

**ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE**

**DU CORPS HUMAIN**

**APPLIQUEE**

**A LA PLONGEE SUBAQUATIQUE**



Rv - Edition - 2010

# SOMMAIRE

## **L'appareil circulatoire**

I - Le cœur	page 3
II - Les vaisseaux	page 5
III - Le sang	page 7
IV - La régulation cardiaque	page 10

## **L'appareil ventilatoire**

I - Les voies aériennes supérieures	page 12
II - Les voies aériennes inférieures	page 14
III - La ventilation pulmonaire	page 17
IV - Les échanges gazeux	page 21

## **L'oreille**

I - Description	page 25
II - L'oreille externe	page 25
III - L'oreille moyenne	page 26
IV - L'oreille interne	page 27
V - Le son	page 29
VI - Méthodes d'équilibrage	page 29

## **Le système nerveux**

I - Le système nerveux	page 31
II - Le système nerveux central	page 31
III - Le système nerveux périphérique	page 32
IV - Le système nerveux autonome	page 33

## **L'œil**

I - Description	page 34
II - La vision sous-marine	page 36
III - La vision terrestre	page 36
IV - Les rayons lumineux	page 36

# L'APPAREIL CIRCULATOIRE

Pour que le corps humain puisse se maintenir en vie, chacune de ses cellules doit pouvoir bénéficier d'un apport continu de nutriments et d'oxygène. Dans le même temps, le dioxyde de carbone et les autres déchets du métabolisme produits par les cellules doivent être collectés et éliminés. Cette fonction est dévolue à l'appareil circulatoire. Il comprend le cœur et les vaisseaux sanguins, dont le rôle est d'assurer un flux constant de sang dans l'organisme, d'apporter l'oxygène et les nutriments aux tissus périphériques et d'éliminer le dioxyde de carbone et les produits de déchets. Un sous-système de l'appareil circulatoire, le système lymphatique, recueille le liquide interstitiel et le renvoie dans la circulation générale. Le corps d'un être humain adulte contient près de 90 000 kilomètres de vaisseaux sanguins.

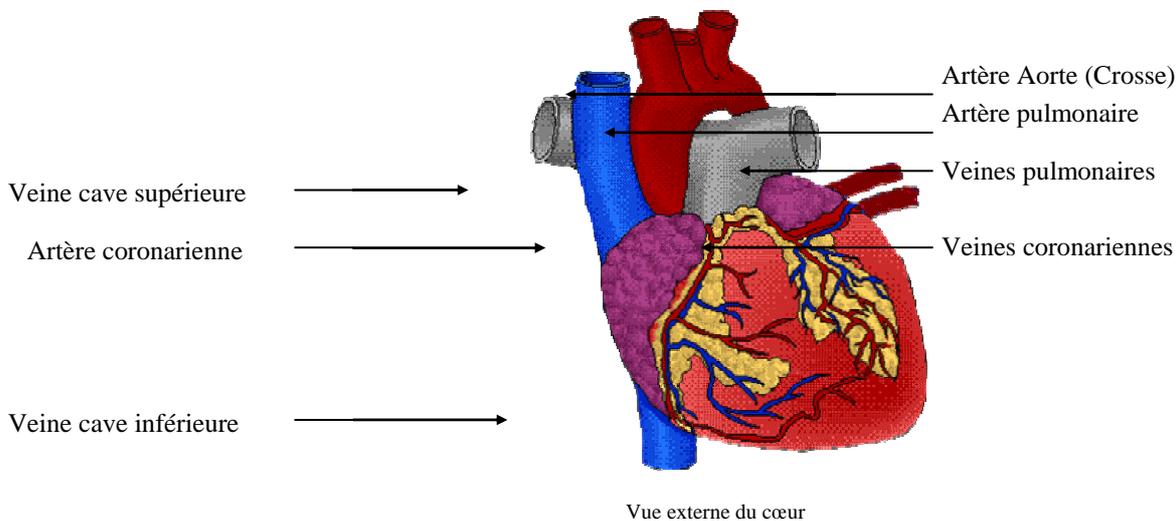
L'appareil circulatoire est formé :

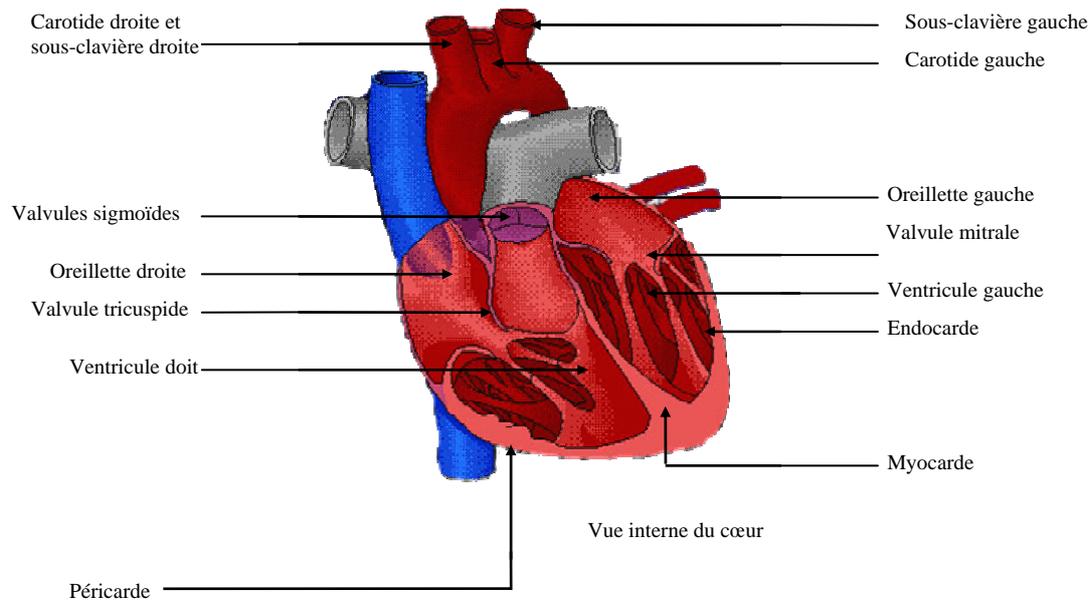
- I)- du cœur
- II)- des vaisseaux
- III)- du sang
- IV)- d'un système nerveux autonome.

## I)- LE CŒUR

C'est un muscle rouge de 200 à 300 g, creux, situé au milieu du thorax (le médiastin), couché sur le muscle du diaphragme, sa pointe dirigée vers la gauche. Divisé en 2 parties indépendantes l'une de l'autre et séparées d'une cloison étanche formant le cœur droit et le cœur gauche. Chaque partie est formée de deux cavités, l'oreillette (en haut) et le ventricule (en bas). Il est auto alimenté par les artères coronaires et possède un système nerveux autonome.

### I.1) - Anatomie descriptive





### ***I.11) - Le cœur gauche***

- Quatre veines pulmonaires arrivent au cœur au niveau de l'oreillette gauche.
- Les valvules mitrales séparent l'oreillette du ventricule gauche.
- Du ventricule gauche part une grosse artère, l'artère Aorte qui forme dans sa partie supérieure une crosse d'où part la sous-clavière gauche, la carotide gauche et la sous-clavière droite avec la carotide droite.
- Les valvules sigmoïdes se situent au départ de l'artère Aorte et constituent la valve aortique.

### ***I.12) - Le cœur droit***

- Les veines caves supérieures et inférieures arrivent au niveau de l'oreillette droite.
- Les valvules tricuspides séparent l'oreillette du ventricule droit
- Du ventricule droit part les deux artères pulmonaires en direction des poumons.
- Les valvules sigmoïdes se situent au départ de l'artère pulmonaire et constituent la valve pulmonaire.

### ***I.13) - Composition de la tunique cardiaque***

Un tissu tapisse les cavités internes du cœur, l'endocarde. Cette tunique très lisse, contribue à réduire la friction du sang lors de son passage dans les quatre cavités du cœur.

Le tissu externe ou péricarde soutient le cœur et amortit les battements.

Entre les deux tissus, le myocarde constitue l'épaisseur de la tunique cardiaque.

### ***I.14) - Particularité cardiaque***

Dans la paroi cardiaque située entre les deux oreillettes, se trouve une dépression matérialisée par un repli semi-lunaire (trou de Botal) et obstruée par une membrane. Cet orifice est un reliquat de notre vie fœtale. En effet pendant la période de gestation, le fœtus a un fonctionnement cardiaque particulier, car le sang qui circule dans ces veines et ces artères est identique.

Pendant la vie fœtale, le sang venant des veines caves passe directement de l'oreillette droite à l'oreillette gauche par un orifice appelé le trou de Botal ou Foramen ovale

A la naissance, les résistances de la petite circulation diminuent, la pression dans l'oreillette gauche augmente et entraîne l'oblitération mécanique du Foramen ovale en accolant l'une à l'autre les membranes qui le limitent.

Si l'équilibre pressionnel oreillette gauche et oreillette droite est rompu pour une raison quelconque, le trou de Botal s'ouvrira et laissera passer le sang du cœur droit vers le cœur gauche ainsi que les embolies gazeux.

## I.2)- Rôle

Le cœur pompe le sang oxygéné provenant des poumons et le propulse dans le corps où il est distribué par un réseau d'artères et de petites ramifications appelées artérioles. Le retour du sang vers le cœur s'effectue par des petites veinules qui se jettent dans les veines. Les artérioles et les veinules sont reliées par des vaisseaux encore plus fins appelés capillaires. Les capillaires, vaisseaux sanguins de l'épaisseur d'une seule cellule, forment des zones où se produisent les échanges d'oxygène et de dioxyde de carbone entre le sang et les cellules.

## I.3)- Physiologie

Chaque ventricule propulse 5 à 7 litres de sang par minute. Le cœur a un mouvement synchrone, c'est à dire que la contraction, des deux oreillettes puis des deux ventricules, est simultanée. De plus, il travaille autant de temps qu'il se repose.

### I.31) - La révolution cardiaque

Les phases de travail et de repos du cœur constituent la révolution cardiaque. Pendant la phase de repos du cœur (**diastole**), grâce à la pression veineuse et par gravité, le sang s'écoule des oreillettes dans les ventricules, qui se remplissent à 80 % environ. Les oreillettes se contractent (systole) pour compléter les ventricules. Afin d'empêcher le sang de remonter dans l'oreillette durant la contraction des ventricules (**systole**) les valvules (tricuspide et mitrale) se ferment. Le sang est expulsé dans les artères (pulmonaire - aorte). Les valvules sigmoïdes se ferment à leur tour et assurent l'étanchéité des vaisseaux. Une fois ces contractions réalisées le cœur se repose (diastole).

La systole auriculaire dure 1/10 s, la systole ventriculaire dure 3/10 s et la diastole dure 4/10 s, c'est à dire que le cœur se repose autant de temps qu'il travaille. Le rythme de travail du cœur est variable en fonction de l'individu (âge, fatigue, stress) et de son entraînement.

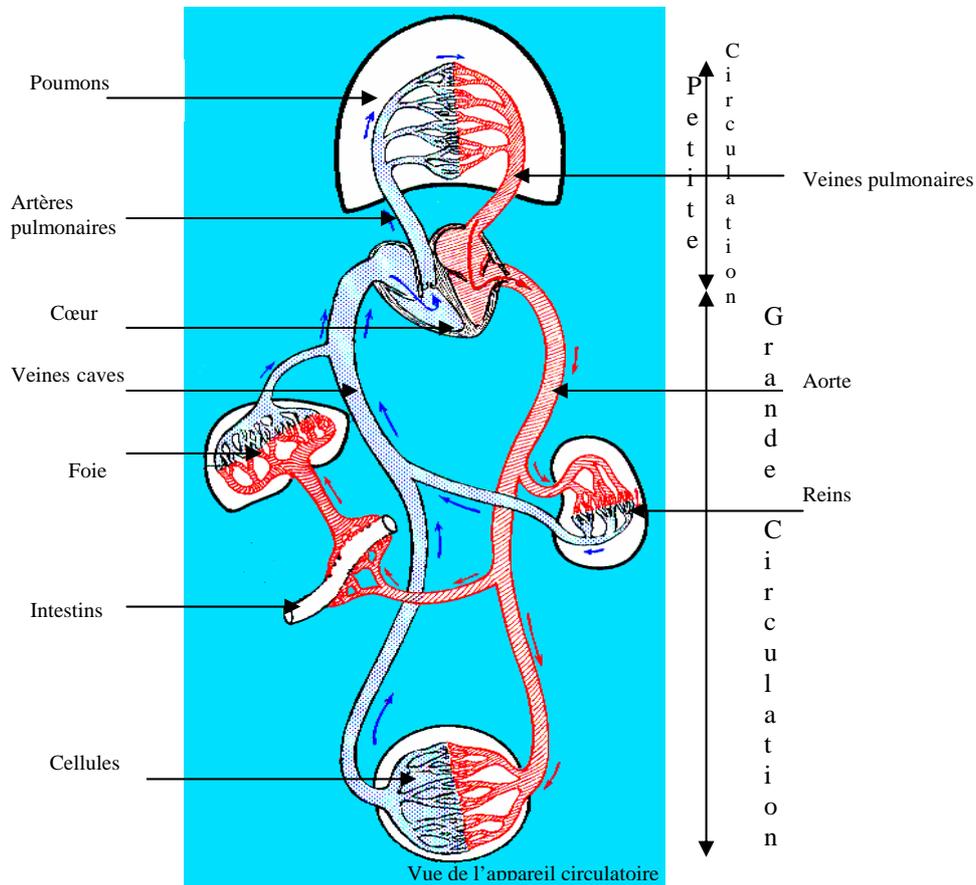
## II ) - LES VAISSEAUX SANGUINS

### II.1 ) - Anatomie descriptive

Les vaisseaux sanguins assurent le transport des substrats vers les différents organes. Ce sont des tubes étanches qui permettent au sang de circuler en sens unique, dans toutes les parties de l'organisme. Ils diffèrent par leurs constitutions, leurs diamètres. Ils se divisent en trois catégories : les artères, les veines et les capillaires. La circulation sanguine est scindée en deux réseaux, la petite et la grande circulation.

- **La petite circulation** va du cœur droit aux poumons et des poumons au cœur gauche.

- **La grande circulation** va du cœur gauche vers tous les autres organes (cerveau, membres supérieurs, membres inférieurs, etc.) puis revient vers le cœur droit.



### **II.11) - Les artères**

Vaisseaux lisses, élastiques, contractiles, résistants et de gros diamètres. Ils transportent le sang sortant des ventricules vers les organes et sont soumis à une grande pression (pression artérielle).

### **II.12) - Les veines**

Vaisseaux flasques, non lisse, peu élastique et de petits diamètres. Ils ramènent le sang des organes au cœur et sont soumis à une pression faible (pression veineuse). Les grosses veines sont munies de valvules qui régulent le débit sanguin. Ces valvules contribuent à chasser le sang vers le cœur et dans la partie inférieure du corps, à contre carrer la force de gravité. Dans les veines profondes de la jambe, on compte une valvule tous les centimètres et demi. Les petites veines proches de la surface de la peau n'ont pas de valvules.

### **II.13) - Les capillaires**

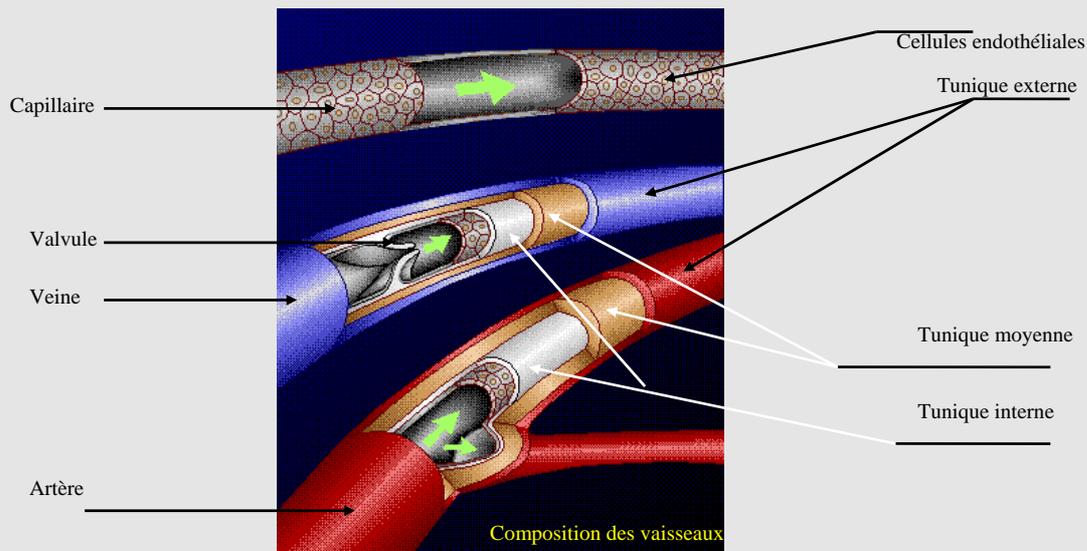
Quelque dix milliards de capillaires parcourent tous les tissus de l'organisme, irriguant chaque cellule. Ce sont les plus petits vaisseaux sanguins lisses, non élastiques, leur taille est microscopique. Les capillaires relient les artérioles et les veinules. Leurs parois sont extrêmement minces, ce qui permet les échanges gazeux et nutritifs.

## II.14) - Composition des vaisseaux

La tunique moyenne ou media, est beaucoup plus épaisse que la tunique interne, elle se compose de fibres élastiques et de fibres musculaires. C'est la couche moyenne qui donne au vaisseau sa souplesse et son élasticité et permet aux parois des artères et des veines de répondre aux impulsions des nerfs du système nerveux autonome soit en se contractant (vasoconstriction) ce qui réduit le débit sanguin, soit en se relâchant (vasodilatation) ce qui augmente le débit. La tunique moyenne des artères est plus épaisse et plus riche en fibre élastique que celle des veines de niveau équivalent. Les gros vaisseaux comportent généralement davantage de tissu élastique que les vaisseaux de calibre inférieur.

La tunique interne des vaisseaux ou intima est formée d'une seule couche de cellules endothéliales. Ces cellules, minces et aplaties, sont très lisses et constituent une surface d'écoulement idéale pour le sang. Leur excellente perméabilité permet aux nutriments d'atteindre la partie profonde du vaisseau. Elles libèrent des agents chimiques servant à sa vasodilatation ou à sa vasoconstriction.

La tunique externe assure le maintien extérieur des vaisseaux

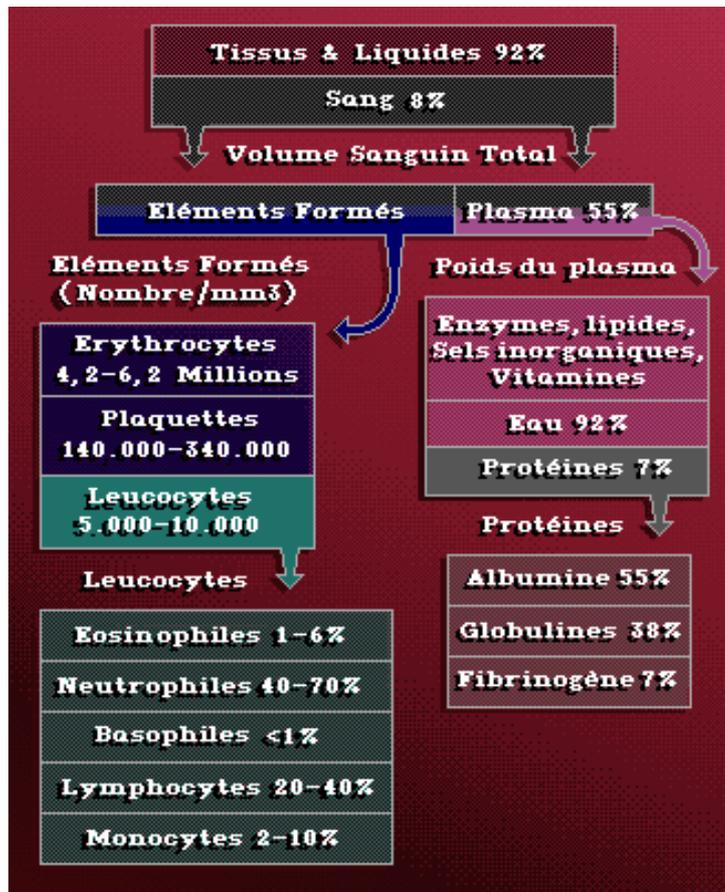


## III) - LE SANG

Le sang est l'un des trois principaux fluides de l'organisme (les deux autres étant le liquide interstitiel et le liquide contenu dans les cellules). Il transporte l'oxygène, les nutriments, les déchets du métabolisme et les hormones, irriguant chacune des soixante milliards de cellules du corps. Il contient également des agents défensifs contre les agressions extérieures. On trouve près de 30 mille milliards de cellules sanguines chez un être humain adulte.

### III.1) - Anatomie descriptive

Le sang, liquide rougeâtre d'un volume de 7 à 8 litres environ, se compose de quatre éléments principaux : les globules rouges, les globules blancs, les plaquettes et le plasma. Constitué essentiellement de plasma, liquide composé à 90 % d'eau, contient différents éléments, des cellules, des nutriments, des déchets et des gaz dissout.



### III.11) - Les globules rouges

Les globules rouges, appelés **érythrocytes** ou **hématies** sont constitués principalement d'eau et d'hémoglobine, protéine contenant du fer qui leur confère leur couleur rouge. De très petite taille (environ 0,008 centimètre de diamètre), ils se présentent sous la forme d'un coussin biconcave, sans noyau, aplati de chaque côté. Ils sont fabriqués dans la moelle osseuse du sternum, des côtes et des os crâniens et en petite quantité dans quelques autres os. La production d'un globule rouge demande six jours et il ne vivra que 120 jours. Leur principale fonction est le transport de l'oxygène vers les tissus et l'élimination du gaz carbonique (99 %). Un millimètre cube de sang contient en moyenne 4,5 à 5,5 millions de globules rouges. L'organisme produit des globules rouges en permanence, car ceux-ci sont constamment détruits. Près de 2,5 millions de globules rouges meurent et sont remplacés chaque seconde.

### III.12) - Les globules blancs

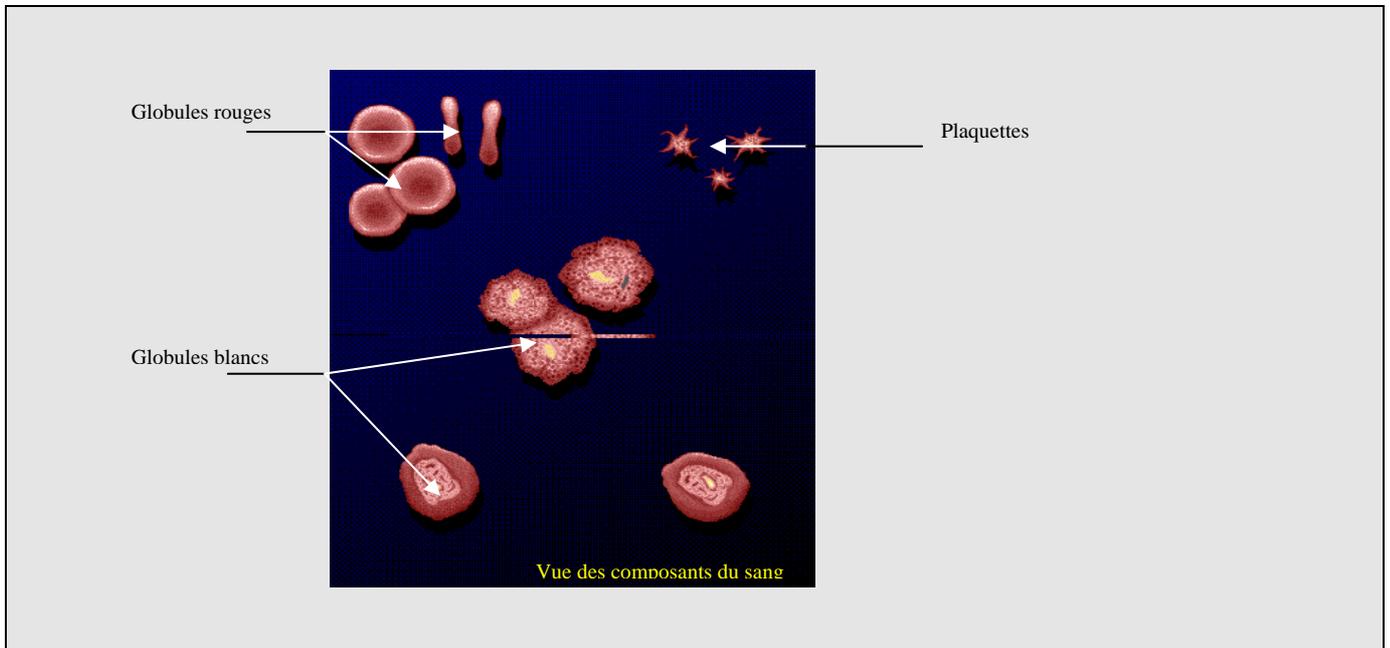
Les globules blancs, appelés **leucocytes**, sont beaucoup moins nombreux que les globules rouges, 7 500 globules blancs dans un millimètre cube de sang. Ils sont incolores, leur forme est sphérique et leur taille légèrement plus grande que celle des globules rouges. Ce sont des cellules complètes, comportant un noyau et d'autres structures internes grâce auxquelles elles sont autonomes. Il existe cinq types de leucocytes (les neutrophiles, les éosinophiles, les basophiles, les lymphocytes et les monocytes). La plupart des leucocytes ne vivent que quelques heures et se trouvent en faible quantité dans le sang d'un organisme sain. La moelle rouge produit continuellement les globules blancs, à l'exception des lymphocytes et des monocytes. Les leucocytes sont mobiles, ils circulent dans les vaisseaux sanguins et les capillaires et entre les cellules.

### II.13) - Les plaquettes

Les plaquettes sont de minuscules cellules spécialisées activées lorsque la coagulation du sang ou la réparation d'un vaisseau est nécessaire. Elles sont fabriquées dans la moelle osseuse et sont beaucoup plus petites que les globules rouges. Une goutte de sang contient environ 15 millions de plaquettes. Lorsqu'un vaisseau sanguin est coupé, les plaquettes affluent vers la lésion. Elles gonflent et changent de formes, elles deviennent irrégulières et collantes. Les plaquettes obstruent la coupure et créent un caillot solide.

### III.14) - Le plasma

Le plasma, partie transparente du sang, est constitué à 92 % d'eau. C'est le solvant du sang, dont il représente environ 55 % du volume total. Il contient trois protéines (l'albumine, les globulines et le fibrinogène), des minéraux, des sels, des sucres (glucose), des graisses (lipides). Bien que le plasma circule dans tout le corps, il ne peut transporter qu'environ 1 % de l'oxygène nécessaire au fonctionnement de l'organisme. En même temps, les bicarbonates du plasma servent de filtres destinés à diriger les déchets toxiques vers les reins qui les éliminent.



### III.2) - Rôle

Le sang assure de nombreuses fonctions :

#### a)- Fonction respiratoire :

Le sang transporte les gaz de deux façons différentes, la forme combinée et la forme dissoute.

- La forme combinée s'effectue grâce à l'**hémoglobine** (Hb), protéine contenue dans **les hématies** qui fixe les gaz chimiquement de façon plus ou moins stable.

- La combinaison de l'oxygène ( $O_2$ ) avec l'hémoglobine forme l'**oxyhémoglobine** ( $HbO_2$ ).

- **La carbohémoglobine** ( $HbCO_2$ ) résulte de la combinaison du gaz carbonique ( $CO_2$ ) avec l'hémoglobine.

- Le monoxyde de carbone, gaz asphyxiant, inodore, incolore, combiné avec l'hémoglobine constitue **la carboxyhémoglobine** ( $HbCO$ ).

- La forme dissoute est le résultat d'une loi physique (Henry) grâce à laquelle l' $O_2$ , le  $CO_2$  et l' $N_2$  sont transportés dans le plasma sanguin et s'élimineront dans les poumons.

#### b)- Fonction de défense :

Ce rôle est principalement affecté aux **leucocytes**. Certains leucocytes, appelés phagocytes, absorbent les éléments étrangers dans leur propre corps et les digèrent. Ce processus de digestion s'appelle phagocytose.

#### c)- Fonction de coagulation :

Cette fonction est principalement dévolue aux **plaquettes**.

En fait, deux substances contenues dans le sang agissent directement sur les plaquettes, **la thromboxane** et **la prostacycline**. Elles sont chargées d'assurer naturellement la bonne viscosité du sang ainsi que la vasoconstriction ou la vasodilatation des vaisseaux.

La thromboxane, favorise le phénomène de la coagulation et la vasoconstriction. La coagulation consiste principalement en la transformation d'une protéine plasmatique, le fibrinogène, en une protéine fibrillaire insoluble, appelée fibrine.

A l'inverse, la prostacycline, favorise la fluidification du sang et la vasodilatation.

Par son action sur la prostacycline l'aspirine présente la capacité d'être anti-agrégat plaquettaire. Cette caractéristique rend l'administration d'une dose de 300 à 500 mg d'aspirine utile lors d'un accident de décompression.

d)- **Fonction nutritive** :

Le sang amène aux cellules les substances nutritives nécessaires à leur fonctionnement.

e)- **Fonction thermique** :

L'irrigation plus ou moins intense d'une partie du corps détermine un réchauffement plus ou moins accentué ; c'est la régulation thermique.

f)- **Fonction épuratoire** :

Le sang amène les résidus consécutifs à la dégradation des aliments (catabolisme) vers les poumons (CO<sup>2</sup> et vapeur H<sub>2</sub>O) et l'urée aux reins.

g)- **Fonction hormonale** :

Le sang sert de véhicule aux hormones, aux anticorps, aux vitamines et aux enzymes.

h)- **Fonction régulatrice** :

L'eau et les sels sont répartis dans l'organisme par voie sanguine.

i)- **Fonction particulière** :

Il permet de maintenir l'équilibre du pH sanguin.

### III.3 ) - La pression sanguine

La pression artérielle, c'est la force élastique exercée par les parois artérielles sur le sang. Elle est également appelée tension artérielle se mesure à l'aide d'un tensiomètre au niveau de l'artère humérale (bras).

Lors de la visite médicale, le médecin vous annonce une tension de 13,8. Le premier chiffre cité correspond à une pression de 13 cm/Hg, prise lors de la pression systolique, appelée maxima. Le 8 correspond à une pression de 8 cm/Hg, prise pendant la pression diastolique, appelée minima.

On appelle pression systolique, la pression artérielle pendant la contraction du ventricule.

On appelle pression diastolique, la pression artérielle pendant le relâchement du ventricule.

Un plongeur, en bonne santé, doit avoir une pression artérielle comprise entre 13 et 14 pour le maxima et de 7 à 9 pour le minima. Plus l'amplitude entre ces deux chiffres est importante, mieux c'est.

## IV ) - LE SYSTEME NERVEUX AUTONOME

### IV-1 ) - La régulation cardiaque

Lors d'une opération cardiaque, un cœur in vitro (hors du corps humain) bat à 100 pulsations par minute alors qu'il ne se contracte que de 70 à 80 fois par minute in vivo (dans l'organisme). Ceci résulte d'une régulation de l'activité cardiaque par un système nerveux autonome intrinsèque et extrinsèque.

**Le système nerveux intrinsèque (SNI)**, situé dans les parois même du cœur, comporte quatre faisceaux de fibres conduisant les impulsions dans le muscle cardiaque et provoquant d'abord la contraction des oreillettes puis celle des ventricules. Le SNI ou tissu nodal assure le fonctionnement automatique et spontané du cœur.

Le tissu nodal comporte différents éléments :

- **le nœud de Keith et Flack** à peine visible se situe dans l'oreillette droite. Cette région minuscule, d'où démarre les impulsions de l'excitation cardiaque, commande tout le mécanisme de régulation des battements cardiaques. Celui-ci génère une brève impulsion électrique de faible intensité qui fixe les pulsations cardiaques chez un être au repos. A partir de là, l'impulsion se propage le long des couches de tissu qui forment les deux oreillettes, excite les fibres musculaires sur son passage et provoque la contraction des oreillettes. L'impulsion atteint rapidement un autre noyau celui d'Aschoff-Tawara.

- **le noyau d'Aschoff-Tawara** se situe dans la cloison inter auriculaire et retarde l'impulsion pendant environ 0,07 seconde, ce qui laisse le temps nécessaire aux oreillettes de se contracter complètement, puis elle est transmise aux ventricules par le faisceau de His et le réseau de Purkinje.

- **le faisceau de His** situé dans la cloison inter ventriculaire et **le réseau de Purkinje** situé dans la paroi ventriculaire déclenchent ainsi la contraction des ventricules. Le courant électrique parcourt les ventricules en 0,06 seconde.

L'intégrité du système intrinsèque est indispensable pour conserver un rythme régulier et des contractions normales. L'altération ou le dysfonctionnement d'un de ces éléments entraîne des arythmies. (extra systole, fibrillation cardiaque, etc.)

Le système nerveux végétatif constitue **le système nerveux extrinsèque** (SNE). Il assure l'adaptation du rythme cardiaque en fonction des besoins de l'organisme. Le système extrinsèque agit sur le cœur sous l'effet de deux agents chimiques par l'intermédiaire de deux nerfs.

L'excitation du **nerf sympathique** par **l'adrénaline** ou **la noradrénaline**, substance chimique qui accélère le rythme cardiaque, augmente l'amplitude des contractions cardiaques et son tonus. Il est le nerf cardio-accélérateur.

Sous l'influence d'une autre substance chimique, **l'acétylcholine**, **le nerf parasympathique** ralentit le rythme, l'amplitude et le tonus cardiaque. Il est le nerf cardio-modérateur.

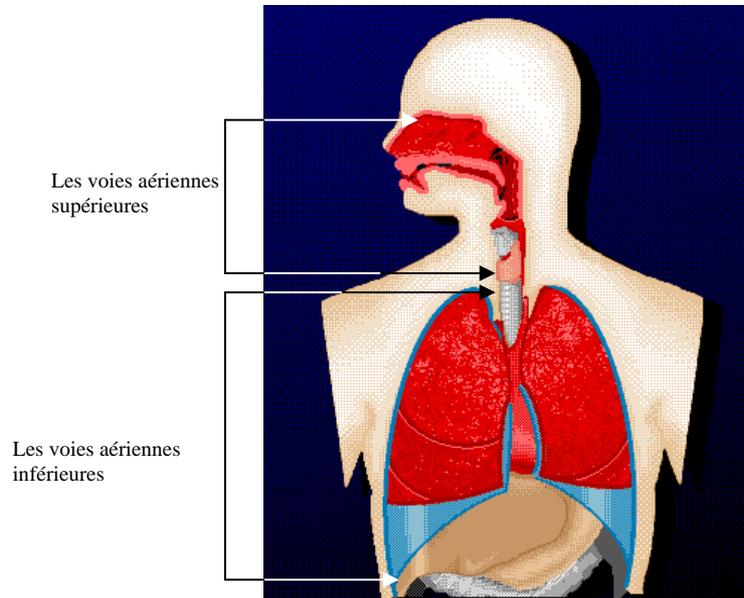
L'automatisme cardiaque est également modifié par des centres de sensibilité situés dans la crosse aortique et les sinus carotidiens. Lorsque l'on comprime le cou au niveau de ces centres il se produit un léger abaissement de la tension et un ralentissement cardiaque. Il en est de même lorsqu'on exerce une pression sur les globes oculaires. Lors de sa visite médicale, le plongeur pourra subir un examen (test oculo-cardiaque) afin de vérifier l'amplitude de ces variations qui ne devront pas être importante.

## Lexique

- \* La tachycardie c'est l'augmentation du rythme cardiaque.
- \* La bradycardie c'est la diminution du rythme cardiaque.

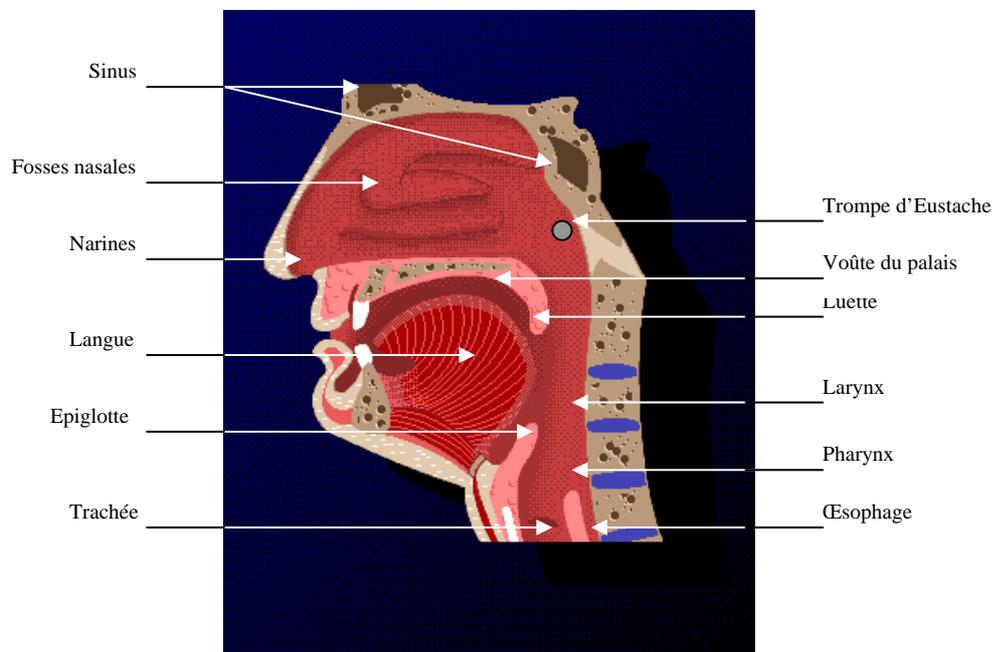
# L'APPAREIL VENTILATOIRE

L'appareil ventilatoire permet de maintenir en vie un être humain en assurant les échanges gazeux au niveau pulmonaire. Sa fonction est de purifier le sang chargé en dioxyde de carbone et de lui apporter un air riche en oxygène. L'appareil ventilatoire se divise en deux parties principales, les voies aériennes supérieures et les poumons.



## I) – LES VOIES AERIENNES SUPERIEURES :

Elles sont la communication entre l'air extérieur et les poumons. Elles se composent de :

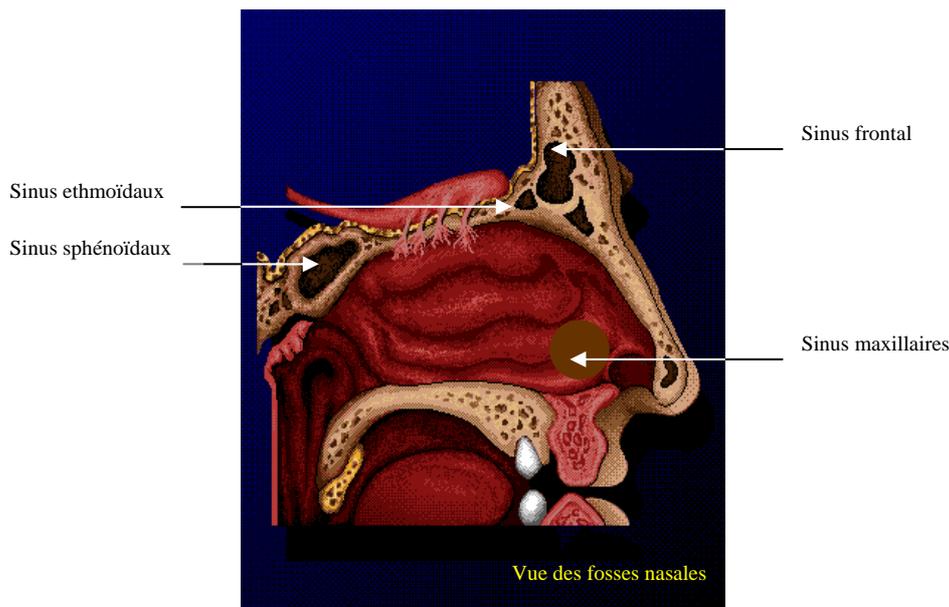


### I.1 ) - Les fosses nasales

Les narines servent d'orifices de communication aux fosses nasales et permettent d'humidifier et de réchauffer l'air inspiré. Elles sont situées entre les sacs lacrymaux (larmes) et le nez. Elles mesurent environ 2 centimètres de long. La cavité nasale possède également un revêtement muqueux (pituitaire) qui présente des milliers de petits cils dont la fonction est de filtrer la poussière de l'air. Ces cils transportent de manière continue le mucus (glaires) et la poussière vers l'arrière gorges pour qu'ils y soient déglutis. Les fosses nasales à 95 % n'interviennent pas dans l'odorat. Son rôle primordial est de conditionner l'air inspiré envoyé aux voies respiratoires inférieures. Ce conditionnement comprend le contrôle de la température, le contrôle de l'humidité, et l'élimination de la poussière et des micro-organismes infectieux.

### I.2 ) - Les sinus

Ils sont des cavités aériennes situées au sein des os du crâne. Ils sont reliés aux fosses nasales par des orifices et des conduits plus ou moins long et tortueux selon le type de sinus. Il existe quatre paires de sinus (frontaux, maxillaires, sphénoïdaux, ethmoïdaux) qui s'ouvrent dans les fosses nasales. Les sinus maxillaires sont les plus grands. Ils s'étendent du plancher des orbites aux racines des dents supérieures. Les sinus sont tapissés par une membrane muqueuse, qui s'infecte lors d'un rhume et donne une sinusite.



### I.3 ) - La luette

Forme une protrusion charnelle de petite taille, située à la partie postérieure du voile du palais. Anatomiquement la luette descend souvent jusqu'à la face postérieure de la langue. Au cours de la déglutition le voile du palais vient se plaquer contre la paroi postérieure du pharynx séparant les fosses nasales de la cavité buccale. Il évite ainsi la régurgitation des liquides et des aliments.

### I.4 ) - L'épiglotte

C'est une structure cartilagineuse fixée au larynx, qui remonte lorsque les voies aériennes sont ouvertes et qui aide à la fermeture de l'orifice trachéal pendant la déglutition formant ainsi un couvercle au-dessus du larynx.

### I.5 ) - Le larynx

Il constitue l'ouverture de la trachée, au niveau de laquelle il rejoint le pharynx. Il forme une saillie, plus visible chez l'homme, au niveau du cartilage thyroïde, visible de l'extérieur du cou, communément appelée pomme d'Adam. Lieu de fixation des cordes vocales le larynx est l'organe de phonation par excellence. Lors de la déglutition, la contraction des muscles du plancher buccal entraîne son ascension, cette dernière permettant l'obturation des voies aériennes sous-jacentes.



## I.6) - Le pharynx

C'est la partie supérieure des voies aériennes et du tractus digestif. Il relie les ouvertures de quatre zones : la cavité buccale (à l'arrière de la langue), la cavité nasale, le larynx (qui mène à la trachée) et l'œsophage. En avalant, la partie nasale du pharynx, le larynx et la cavité buccale coopèrent pour fermer les voies aériennes de façon à ce que les aliments avalés ne pénètrent pas dans la trachée.

## II) - LES VOIES AERIENNES INFERIEURES

Elles sont le prolongement des voies aériennes supérieures et se composent :

### II.1) - La trachée artère

Elle est la partie supérieure des voies respiratoires, formée d'anneaux cartilagineux, elle s'étend sur environ 12 centimètres, elle se sépare en deux au niveau de la bifurcation trachéale pour former les bronches souches.

Reposant tout contre l'œsophage, la trachée peut se déformer légèrement au moment de la déglutition, de la respiration ou de la flexion du cou. Elle est recouverte d'une tunique muqueuse et de cils, dont la fonction est de retenir la poussière. L'action permanente de ces cils permet de faire remonter le mucus et les débris jusqu'au pharynx et de les avaler ou de les expectorer.

## II.2) - Les bronches

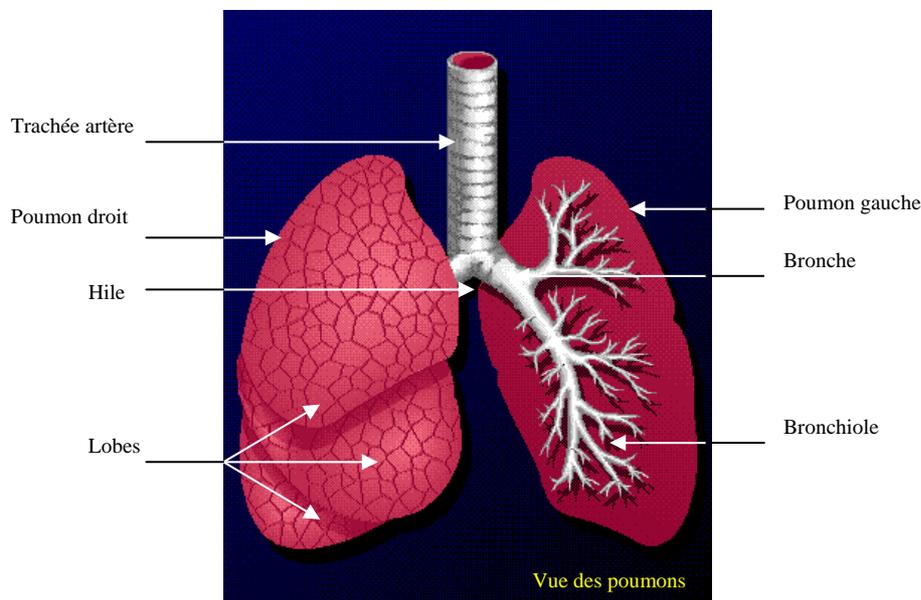
Ce sont des conduits qui transportent l'air de la trachée aux poumons. Les deux bronches principales, la bronche droite et la bronche gauche se dirigent vers les poumons correspondant puis, se ramifient en bronchioles. La partie externe des bronches, est composée d'un tissu musculaire lisse disposé en anneaux de renfort autour des bronches et des bronchioles. Elles peuvent se dilater pendant l'inspiration pour permettre aux poumons de se gonfler et se contracter pendant l'expiration. Elles peuvent se contracter involontairement sous l'effet de l'air froid ou d'allergènes et provoquer un spasme bronchique.

La zone de jonction du paquet bronco-vasculo-nerveux et du tissu pulmonaire est appelé le hile.

## II.3) - Les poumons

Organe spongieux, divisés en deux, le poumon droit et le poumon gauche. Le poumon droit présente deux scissures une horizontale et une oblique, divisant le poumon en trois lobes (supérieur, moyen et inférieur). En raison de ce troisième lobe, le poumon droit est plus important que le gauche. Il s'étend plus bas dans la cavité abdominale. Le poumon gauche présente une scissure oblique qui le divise en deux lobes (le supérieur et l'inférieur). La face interne du poumon gauche, légèrement concave, laisse un espace (le médiastin) où se loge le cœur. Les poumons sont entourés par la plèvre.

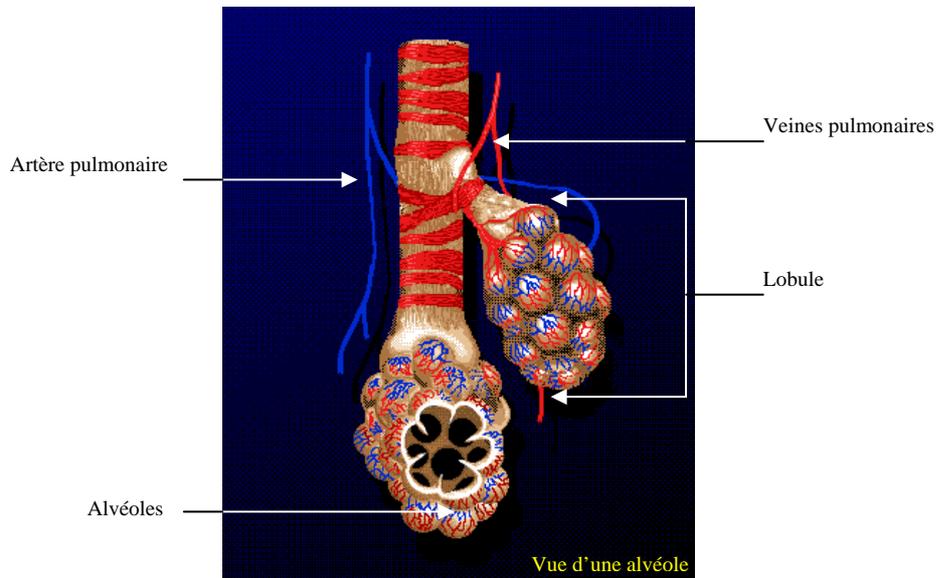
Les bronches se subdivisent en canaux plus étroits, les bronchioles au bout desquels on trouve les lobules. Les lobules ressemblent à une grappe de raisin qui contient une dizaine d'alvéoles environ.



## II.31) - Les alvéoles

Les alvéoles sont des sacs minuscules situés aux extrémités de l'arbre bronchique. Les alvéoles sont tapissées d'une muqueuse induite d'une substance chimique, le surfactant. Ce liquide permet à l'alvéole de rester gonflée et de ne pas se dessécher lors de la respiration. La membrane très mince de l'alvéole est semi-perméable et permet les échanges gazeux. Enfin, les alvéoles sont particulièrement sensibles aux infections de quelques natures que ce soit.

Le septum alvéolaire est la mince membrane entièrement ou partiellement formée, qui sépare les alvéoles. Les alvéoles peuvent être sphériques, indépendantes ou fusionnées avec des alvéoles voisines. Les parois et les membranes de l'alvéole contiennent les capillaires qui apportent le sang pauvre en oxygène et riche en dioxyde de carbone. De part l'existence d'un gradient de pression, l'oxygène de l'air peut passer de l'alvéole aux cellules sanguines circulant dans les capillaires voisins. De même, le dioxyde de carbone, produit par le métabolisme, est transféré du sang vers l'air pour être chassé par les poumons.



#### II.4) - La plèvre

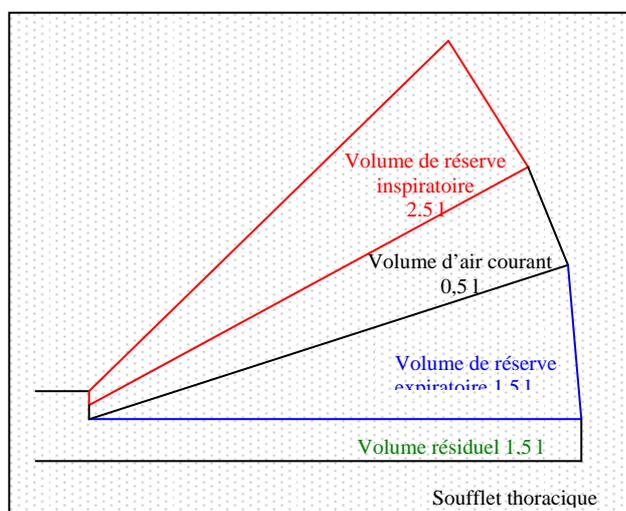
C'est une membrane séreuse, qui enveloppe les poumons et les protège du frottement contre la cage thoracique. Elle est formée par deux couches, le feuillet viscéral et le feuillet pariétal. Le feuillet viscéral est au contact direct des poumons. Le feuillet pariétal est au contact de la cage thoracique, du médiastin et du diaphragme. Un liquide séreux sépare ces deux feuillets et joue un rôle de lubrifiant afin de permettre tout glissement sans frottement, comme deux plaques de verre mouillé qui glissent l'une sur l'autre sans se décoller.

#### II.5) - Le diaphragme

Principal muscle, responsable de la respiration, attaché à la paroi abdominale, aux vertèbres lombaires, aux dernières côtes, au sternum et au péricarde du cœur par un tissu tendineux. En forme d'un dôme, il sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale. Lorsqu'il se contracte, à l'inspiration, il s'abaisse ce qui crée un vide dans la cavité thoracique et exerce une pression dans la cavité abdominale. Le vide est comblé par l'expansion du tissu pulmonaire et l'air est inhalé. Quand le diaphragme se relâche et reprend sa forme de dôme, l'air est repoussé (expiration). Bien que les muscles intercostaux et abdominaux fonctionnent lors de la ventilation, pendant le sommeil, seules les contractions du diaphragme nous assurent cette fonction.

#### II.6) - La capacité pulmonaire

Le soufflet thoracique détermine la capacité pulmonaire d'un individu. Mais plusieurs termes font référence à un volume différent de la capacité des poumons.



**C.P.T. :** La capacité pulmonaire totale (environ 6 litres d'air) désigne le volume global d'air pouvant être expiré des poumons, c'est à dire le volume courant (VC), le volume résiduel (VR), le volume de réserve inspiratoire (VRI), et le volume de réserve expiratoire (VRE). Il est impossible d'exhaler complètement tout l'air présent dans les poumons, cela nécessiterait que les poumons, les bronches, et les bronchioles se collabent (se réduisent totalement). Il reste toujours un peu d'air dans les alvéoles.

$$\mathbf{C.P.T. = V.C. + V.R. + V.R.I + V.R.E.}$$

**C.V. :** La capacité vitale représente le volume d'air maximal pouvant être mobilisé (environ 4,5 litres) par une inspiration profonde suivie d'une expiration profonde.

$$\mathbf{C.V. = V.C. + V.R.I + V.R.E.}$$

**V.C. :** Le volume courant est le volume d'air inhalé et exhalé au cours de la respiration normale (0,5 l).

**V.R.I. :** Le volume de réserve inspiratoire correspond à la quantité de gaz qu'il est encore possible de faire pénétrer dans les poumons après une inspiration normale. (environ 2,5 litres).

**V.R.E. :** Le volume de réserve expiratoire correspond à la quantité de gaz qu'il est encore possible de faire sortir des poumons après une expiration normale. (environ 1,5 litres).

**V.R. :** Le volume résiduel est la quantité d'air restant dans les poumons après une expiration forcée. C'est le volume laissé dans les espaces morts constitués des bronches et de la trachée (environ 1,5 litres).

**C.R.F. :** La capacité de réserve fonctionnelle correspond au volume de gaz contenu dans les voies aériennes après une expiration spontanée, au repos.

$$\mathbf{C.R.F. = V.R.E. + V.R.}$$

### **III ) - LA VENTILATION PULMONAIRE**

La ventilation pulmonaire permet de maintenir en vie l'être humain en y apportant l'oxygène dont il a besoin et en éliminant le dioxyde de carbone. Elle est contrôlée par le système nerveux végétatif et fonctionne grâce à un ensemble d'éléments qui travaille en synergie, de façon synchronisé.

La ventilation est la seule fonction vitale qui peut être interrompue un instant, volontairement par l'humain, appelé apnée.

#### **III.1 ) – La ventilation terrestre**

##### **III.11 ) – La ventilation normale**

Elle s'effectue en deux temps, l'inspiration et l'expiration, commandée par le système nerveux de façon autonome et involontaire. Un être humain ventile, au repos, de 12 à 17 cycles par minutes environ.

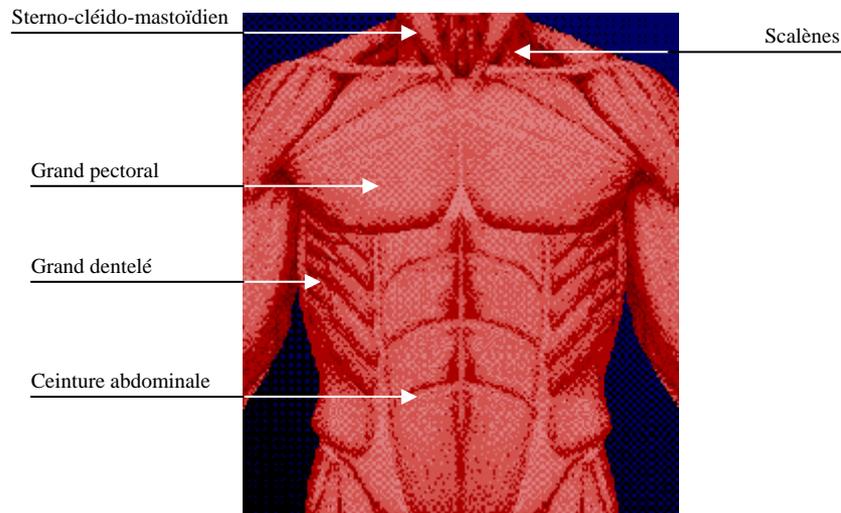
- L'inspiration est un phénomène actif car il résulte d'une contraction musculaire du diaphragme et des muscles inspireurs. Le diaphragme abaisse la base des poumons et les muscles inspireurs élèvent et agrandissent la cage thoracique.

Les muscles inspireurs normaux sont :

- Les scalènes (postérieur, moyen et antérieur) sont fixés sur les deux premières côtes. Au moment de l'inspiration, ils les tirent vers le haut. Ils assurent le rôle principal de l'inspiration normale.

- Les muscles intercostaux externes sont de longs muscles en forme de bandelettes qui forment de minces feuillets musculaires insérés entre les côtes. Ils tirent les côtes vers le haut pour agrandir la cage thoracique lors de l'inspiration. Ce qui élève la cage thoracique sur l'avant et les côtés.

- Les petits dentelés postérieurs et supérieurs situés en haut du dos assurent aussi mais de façon minime l'élévation des côtes.



- L'expiration résulte du relâchement musculaire du diaphragme et des muscles inspireurs qui reprennent leur position de repos. Sous le poids de la cage thoracique, les poumons se dégonflent et retrouvent son volume primaire du fait de leur élasticité. L'expiration est un phénomène passif.

Tout en étant un phénomène passif l'expiration met en jeu un certains nombres de muscles :

- Les muscles intercostaux moyens et internes
- Les muscles sous costaux
- Le muscle triangulaire du sternum

### III.12) – L'inspiration forcée

L'inspiration forcée résulte d'une contraction volontaire d'autres muscles inspireurs, non utilisés normalement, afin d'augmenter la capacité pulmonaire. De ce fait, il devient un phénomène actif.

Les muscles de l'inspiration forcée :

- Le muscle sterno-cléido-mastoïdien est situé au niveau du cou. Ce muscle sert à incliner la tête d'un côté et de l'autre et lors de la ventilation forcée.
- Le grand dentelé est un grand muscle quadrangulaire accolé à la paroi latérale de la cage thoracique. Ce muscle intervient chaque fois que le bras est projeté en avant pour prendre quelque chose ou pour pousser. Il contribue également à lever l'épaule pour lever le bras.
- Le muscle grand pectoral est situé sur la face de la cage thoracique et couvre la majeure partie de la poitrine. C'est un muscle épais en forme d'éventail qui se divise en deux faisceaux reliant l'aisselle au sternum et aux cartilages costaux.
- Les muscles de la ceinture scapulaires ont en général une action positive sur l'inspiration forcée.

### III.13) – L'expiration forcée

L'expiration forcée résulte d'une contraction volontaire d'autres muscles expirateurs, non utilisés dans la ventilation normale, afin de diminuer la capacité pulmonaire. Cette ventilation est dite active car elle oblige l'être humain à contracter de nouveaux muscles.

Les muscles de l'expiration forcée :

- Les muscles de la paroi abdominale
- Le muscle grand dorsal

### III.14 ) – Rythme et régulation de la ventilation

Cadence ventilatoire

- = 40 inspirations/Minute chez les nouveau né
- = 20 inspirations/Minute vers 20 ans
- = 16 inspirations/Minute au dessus

Capacité aspiratoire

- = 0,35 l à 0,5 l au repos

La cadence ventilatoire ainsi que la capacité varie selon l'âge et le sexe.

Aussi nous prendrons comme moyenne : 16 inspirations par minute et 0,5 litres.

### III.2 ) – La ventilation subaquatique

Du fait du changement de milieu (densité de l'eau), de l'utilisation du matériel et de l'application des lois physiques, le plongeur doit toujours contrôler sa ventilation et l'adapter à ses besoins en fonction de la profondeur en insistant sur l'expiration.

- Augmentation du volume résiduel (espace mort naturel), par l'adjonction d'un espace mort artificiel (détendeur ou tuba).
- Augmentation des efforts ventilatoires
  - ⇒ principe de fonctionnement du détendeur,
  - ⇒ nature des gaz inhalés,
  - ⇒ de la densité des gaz avec la profondeur
  - ⇒ de la diminution de la fluidité des gaz
  - ⇒ compression de la cage thoracique par la combinaison.
- Refroidissement de l'organisme
  - ⇒ ventilation buccale (air non réchauffé)
  - ⇒ nature du gaz inhalés (N<sup>2</sup> ou H<sup>2</sup>)
  - ⇒ Détente du gaz
- Assèchement de la gorge
  - ⇒ Qualité de l'air (sec)
  - ⇒ Ventilation buccale (air non humidifié)

## IV ) - LES ECHANGES GAZEUX

Un être humain, pour se maintenir en vie, doit ventiler un mélange gazeux composé d'oxygène (O<sup>2</sup>), de dioxyde de carbone (CO<sup>2</sup>) et d'un gaz diluant (azote N<sup>2</sup>). A la pression atmosphérique, ces trois composants de l'air ont une concentration d'environ 20,97 % pour l'oxygène, 0,03 % pour le dioxyde de carbone et 79 % pour l'azote.

L'air reste respirable si la teneur en oxygène est comprise entre 17 % et 21 % et le dioxyde de carbone entre 0,03 % et 2 %. Seul le gaz diluant à une valeur précise 79 %. L'air respiré à des concentrations supérieures ou inférieures à ces valeurs, devient toxique. Toutes cellules privées un certain temps d'O<sup>2</sup> meurt.

### IV.1 ) – La fonction respiratoire

Contrôlée par le système nerveux autonome, elle a pour rôle de maintenir en vie l'organisme par un apport en oxygène (O<sup>2</sup>) et une élimination du dioxyde de carbone (CO<sup>2</sup>). La respiration résulte du fonctionnement simultané de l'appareil ventilatoire et de l'appareil circulatoire, qui s'adaptent en fonction des besoins du plongeur. La respiration est une action musculaire qui ne provoque pas de fatigue particulière lorsque les poumons ventilent à l'air libre (P. Atm). Par contre, en plongée, avec l'augmentation de la masse volumique des gaz, l'effort devient plus important et demande une adaptation physiologique à la profondeur.

La fonction respiratoire ou échanges gazeux se s'effectuent dans l'organisme en deux étapes :

- L'étape alvéolaire
- L'étape sanguine
- L'étape cellulaire

#### IV-2) – L'ETAPE ALVEOLAIRE OU HEMATOSE

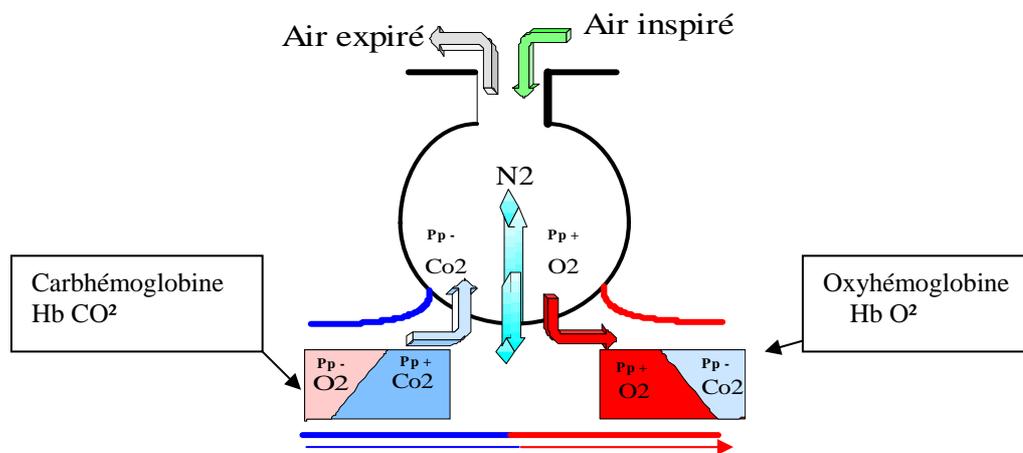
Elle consiste en un échange entre les gaz contenus dans les alvéoles pulmonaires tapissées de fins capillaires et ceux contenus dans le sang. Cette diffusion s'effectue grâce à la nature semi-perméable de la membrane alvéo-capillaire et par différence de pression (**de la plus importante vers la moins élevée**).

Il s'agit d'un phénomène purement physique qui est régit par deux lois : La loi de Henry et la loi de Graham. Ces lois définissent respectivement la vitesse de diffusion d'un gaz entre une phase gazeuse et une phase liquide, comme étant directement proportionnel à sa solubilité du gaz et le second comme étant inversement proportionnel à la racine carré du poids moléculaire du gaz.

Donc la diffusion dépend de la surface de contact, du temps de contact, de l'épaisseur de la membrane alvéo-capillaire et du gradient de pression.

Pression atmosphérique	Oxygène		Dioxyde de carbone		Azote	
	%	mm Hg	%	mm Hg	%	mm Hg
Air inspiré	20 %	152 mm Hg	0,03 %	0.2 mm Hg	80 %	610 mm Hg
Air alvéolaire	14,5 %	110,2 mm Hg	5,25 %	40 mm Hg	80 %	610 mm Hg
Air expiré	16 %	121,6 mm Hg	4,30 %	32,7 mm Hg	80 %	610 mm Hg

#### Schéma des échanges gazeux alvéolaires



#### IV-3) – ETAPE SANGUINE

Généralement l'oxygène et le gaz carbonique sont fixés et transportés par les globules rouges du sang. Cette fonction est assurée par une protéine : **l'HEMOGLOBINE**. Une faible quantité est dissoute dans le plasma.

Il est intéressant de noter que, dans la plupart des illustrations, comme dans l'organisme lui-même, le sang pauvre en oxygène est bleu ou violet foncé, alors que le sang riche en oxygène est rouge vif.

## ☒ L'OXYGENE

L'oxygène est transporté sous deux formes :

### a)- la forme combinée

Cette forme constitue le principal mode de transport. L'oxygène se fixe grâce aux ions de fer contenus dans une protéine des globules rouges, l'hémoglobine. Cette combinaison compose **l'OXYHEMOGLOBINE = Hb O<sup>2</sup>**. Elle représente 98,5 % du mode de transport de l'oxygène. Il s'agit d'un composé instable qui se dissocie dès que l'oxygène vient à diminuer dans les cellules.

### b)- la forme dissoute

Une faible quantité, 1,5 %, d'oxygène est véhiculée sous forme dissoute dans le plasma. Elle est nécessaire pour dissocier l'oxygène de l'hémoglobine.

## ☒ LE DIOXYDE DE CARBONE (gaz carbonique)

Le gaz carbonique est transporté sous trois formes :

### a) - la forme combinée

Cette forme ne constitue que 23 % de son mode de transport. Le gaz carbonique se fixe grâce aux ions de fer contenus dans l'hémoglobine et compose la **CARBHEMOGLOBINE = Hb CO<sup>2</sup>**.

- Effet BOHR : L'augmentation de la Pp. CO<sup>2</sup> diminue l'affinité de l'hémoglobine pour l'O<sup>2</sup>.

- Effet HALDANE : Pour une même Pp. de CO<sup>2</sup> le sang contient d'autant moins de CO<sup>2</sup> que la Pp. O<sup>2</sup> est plus élevée.

### b) - la forme dissoute

Seulement 7 % de ce gaz est dissout dans le plasma.

### c) - Transformation en bicarbonate de potassium

C'est le mode de transport le plus important du gaz carbonique car il représente 70 %.

Le gaz Carbonique est un gaz toxique ; mais il est l'excitant normal et le plus important des centres respiratoires bulbaires.

Le taux de CO<sup>2</sup> dans l'organisme conditionne le rythme respiratoire.

L'élévation de la Pp. CO<sup>2</sup> dans le sang artériel accélère la respiration : d'où hyperventilation.

Et lorsque l'augmentation de la Pp. CO<sup>2</sup> est trop élevée, elle est la cause de **l'ESSOUFFLEMENT**

De même que la diminution de la Pp. CO<sup>2</sup> ralentit la respiration d'où hypoventilation.

Le fonctionnement de la respiration est commandé par un centre nerveux situé au niveau du **BULBE RACHIDIEN**.

## ☒ L'AZOTE

L'azote quant à lui n'est transporté que sous la forme dissoute. La saturation en azote de l'organisme obéit à la loi d'Henry et varie au cours de la plongée.

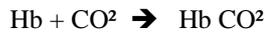
## ☒ L'OXYDE DE CARBONE

L'oxyde de carbone est un poison asphyxiant qui neutralise les hématies. Il est très difficilement dissociable et de ce fait très dangereux.

Composé stable : **CARBOXYHEMOGLOBINE = CO + Hb**

#### IV-4) – L'ETAPE CELLULAIRE

Le passage de l'O<sup>2</sup> dans les tissus et du CO<sup>2</sup> dans le sang se fait au niveau des capillaires qui irriguent ces tissus. La différence de pression partielle de ces gaz de chaque côté de la membrane cellulaire assure une diffusion inverse de celle constatée au niveau pulmonaire. Au niveau des hématies, dissociation et combinaison des gaz avec l'hémoglobine s'effectue de façon inverse de celle observée dans les capillaires pulmonaires.



Le sang libère dans les tissus l'oxygène qui va servir à la combustion des éléments énergétiques. Le métabolisme cellulaire va produire d'une part de l'énergie d'autre part des déchets CO<sup>2</sup> et Urée. Le sang va reprendre ses déchets pour les amener aux organes épurateurs (Poumons (CO<sup>2</sup>) Reins (Urée))

L'existence de la respiration tissulaire est démontrée par le dosage comparatif des gaz contenus dans le sang prélevé à l'entrée et à la sortie d'un organe. On constate une consommation d'O<sup>2</sup> et une production de CO<sup>2</sup>.

L'intensité des échanges respiratoires est un témoin fiable de l'activité cellulaire.

La température est un facteur capital de la respiration tissulaire. Dans l'organisme entier les oxydations tissulaires s'intègrent dans l'ensemble du fonctionnement en vue du maintien de la température corporelle au niveau physiologique. Lorsque cette température s'abaisse, il existe une zone d'hypothermie dans laquelle les oxydations tissulaires, s'accroissent malgré le refroidissement et précisément pour s'opposer à lui, sous l'impulsion des mécanismes Thermos - régulateurs nerveux et hormonaux. Au-dessous d'une certaine température corporelle la respiration tissulaire fléchit.

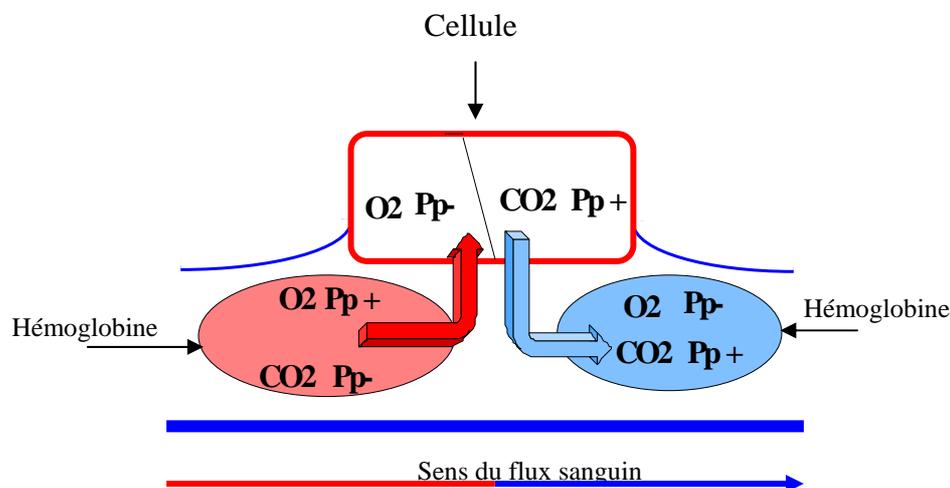
D'après la loi de Graham, la diffusion d'un gaz dans un liquide est dépendante du temps de contact entre le gaz et le liquide. La circulation sanguine est trop rapide pour permettre un temps de contact long nécessaire à une désaturation complète du sang en oxygène (sang artériel : 100 mmHg). Ce temps de contact trop court explique en partie la concentration en oxygène du sang veineux (40 mmHg), concentration supérieure à celle des cellules (30 mmHg)

A ce niveau d'échange gazeux chaque gaz exerce une tension partielle dans les tissus. La tension tissulaire d'oxygène est le plus souvent faible et toujours inférieure à 40 mmHg, la tension du dioxyde de carbone est au contraire élevée et habituellement supérieure à 50 mmHg.

La tension tissulaire de dioxyde carbone élevée entraîne une diffusion du CO<sup>2</sup> vers le sang veineux (46 mmHg).

Grande Circulation	Sang artériel	Tissus	Sang veineux
O <sup>2</sup>	100 mmHg	30 mmHg	40 mmHg
CO <sup>2</sup>	40 mmHg	50 mmHg	46 mmHg

#### Schéma des échanges gazeux cellulaire



L'osmose est le passage d'une substance (dans le cas qui nous occupe, l'oxygène ou le dioxyde de carbone) depuis une zone à forte concentration vers une région à faible concentration à travers une membrane semi-perméable.

## V) – QUELQUES DEFINITIONS

- ☞ **HYPERCAPNIE :** Augmentation la Pp. CO<sup>2</sup> entraînant une Hyperventilation
- ☞ **HYPOCAPNIE :** Diminution de la Pp. CO<sup>2</sup> entraînant une Hypoventilation
- ☞ **ESSOUFFLEMENT :** Augmentation du Rythme Respiratoire dû à l'augmentation de la Pp.CO<sup>2</sup>
- ☞ **HYPOVENTILATION :** Diminution du Rythme respiratoire dû à une diminution de la Pp.CO<sup>2</sup>
- ☞ **HYPEROXYE :** Augmentation de la Pp. O<sup>2</sup>
- ☞ **HYPOXIE :** Diminution de la Pp. O<sup>2</sup>

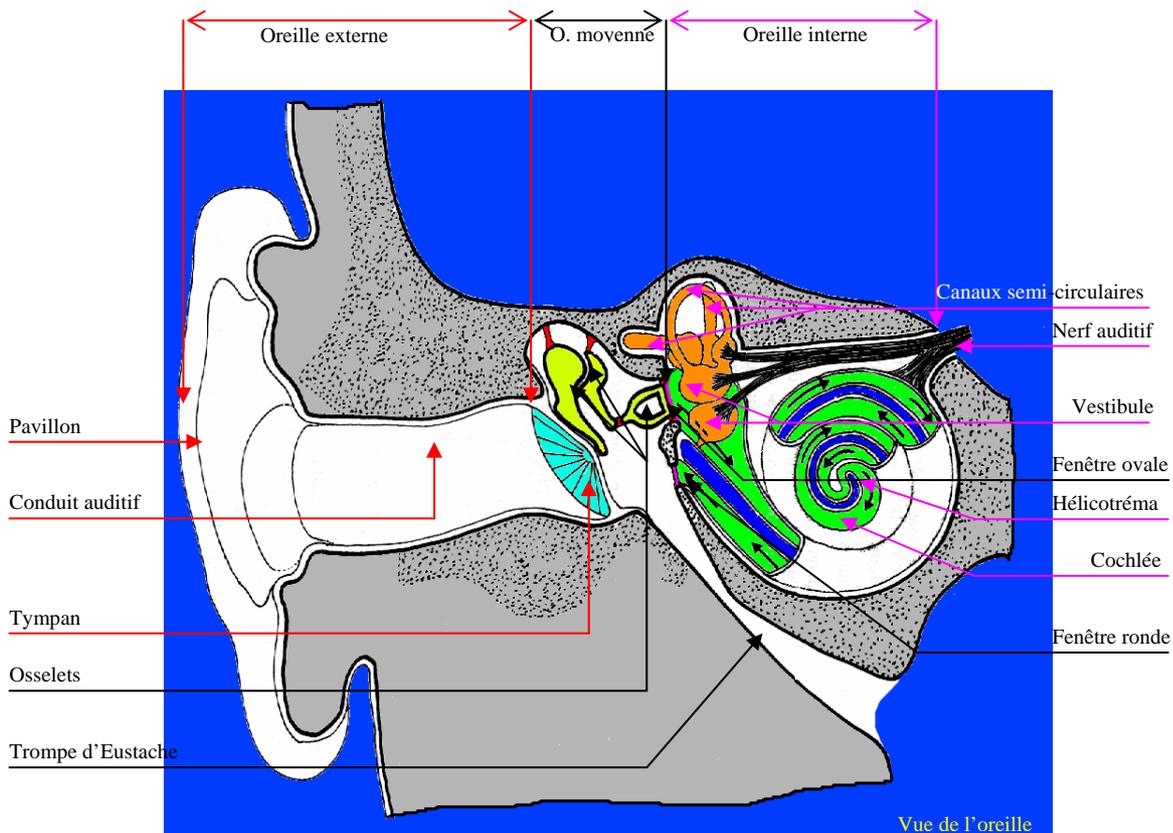
# L'OREILLE

L'oreille est un organe qui assure les fonctions de l'audition et de l'équilibre chez l'être humain. Très sollicité chez le plongeur, l'oreille subit des agressions diverses, dues au milieu (eau, air) et aux techniques d'équilibrage du plongeur.

## I) – Description

L'oreille est formée en trois parties

- L'oreille externe
- L'oreille moyenne
- L'oreille interne.



## 2) - L'oreille externe :

Elle se compose du pavillon et du conduit auditif externe.

### 2.1) - Le pavillon

C'est la partie charnue, visible de l'extérieur, constitué par un fibrocartilage, des ligaments, des muscles et un revêtement cutané.

Il se compose :

- Le fibrocartilage détermine tous les reliefs et se continue en dedans avec le cartilage du conduit auditif externe. Parmi tous ces reliefs, on distingue la saillie la plus excentrique, l'hélix qui forme le bord de l'oreille et une saillie concentrique à l'hélix, l'anthélix.
- La conque est une dépression en forme d'entonnoir dont le fond se continue par le conduit auditif externe. Elle aide les sons à pénétrer dans le canal auditif.
- Le tragus est une saillie triangulaire placée en avant de la conque, au dessous de l'hélix. Il assure une protection physique de la conque, du conduit auditif externe et devient souvent dur et douloureux au toucher lors d'otites externes.
- Le lobule ou lobe de l'oreille se trouve (suspendu) derrière le tragus. Il est composé de tissu adipeux.

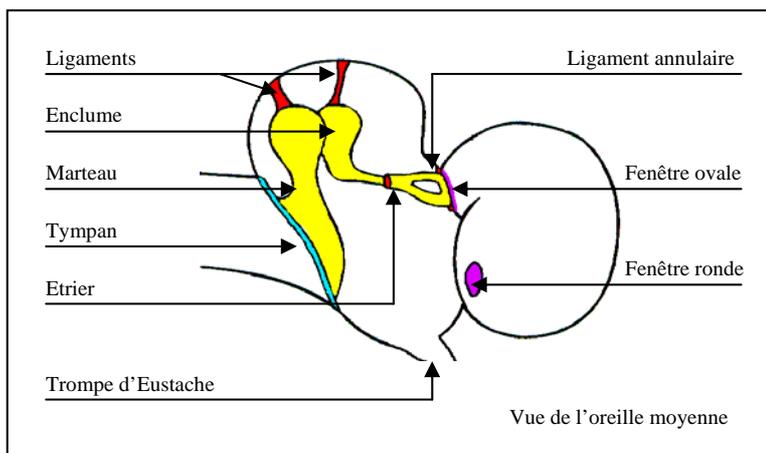
## 2.2 ) - Le conduit auditif

Visible de l'extérieur de l'oreille, c'est une cavité aérienne, d'environ 2,50 centimètres de long partant du pavillon et s'enfonçant en oblique dans le rocher. Le rocher est l'os du crâne qui contient l'ensemble des organes de l'audition. Le conduit auditif externe se termine par la membrane tympanique qui protège l'oreille moyenne en empêchant la pénétration de corps étrangers. Ce conduit contient de nombreuses glandes sudoripares et sébacées. Les sécrétions de ces glandes produisent un liquide collant jaune brun appelé cérumen qui arrête poussières et insectes.

## 3 ) - L'oreille moyenne

Elle porte également le nom de caisse tympanique. C'est une cavité aménagée dans l'épaisseur du rocher séparée de l'oreille externe par le tympan. Recouverte d'une muqueuse, elle est en communication avec le cavum par la trompe d'Eustache et avec l'oreille interne par deux petits orifices obstrués par une fine membrane, la fenêtre ovale et la fenêtre ronde. L'oreille moyenne renferme une chaîne rigide de 3 osselets, situés entre le tympan et les fenêtres.

- Le marteau
- L'enclume
- L'étrier



Le tympan est une membrane fine, d'un centimètre de diamètre, incliné à 45°, semi transparente, de forme ovale, à bord rigide et dont la surface externe est concave.

Les osselets sont composés du marteau, de l'enclume et de l'étrier. Ce sont les plus petits os du corps humain et leurs noms décrivent leurs formes. Ils se comportent comme des leviers mécaniques et sont reliés entre eux par des ligaments charnières. L'étrier est fixé à la fenêtre ovale par un ligament annulaire (forme d'anneau) appelé le ligament stapédo-vestibulaire.

La fenêtre ovale ou fenêtre vestibulaire est vingt fois plus petite que la membrane tympanique. Elle est obturée par la platine de l'étrier et sépare une cavité aérienne, l'oreille moyenne, d'une cavité liquidienne, le vestibule de l'oreille interne.

La fenêtre ronde ou fenêtre cochléaire est 25 fois plus petite que le tympan. Elle sépare une cavité aérienne, l'oreille moyenne, d'une cavité liquidienne, la cochlée de l'oreille interne. Elle sert d'amortisseur au mouvement liquidien de l'oreille interne lors de la perception de sons ou des manœuvres d'équilibration et plus particulièrement Valsalva.

La trompe d'Eustache est un fin canal d'environ 4 centimètres de long, qui relie la face antérieure de la caisse de l'oreille moyenne au cavum (Partie postérieure des fosses nasales). Elle arrive à la partie inférieure de l'oreille moyenne, son rôle est de maintenir une équipression constante de part et d'autre du tympan. Normalement collabée, l'ostium s'ouvre de façon passive dans le sens oreille moyenne – cavum et de façon active en sens opposé (bâillement, manœuvre d'équilibrage, etc.).

Très sollicité chez le plongeur, lors de manœuvre d'équilibration, l'oreille moyenne est le siège d'agression ou d'inflammation (otite).

#### 4) - L'oreille interne

Elle se compose de deux structures complexes, le labyrinthe osseux qui entoure le labyrinthe membraneux. Classiquement on distingue pour chaque labyrinthe un labyrinthe antérieur siège de l'audition et un labyrinthe postérieur siège de l'équilibration.

Le labyrinthe postérieur se compose du vestibule et des canaux semi-circulaires, et le labyrinthe antérieur est formé de la cochlée.

Partant de l'oreille interne, le nerf vestibulaire (équilibration) et le nerf cochléaire (audition) se rejoignent pour former le nerf auditif.

Le mal de mer est du au changement incessant de position du corps entraînant une excitation permanente du vestibule.

##### 4.1) Le labyrinthe osseux

Le labyrinthe osseux constitue une coque d'os compact autour du labyrinthe membraneux qu'il protège comme un carter ou la coquille d'un escargot. Cette coque est noyée dans l'os du rocher de structure différente.

##### 4.11) – Le labyrinthe postérieur (équilibration)

Il est composé du vestibule osseux et des canaux osseux semi-circulaires. Le vestibule osseux est en relation avec l'oreille moyenne par la fenêtre ovale.

##### 4.12) – Le labyrinthe antérieur (audition)

La cochlée ou, limaçon doit son nom à sa forme de coquille d'escargot enroulée en spirale sur 2 tours  $\frac{1}{2}$ . Le tube osseux est séparé en deux compartiments appelés rampe. La cloison assurant cette séparation est en partie osseuse, lame spirale et en partie membraneuse, c'est la membrane basilaire.

Le compartiment inférieur prend le nom de rampe tympanique, le compartiment supérieur est quand à lui sous divisé en deux par la membrane de Reissner qui le plancher de la rampe vestibulaire et le plafond du canal cochléaire.

La rampe vestibulaire commence après le vestibule osseux au niveau de la fenêtre ovale et finie au sommet du limaçon ou elle rejoint la rampe tympanique par un petit orifice, l'hélicotréma. Elle contient du liquide périlymphatique.

La rampe tympanique part de la fenêtre ronde et rejoint la rampe vestibulaire. Elle contient également du liquide périlymphatique.

#### 4.2 ) Le labyrinthe membraneux

Sac à paroi très mince contenant un liquide lymphatique (l'endolymphe), séparé du labyrinthe osseux par un liquide lymphatique (le périlymphe). Ce liquide sert d'amortisseur de mouvement, de choc et évite des lésions à cet organe fragile et sensible.

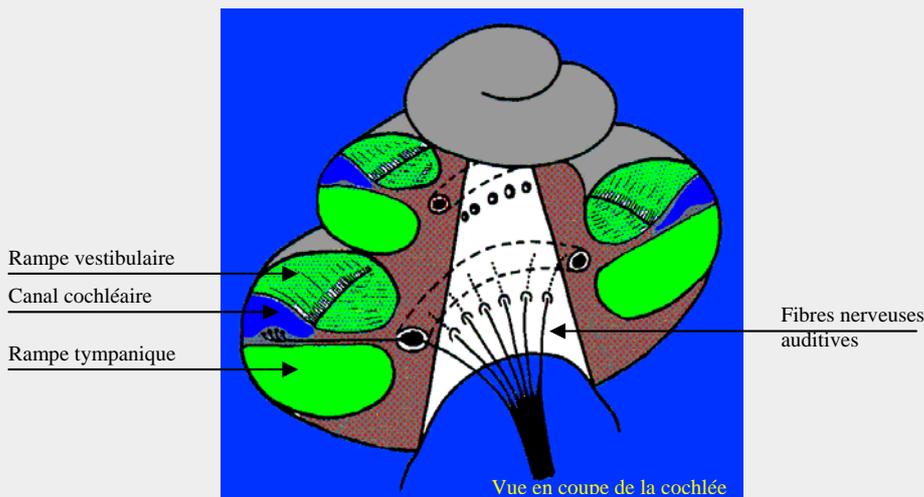
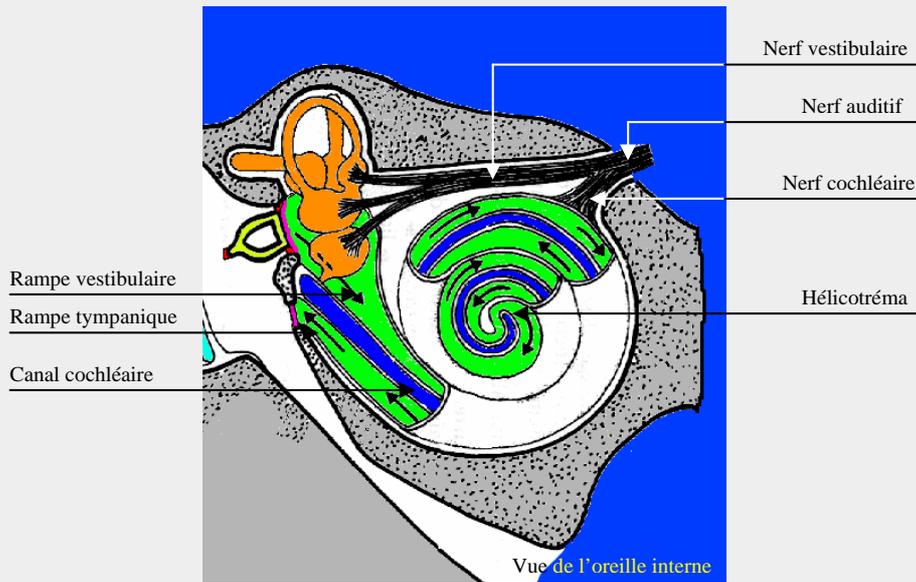
Il comprend deux parties distinctes, l'organe de l'équilibration et l'organe de l'audition.

##### 4.21 ) – Le labyrinthe postérieur (organe de l'équilibration)

Le vestibule se compose de l'utricule d'où se détachent les trois canaux semi-circulaires et du saccule. Il s'ouvre dans l'oreille moyenne par la fenêtre ovale et communique avec la cavité crânienne par l'aqueduc du vestibule qui est un canal très fin. Il contient un liquide lymphatique, l'endolymphe.

##### 4.22 ) – Le labyrinthe antérieur (organe de l'audition)

Le canal cochléaire, canal médian, contient l'organe de Corti. Cet organe est composé d'une membrane gélatineuse (membrane de Corti) et de deux rangées de cellules ciliées (cellules ciliées réceptrices). Il baigne dans du liquide endolympatique, composé de cellules auditives d'où part le nerf cochléaire.



## 5) - Le son

Le son est une onde vibratoire produite par un objet et qui se propage dans un milieu. Sa vitesse de propagation, à une température de 0° C, est cinq fois plus rapide dans l'eau que dans l'air. En effet, la vitesse est de 330 m/s dans l'air alors qu'elle est de 1500 m/s dans l'eau. Ceci résulte de la différence de densité entre l'eau et l'air. Aussi, il est très difficile à un plongeur de déterminer avec précision la provenance d'un son en immersion.

L'oreille humaine perçoit des sons compris entre 20 Hz et 20 000 Hz (nombre de vibrations par seconde).

### 5.1) - Perception du son

Le pavillon de l'oreille capte les sons, les transmet à la membrane tympanique grâce au conduit auditif externe. Le tympan vibre et fait bouger le marteau, premier des trois osselets, qui à son tour fait bouger l'enclume, puis déplace l'étrier. Les osselets amplifient les sons et transmettent les vibrations sonores à la fenêtre ovale. Elles atteindront la cochlée et seront transmises au cervelet par le nerf cochléaire. La fenêtre ronde servira d'amortisseur aux mouvements du liquide lymphatique contenu dans l'oreille interne. (Effet des ondes lors d'un jet de cailloux dans l'eau)

En réalité, la perception des sons au niveau de l'oreille interne est un plus complexe.

Les osselets de l'oreille moyenne, augmentent l'intensité d'un son de 5 décibels et le transforme en vibrations mécaniques, avant qu'il atteigne la fenêtre ovale. Une fois stimulée, elle crée des ondes dans le liquide périlymphatique de la rampe vestibulaire. Ces ondes sont transmises à la membrane basilaire, séparatrice de la rampe vestibulaire et du canal cochléaire. Cette membrane transmet les ondes au liquide endolymphatique du canal cochléaire. Les mouvements produits dans ce liquide stimulent les cellules ciliées, de l'organe de Corti qui transforme les ondes mécaniques en impulsions électriques sous l'effet d'une substance chimique. Ces impulsions sont reprises par les fibres nerveuses adjacentes et seront analysées par le cerveau. Il existe environ 30 000 fibres nerveuses dans chaque oreille.

Afin d'éviter un phénomène d'écho lors de la perception du son, l'onde engendrée dans le liquide périlymphatique de la rampe vestibulaire perd de son intensité au fur et à mesure qu'elle s'approche de l'hélicotréma. Puis elle passe cet orifice et vient se perdre dans la rampe tympanique où il est amorti par la fenêtre ronde. Aucune perturbation ne peut se faire entre la rampe tympanique et le canal cochléaire car ils sont séparés par la lame spirale (os).

## 6) – Les méthodes d'équilibrage

Naturellement, l'oreille moyenne et l'oreille externe son en équilibre. En raison de l'augmentation de la pression hydrostatique avec la profondeur, le plongeur doit conserver en permanence cet équilibre grâce aux méthodes d'équilibrage. Plusieurs techniques lui sont offertes.

### 6.1) – La méthode de Valsalva

**Valsalva**, médecin italien XVII siècles, n'a pas élaboré cette méthode pour la plongée, mais pour soigner les otites. Elle s'effectue en soufflant progressivement et doucement l'air par le nez alors que celui-ci est hermétiquement bouché. De ce fait, l'air injecté sous pression fait ouvrir la trompe d'Eustache qui équilibre l'oreille moyenne. La difficulté est d'arriver à doser entre la quantité d'air insuffler et celle réellement nécessaire. Aussi, cette manœuvre reste quand même légèrement traumatisante car le tympan se déplace d'un millimètre alors qu'il ne vibre que d'un micron (1000 fois moins) lors de la perception des sons. Mais elle reste beaucoup utilisée et plus particulièrement par les débutants, car elle est facilement réalisable.

### 6.2) – La méthode de Frenzel

Frenzel, médecin militaire allemand, qui pendant la dernière guerre mondiale a mis au point une méthode d'équilibrage pour permettre aux pilotes allemands de ne pas s'abîmer les oreilles lors des descentes en piqué. Aujourd'hui utilisé en plongée, cette méthode consiste en une contraction de la langue, qui vient se plaquer en haut et en arrière du voile du palais. En prononçant le mot KE, les muscles péristaphylins se contractent et laissent passer l'air.

### 6.3) – La méthode de la béance tubaire volontaire (BTV)

La BTV, technique mise au point par le docteur Delonca, qui consiste en une prise de conscience de la position des muscles du voile du palais et du pharynx lors d'un bâillement et de reproduire cet état volontairement au cours de la descente en plongée.

#### **6.4 ) – La méthode de la déglutition**

La déglutition entraîne la fermeture de la glotte par abaissement de l'épiglotte, la remontée de la langue qui se colle au palais et l'ouverture de la trompe d'Eustache. L'air passe naturellement dans l'oreille moyenne.

Pour nous plongeur nous comprenons mieux les raisons pour lesquelles il vaut mieux utiliser des méthodes d'équilibration des oreilles dites douces (BTV, Frenzel, déglutition) que Valsalva. En effet, à chaque manœuvre de Valsalva, le tympan se déforme énormément et fait bouger la fenêtre ovale par l'intermédiaire des osselets, laquelle répercute son mouvement aux liquides de l'oreille interne et à la fenêtre ronde.

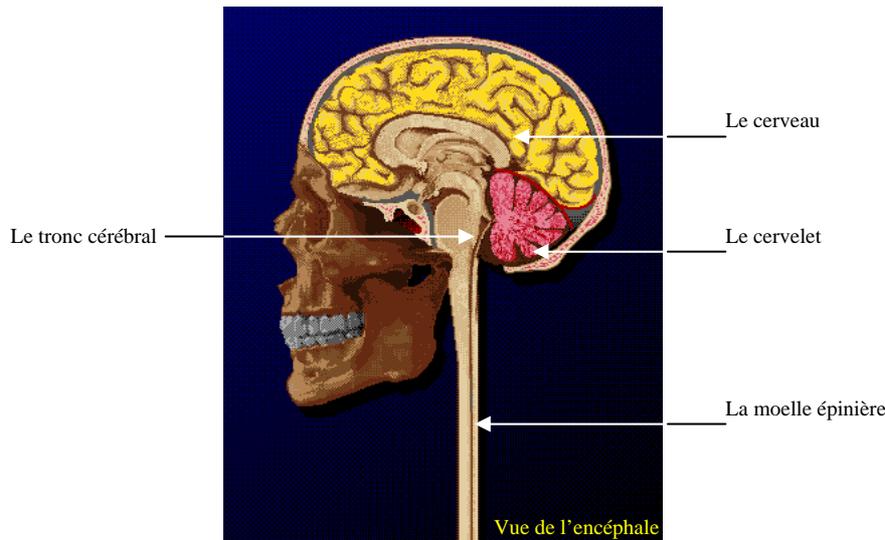
# LE SYSTEME NERVEUX

## I) – Le système nerveux

Le système nerveux humain est responsable de l'envoi, de la réception et du traitement des influx nerveux. Tous les muscles et les organes du corps dépendent de ces influx nerveux pour fonctionner. Trois systèmes travaillent de concert pour remplir la mission du système nerveux : le système nerveux central, le système périphérique et le système autonome.

### I.11) - Le système nerveux central

Il est responsable de l'émission des influx nerveux et de l'analyse des données sensibles. Il comprend l'encéphale et la moelle épinière.



### I.111) – L'encéphale

L'encéphale constitue l'organe principal du système nerveux, situé à l'intérieur de la boîte crânienne. Il pèse en moyenne 1,4 kilogramme, ce qui représente 97 % du poids total du système nerveux central. L'encéphale est relié à l'extrémité supérieure à la moelle épinière (trou occipital), il est responsable de l'envoi des influx nerveux, du traitement des données transmises par les influx nerveux et de la création des processus de pensée, au plus haut niveau.

L'encéphale se compose de trois parties :

- Le cerveau ou hémisphères cérébraux, de taille importante
- Le cervelet, de plus petite taille
- Le tronc cérébral relie-le tout à la moelle épinière. Le tronc cérébral comprend en outre le bulbe rachidien.

- Le cerveau, situé sous la calotte crânienne, est protégé par le liquide céphalo-rachidien, qui lui sert d'amortisseur. Il se compose d'une substance blanche (fibres nerveuses) et d'une substance grise. Le cerveau est constitué de deux moitiés latérales, les hémisphères, qui comprennent de nombreux replis (circonvolutions) et sillons (scissures). Le corps humain est divisé en deux moitiés latérales, le côté gauche et le côté droit. L'hémisphère droit commande le côté gauche et vice versa. Aussi, à ce stade les commandes nerveuses sont inversées. Il se divise en quatre lobes, le lobe frontal, le lobe occipital, le lobe pariétal et le lobe temporal. Le cerveau humain comprend environ 1 000 milliards de neurones et constitue le système le plus complexe qui soit connu actuellement. Il est responsable des plus hauts niveaux de pensée (mémoire, jugement, raisonnement), de l'analyse des données sensibles et de l'initiation des activités motrices volontaires (flexion musculaire volontaire).

- Le cervelet, deuxième partie de l'encéphale en importance, se situe juste derrière le cerveau. Le cervelet comprend une portion centrale et deux portions latérales (hémisphères). Il coordonne et régule les influx et les informations qui lui parviennent des terminaisons nerveuses de l'ensemble du corps. Notamment celles en provenance des centres de l'équilibre de l'oreille interne, et réagit à la situation en envoyant des signaux de régulation vers les neurones moteurs de l'encéphale et de la moelle. Les lésions du cervelet se manifestent ainsi par l'incapacité à maintenir une coordination précise des muscles et une activité motrice volontaire harmonieuse.

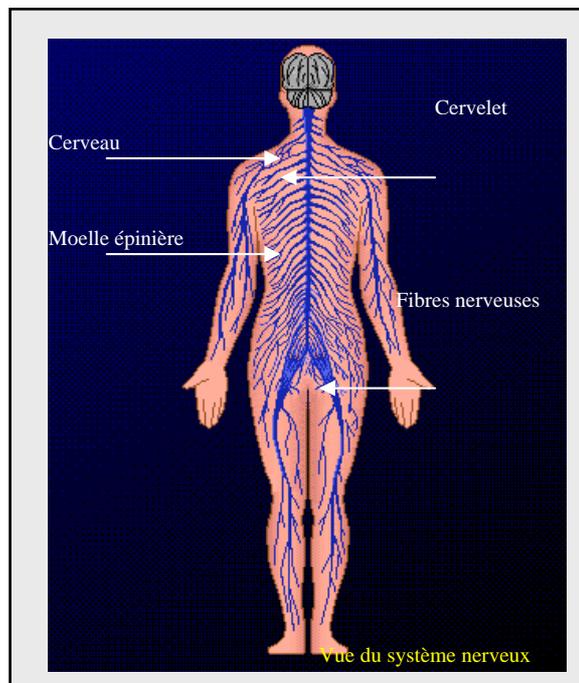
- Le bulbe rachidien est la partie basse du tronc cérébral. Situé juste au-dessus du trou occipital, il est la connexion entre le cerveau et la moelle épinière et ne mesure que 2,5 cm de largeur environ. Le bulbe rachidien contient un certain nombre de centres nerveux qui contrôlent les mécanismes involontaires, tels que les battements cardiaques, la respiration et la régulation de la température corporelle. Il joue un rôle primordial dans la transmission des influx nerveux entre la moelle épinière et le cerveau supérieur. Beaucoup de fibres nerveuses qui le traversent se croisent, ce qui explique que de nombreuses fonctions du côté gauche de l'organisme soit contrôlé par le côté droit du cerveau et vice versa.

- La moelle épinière est une des parties principales du système nerveux central, de forme légèrement aplatie, son diamètre est d'un demi centimètre environ. La moelle épinière part du bulbe rachidien et s'étend jusqu'à l'extrémité de la colonne vertébrale. La moelle épinière flotte dans le liquide céphalo-rachidien, qui la protège et la nourrit.

Les lésions de la moelle épinière se caractérisent par l'incapacité de la moelle à transmettre ou recevoir les influx nerveux des régions d'où paralysie et paresthésie (engourdissement).

## I.12 ) - Le système nerveux périphérique

Il comprend de nombreux nerfs crâniens et spinaux qui sortent de l'encéphale et de la moelle épinière par paires et courent le long de la colonne vertébrale. Ces terminaisons nerveuses forment des voies nerveuses afférentes et efférentes. Il est responsable de la transmission des influx nerveux vers ou à partir des nombreuses structures de l'organisme.



### I.13 ) - Le système nerveux autonome

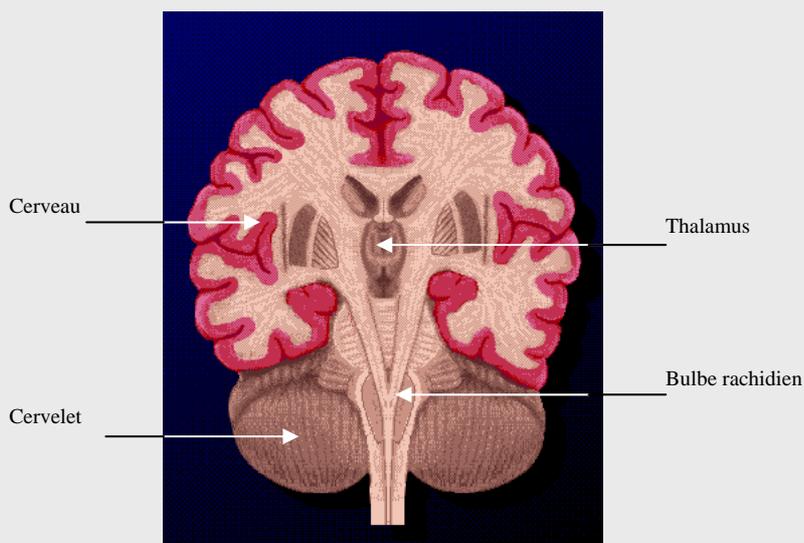
Le système nerveux autonome se compose de deux systèmes nerveux, **le système sympathique** et **le système parasympathique**. Sous le contrôle du cortex cérébral, de l'hypothalamus, du bulbe rachidien et en parallèle avec le système nerveux central, il est responsable de la régulation et de la coordination des fonctions vitales de l'organisme.

- Les nerfs sympathiques cheminent le long de la colonne vertébrale et forment un long faisceau de fibres, que l'on appelle la chaîne sympathique et correspond à des groupes d'organes spécifiques. Elle provoque, en réaction à un stress ou à un stimulus, une augmentation de la fréquence cardiaque, une dilatation des bronches, de la sécrétion de salive et de sueur. Ils contrôlent la contraction des fibres musculaires lisses involontaires, des viscères et des vaisseaux sanguins.

- Le système parasympathique contrebalance ces effets en ralentissant la fréquence cardiaque, en dilatant les vaisseaux sanguins de manière à conserver ou régénérer l'énergie. Il envoie des influx nerveux vers le nerf facial, le nerf moteur oculaire, le nerf glosso-pharyngien (pharynx, langue, tympan) et le nerf vague (cœur, poumons, estomac).

L'hypothalamus est un minuscule amas de cellules nerveuses situées à la base de l'encéphale, au milieu de la boîte crânienne. Cet organe sert de pont entre le système nerveux autonome et le système endocrinien. L'hypothalamus est responsable de la régulation d'un grand nombre de fonctions organiques. Son rôle est d'intégrer les stimuli et de leur apporter une réponse appropriée. Il intervient dans la régulation de la faim, de la soif, du sommeil et de l'état de veille. Il joue aussi un rôle important dans la régulation de la majeure partie des processus involontaires de l'organisme, tel que le maintien de la température corporelle, l'appétit, la libido, le rythme cardiaque, la pression artérielle et le cycle menstruel de la femme.

Le thalamus est situé entre les hémisphères cérébraux et le mésencéphale. Le thalamus contient les centres nerveux responsables des réflexes optiques, auditifs, de l'équilibre, et de la posture.



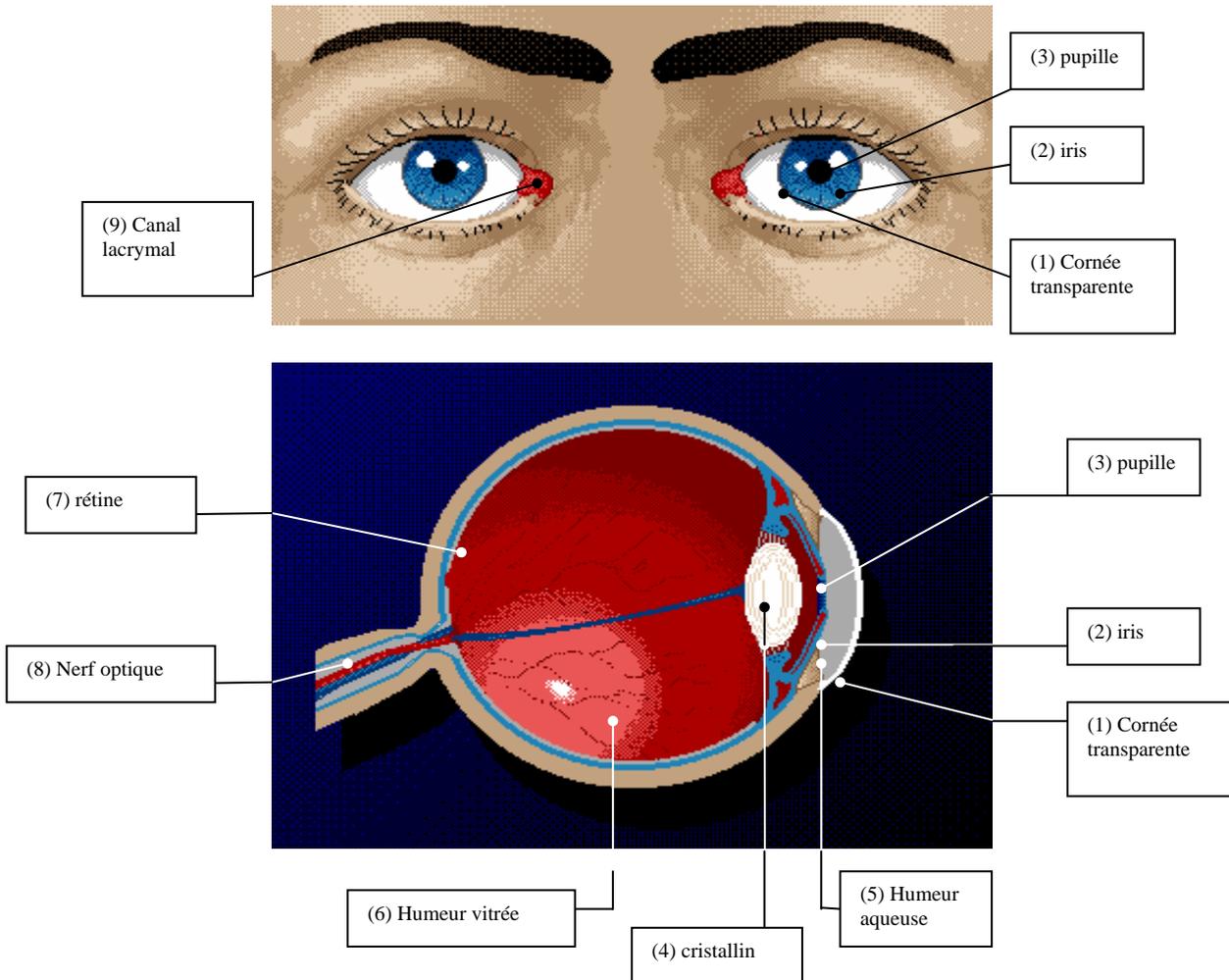
# L'OEIL

Les globes oculaires enveloppés d'un tissu graisseux sont logés dans des cavités osseuses, les cavités orbitaires ou orbites situés symétriquement de part et d'autre de l'arrête nasale.

Protégé par les paupières l'œil est l'acteur premier de la vue, sens considéré comme le plus important.

Selon une estimation, les quatre cinquièmes de ce que nous connaissons sont transmis au cerveau par l'intermédiaire des yeux. Les yeux transmettent des flux continus d'images au cerveau par l'intermédiaire de signaux électriques. Les yeux reçoivent l'information à partir des rayons lumineux.

## I) - DESCRIPTION



( 1 ) **La cornée** est la membrane bombée située devant l'œil. Elle est transparente. Elle se trouve sous une fine membrane protectrice, la membrane conjonctive. La cornée permet aux rayons lumineux de pénétrer dans l'œil et les réfléchit ou les réfracte. L'iris est situé juste derrière la cornée.

( 2 ) **L'iris**, est l'anneau coloré qui se trouve juste en dessous de la cornée et présente en son centre la **pupille**. Ce diaphragme ou cette formation colorée donne à l'œil sa couleur caractéristique. Il est en fait composé d'un sphincter minuscule (en forme de couronne) et de muscles dilatateurs qui peuvent faire varier la taille de la pupille en fonction de la luminosité.

( 3 ) **La pupille** est une ouverture au centre de l'iris et apparaît noire. Si l'œil est exposé à une luminosité très forte, la pupille se contracte afin de protéger les cellules nerveuses situées au fond de l'œil. Lorsque la luminosité est faible, la pupille se dilate pour laisser entrer le plus de lumière possible.

( 4 ) **Le cristallin** situé derrière la pupille et en contact en l'avant avec ( 5 ) **l'humeur aqueuse** en arrière avec **l'humeur vitrée** ( 7 ). Le cristallin est maintenu en place par un ligament fixé au muscle ciliaire qui se trouve dans la partie antérieure de l'œil. Le cristallin réfracte la lumière pour projeter une image nette sur la rétine.

Chez un individu sain, le muscle ciliaire peut modifier la forme du cristallin (qui est élastique) pour mettre au point la vision d'objets qui se trouvent à des distances différentes. Lorsque vous regardez un objet éloigné, le muscle ciliaire se relâche et le cristallin n'est plus que légèrement incurvé. Pour regarder un objet proche, le muscle ciliaire doit se contracter, le cristallin est alors très bombé et très incurvé. Cependant, si le globe oculaire a une forme telle que la rétine est trop proche du cristallin (hypermétropie) ou trop éloignée (myopie), les objets apparaissent flous. L'astigmatisme est dû à des irrégularités soit de la cornée, soit du cristallin.

( 5 ) **L'humeur aqueuse** est un liquide clair remplissant la chambre antérieure de l'œil. Il protège et nourrit la cornée.

( 7 ) **La rétine** est une couche d'épaisseur microscopique qui tapisse intérieurement la chambre vitrée du globe oculaire. Elle est composée de cellules nerveuses réceptrices spécialisées : les cônes et les bâtonnets, qui détectent la lumière. Les cellules nerveuses de la rétine transforment l'énergie lumineuse en messages électriques qui sont transmis au cerveau par le nerf optique. Le fond de l'œil permet d'observer deux roues particulières sur cette rétine. La tâche jaune avec sa dépression centrale, la fovéa, correspond à la roue d'acuité visuelle maximale, la tâche aveugle ou papille optique correspond au point de départ du nerf optique.

C'est entre la cornée et l'iris que se situe un petit compartiment contenant un liquide clair appelé ( 5 ) **l'humeur aqueuse**. Ce liquide protège le cristallin et nourrit la cornée.

Il est régénéré toutes les quatre heures mais peut quelquefois contenir de petites impuretés, qui projettent des ombres sur la rétine et entraînent la formation de points noirs qui gênent la vision. En général, l'humeur aqueuse est sécrétée derrière l'iris, circule à travers la pupille et est filtrée entre l'iris et la cornée.

Entre le cristallin et la rétine se situe un large compartiment contenant une substance gélatineuse transparente. Ce compartiment est connu sous le nom de corps ou ( 6 ) **d'humeur vitrée**. Ce fluide maintient la rétine en place et assure la forme sphérique du globe oculaire.

( 8 ) **Le nerf optique** naît au niveau de la tâche aveugle et transmet les impulsions nerveuses des cônes et bâtonnets de la rétine au cerveau.

( 9 ) **Le conduit lacrymal** est situé dans le coin interne de la paupière inférieure, il évacue le liquide lacrymal (stérile) qui baigne en permanence la partie antérieure de l'œil et sa fine membrane protectrice, la membrane conjonctive. Ce liquide est sécrété par la glande lacrymale située au dessus de l'angle palpebrale externe. Même si le flot de larmes est continu, seulement 1/2 à 2/3 de gramme de ce liquide est sécrété chaque jour.

## II ) LA VISION SOUS-MARINE

Sans masque nous avons une vision floue dans l'eau. Ce masque permet de rétablir une vision normale et annuler l'effet de grossissement et de rapprochement des objets dû à un indice de réfraction différent de celui de l'air.,

Le masque peut être équipé de verres correcteurs pour corriger les défauts visuels éventuels.

( hypermétropie = défaut de convergence des milieux transparents ou défaut de longueur du globe tel que l'image des objets tend à se former en arrière de la rétine, la myopie est le défaut inverse) ou

Sans masque, l'eau est au contact direct avec l'œil, d'où l'impression de gêne, puisque cette eau a tendance à diluer (voire supprimer) les larmes qui lubrifient, protègent et nettoient notre œil.

Une forte pression sur le globe oculaire retransmise par le nerf optique au cerveau entraîne un ralentissement cardiaque (bradycardie) qui peut aller jusqu'à la syncope (placage de masque). Aussi, lors d'une visite initiale, le médecin peut pratiquer un test oculo-cardiaque afin de vérifier qu'il y a une adaptation physiologique cardiaque consécutive à l'augmentation de la pression sur le globe oculaire.

#### **IV ) LA VISION TERRESTRE**

Quand vous regardez, les rayons réfléchis par l'objet pénètrent dans l'œil. La lumière est réfractée par la cornée, traverse l'humeur aqueuse et la pupille puis se dirige vers le cristallin. L'iris contrôle la quantité de lumière pénétrant dans l'œil, puis le cristallin focalise la lumière qui traverse l'humeur aqueuse et atteint la rétine, formant une image inverse. Les cellules photosensibles de la rétine transmettent l'image au cerveau par des signaux électriques. Le cerveau " perçoit " l'image dans le bon sens.

#### **V ) LES RAYONS LUMINEUX**

Les rayons lumineux sont absorbés, réfractés, diffusés ou réfléchis. Les objets absorbant tous les rayons lumineux apparaissent noirs, alors que ceux qui les réfléchissent tous apparaissent blancs. Les objets colorés absorbent certaines parties du spectre lumineux et réfléchissent les autres.