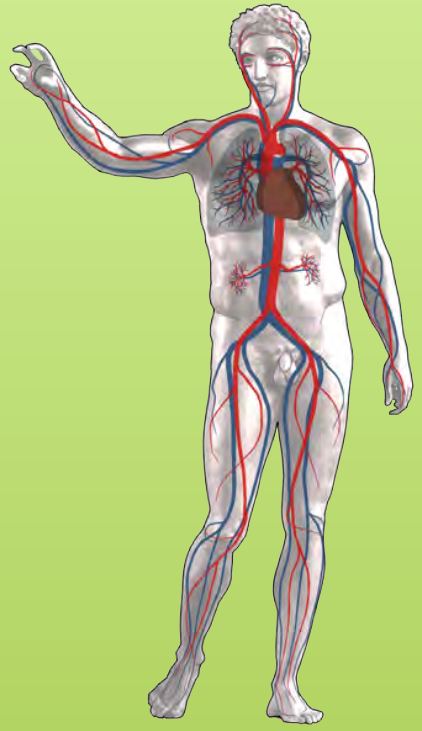
Le système cardio-ventilatoire

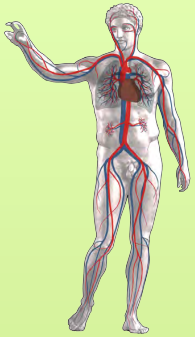
Préparation niveau 4



Arnaud Mélèse
MF2 n°2032
Nitrox n°7491

plouf@melese.com
http://plouf.melese.com

Version de novembre 2014



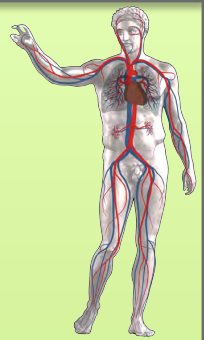
Objectif

- Le **système cardio-ventilatoire** 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

- Il peut être le siège de divers accidents en plongée : accident de désaturation, essoufflement, surpression pulmonaire…

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-ventilatoire

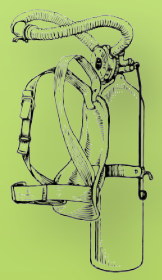


Le système cardio-vasculaire

- la circulation
- le cœur
- le cycle cardiaque
- les vaisseaux sanguins
- le sang
- hématies et hémoglobine
- la lymphe
- adaptation du rythme cardiaque

Le système ventilatoire

- anatomie des voies aériennes
- alvéoles pulmonaires
- mécanique ventilatoire
- volumes pulmonaires
- régulation de la ventilation

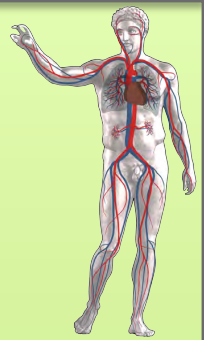


Adaptation à la plongée

- « blood shift »
- notion d'espace mort
- foramen ovale perméable (shunt cardiaque)
- œdème aigu du poumon
- les enfants et la plongée

Exemples d'annales d'examen niveau 4

Le système cardio-ventilatoire

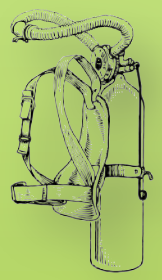


Le système cardio-vasculaire

- la circulation
- le cœur
- le cycle cardiaque
- les vaisseaux sanguins
- le sang
- hématies et hémoglobine
- la lymphe
- adaptation du rythme cardiaque

Le système ventilatoire

- anatomie des voies aériennes
- alvéoles pulmonaires
- mécanique ventilatoire
- volumes pulmonaires
- régulation de la ventilation



Adaptation à la plongée

- « blood shift »
- notion d'espace mort
- foramen ovale perméable (shunt cardiaque)
- œdème aigu du poumon
- 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
- 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)

La circulation

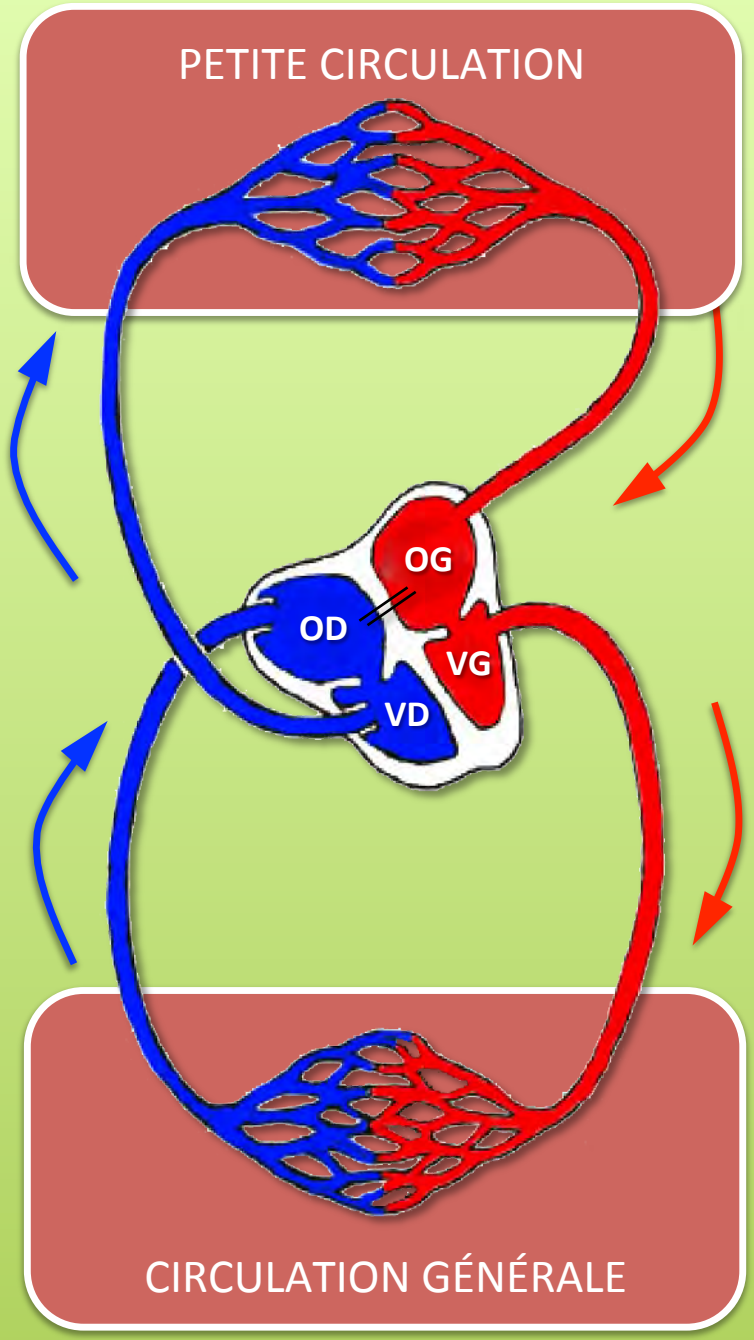
Le sang se charge en O_2 au niveau des **poumons** et arrive au **cœur** par l'oreillette gauche

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



Poumons

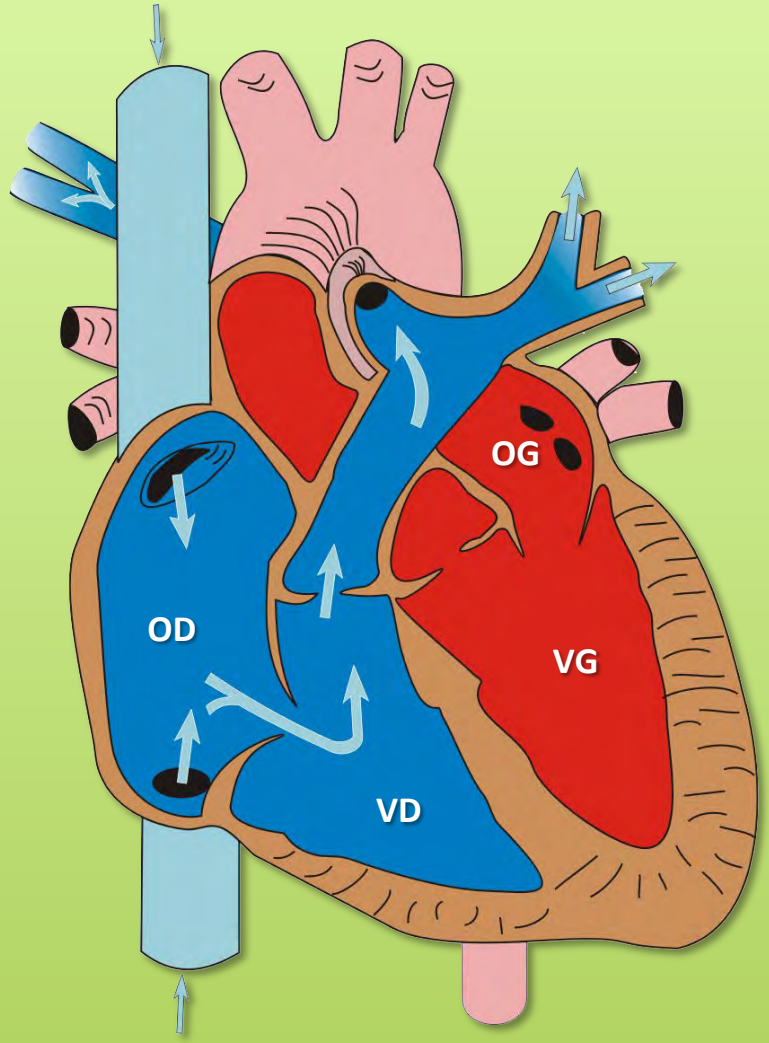
Tissus
Organes
Cerveau

Le cœur

- Organe situé dans le **médiastin** et reposant sur le diaphragme, il pointe vers la gauche

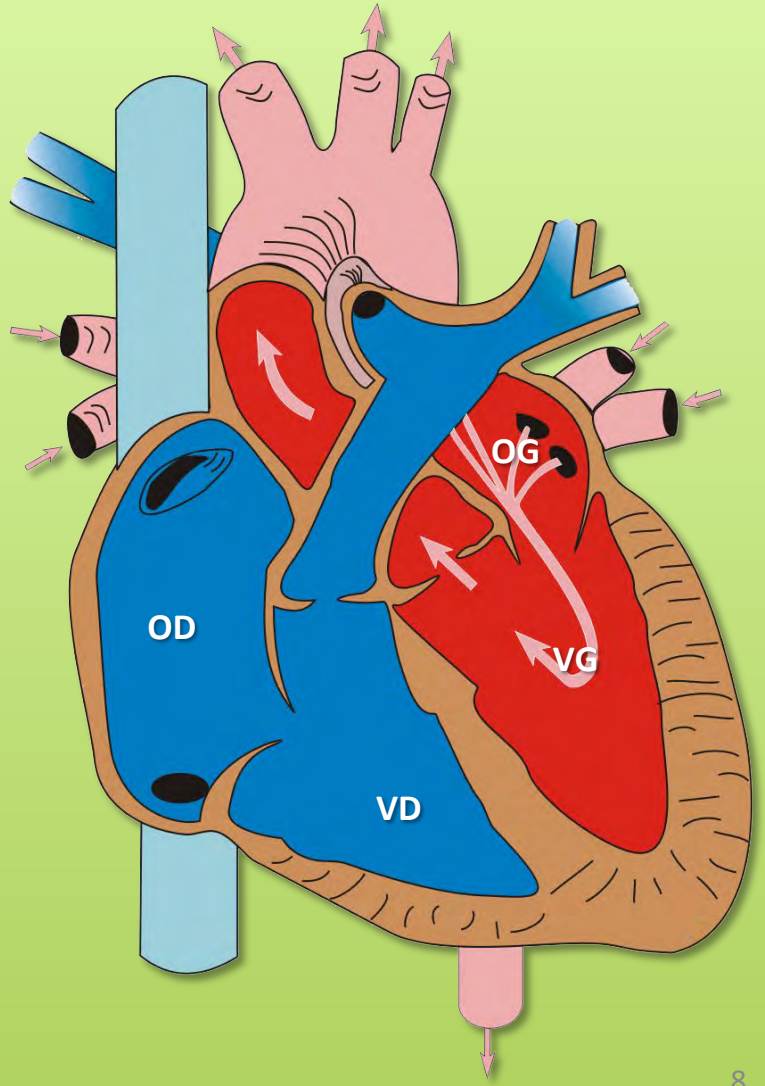
- Il est gros comme le poing et pèse environ 300 g

- 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



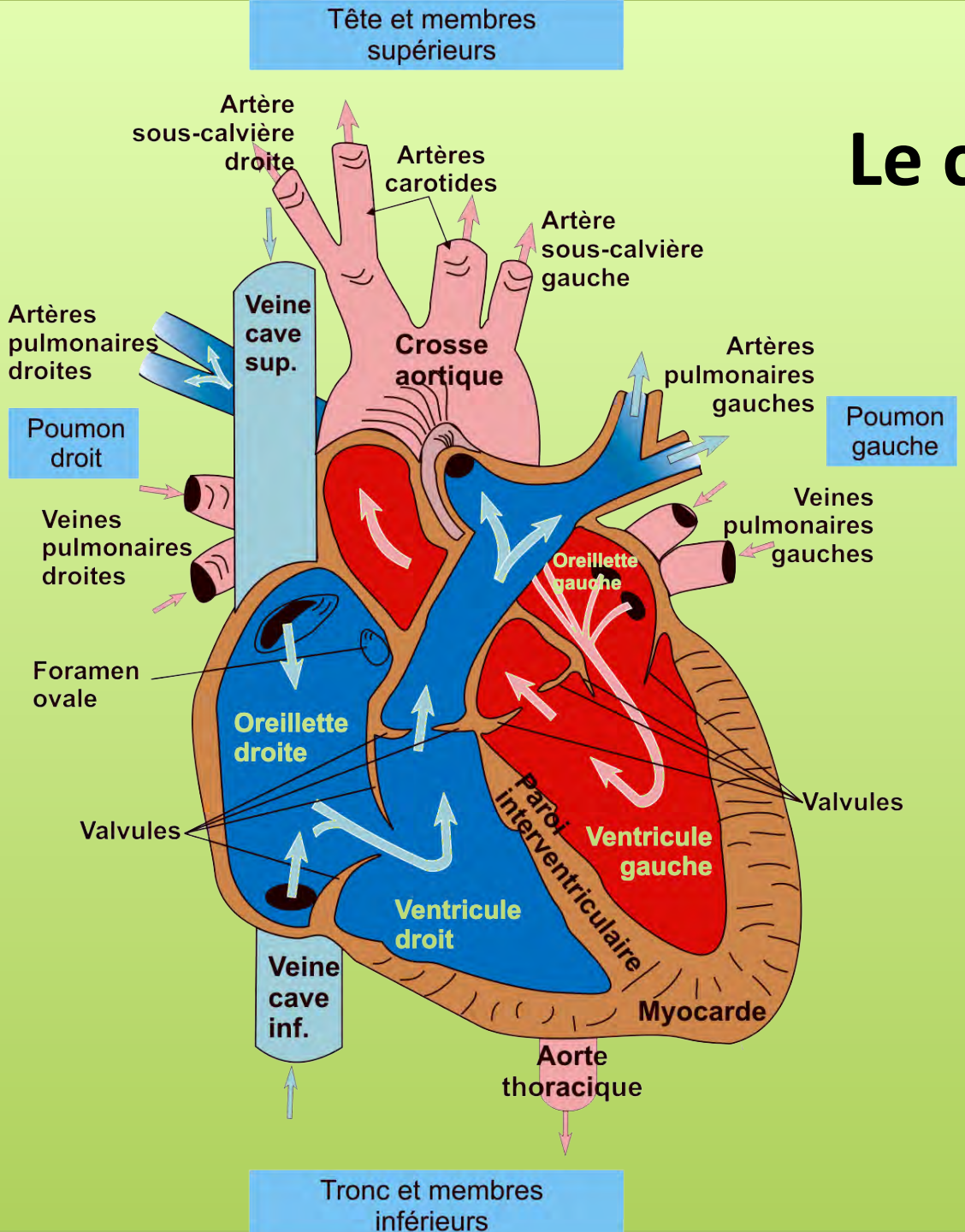
Le cœur

- Le sang arrive au cœur par les oreillettes et le quitte par les ventricules
- Il est lui-même irrigué par les artères coronaires
- 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


Tête et membres supérieurs
Artère sous-calvière droite
Artères carotides
Artère sous-calvière gauche
Artères pulmonaires droites
Veine cave sup.
Crosse aortique
Artères pulmonaires gauches
Poumon droit
Poumon gauche
Veines pulmonaires droites
Veines pulmonaires gauches
Oreillette gauche
Foramen ovale
Oreillette droite
Valvules
Valvules
Paroi interventriculaire
Ventricule gauche
Ventricule droit
Veine cave inf.
Myocarde
Aorte thoracique
Tronc et membres inférieurs

Le cycle cardiaque

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

Relâchement du myocarde et admission du sang dans les oreillettes

- **Systole auriculaire** (~0,25 sec)

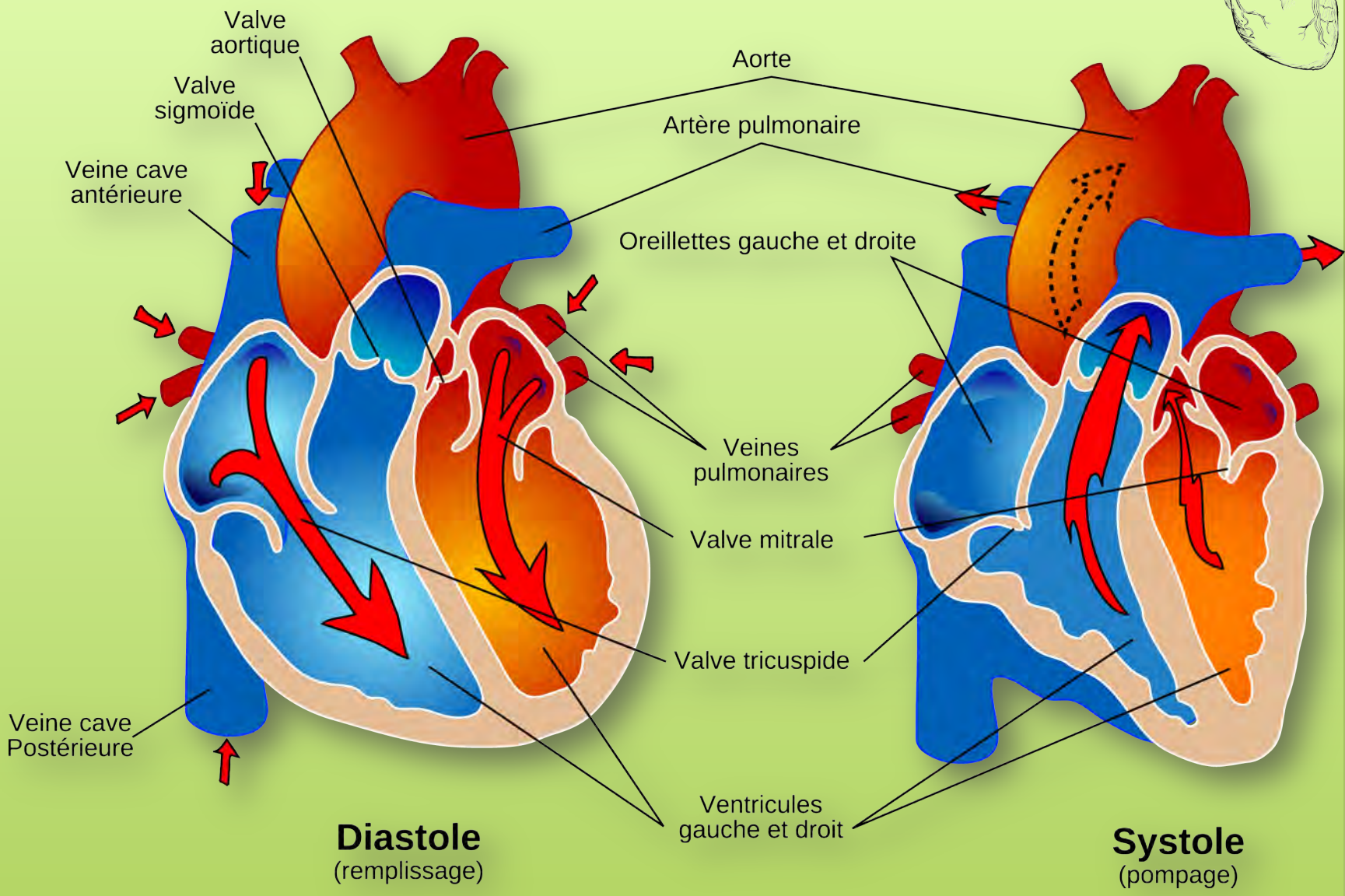
Passage des oreillettes aux ventricules

- **Systole ventriculaire** (~0,25 sec)

Le sang est comprimé dans les ventricules puis chassé dans les artères

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

Le cycle cardiaque



Les vaisseaux sanguins

- **Artères**

Diamètre décroissant des troncs artériels aux capillaires artériels

Les artères de gros calibre sont élastiques et pourvues de muscles lisses (vasomotricité*). La pression y est importante et la circulation discontinue

- **Veines**

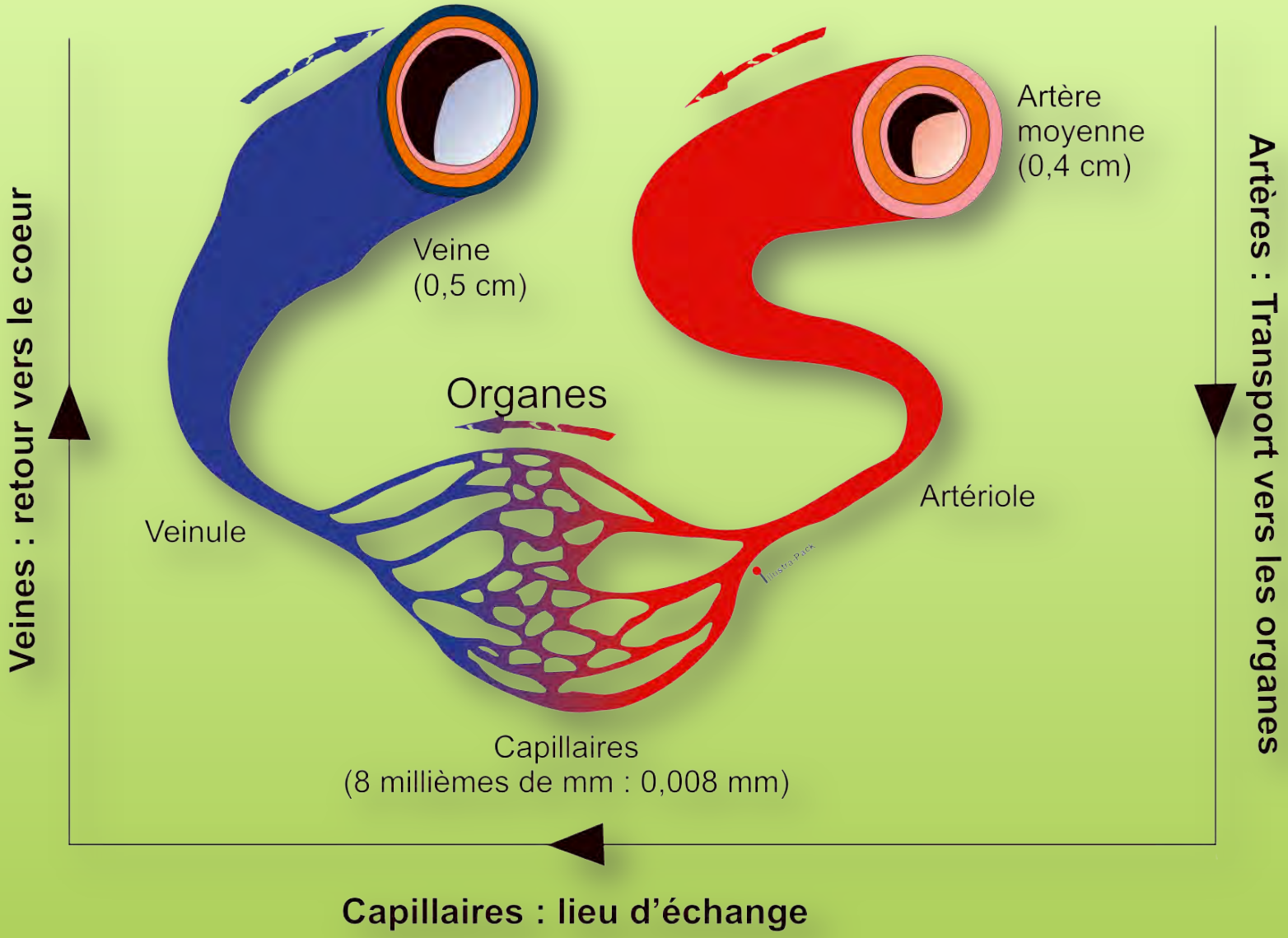
De diamètre croissant des capillaires veineux aux troncs veineux, la pression sanguine y est très basse et de faible débit

- **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

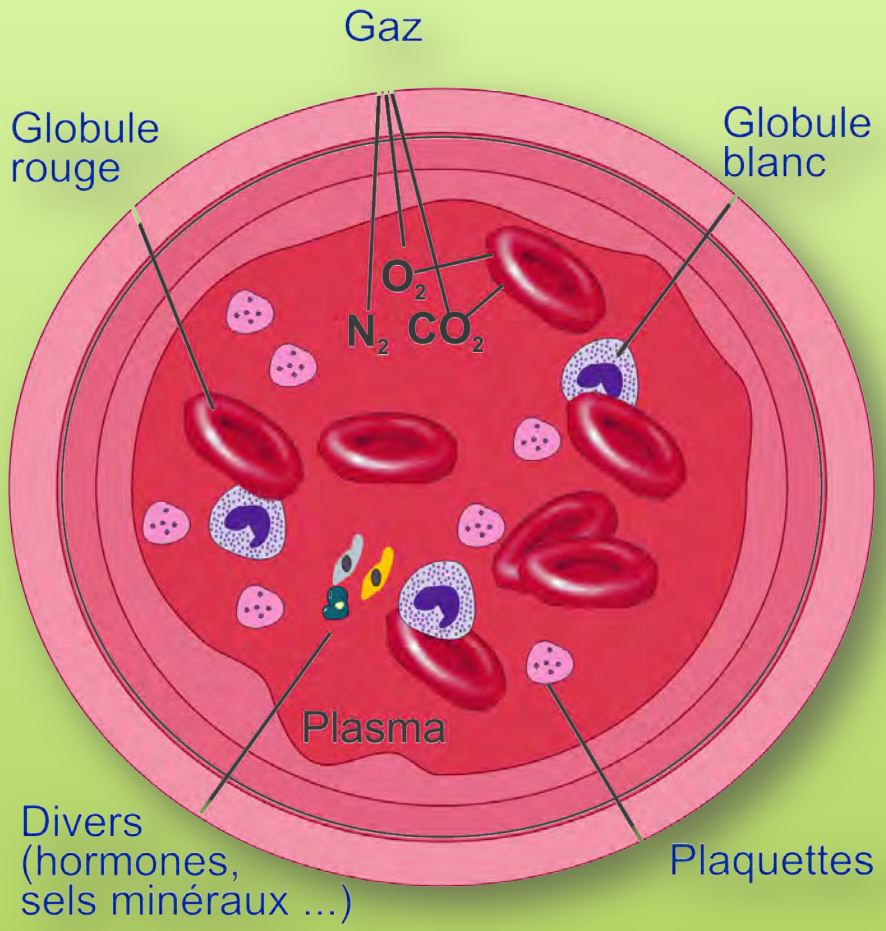


Le sang

Le sang est composé de

- **55 % plasma** : eau (90 %), sels minéraux (sodium, potassium, calcium...), protéines (albumine, immunoglobulines...), 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 messager (hormones), de régulateur (température, hydratation), de protecteur (plaquettes, leucocytes)

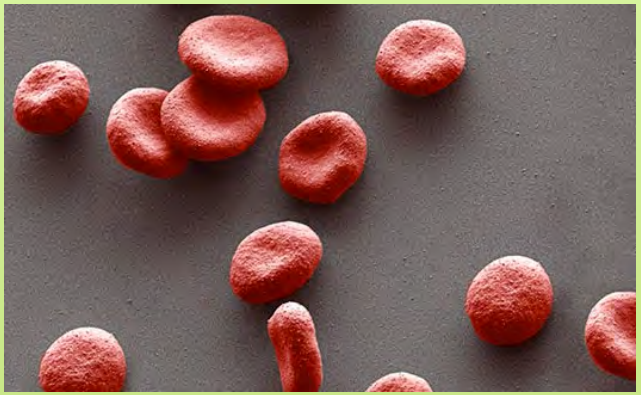
- Transport des gaz dans le sang :
  - **O_2** : combiné à l'hémoglobine (98 %) ou sous forme dissoute (2 %)
  - **CO_2** : libre sous forme d'acide carbonique (87 %), combiné à l'hémoglobine (8 %) ou dissout (5 %)
  - **N_2** : entièrement dissout dans le plasma

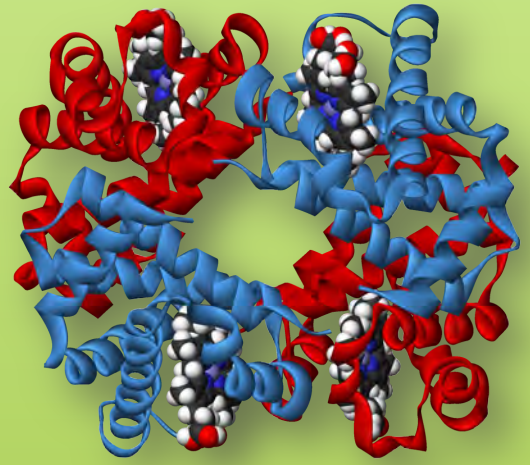
Hématies et hémoglobine

- Chaque globule rouge contient 280 millions de molécules d'hémoglobine (Hb)

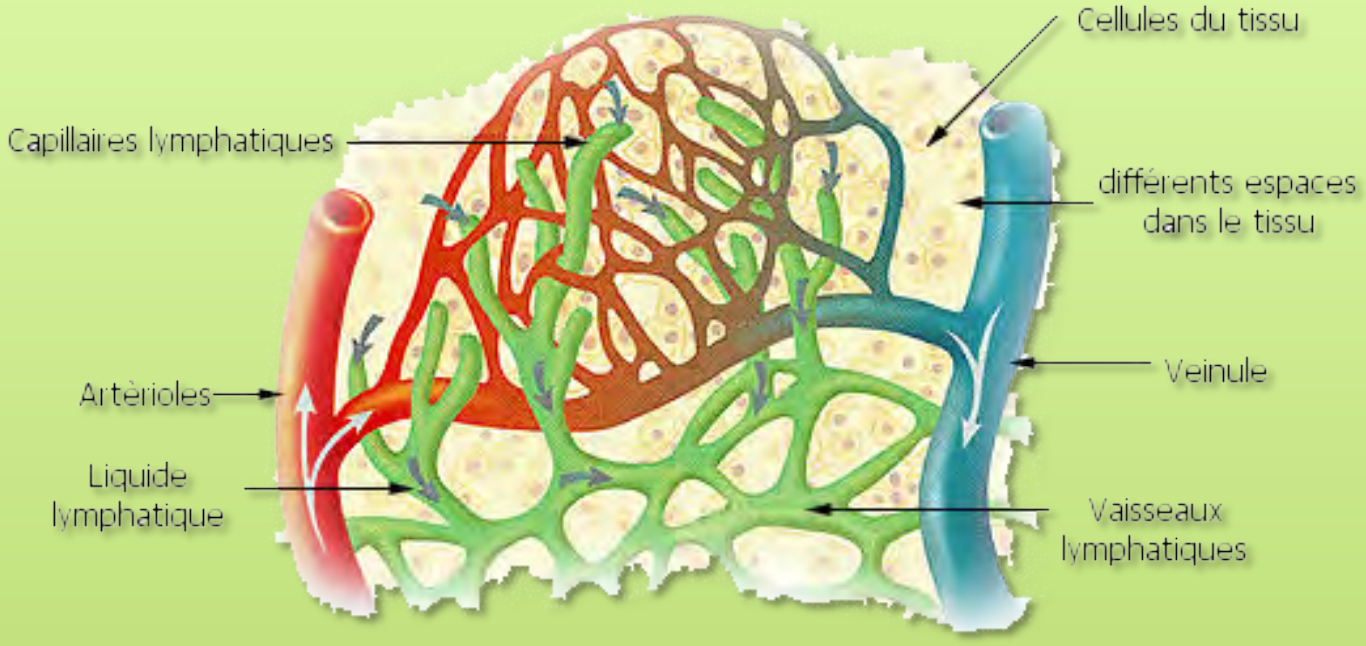
- Une molécule d'hémoglobine est formée de 4 hèmes qui fixent les molécules d'O_2

- 98 % de l'O_2 est véhiculé par l'Hb. Ce sont les 2 % restant qui participent aux échanges gazeux (alvéoles, cellules)





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

Adaptation du rythme cardiaque

- Automatisme contrôlé 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)

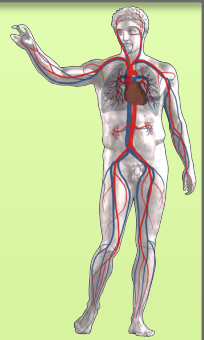
- **Bradycardie** (ƒ < 60 batt/min)

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

- **Tachycardie** (ƒ > 100 batt/min)

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

Le système cardio-ventilatoire

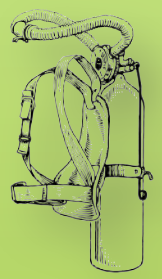


Le système cardio-vasculaire

- la circulation
- le cœur
- le cycle cardiaque
- les vaisseaux sanguins
- le sang
- hématies et hémoglobine
- la lymphe
- adaptation du rythme cardiaque

Le système ventilatoire

- anatomie des voies aériennes
- alvéoles pulmonaires
- mécanique ventilatoire
- volumes pulmonaires
- régulation de la ventilation

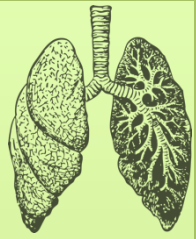


Adaptation à la plongée

- « blood shift »
- notion d'espace mort
- foramen ovale perméable (shunt cardiaque)
- œdème aigu du poumon
- les enfants et la plongée

Exemples d'annales d'examen niveau 4

Le système ventilatoire



- Il permet l'apport d'O_2 à l'organisme, l'évacuation du CO_2 produit et l'élimination du N_2 accumulé en plongée
- Il est très sollicité en plongée (poumon ballast, gaz) et peut être le siège d'accidents (surpression pulmonaire, ADD)
- Le guide de palanquée doit connaître son anatomie et sa physiologie afin d'optimiser son adaptation au milieu marin et de prévenir les accidents qui y sont liés

<u>Définitions</u>

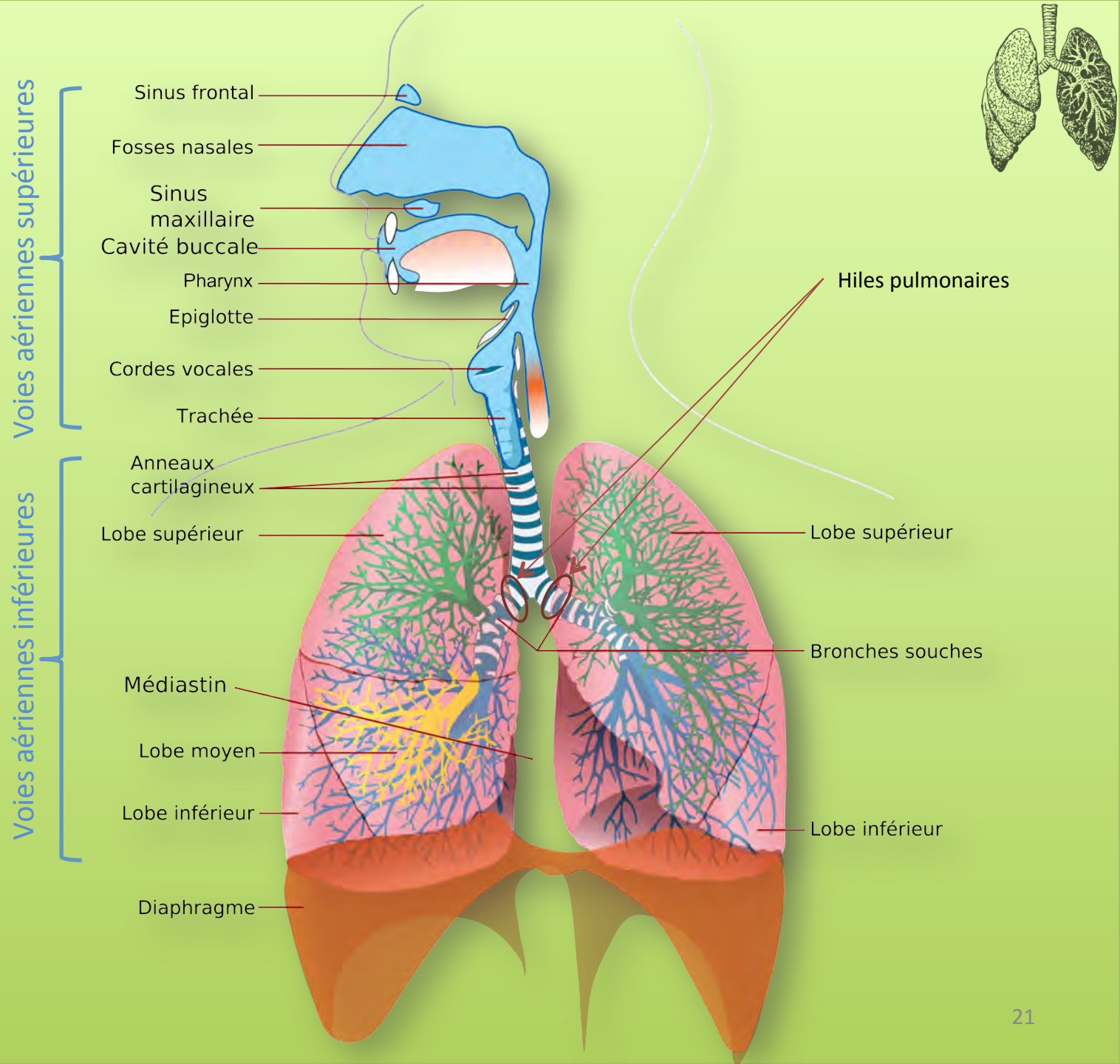
Ventilation

Processus mécanique (soufflet pulmonaire) d'inspiration et d'expiration

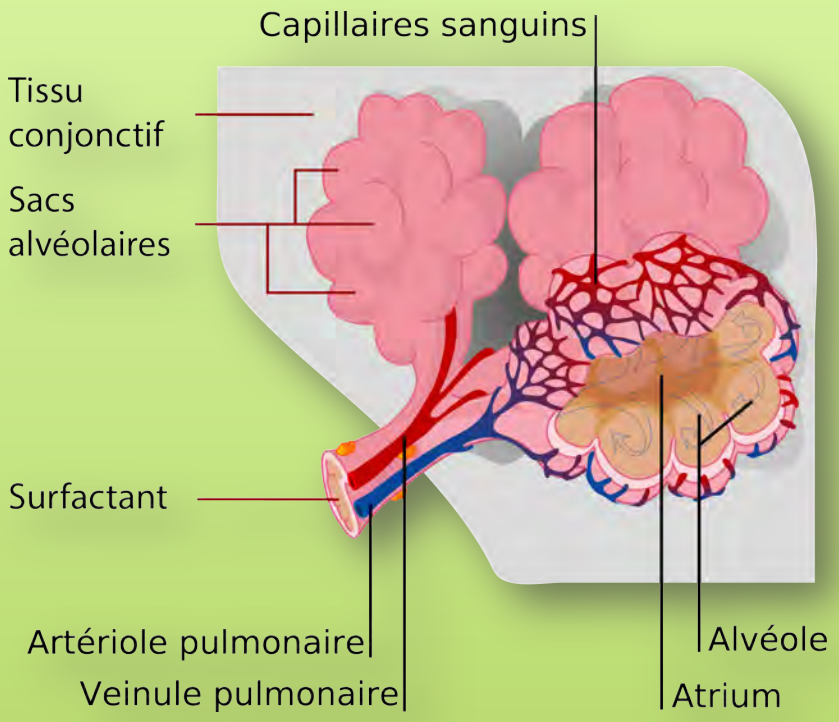
Respiration

Réaction chimique cellulaire de combustion de l'O_2 produisant de l'énergie et du CO_2

Anatomie des voies aériennes

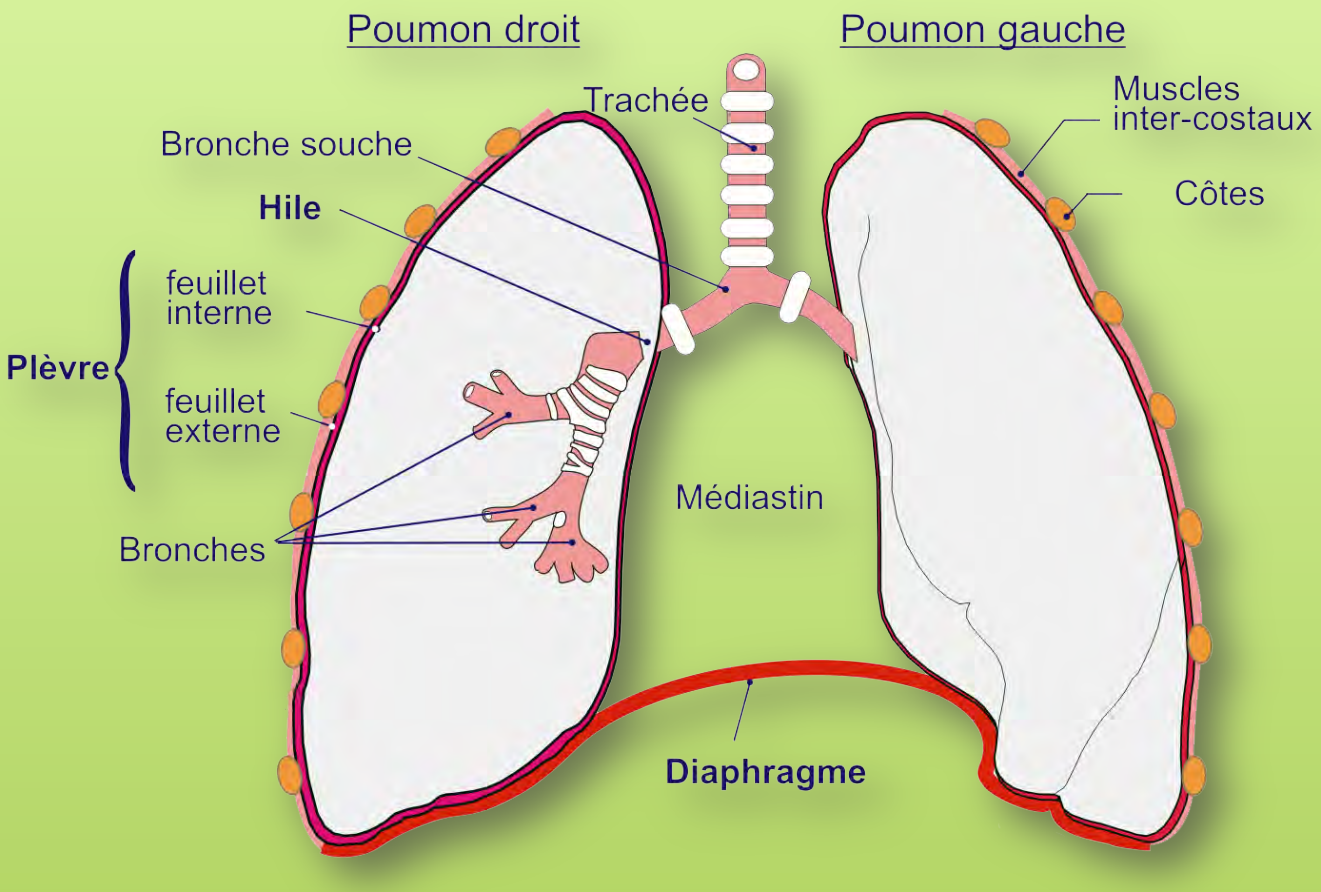


Alvéoles pulmonaires



- Siège des échanges gazeux entre les gaz de l'air et du sang (**hématose**)
- Situées à l'extrémité des bronchioles et regroupées en sacs alvéolaires elles sont séparées des capillaires par la **membrane avéolo-capillaire**
- Elles sont tapissées de **surfactant** qui assure leur maintien
- Aplaties, elles auraient une surface d'environ 150 à 200 m^2

Mécanique ventilatoire



- **Cage thoracique**

Délimitée par les côtes, la colonne vertébrale et le diaphragme

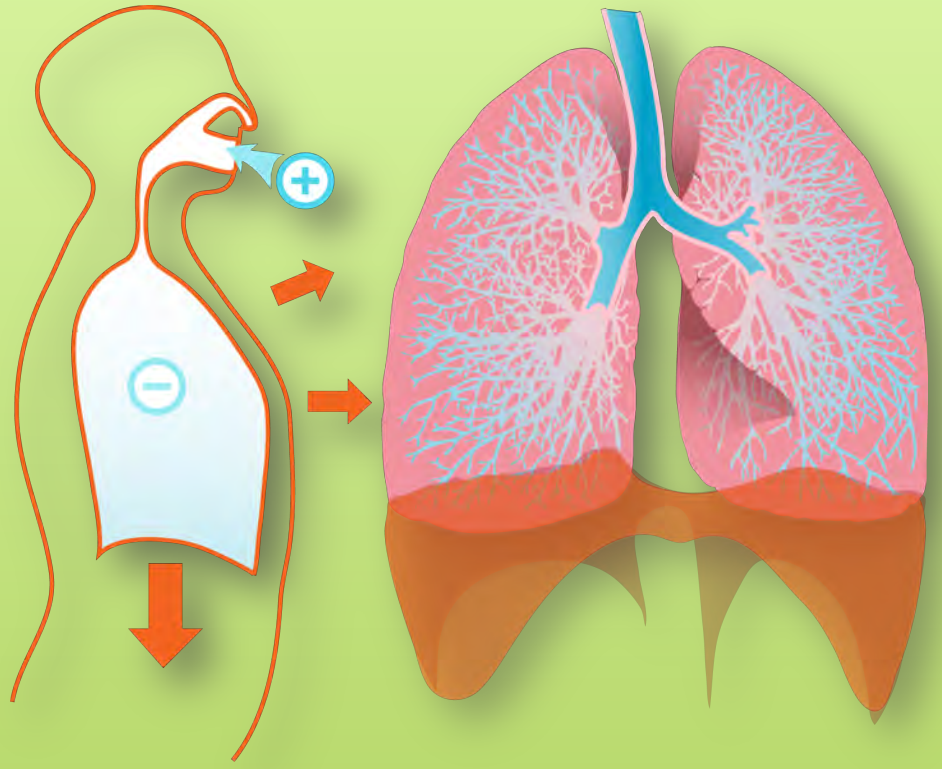
- **Hile**

Orifice de passage des vaisseaux sanguins pulmonaires, bronches, vaisseaux lymphatiques et nerfs

- **Plèvre**

Composée de 2 feuillets (viscéral et pariétal) séparés par un liquide assurant solidarité et lubrification

Mécanique ventilatoire : inspiration

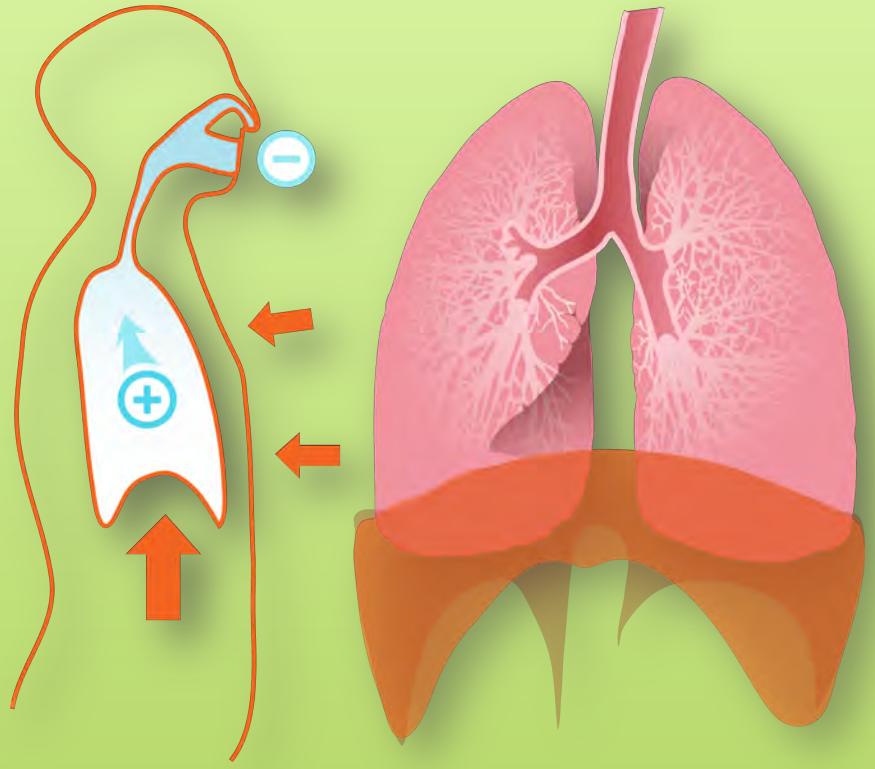


- Elle est **active** : contraction du diaphragme et des muscles intercostaux créant une dépression qui fait pénétrer l'air dans les poumons

L'air inspiré est réchauffé et humidifié par les fosses nasales, puis arrive aux bronches, bronchioles et alvéoles pulmonaires

En plongée, l'**effort inspiratoire** est augmenté par la ventilation sur détendeur, la combinaison, la ceinture de lest

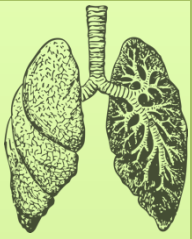
Mécanique ventilatoire : expiration



- Elle est passive en surface (relâchement des muscles)

Elle devient **active** en immersion à cause de la dureté du détendeur

Les volumes pulmonaires



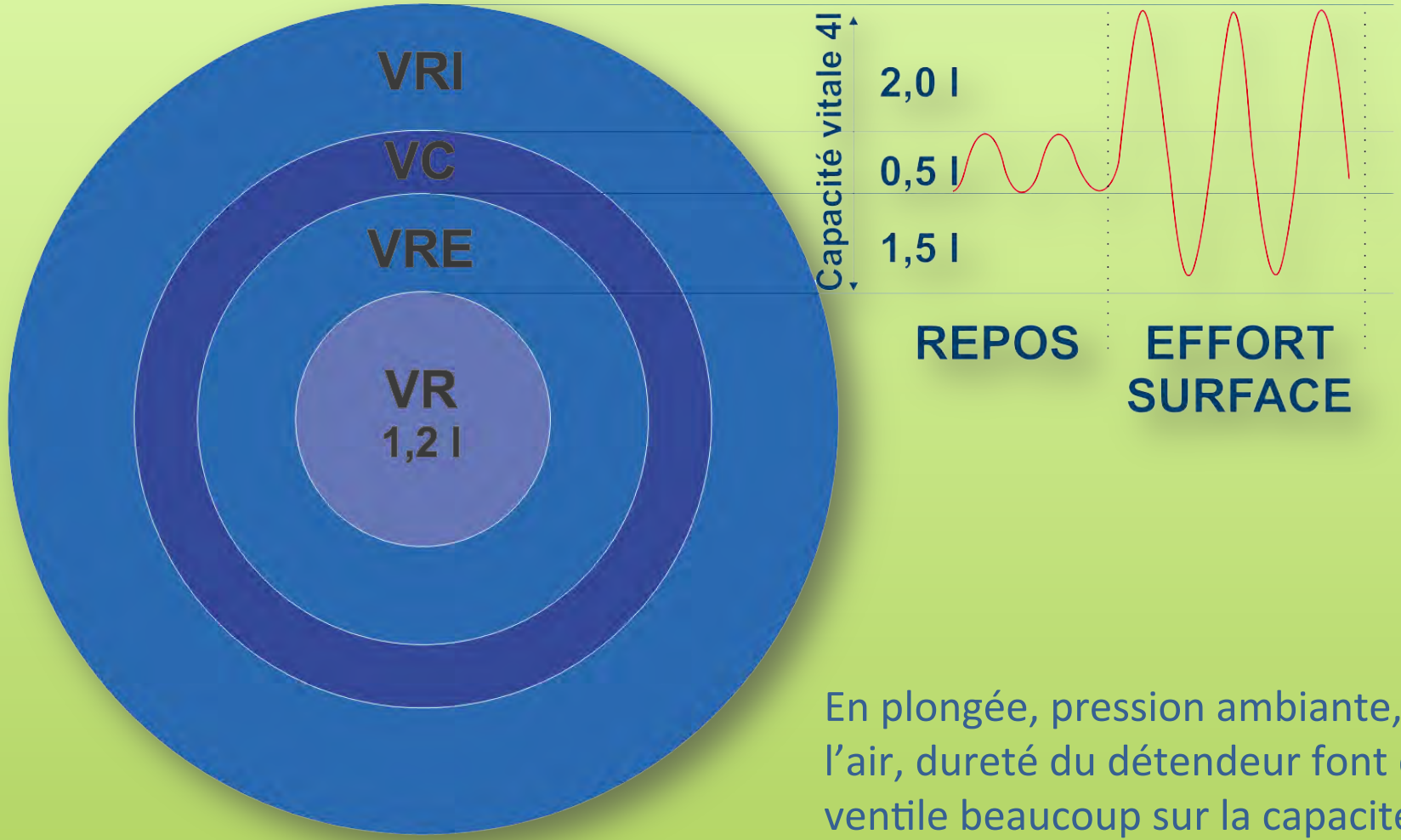
La fréquence de la ventilation chez l'adulte est de 15 à 20 cycles par minute et met en jeu les volumes suivants :

- **Volume courant** (VC) : quantité d'air inspiré ou expiré lors d'une ventilation normale
- **Volume de réserve inspiratoire** (VRI) : volume maximal inspiré après le volume courant lors d'une inspiration forcée
- **Volume de réserve expiratoire** (VRE) : volume maximal d'air rejeté après le volume courant par une expiration forcée
- **Volume résiduel** (VR) : volume restant après une expiration maximale

- **Capacité pulmonaire totale** (CT)
  - **VRI** : 2 l
  - **VC** : 0,5 l
  - **VRE** : 1,5 l
  - **VR** : 1,2 l

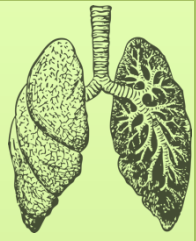
  } capacité vitale

Les volumes pulmonaires



En plongée, pression ambiante, densité de l'air, dureté du détendeur font que l'on ventile beaucoup sur la capacité vitale, comme à l'effort en surface…

Régulation de la ventilation



Automatisme contrôlé par **le bulbe rachidien** (BR) et qui peut être modulée

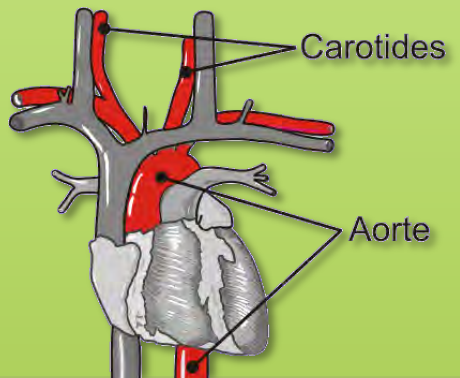
- Les **chémorécepteurs** centraux (BR) et périphériques (artère aorte et carotides) sont sensibles aux variations de PCO_2 et PCO_2+$PpCO_2$: une augmentation de la PCO_2 ou une diminution de la PO_2 stimule la ventilation ; une augmentation de la PO_2 la ralentie

- L'**exercice**, par augmentation de la température stimule la ventilation

- Les **réflexes** peuvent interrompre momentanément la ventilation (éternuement, émotions…)

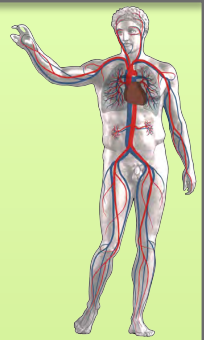
- La **volonté**, lors d'une apnée par exemple, peut contraindre, dans une certaine limite, la ventilation

chémorécepteurs



Pause
?

Le système cardio-ventilatoire

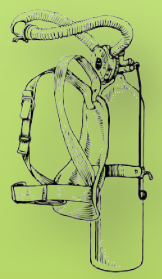


Le système cardio-vasculaire

- la circulation
- le cœur
- le cycle cardiaque
- les vaisseaux sanguins
- le sang
- hématies et hémoglobine
- la lymphe
- adaptation du rythme cardiaque

Le système ventilatoire

- anatomie des voies aériennes
- alvéoles pulmonaires
- mécanique ventilatoire
- volumes pulmonaires
- régulation de la ventilation

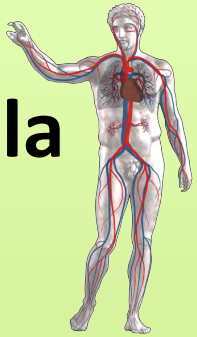


Adaptation à la plongée

- « blood shift »
- notion d'espace mort
- foramen ovale perméable (shunt cardiaque)
- œdème aigu du poumon
- les enfants et la plongée

Exemples d'annales d'examen niveau 4

Adaptation du système cardio-ventilatoire à la plongée



Il y a des modification des conditions environnementales et physiologiques durant la nage ou la plongée :

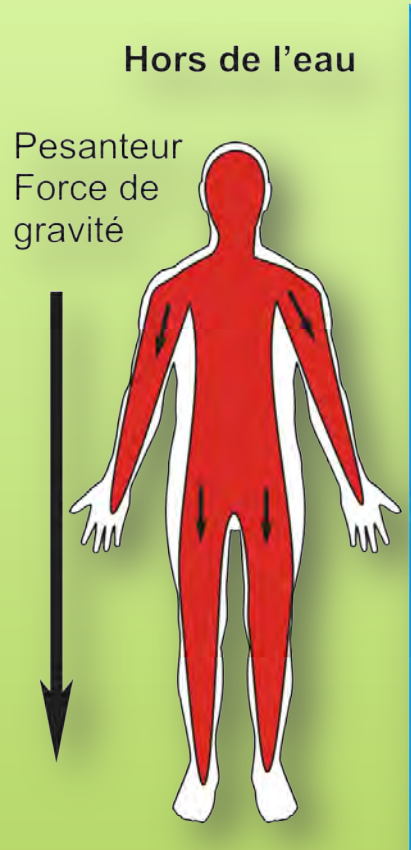
- combinaison qui comprime la poitrine
- dureté du détendeur
- espace mort augmenté
- efforts (nage, matériel…)
- froid
- pression ambiante plus importante et air plus dense en profondeur
- stress

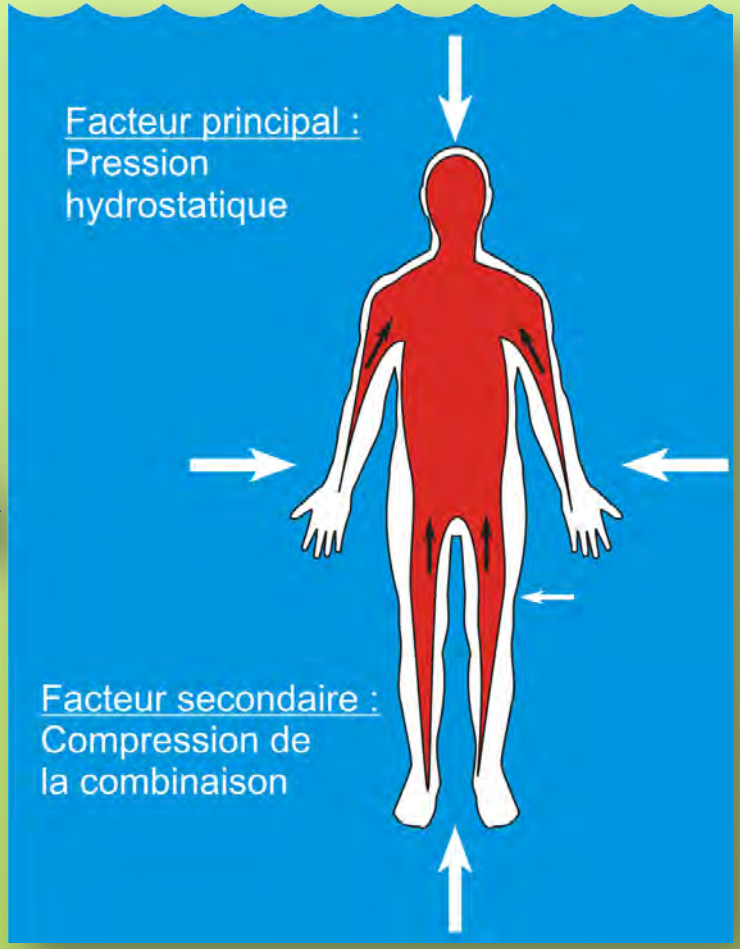
➔ le travail ventilatoire est plus important durant la plongée et pendant un effort en immersion

➔ adaptations et optimisations nécessaires

- pratiquer un entraînement régulier (sport, nage et plongée)
- optimiser son équipement (taille, poids)
- adapter ses efforts (courant)
- adapter sa ventilation : rythme ample et lent, forcer sur l'expiration

« Blood Shift »

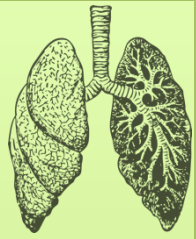


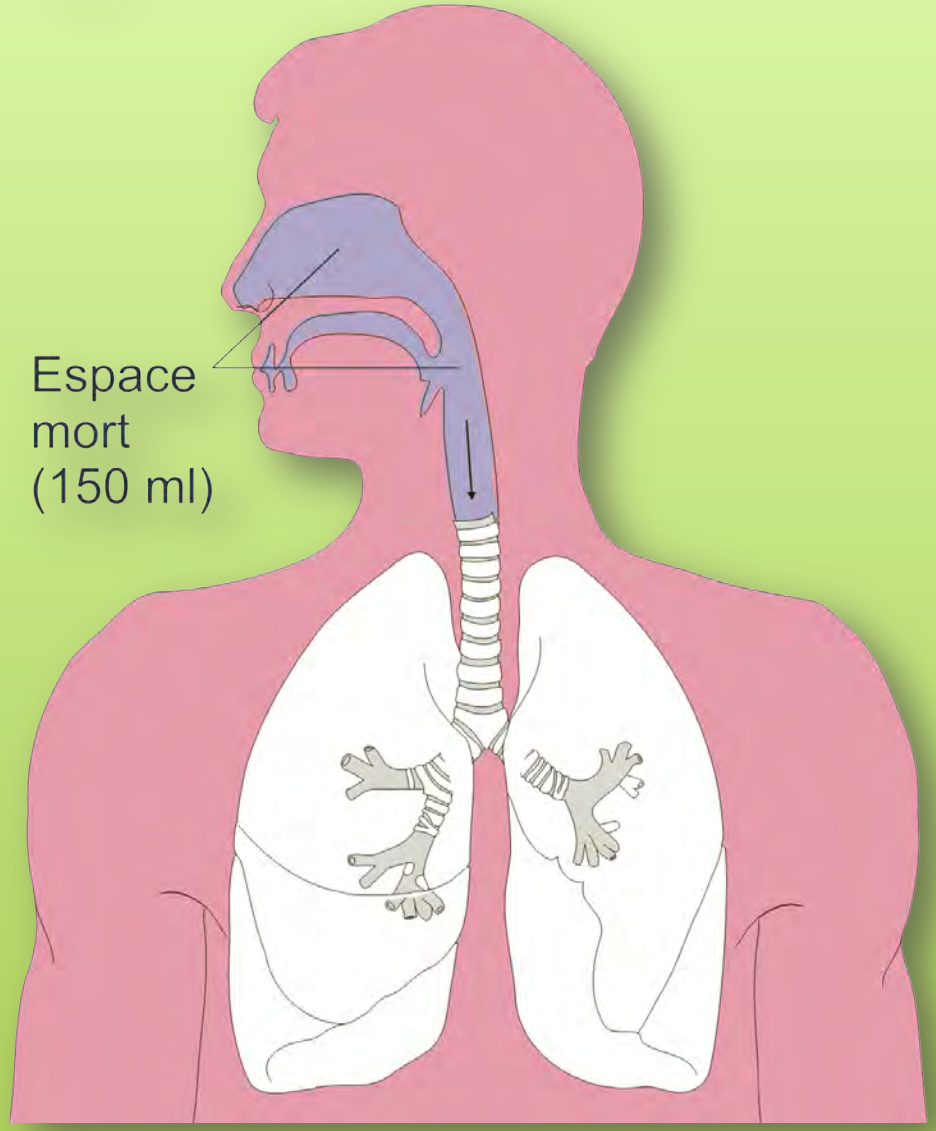


- Représente ~0,7 l de sang
- La ventilation devient plus difficile, le travail cardiaque plus important
- Cela cause la **diurèse d'immersion** afin de réduire la charge du cœur
- La répartition sanguine redevient normale après le retour en surface, mais il y a eu **déshydratation**

➔ **se réhydrater après la plongée**

Notion d'espace mort

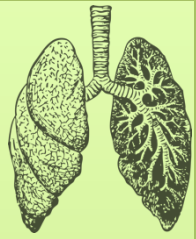




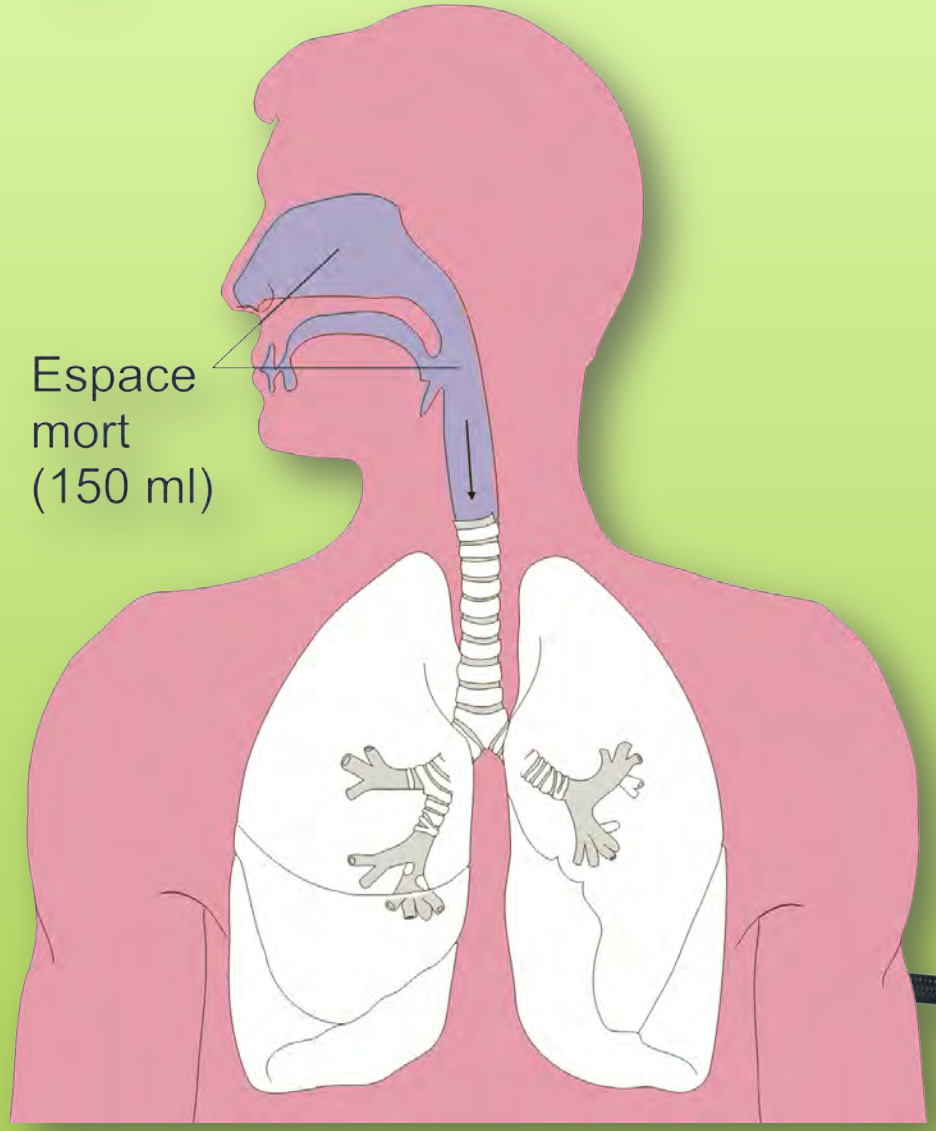
- L'air contenu dans l'espace mort n'est pas complètement renouvelé… et c'est celui qu'on inspire en premier

- Il représente 0,15 l d'air sur les 0,5 l du volume courant

➔ il y a seulement 0,35 l d'air « frais » disponible à l'inspiration



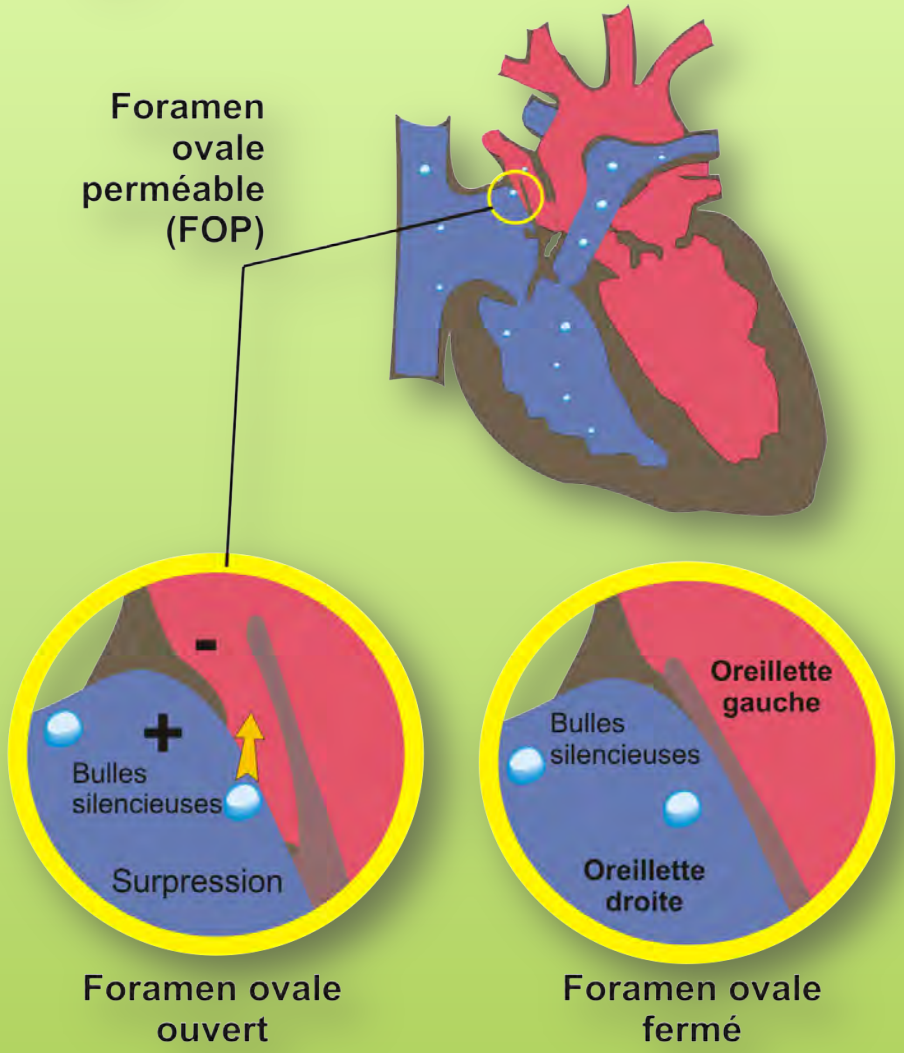
Notion d'espace mort



- En plongée s'y ajoute l'air contenu dans le détendeur ou le tuba

➔ **pour une meilleure ventilation**
(éviter l'essoufflement)
privilégier l'expiration par le nez avec une grande amplitude et un rythme lent

Foramen ovale perméable (shunt cardiaque)



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

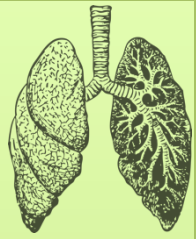
En plongée, s'il s'ouvre, il peut favoriser le passage de bulles dans la grande circulation et l'apparition d'ADD

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 une limitation des paramètres de la plongée

Shunts pulmonaires



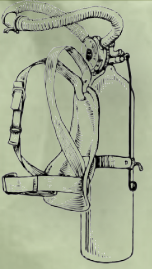
Au niveau de la petite circulation il arrive parfois que le sang provenant du cœur ne soit pas perfusé

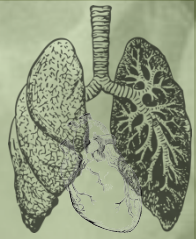
On parle de shunt artério-veineux ou shunt pulmonaire

Cela apparaît dans plusieurs cas :

- lésion du tissu pulmonaire → l'alvéole est irriguée mais n'est pas ventilée
- vascularisation imparfaite des alvéoles → les capillaires n'irriguent pas les alvéoles
- ouverture de shunts veineux causée par une augmentation de la pression intra-thoracique

Le sang retournant au cœur n'est pas hématosé et les bulles de circulantes retournent dans la grande circulation au lieu d'être évacuées ce qui favorise l'apparition d'**ADD**





Œdème aigu du poumon

- L'OAP est un **accident ventilatoire** dû à une défaillance de la barrière alvéolo-capillaire avec passage du contenu des capillaires pulmonaires (plasma) dans les alvéoles engendrant une détresse respiratoire

- **Causes**

Augmentation de pression dans les capillaires (« blood shift », dureté du détendeur) et faiblesse des parois pulmonaires (O_2, froid)

La survenue de l'accident est favorisée par l'âge, le tabac, individualité (faiblesse cardiaque)

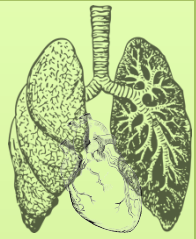
- **Symptômes**

Survient plutôt en fin de plongée, au palier ou en surface

  - sensation de gêne respiratoire, d'essoufflement *essoufflement au palier ???*
  - toux
  - crachats de sang *SP sans mauvais paramètres ???*

- **Conduite à tenir**

Sortie d'eau, mise sous O_2 et appel des secours



Les enfants et la plongée

- **Cœur**

FOP souvent persistant jusque vers 8 ans (~40 %)

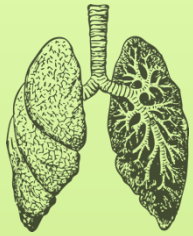
Moins résistants à l'effort car la réserve cardiaque est plus faible, d'où un risque d'épuisement accru

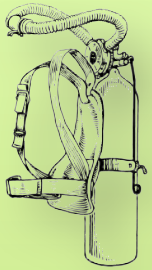
- **Poumons**

Ne sont complètement développés que vers 18 ans, ils sont plus résistants à l'écoulement et moins bien ventilés augmentant les risques d'essoufflement et de surpression pulmonaire

Sans parler de la sensibilité au froid…

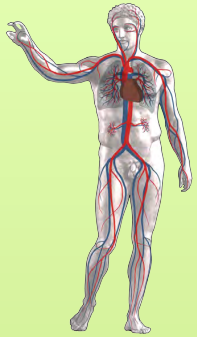
➔ limitation des conditions de plongée des enfants et attention particulière





Exemples de sujets d’examen

Exemples de sujets d'examen

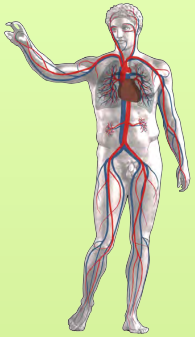


<u>Question n°3</u> (6 points)

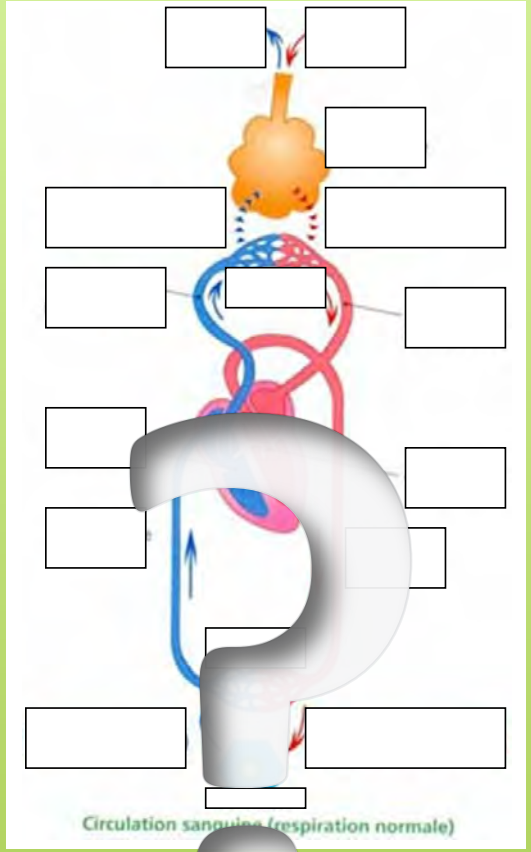
Faire un schéma légendé de la petite et de la grande circulation ; vous indiquerez les flux sanguins, le sang oxygéné et le sang chargé en CO_2 et placerez les poumons, le cœur (oreillettes, ventricules et les quatre valvules) sur le schéma.

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

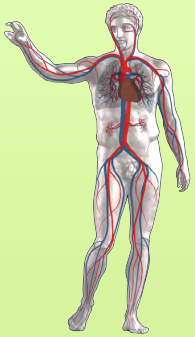
Exemples de sujets d'examen



<u>Question n°1</u> (6 points)
Annoter et commenter le schéma suivant :



Exemples de sujets d'examen



Question n° 2 : ventilation (5 points)

Le système ventilatoire est le siège d'importants phénomènes.

Expliquez, avec un schéma si besoin, les différentes phases de la ventilation.

Expliquez la constitution de l'air (différents gaz) à l'inspiration, au niveau des alvéoles et à l'expiration.

Liens

- **Cours N4 filmés (CTR BPL)** : http://www.cibpl.fr/plongee-sous-marine/N4/sujet-examen-theorie-corrige-niveau-4.aspx

- **Sujets d'examen N4 (CTR IdF/P)** : http://www.ffessm-ctridf.fr/formations/niveau4.html

Ben voilà, c’est tout !