSPIRATION
ACTIVE

EXPIRATION
ACTIVE



TRAJET DE L'AIR :

➤ EN SURFACE :

L'air entre par **les narines** dans les fosses nasales, passe par la gorge (pharynx) avant de passer dans la trachée et atteindre les poumons. L'air est réchauffé et humidifié.

➤ EN PLONGEE :

L'inspiration se fait **par la bouche**.

L'air n'est ni filtré, ni réchauffé, ni humidifié par la muqueuse nasale et les sinus

L'air contenu dans les des blocs sous pression est sec.
Il est filtré et déshumidifié au niveau du compresseur

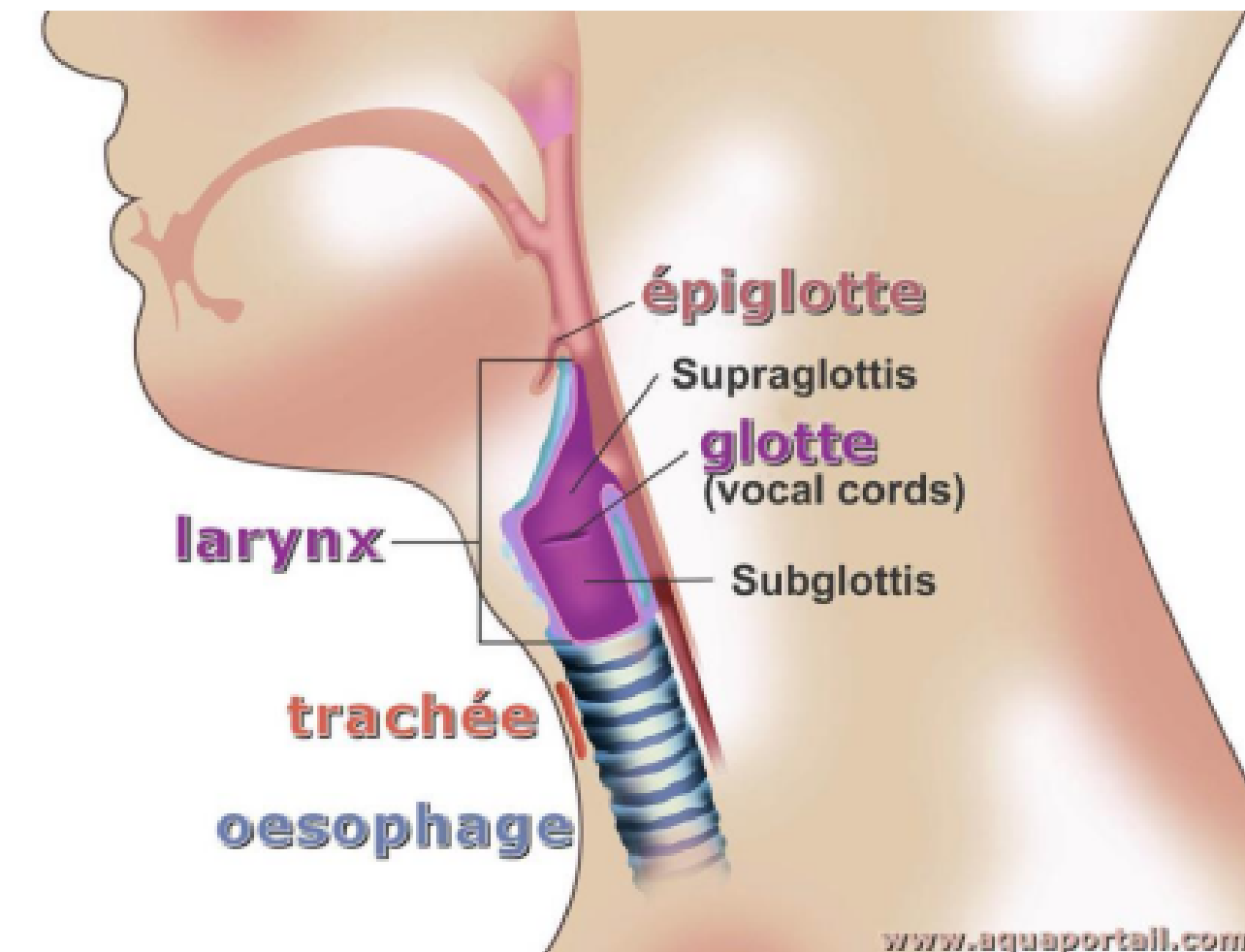
La détente de l'air à pression ambiante produit un air froid

CONSEQUENCES :



- Refroidissement
- Déshydratation
- Sensation de bouche sèche

➤ FERMETURE DE LA GLOTTE



Spasme réflexe qui se produit sous l'effet d'une panique ou d'une entrée d'eau dans le nez

Conduit à la fermeture de la glotte et blocage de la ventilation



A la remontée -> Risque de surpression pulmonaire

LES VOLUMES PULMONAIRES

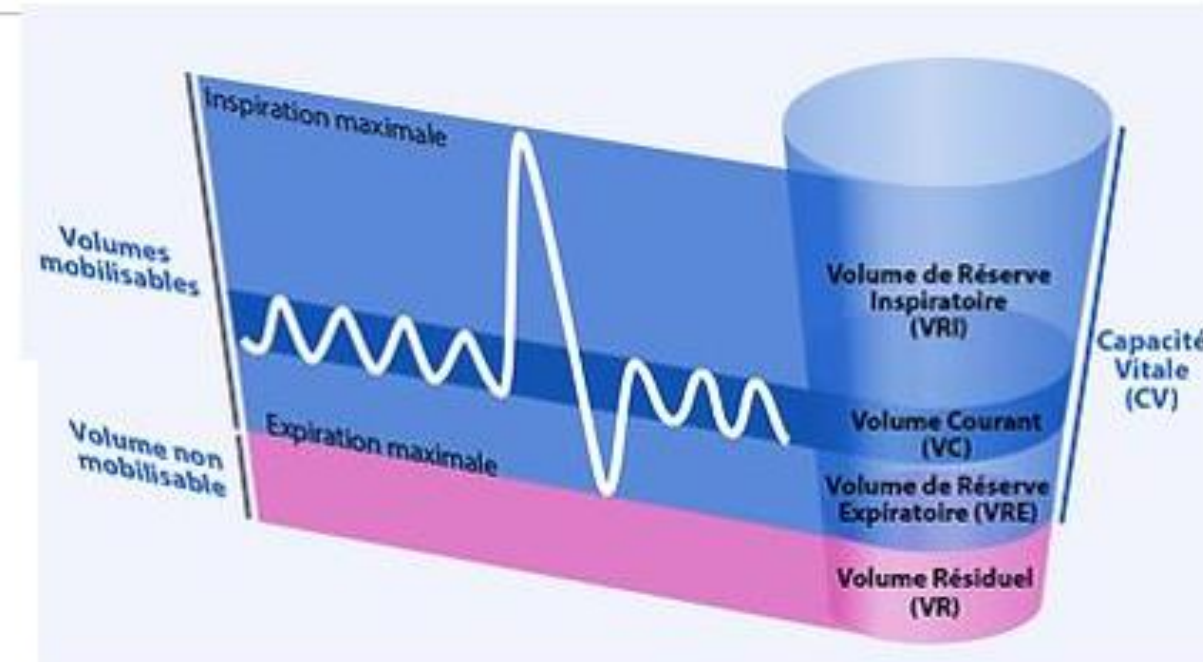
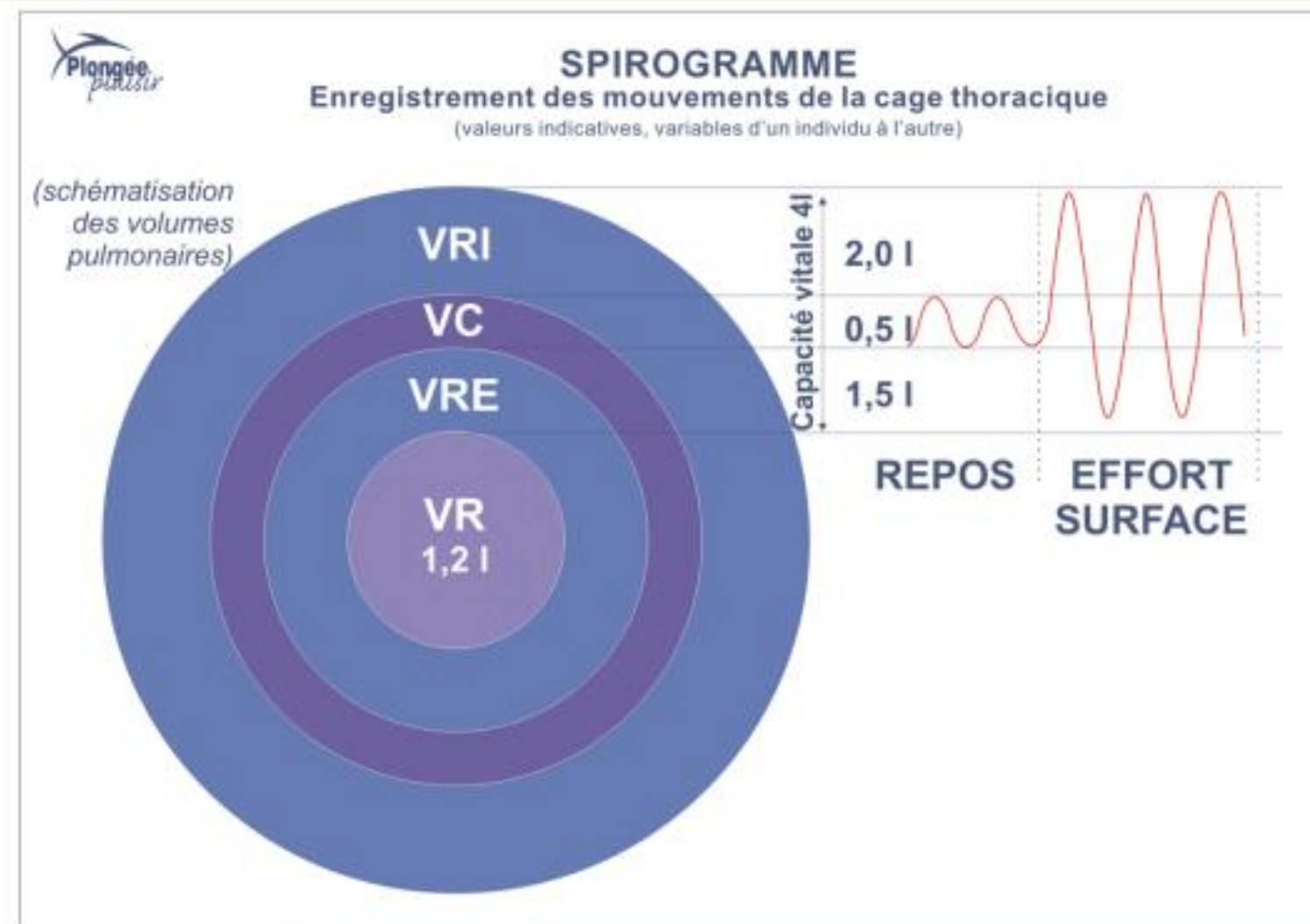
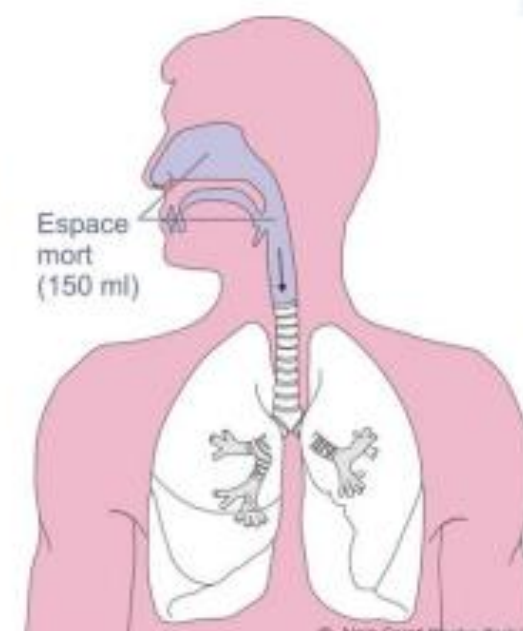
- **Volume courant (VC)** : volume mobilisé au cours d'un cycle ventilatoire. Un adulte au repos et en surface inspire et expire **0,5 L** d'air
- **Volume de réserve inspiratoire (VRI)** : **2L**. Volume mobilisé au cours d'une inspiration forcée
- **Volume de réserve expiratoire (VRE)** : **1,5 L**. Volume mobilisé au cours d'une expiration forcée
- **Capacité vitale (CV)** : $VC + VRI + VRE$: de **3,5 L à 4,5 L**
- **Volume résiduel (VR)** : **1,2 L**. Volume incompressible et non mobilisable. Reste dans les poumons après une expiration forcée
- **Capacité totale (CT)** : $CV + VR$.

Fréquence : chez l'adulte : 15 à 20 cycles / min

Débit : 7,5 L à 10 L

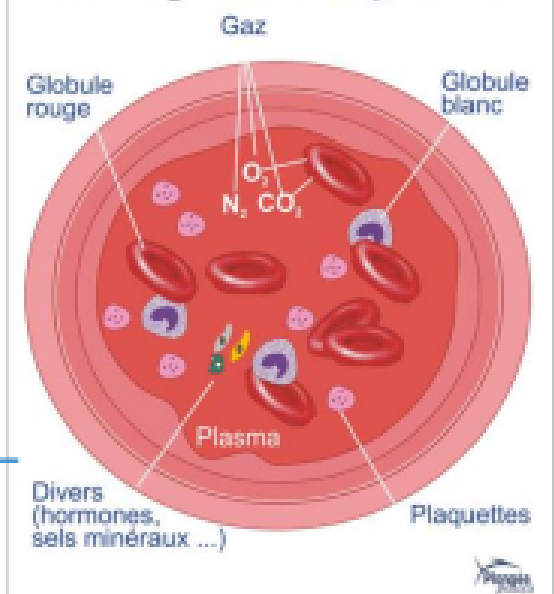
Volume et fréquence varient en fonction du sexe, de la taille et de l'âge.

- **Volume mort** : espace anatomique, contenu dans les voies aériennes qui ne participent pas aux échanges gazeux. Volume situé en dehors des alvéoles. Environ 150 mL
- En plongée ce volume mort est augmenté par le matériel. : tuba, détendeur



TRANSPORT DE GAZ :

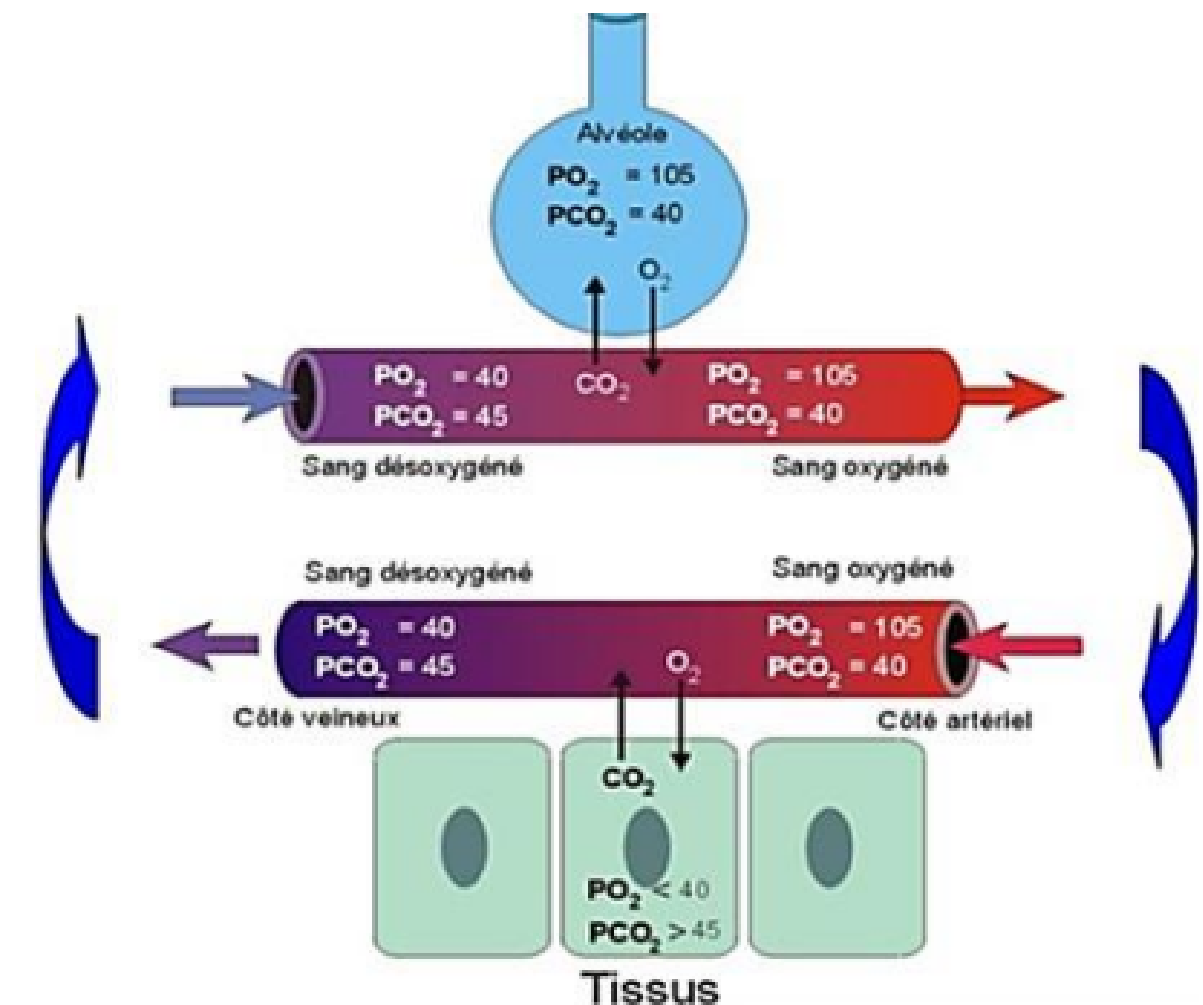
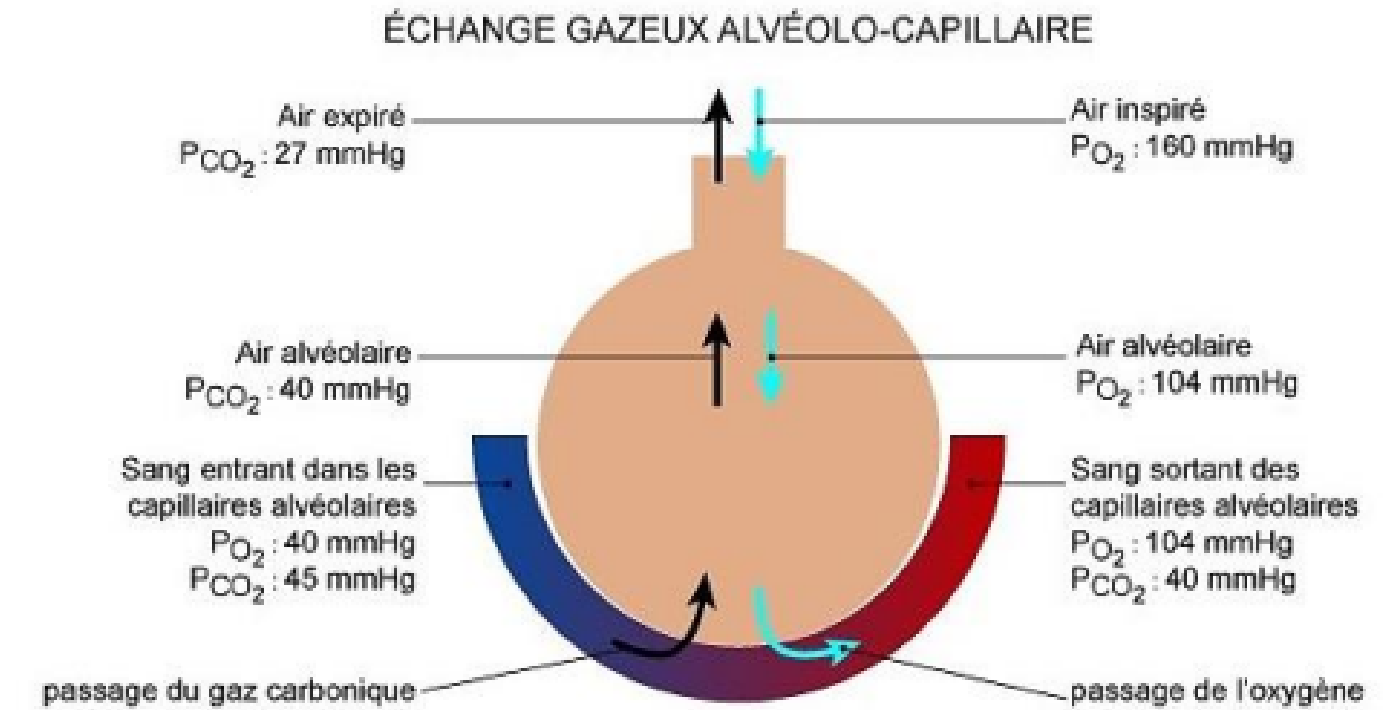
Le sang : un transporteur



	HEMOGLOBINE	PLASMA	AUTRES
O ₂	Combiné à 98 %	2 % sous forme dissoute Forme qui participe aux échanges gazeux	
CO ₂	Combiné à 8 % Site différent de celui de l'O ₂	5 % sous forme dissoute	87 % sous forme de bicarbonates
N ₂		100 % sous forme dissoute Fonction de la profondeur (Pp N ₂)	
CO	Se fixe ++++ sur l'hémoglobine à la place de l'O ₂		

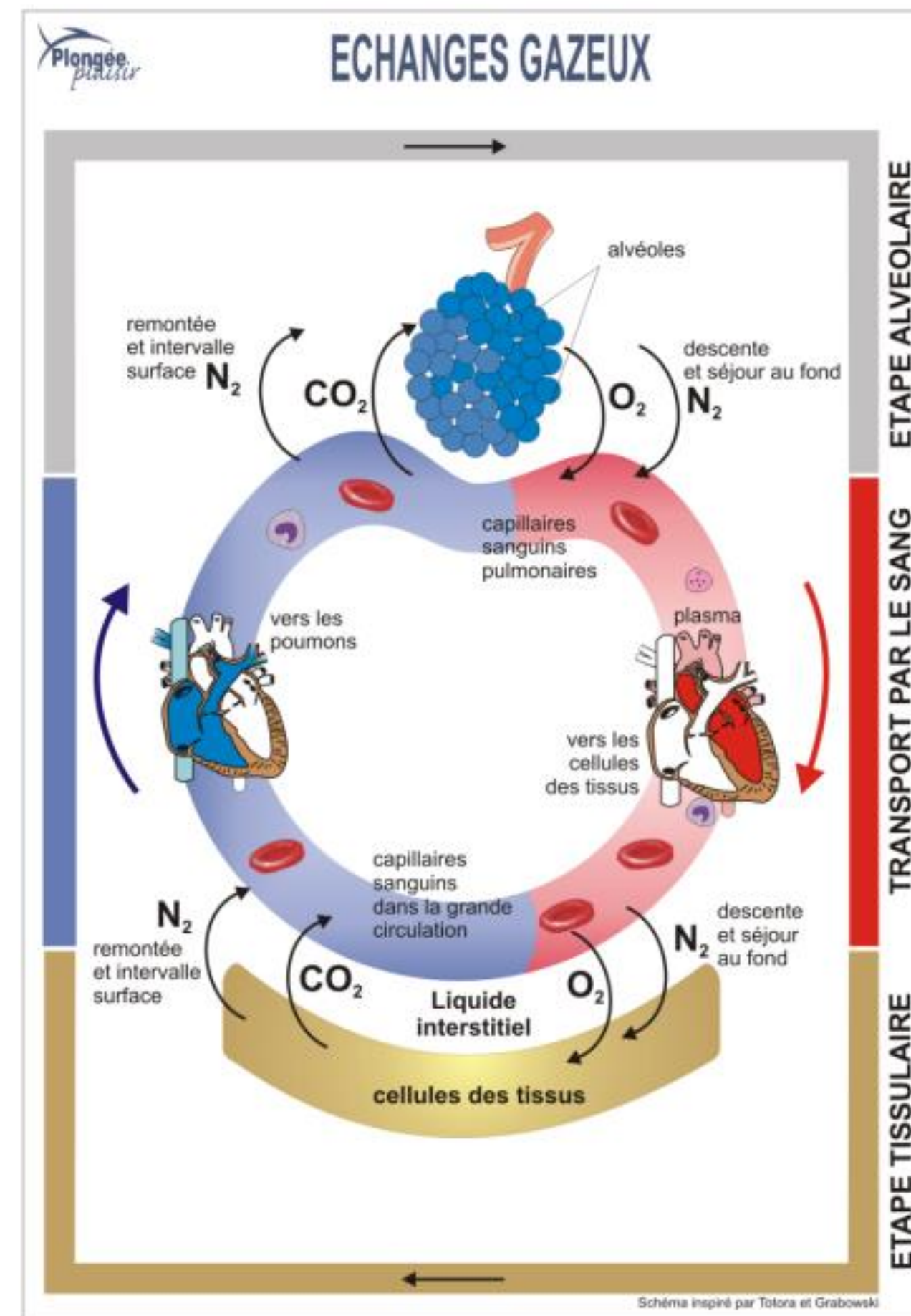
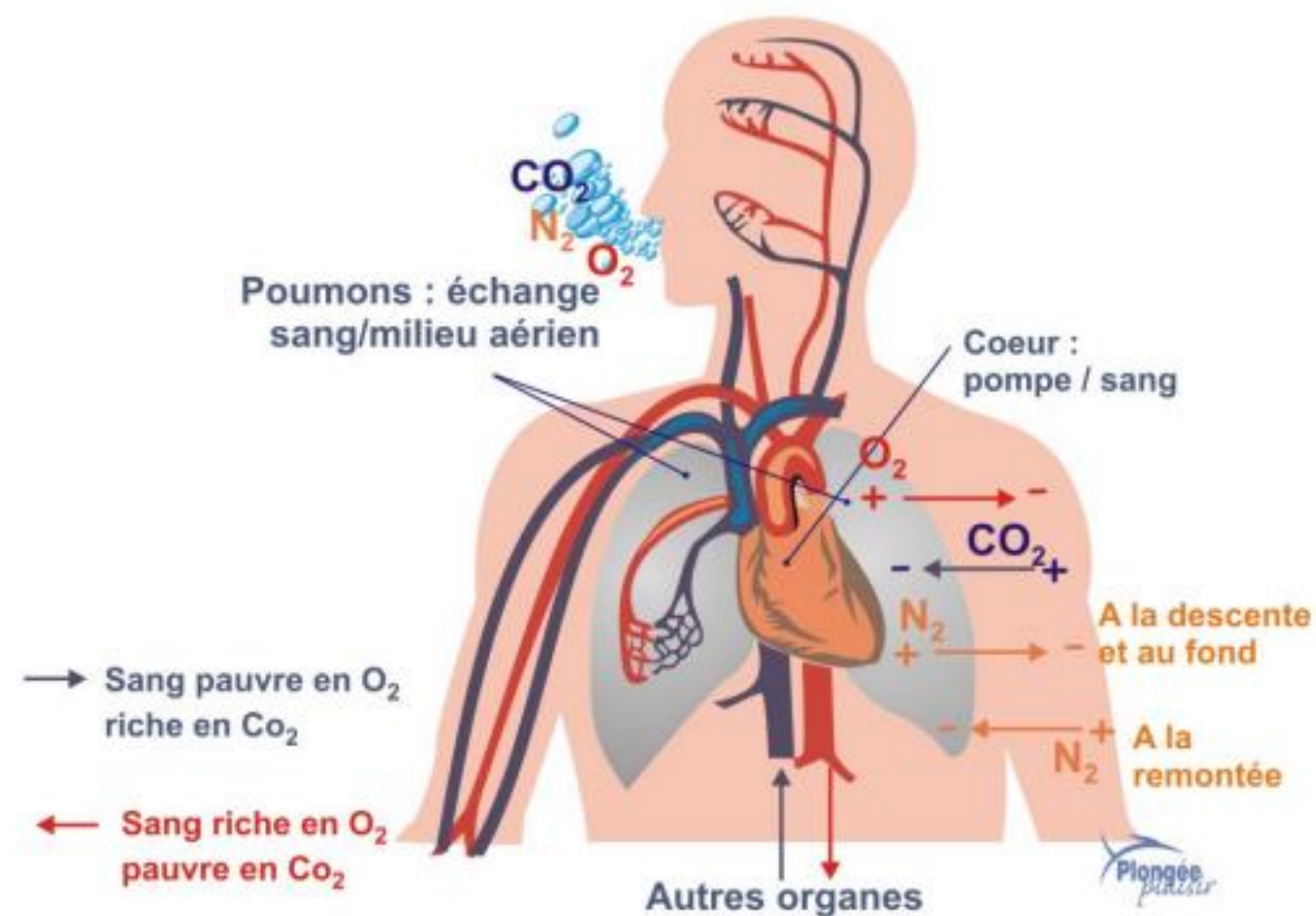
LES ECHANGES GAZEUX

- 2 phases :
 - Phase alvéolaire** : phase alvéolo capillaire
 - Phase tissulaire**
- Sang = transporteur
- Les échanges gazeux se font **par diffusion** du tissu le plus concentré en gaz vers le tissu le moins concentré en gaz.
 - La diffusion se fait par différences de Pp**
- L'O₂ fixé aux 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.
- 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 à effort identique.
 - Le gaz carbonique ne voit pas sa Pp varier avec la profondeur.**
 - La quantité de CO₂ rejeté par nos cellules dépend de l'activité musculaire et non de la profondeur



LES ECHANGES GAZEUX – EN IMMERSION

- Les détendeurs fournissent de l'air à pression ambiante.
- Les Pp de gaz inhalés ↗ avec la profondeur
- L'O₂ est consommé et ne pose pas de problème jusqu'à une certaine Pp (hyperoxie)
- La quantité N₂ dissoute augmente à la descente (augmentation de la PpN₂) et diminue à la remontée. Les échanges gazeux liés à l'N₂ imposent le respect des vitesses de remontée et des procédures de décompression



MODIFICATION DE LA VENTILATION EN IMMERSION

➤ MILIEU HYPERBARE : ↗ pression ambiante

- Compression thoracique et abdominale : ↘ élasticité de la cage thoracique
- ↗ masse volumique de l'air proportionnelle à la profondeur
↗ résistance à l'écoulement de l'air et présence de turbulences dans les voies aériennes
- Redistribution de la masse sanguine vers les organes centraux dont les poumons (bloodshift) : ↗ du volume sanguin intra thoracique :
↘ de la souplesse pulmonaire (vaisseaux gorgés). Volume pulmonaire diminué

➤ EQUIPEMENT

- Détendeur : résistance mécanique / dureté du détendeur -> inspiration + active et expiration active
- Combinaison, gilet : compression de la cage thoracique et gêne respiratoire

- ↘ de la fréquence ventilatoire, ventilation plus lente et plus ample
- Petite pause entre inspiration et expiration
- En plongée VRI et VRE sont particulièrement sollicités:
 - Adaptation à la ventilation
 - Stabilisation à l'aide du « poumon ballast »

DIMINUTION DE LA CAPACITE VENTILATOIRE

AUGMENTATION DU TRAVAIL VENTILATOIRE (muscles ventilatoires)

AUGMENTATION DE LA PRODUCTION CO2

RISQUE D'ESSOUFFLEMENT ACCRU, D'AUTANT PLUS IMPORTANT AVEC LA PROFONDEUR



CONTRÔLE ET REGULATION VENTILATOIRE

LE CO₂ EST LE STIMULUS ESSENTIEL DE LA VENTILATION

- La ventilation au repos est réflexe mais gérée par le système nerveux central (SNC). On peut ainsi provoquer les mouvements ventilatoires de façon consciente.
- Le déclenchement du **réflexe inspiratoire est commandé par l'excès de CO₂** (hypercapnie) et non par le manque d'O₂.
- Le taux de CO₂ dans le sang est **mesuré par des chémorécepteurs** situés à la périphérie du cœur et de bulbe rachidien
- Ils surveillent Le taux CO₂ dans le sang et peuvent déclencher l'augmentation du rythme et de l'amplitude de la ventilation.
- La régulation commande un accroissement de l'apport O₂ et non réduction du CO₂.

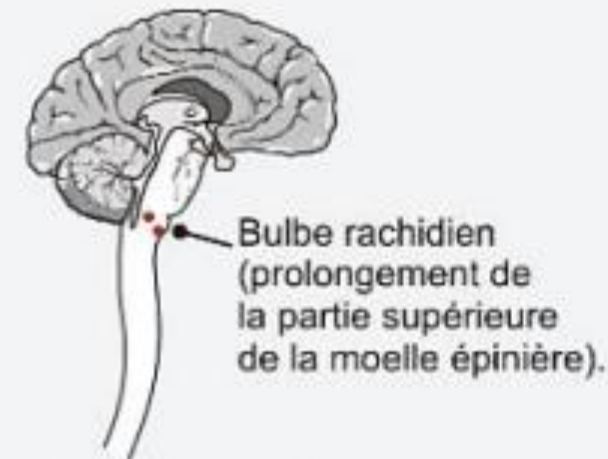
On a augmentation de l'inspiration alors qu'il faut **expirer pour évacuer le CO₂**



CHEMORECEPTEURS

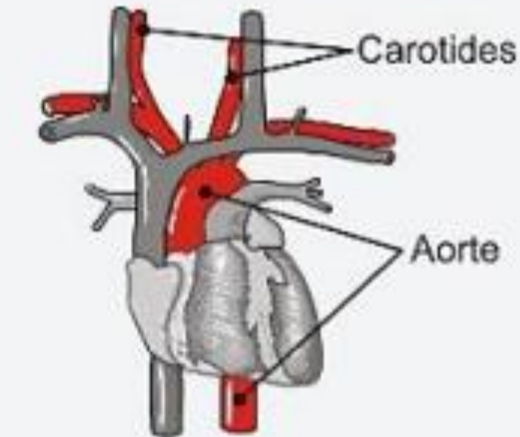
Lorsqu'il y a une augmentation du taux de CO₂ dans le sang artériel, cela stimule des récepteurs sensibles aux substances chimiques : les chémorécepteurs du bulbe rachidien (**chémorécepteurs centraux**) et ceux de l'aorte et des carotides (**chémorécepteurs périphériques**). Cela entraîne un mécanisme de régulation : augmentation de la fréquence et de l'amplitude ventilatoire, jusqu'à ce que le taux de CO₂ revienne à la normale.

TRONC CEREBRAL



Centres inspiratoire et expiratoire. Localisation des chémorécepteurs centraux.

COEUR

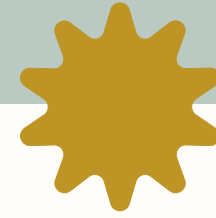


Localisation des chémorécepteurs périphériques.



EN CONCLUSION – VOTRE ROLE DE GP

- Votre rôle sera d'assurer une prévention **effective** et être expliquer **simplement** le pourquoi de cette prévention.
- Préserver une bonne ventilation chez le plongeur que vous encadrer
 - Vérifier l'équipement (surlestage, combinaison adapté, ouverture des blocs...)
 - Limiter les efforts avant l'immersion : réserver la ventilation avant l'immersion
 - Plonger en limitant tout effort
 - Apnées expiratoires de contrôle de 3 secondes en maintenant son niveau d'immersion.
 - Déceler et réagir **immédiatement** en cas d'essoufflement

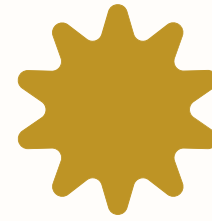


NIVEAU 4 : GUIDE DE PALANQUEE

LE SYSTEME CIRCULATOIRE



SCHMITT Kathy & HOUDE Maxime



OBJECTIF DE CE COURS



Notre système cardiovasculaire est soumis à des modifications au cours de l'immersion



Ces modifications peuvent entrainer 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

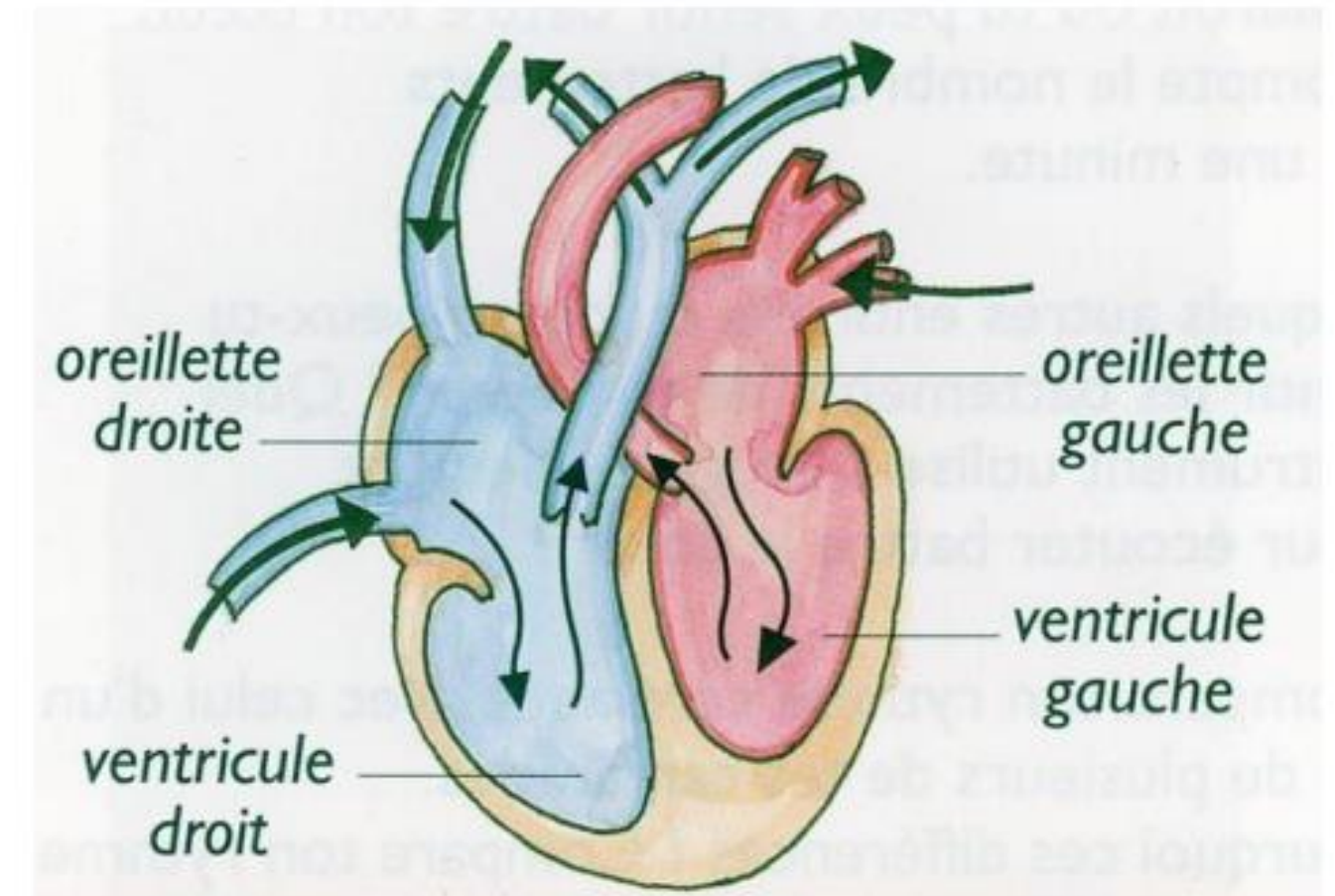


Vous serez amenés à répondre aux questionnements des plongeurs et à avoir un comportement préventif



LE COEUR

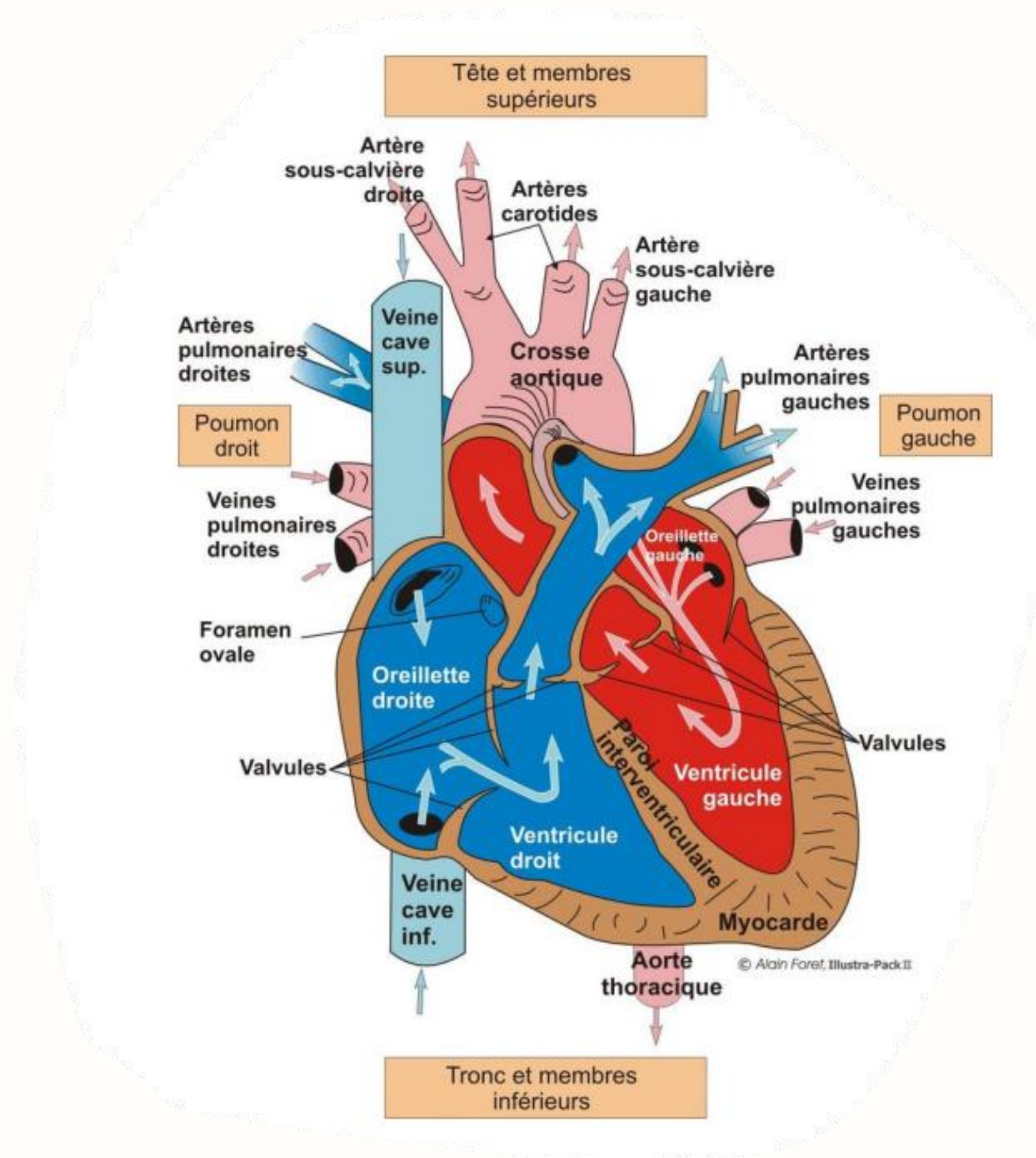
- Pour que le sang circule dans notre organisme il faut une pompe : c'est le **rôle du cœur**
- Muscle creux divisé en 2 parties et séparé par une paroi musculaire
 - côté droit
 - côté gauche
- Il possède 4 cavités :
 - 2 oreillettes
 - 2 ventricules
- Par convention, on dessine la personne en face de nous
 - Le cœur gauche est représenté en rouge
 - Le cœur droit est représenté en bleu





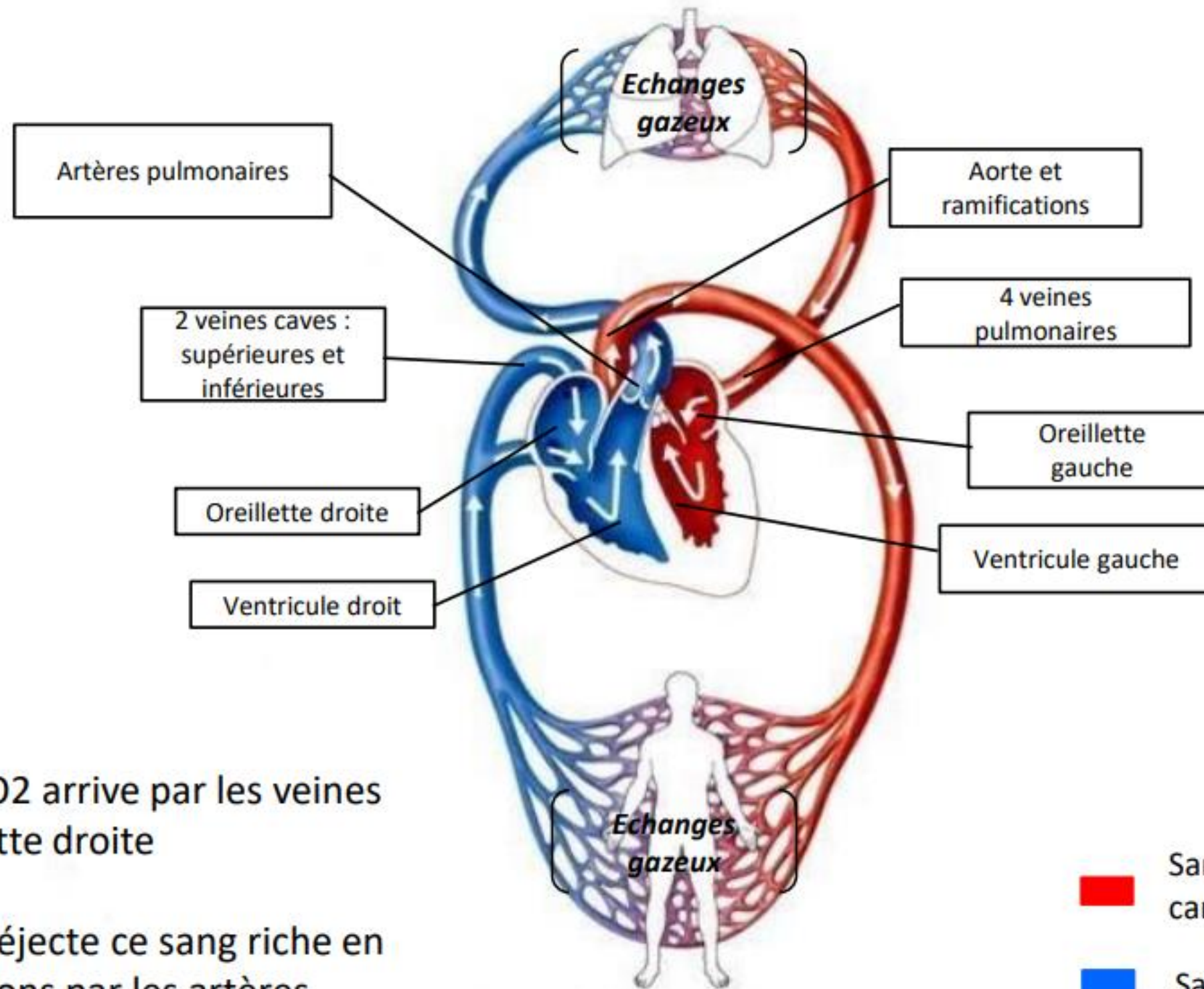
REGULATION CARDIAQUE

- 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, ...





LE COEUR



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

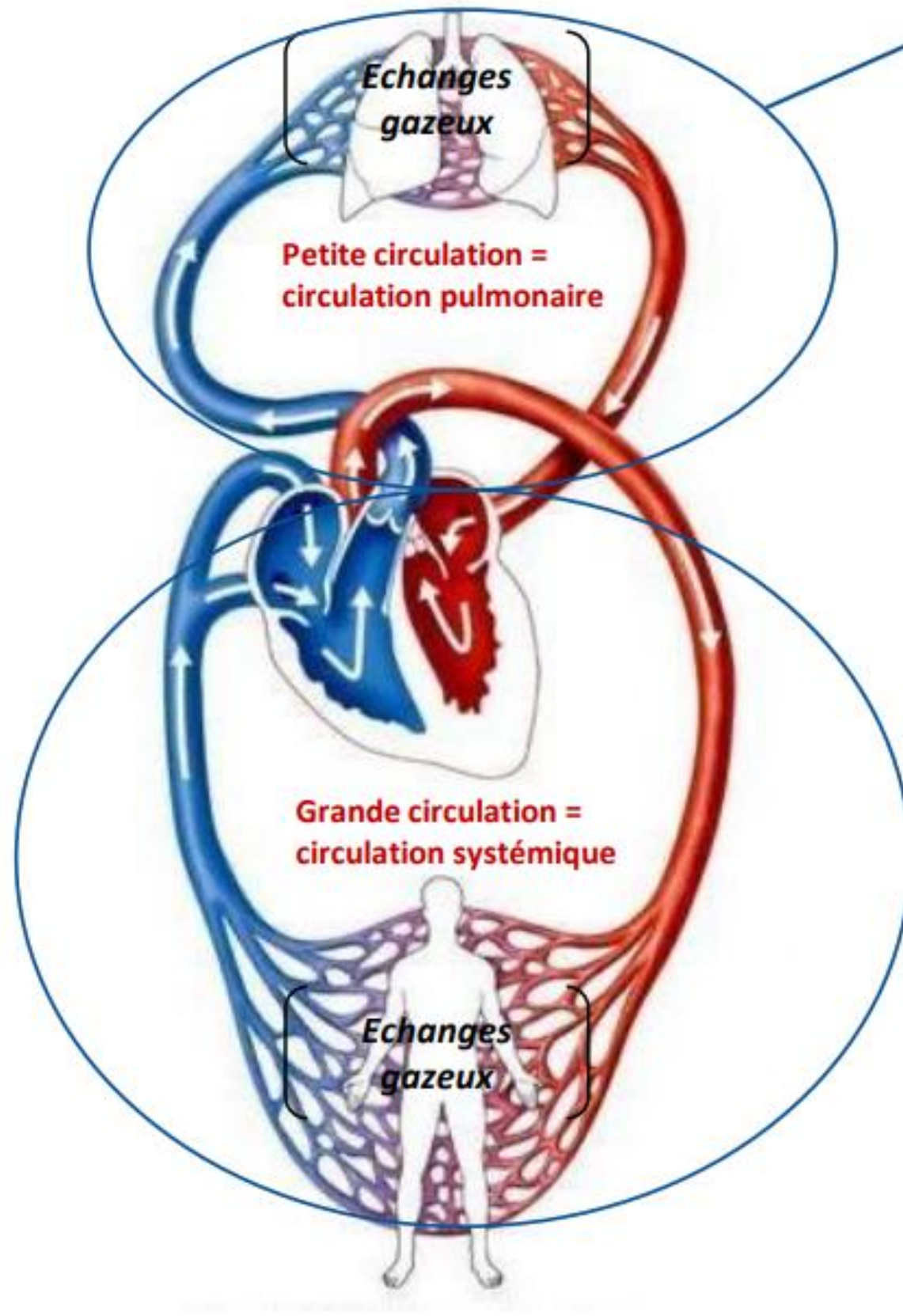
Le cœur droit :

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



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.

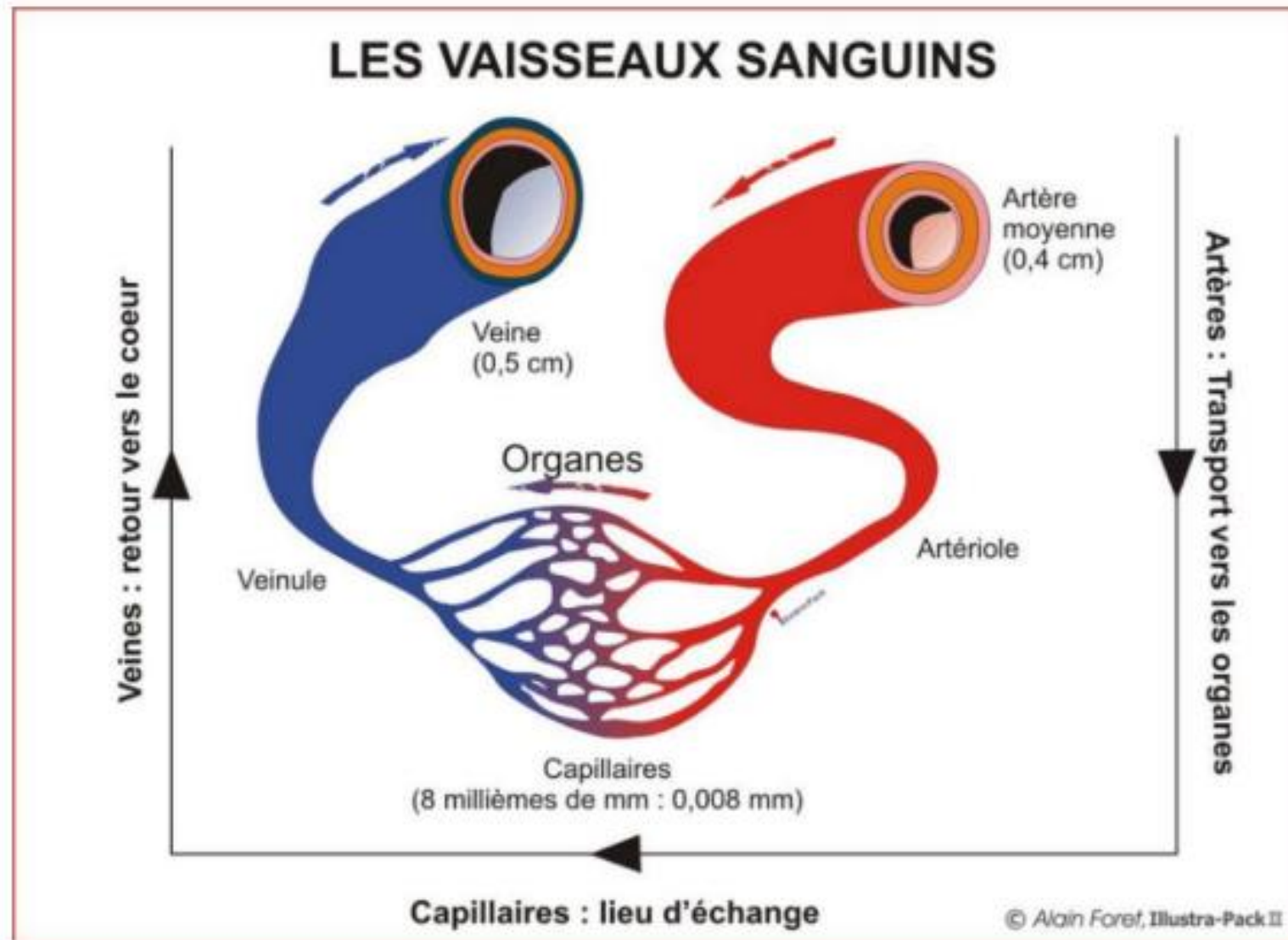
Les déchets produits dans les tissus (CO₂) sont transférés au sang et envoyé au cœur droit

Echanges gazeux aux niveaux des capillaires sanguins

Charge et décharge de N₂ dans tous les tissus / organes



LES VAISSEAUX SANGUINS



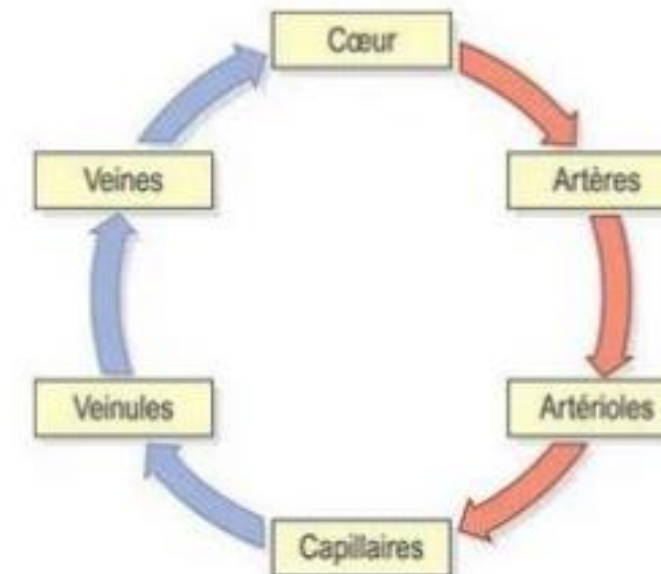
Les artères :

- 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

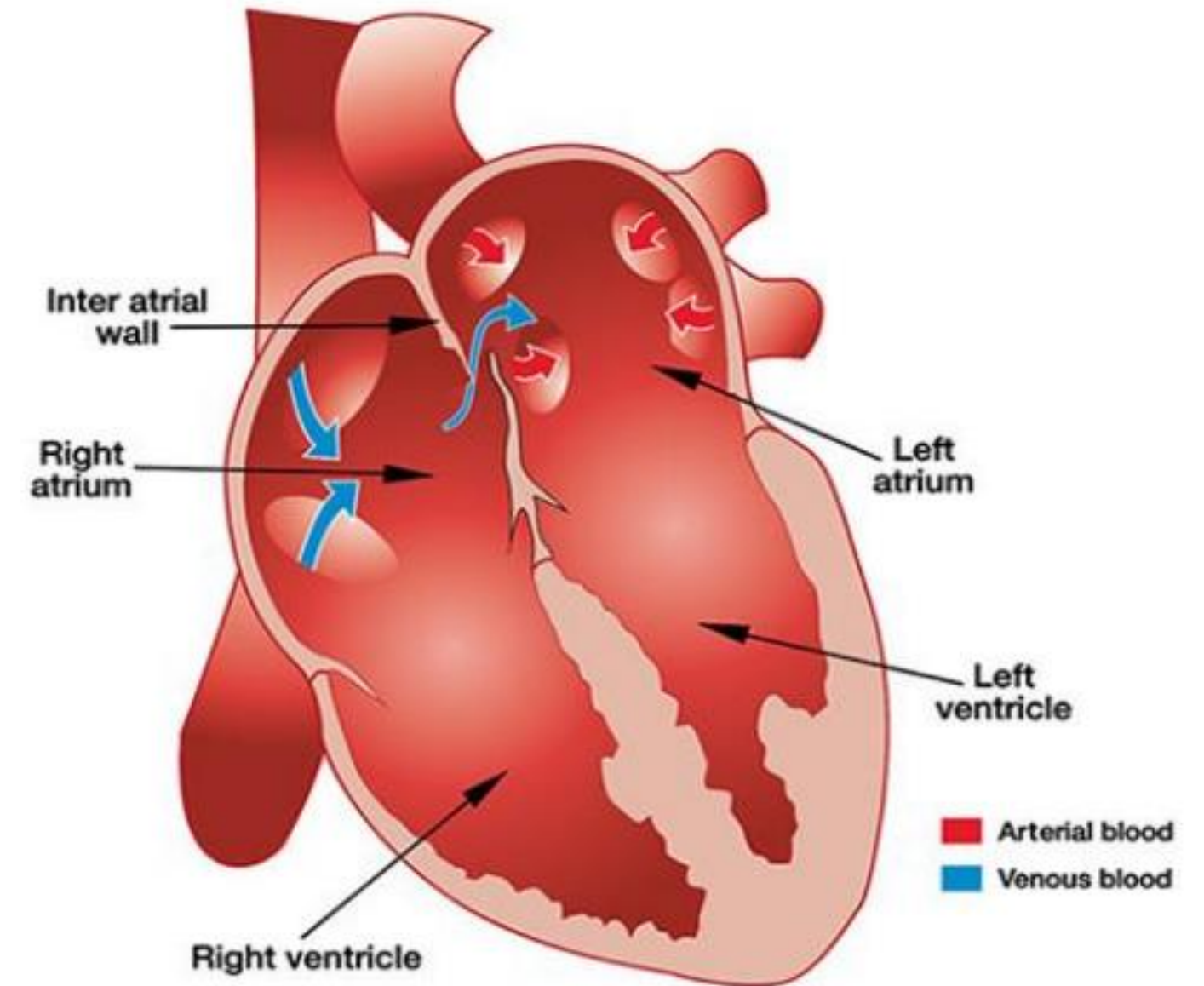
A la naissance, un clapet dans l'oreillette gauche recouvre ce FOP et le ferme

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.

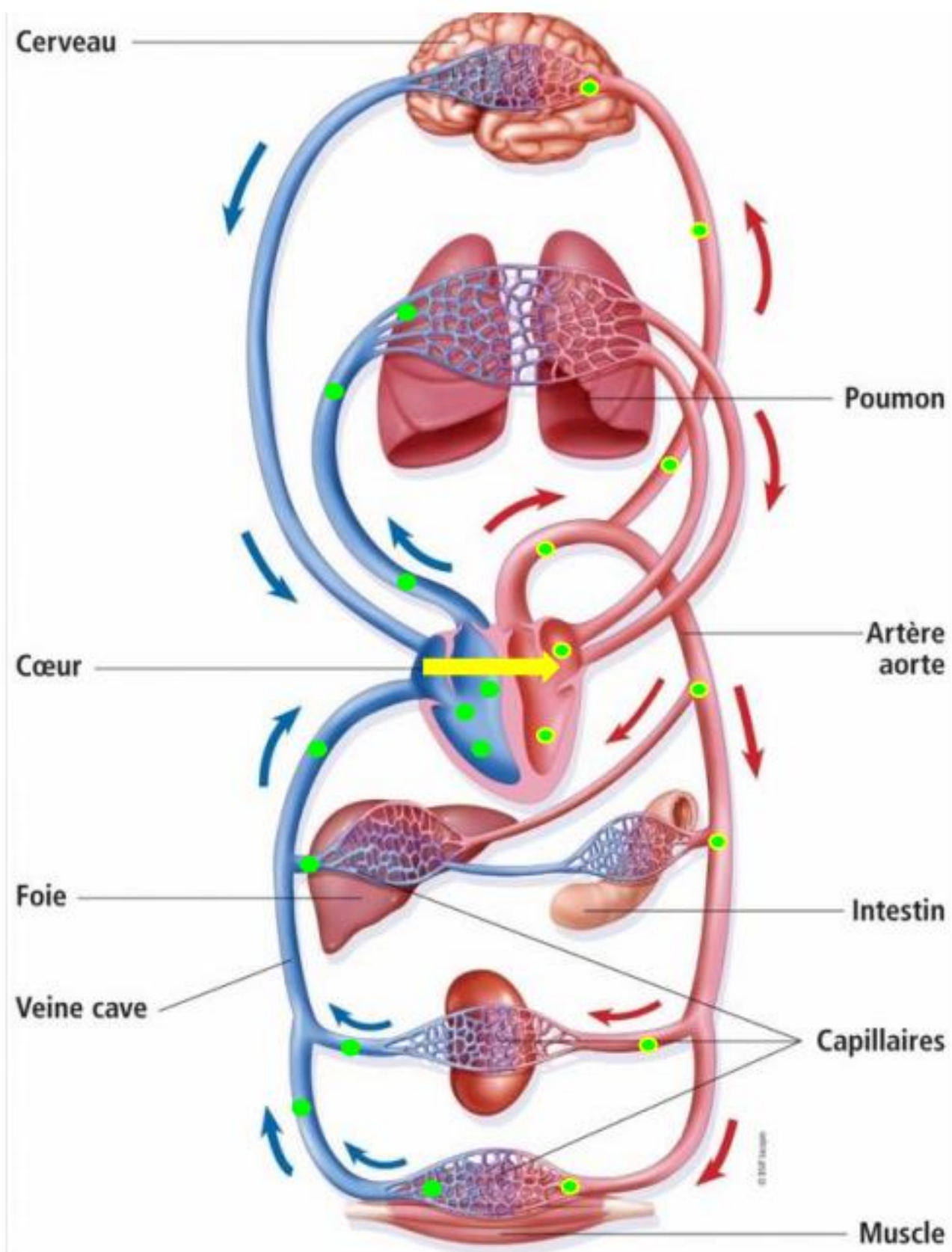
Un passage s'établit :

- 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

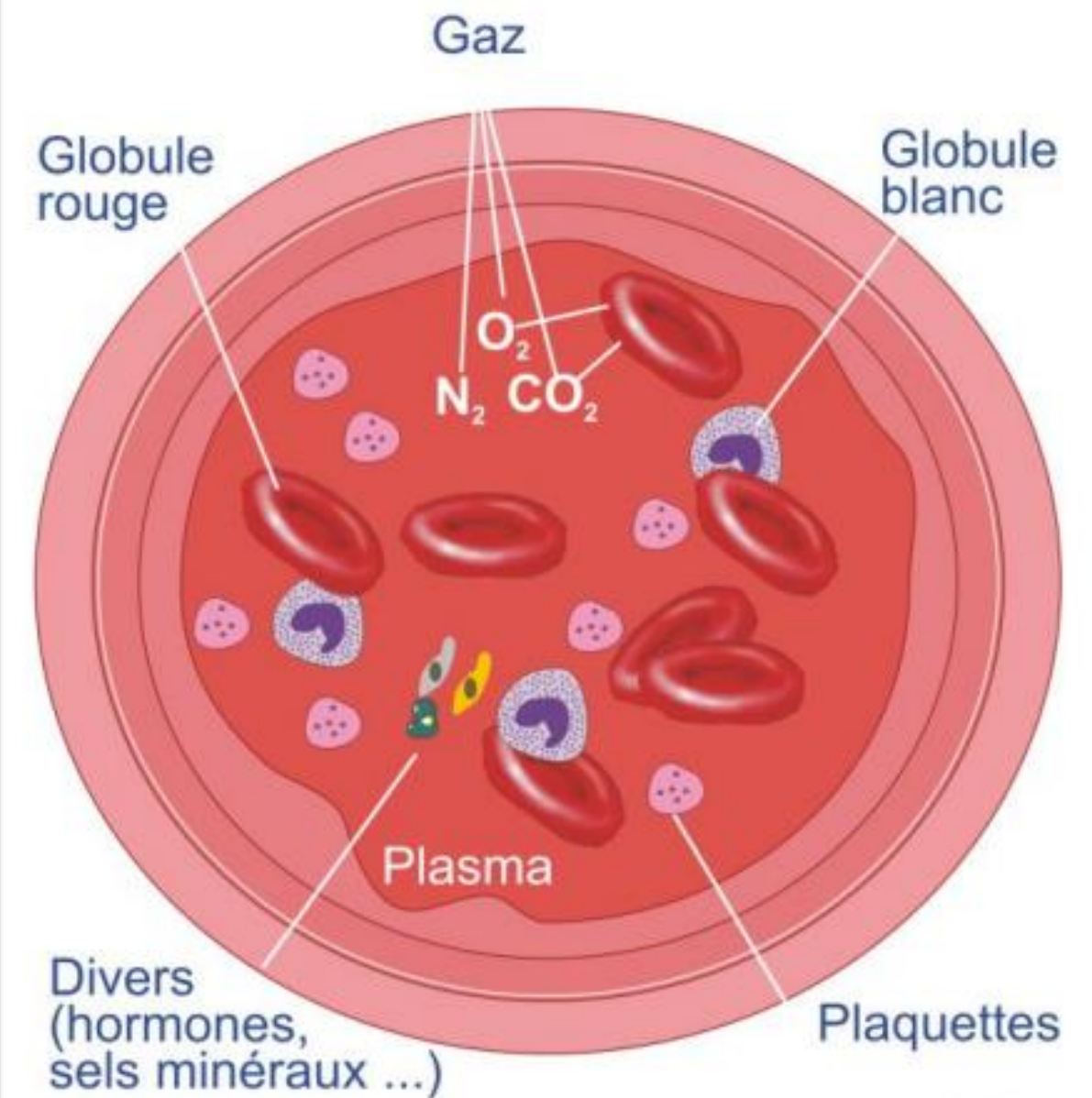
Se faire aider / proposer son aide



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

Le sang : un transporteur





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.

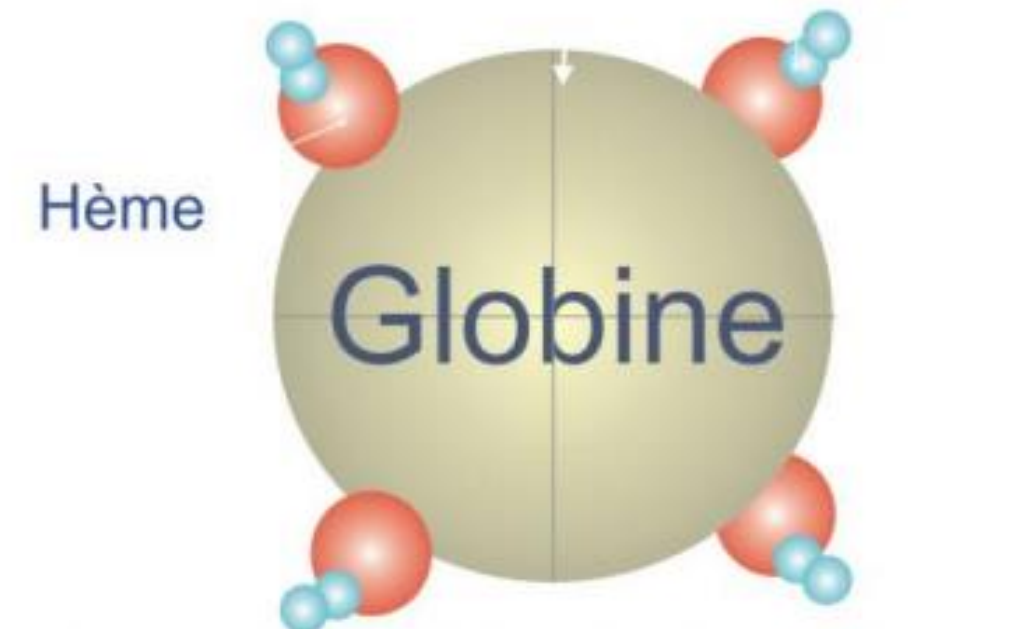
L'O₂ fixé sur les molécules d'hémoglobine est libéré peu à peu dans le plasma et va diffuser dans les tissus
- La part d'oxygène dissous est augmentée lorsque l'on respire de l'oxygène pur

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 +

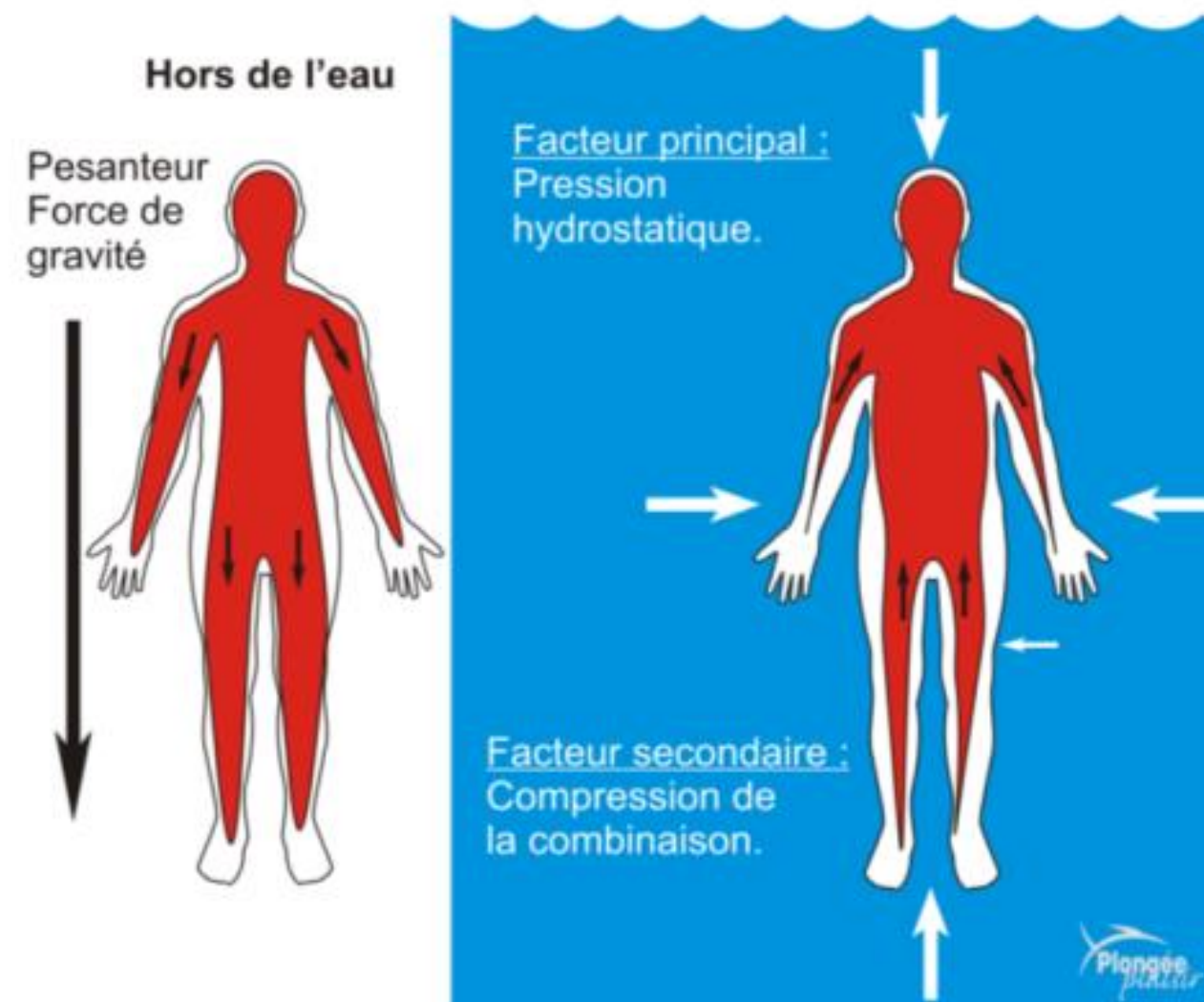
O₂ +++

CO ++++++



IMMERSION ET CIRCULATION SANGUINE

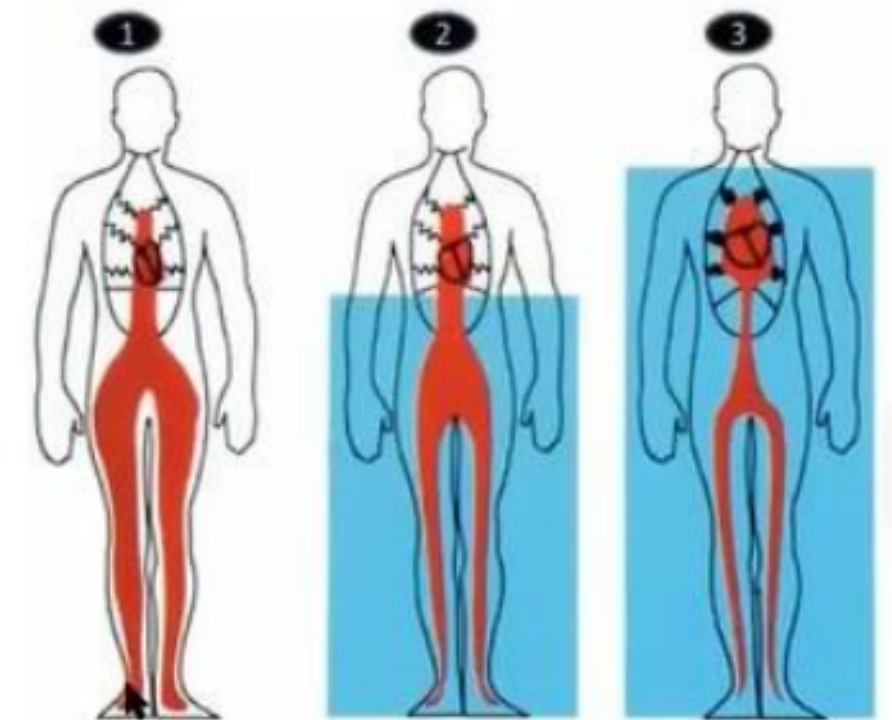
- L'eau est un milieu qui sollicite fortement le système cardio vasculaire et respiratoire
- En immersion, l'augmentation de la pression ambiante sur les parties molles provoque un transfert de sang compris entre 250 et 700 ml de sang vers le cœur.
- Redistribution de la masse sanguine des extrémités 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 entraîne le rétablissement d'un rythme cardiaque proche de la normale



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