

Formation théorique Niveau IV



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Sommaire

Aujourd'hui ..

- Réglementation
- Physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- **Système respiratoire et plongée**
- Sphère ORL et plongée
- Eléments de calcul de tables
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Etre un guide de la mer connaissant le milieu



Le système respiratoire

Comme son nom l'indique, le système respiratoire n'est pas un organe unique mais un mécanisme complexe composé de plusieurs organes et capteurs qui fonctionnent sous contrôle du SNC. Le rôle du système respiratoire est double :

- Alimenter le corps humain en énergie (O_2)
- Rejeter les déchets gazeux, issues du fonctionnement du corps (CO_2), ainsi que les gaz inertes qui composent l'air que nous respirons (N_2 , gaz rares)

En plongée, des phénomènes physiques (Lois de Boyle-Mariotte, de Dalton et de Henry) sont à l'origine de modifications importantes de l'environnement du plongeur qui peuvent compromettre sa sécurité.

Le système respiratoire est un système fragile qui, pour être protégé, doit être compris.

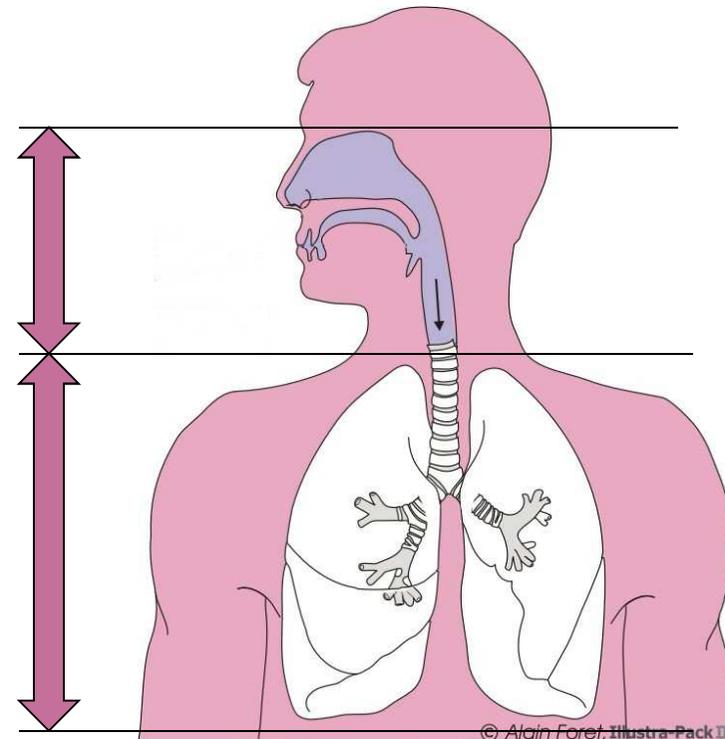


Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

Le système respiratoire est composé de deux parties

Les voies aériennes supérieures

Les voies aériennes inférieures

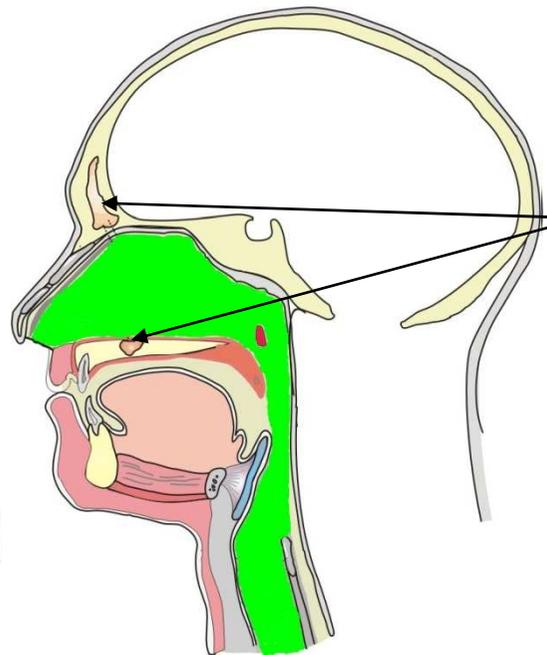
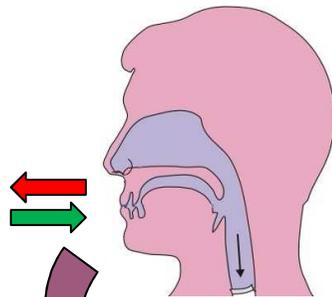


Les voies aériennes supérieures



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

Les voies aériennes supérieures assurent l'écoulement de l'air vers les poumons et l'évacuation de l'air vicié.

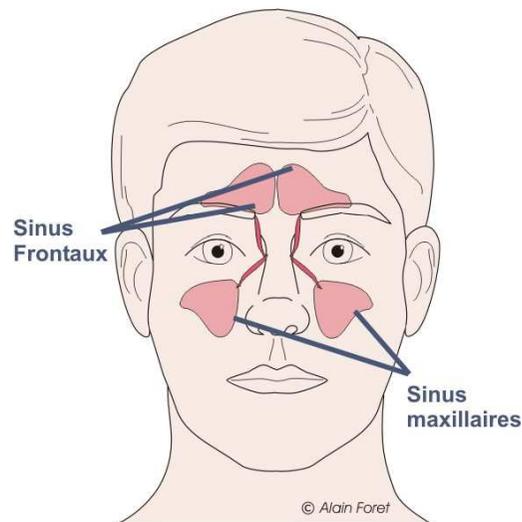


Elles sont composées :

- Des sinus frontaux et maxillaires
- des fosses nasales
- du pharynx
- du larynx
- et de la partie supérieur de la trachée



les sinus



Bien qu'il n'intervienne pas directement dans le cycle respiratoire, les sinus font partie des voies aériennes supérieures.

Les sinus sont des cavités remplies d'air qui peuvent, de ce fait, être l'objet de barotraumatismes.

Ils sont reliés aux fosses nasales par des fins canaux qui peuvent être obstrués (rhume, sinusite, etc.)

Les sinus remplissent probablement plusieurs fonctions :

- Diminution relative du poids de la partie antérieure du crâne, en particulier des os de la face (leur forme est importante du point de vue de l'attache des muscles de la face)
- Amélioration du réchauffement et de l'humidification de l'air inhalé avant qu'il n'atteigne les poumons
- Augmentation de la résonance de la voix



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

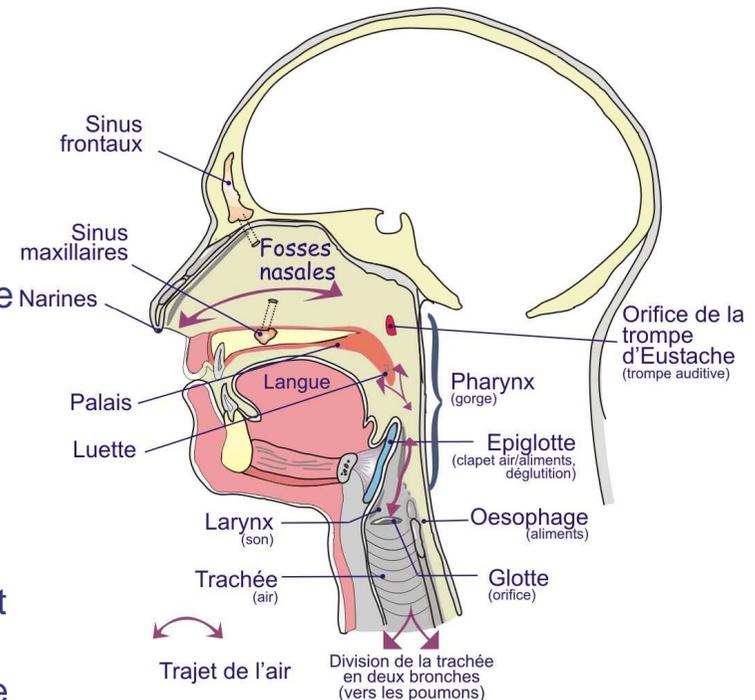
Le rôle des **fosses nasales** est bien plus clair. Ce rôle consiste à humidifier, à réchauffer et à filtrer l'air inspiré.

Le **pharynx** est une « zone » délimitée par l'orifice de la **trompe d'eustache** (partie supérieure) et par le carrefour aérodigestif (larynx, œsophage) pour sa partie inférieure.

Le **larynx** est l'organe qui produit les sons et qui contient **la glotte** (située entre les cordes vocales). La glotte s'ouvre ou se ferme volontairement ou involontairement (panique, spasme réflexe, etc.)

L'épiglotte est un clapet dont la fonction est d'obstruer la trachée lors de la déglutition.

Enfin, **la trachée** est un simple conduit dont la fonction est de canaliser l'air vers les voies aériennes inférieures à l'inspiration et vers les voies aériennes supérieures lors de l'expiration, elle participe au filtrage, au réchauffement et humidifié



En plongée, le trajet de l'air est anormal. En effet, en raison de l'inspiration sur le détendeur, l'air inspiré ne transite pas par les fosses nasales, et ne peut donc :

- ni être filtré,
- ni être humidifié,
- ni être réchauffé par les fosses nasales.

L'air respiré en plongée est sec et froid et participe ainsi à la déshydratation et au refroidissement du plongeur.



Les voies aériennes inférieures

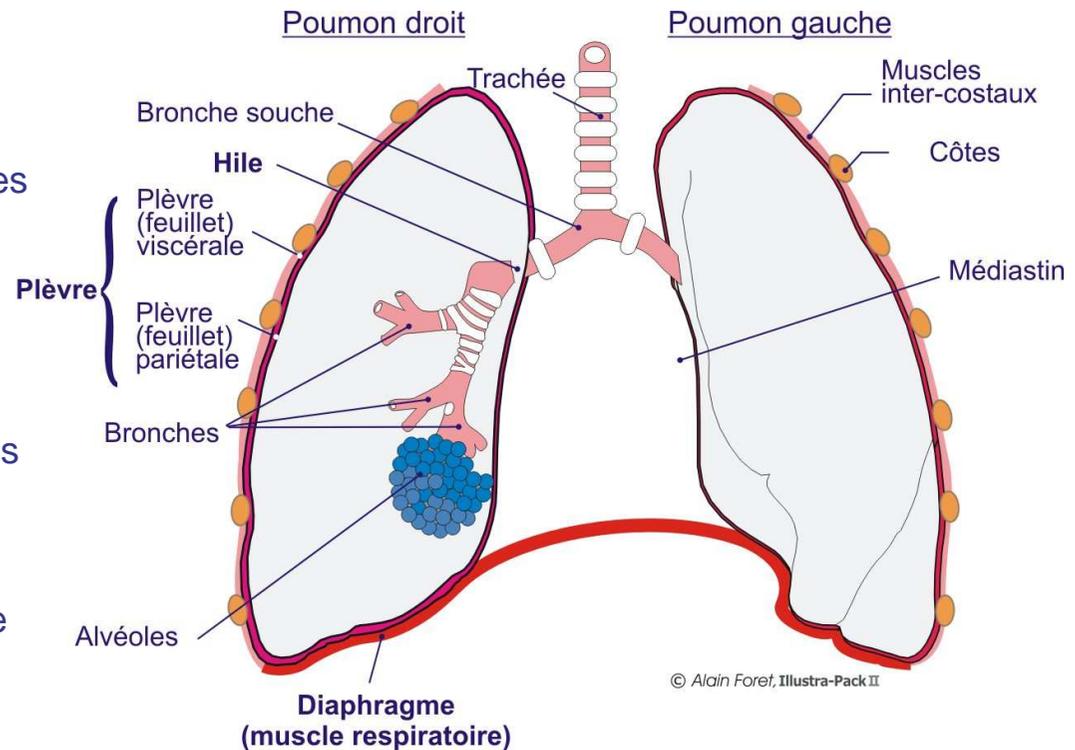


Les voies aériennes inférieures

Aussi appelées voies intra-thoraciques, elles commencent dès le bas de la trachée et finissent par les poumons.

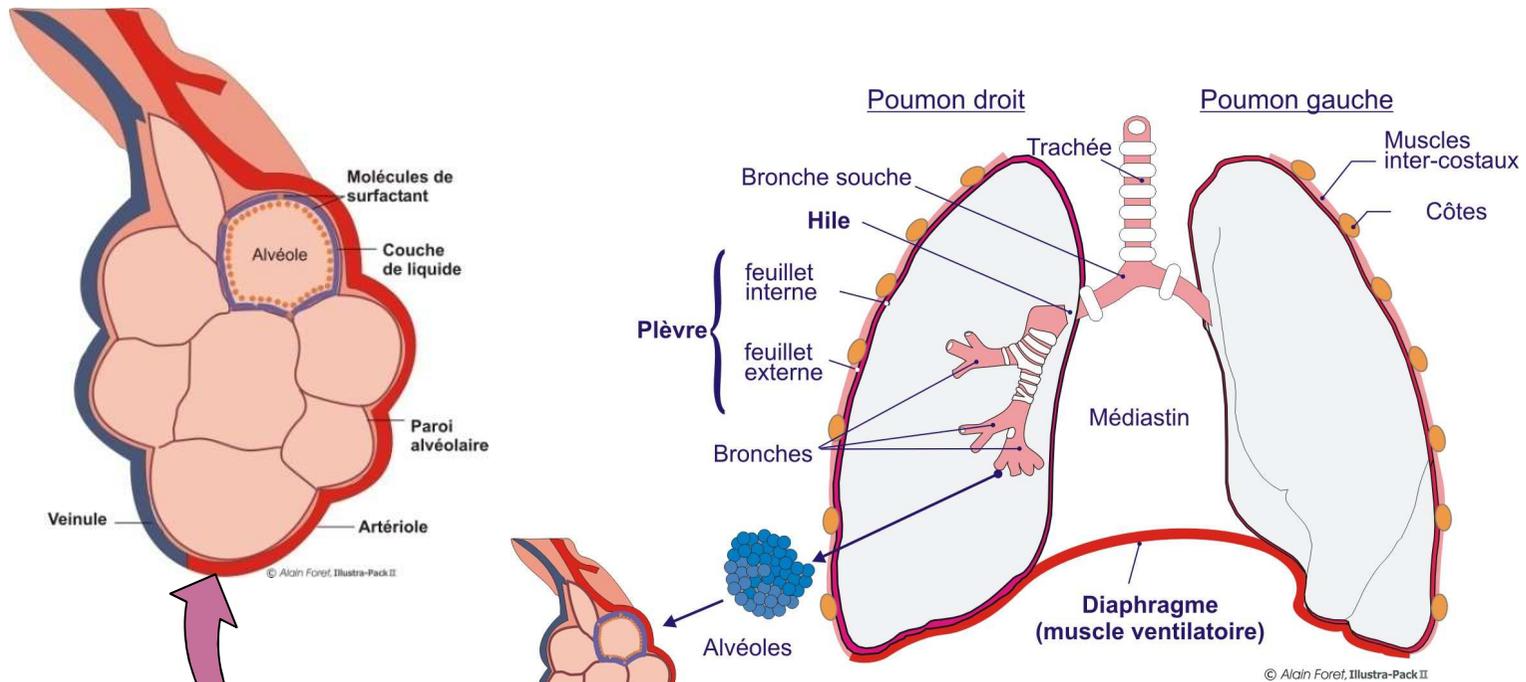
La trachée se subdivise en deux bronches souches, qui pénètrent dans les poumons par le hile, puis en bronches de plus en plus fines qui finissent en bronchiole (0,5mm).

Ces bronchioles aboutissent aux lobules pulmonaires qui sont constitués d'une série de petits sacs appelés « alvéoles pulmonaires »



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

Les voies aériennes inférieures



Entre les deux poumons se situe un espace, qui abrite le cœur : le médiastin, et où cheminent la trachée et les vaisseaux issus du cœur.



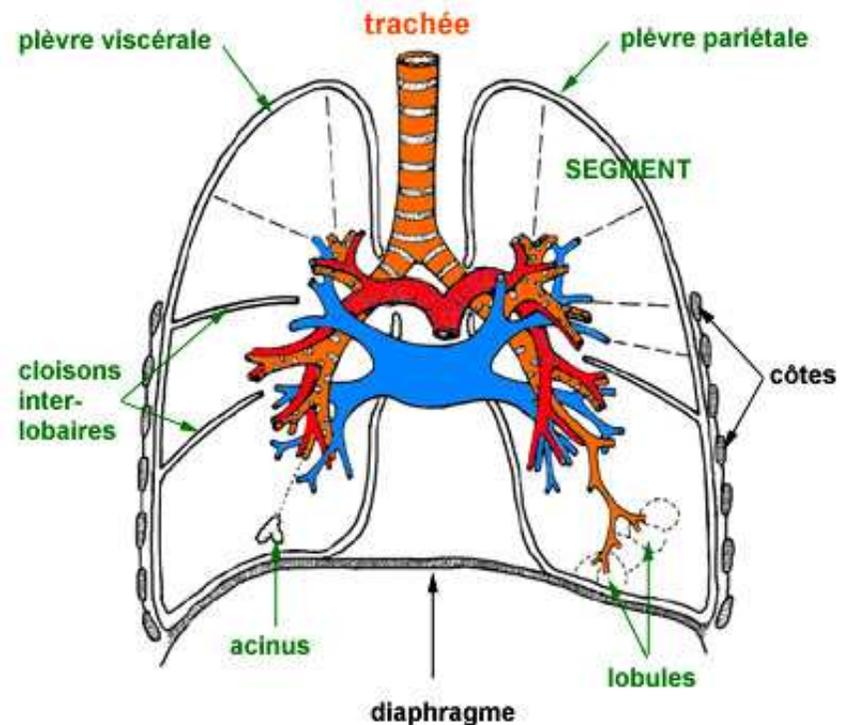
Les poumons

Les poumons, sont entourés par la **plèvre**. Ils sont constitués de trois lobes pour le poumon droit : lobe supérieur, lobe moyen, lobe inférieur,

et de deux lobes pour le poumon gauche : lobe supérieur et lobe inférieur.

L'élasticité de la plèvre permet le changement de volume des poumons parallèlement à la contraction et au relâchement des muscles respiratoires (pectoraux, diaphragmatiques et abdominaux);

l'adhérence des deux feuillets de la plèvre permet la transmission des mouvements respiratoires aux poumons.



Le **hile** par où pénètre la bronche souche et les vaisseaux pulmonaires est dépourvu de plèvre, c'est une zone de faiblesse.



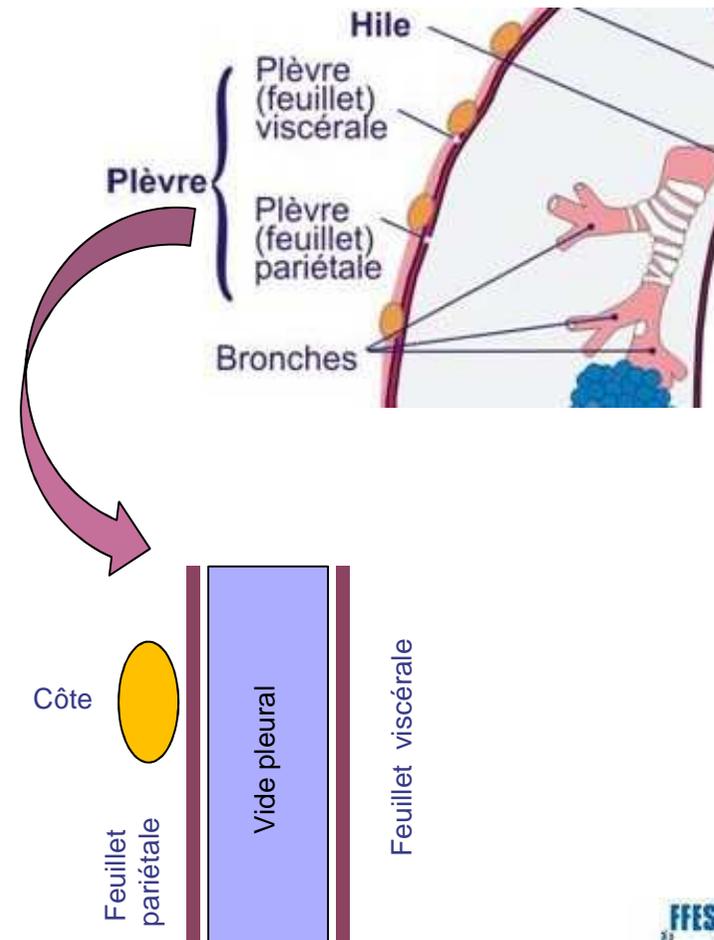
La plèvre

la plèvre est constituée d'un feuillet externe (ou pariétal) adhérent à la paroi thoracique et d'un feuillet interne (ou viscéral) qui adhère aux poumons.

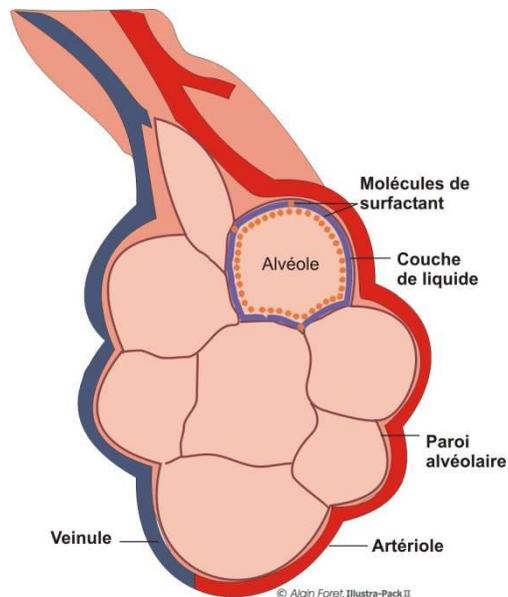
Entre ces feuillets, se situe le vide pleural qui assure leur solidarité.

On y trouve cependant un liquide lubrifiant permettant le glissement des feuillets pleuraux l'un sur l'autre pendant la ventilation.

L'intégrité poumons-côtes-muscles est essentielle à la ventilation.



Les alvéoles pulmonaires



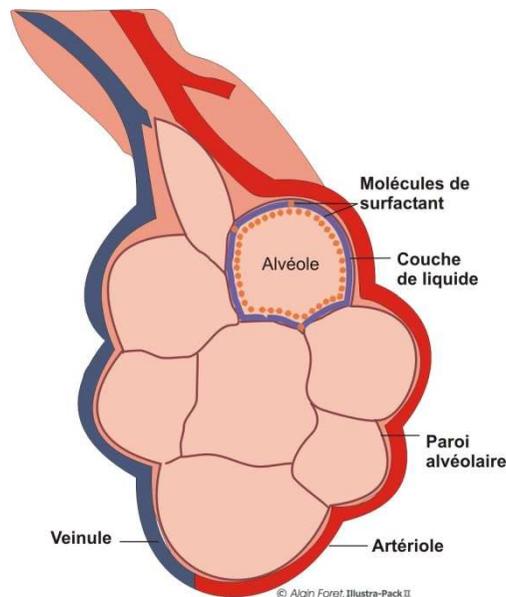
Les alvéoles pulmonaires sont le siège des échanges gazeux (O₂, N₂, CO₂). Ce sont des petits sacs où débouche l'air amené par les voies respiratoires.

Leur paroi est élastique et tapissée de *liquide et de surfactant*.

Le rôle de ce liquide est de dissoudre les gaz avant leur diffusion au travers des parois.

Le surfactant est sécrété par certaines cellules de la paroi alvéolaire. Il intervient dans la perméabilité et dans la protection de l'alvéole .

Les alvéoles pulmonaires



Une alvéole mesure environ 0.2 mm.

les fibres de la paroi étant élastiques, le diamètre de celle ci peut passer à 0.1 mm en cas d'expiration forcée et atteindre 0.3 à 0.5 mm lors d'une inspiration forcée.

Nos deux poumons comptent en moyenne 700 millions d'alvéoles.

La surface de contact dans les alvéoles est d'environ 100 à 150 m² (chez l'homme, seulement les deux tiers des alvéoles sont fonctionnelles) et l'épaisseur de la paroi alvéo-capillaire est inférieure à 1 micron.



La mécanique ventilatoire

Contrairement à une idée répandue, l'air ne fait pas gonfler les poumons. Se sont les poumons qui en modifiant leurs volumes provoquent un effet d'aspiration (inspiration) ou de rejet (expiration) de l'air ambiant.

Chez un individu au repos la phase d'**inspiration est une phase active** qui nécessite l'intervention de plusieurs muscles (Diaphragme principalement, intercostaux, scalènes, etc.). L'action de ces muscles augmente le volume des poumons et provoque l'aspiration de l'air ambiant par dépression

En revanche, et toujours au repos, l'expiration est une phase passive, provoquée par le relâchement des muscles inspiratoires.

Cette phase devient active, et donc consommatrice d'énergie et source de CO₂, en plongée (exercice, respiration sur détendeur)



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

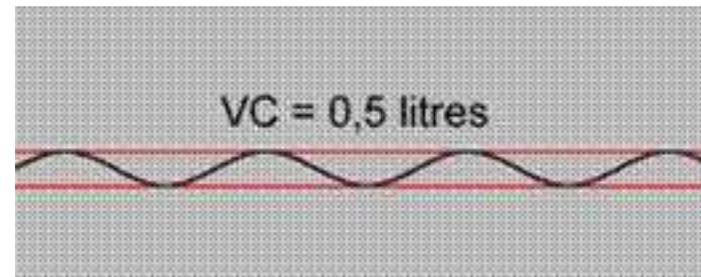
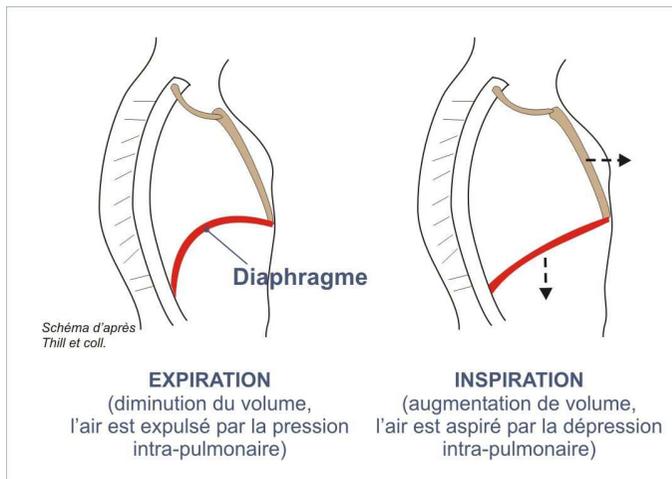
Nos poumons suivent sans cesse un cycle inspiration/expiration.

En temps normal, au repos, ils brassent 0,5 litres par cycle pour une moyenne de 15 à 20 cycles par minute au repos soit 7 à 10 l/mn..

C'est-à-dire que le volume des poumons oscille entre deux valeurs distantes de 0,5 litres.

Cette quantité d'air est suffisante pour alimenter notre corps en oxygène, en l'absence d'effort important.

La courbe du schéma ci-contre symbolise la variation de volume des poumons en fonction du temps, au repos.



**Ce volume est appelé
« Volume Courant » (VC)**



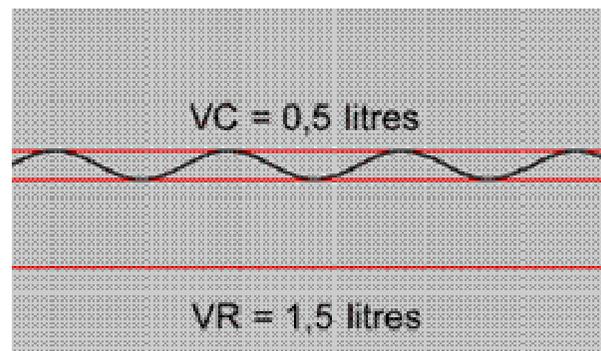
Le Volume de réserve (VR)

Lorsqu'on expire à fond, au maximum de ses possibilités, on a l'impression d'avoir "vidé" ses poumons.

Heureusement il n'en est rien, on a simplement atteint des limites physiologiques : celles de nos muscles du thorax et de l'abdomen (diaphragme).

Il reste de l'air dans nos poumons. Si ce n'était pas le cas, les parois des alvéoles se refermeraient définitivement.

Il reste alors dans nos poumons un volume d'air important : 1,5 litres c'est le volume de réserve (VR)

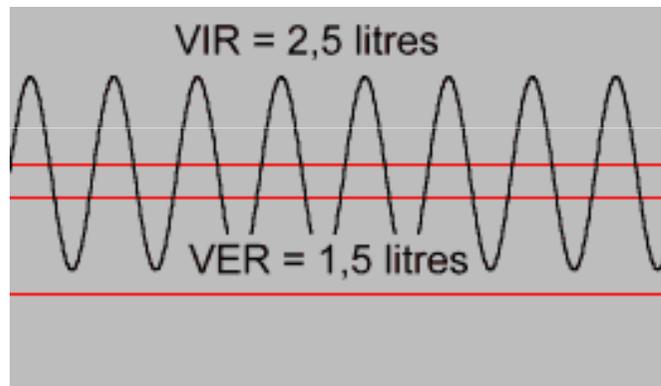


Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

Lors d'un effort, nous pouvons disposer de volumes de réserves destinés à fournir l'énergie nécessaire à ce surcroît d'activité.

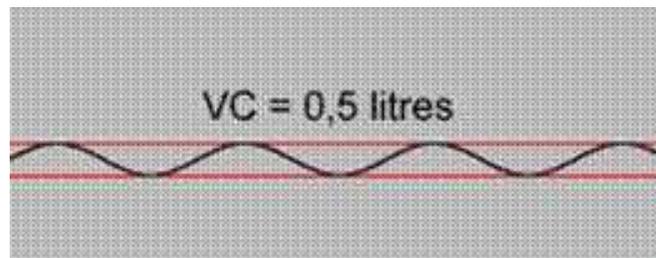
Ces volumes atteignent 2 l pour le Volume inspiratoire de réserve (VIR) et 1,5 l pour le volume expiratoire de réserve (VER).

Effort



Pendant un effort la Fréquence Ventilatoire (FV) et l'amplitude respiratoire augmentent de manière significative.

Au repos



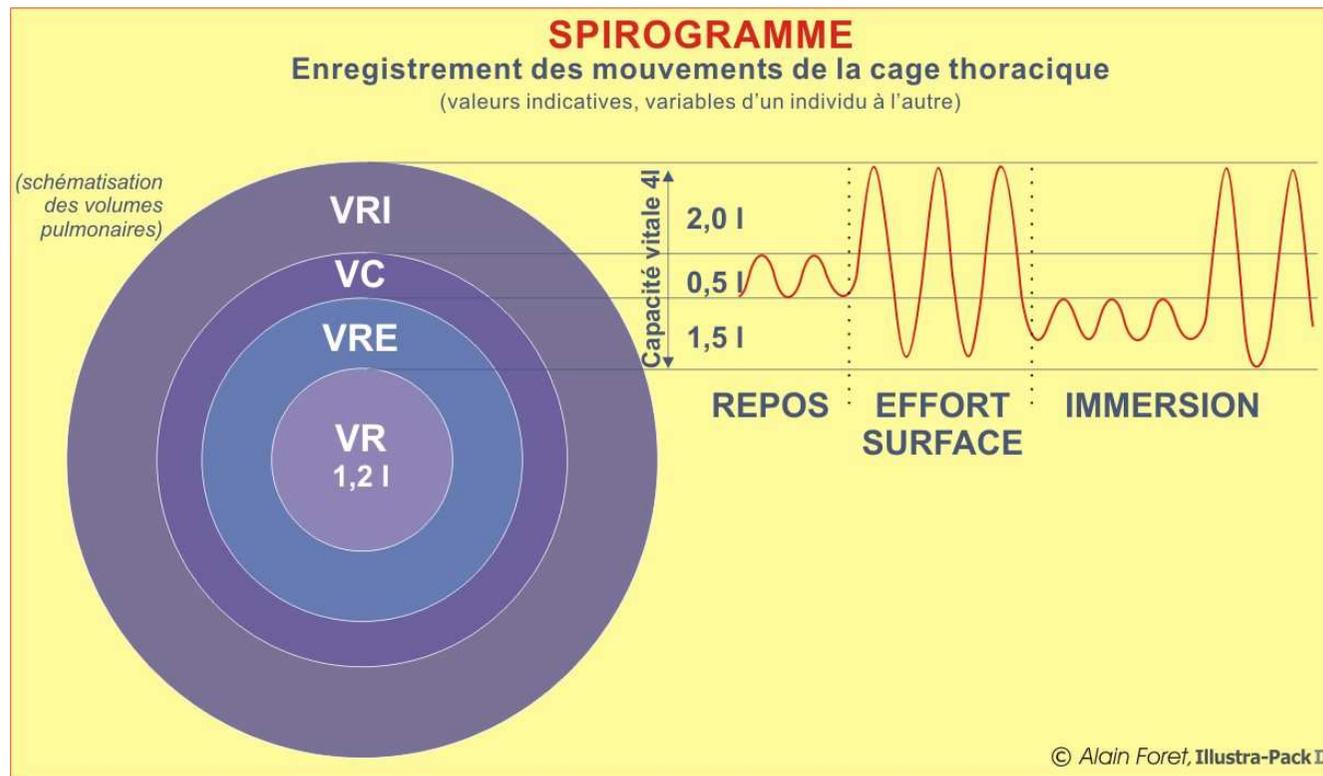
La consommation d'air évolue en proportion de l'effort

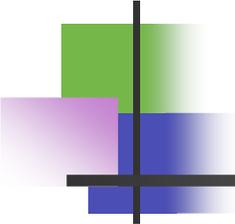


Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

La somme de ces volumes (VC+VIR+VER) est appelé **Capacité Vitale (CV)**

Elle est d'environ 3,5 l chez la femme et de 4,5 l chez l'homme





Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

Lors d'un effort, en surface, la consommation d'air peut atteindre de 120 à 250 l /mn selon l'individu.

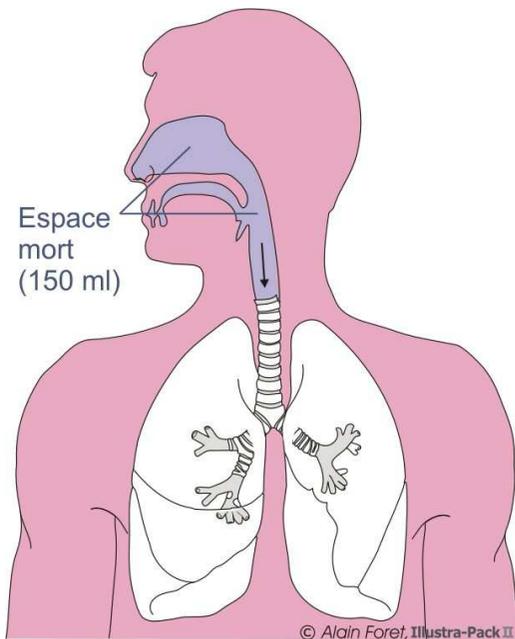
En plongée les Volumes Expiratoire et Inspiratoire de Réserve (VIR, VER) sont particulièrement sollicités.

Ils permettent la pratique de la technique du « POUMON-BALLAST »



Patrick Baptiste
MF1 n°22108





L'espace mort anatomique

L'efficacité des cycles ventilatoire doit être pondérée par la présence des volumes aériens situés à l'extérieur des poumons et ne participant pas, de ce fait, aux échanges gazeux.

Ces volumes constituent un « espace mort » représentant environ 150 ml chez un adulte.

Chez le plongeur l'usage d'un tuba augmente le volume de l'espace mort et facilite l'essoufflement.



L'immersion en scaphandre

En immersion, l'augmentation de la pression favorise la redistribution du volume sanguin ce qui a pour effet de diminuer les volumes pulmonaires. Ce phénomène, amplifié par le port de la combinaison, augmente le travail des muscles respiratoires.

L'inspiration est rendue plus difficile par la présence du détendeur (résistance mécanique)

Plus la pression est grande, plus la viscosité de l'air est impactée, ce qui augmente encore les efforts nécessaire à l'inspiration et diminue le débit disponible.



Les échanges gazeux



Rappels sur la composition de l'air

L'air sec au voisinage du sol est approximativement composé de:

- 78,08 % d'azote,
- 20,95 % d'oxygène,
- moins de 1 % d'autres gaz dont :
 - argon 0,93%,
 - néon 0,0018%,
 - krypton 0,00011%,
 - xénon 0,00009%
 - dioxyde de carbone 0,033 %.

Il contient aussi des traces d'hydrogène 0,000072%, mais aussi d'ozone, de radon.



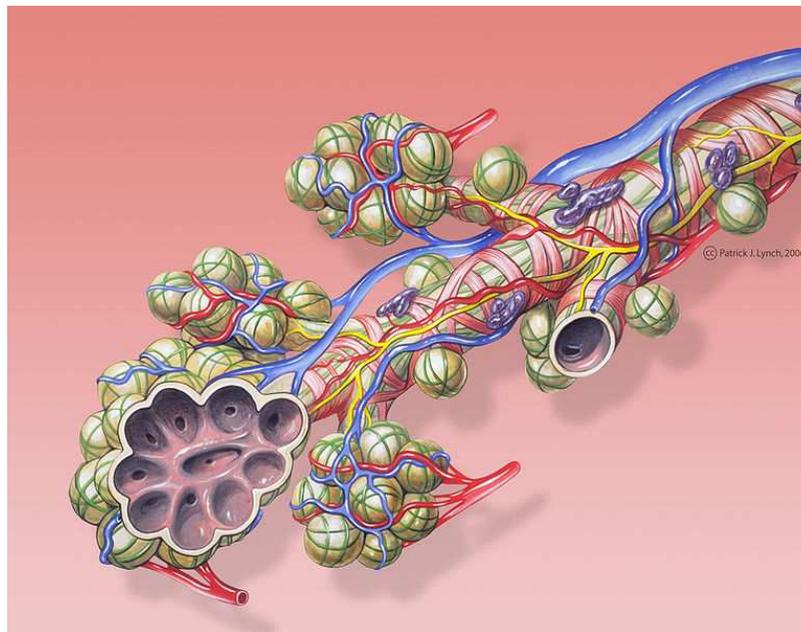
Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

C'est dans les alvéoles, appelés *sacs pulmonaires* ou *vésicules pulmonaires*, que se produisent les échanges gazeux.

Ils sont tapissés d'une paroi très fine (*jusqu'à 0,2 μm ; pour comparaison, le diamètre des globules rouges est de 7 μm*) contenant les capillaires.

La surface totale destinée aux échanges est d'environ 130 m², soit la taille d'un terrain de volley.

Le rôle des alvéoles est de transmettre l'oxygène au sang et d'en extraire le dioxyde de carbone.

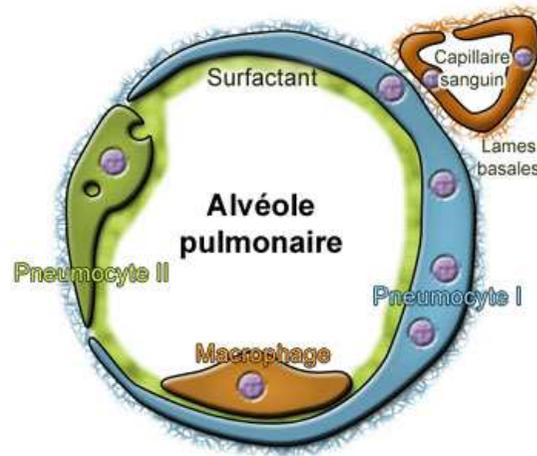


**Pour info.
Hors programme
niveau IV**

Pour les curieux ..



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire



Les alvéoles sont tapissées d'une fine couche de liquide et de **surfactant** dont le rôle principal est de réduire la tension superficielle air/liquide créée par la couche de liquide.

La réduction de la tension superficielle facilite l'expansion des alvéoles à l'inspiration et les maintient ouvertes pendant l'expiration.

Le surfactant joue en outre un rôle dans la perméabilité alvéolaire (effet anti-œdémateux) et dans les mécanismes de défenses contre les micro-organismes.



**Pour info.
Hors programme
niveau IV**

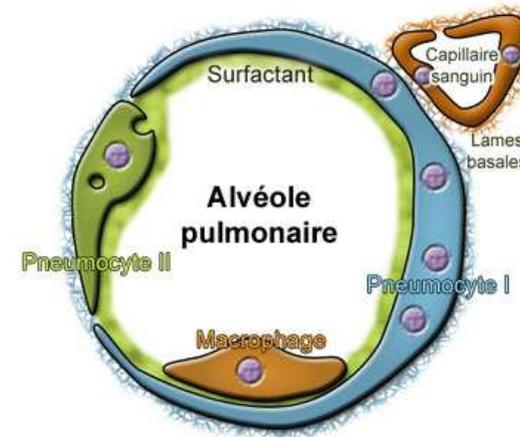


Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

L'alvéole est composée de Pneumocytes de type I & II

Les pneumocytes de type I Petites cellules alvéolaires

- sont responsables des échanges gazeux entre l'organisme et son environnement
- Cette cellule est rapidement dégradée par les polluants et les attaques de microbes et ne peut se dupliquer elle-même, elle couvre 90 % de la surface alvéolaire totale,
- Le pneumocyte de type I est une cellule très fine, qui se développe en une sorte de film très fin et de grande surface (0,1 à 0,2 μm d'épaisseur), souple, mais très étendues et très fragiles permettant les échanges gazeux.
- Les pneumocytes de type I sont étroitement accolés aux vaisseaux capillaires, **ce qui permet la diffusion des gaz respiratoires.**



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108

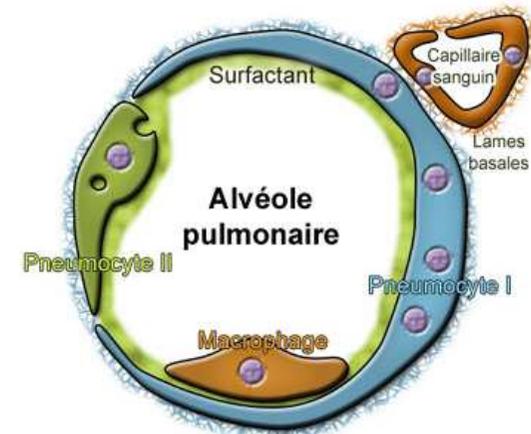
Pour info.
Hors programme
niveau IV



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

Les pneumocytes de type II Grandes cellules alvéolaires

- Cette cellule est caractérisée par des structures spécialisées, les corps lamellaires, granules sécrétant le surfactant pulmonaire.
- Le surfactant fluidifie le mucus et facilite les échanges gazeux en réduisant la tension de surface du mucus pulmonaire dans les alvéoles.
- Les pneumocytes de type II recyclent également une partie du surfactant. Ils contribuent ainsi aussi à la conservation de l'élasticité des poumons.

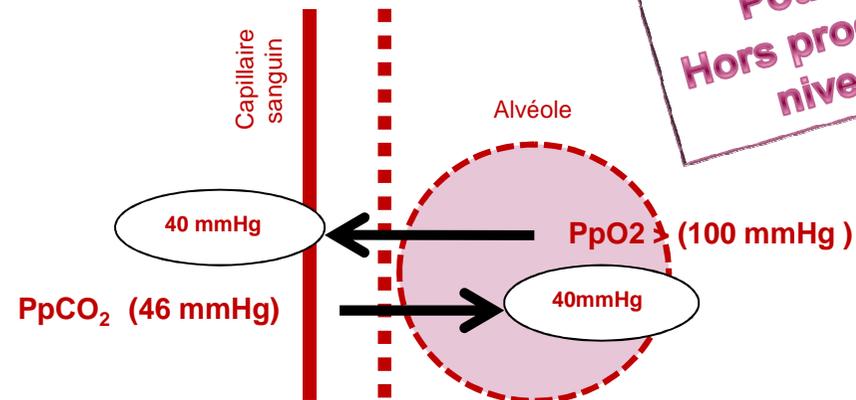
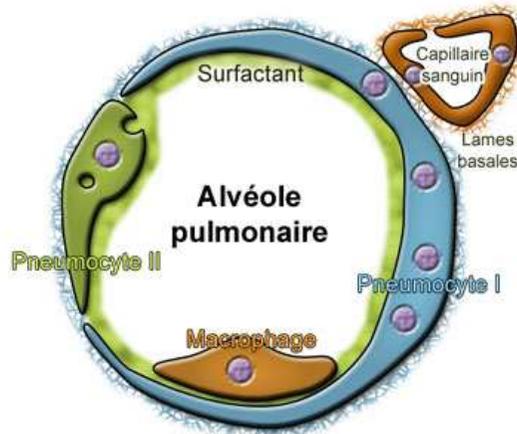


Pour info.
Hors programme
niveau IV



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

- La respiration externe, pulmonaire, permet la transformation du sang désoxygéné qui vient du cœur en sang oxygéné, qui y retournera pour être redistribué à l'ensemble du corps.
- Les échanges entre les alvéoles et le sang sont fonction des différences des pressions partielles, un gaz diffusera de la pression élevée vers la pression basse (*loi de Fick 1855*).
- La pression partielle des alvéoles étant de 100 mmHg (*) pour le dioxygène et de 40 mmHg pour le dioxyde de carbone quand respectivement elle est de 40 mmHg et de 46 mmHg dans le capillaire, le dioxygène va des alvéoles jusqu'au sang et le dioxyde de carbone fait le chemin inverse.



Pour info.
Hors programme
niveau IV



(*) Le millimètre de mercure (symbole mmHg) est une unité de mesure de la pression initialement définie comme la pression exercée à 0 °C par une colonne de 1 millimètre de mercure.



Comparaison des gaz (*)

	O2	CO2	N2
<i>Gaz Inspiré</i>	21%	0.03 %	78.9 %
<i>Gaz expiré</i>	17%	3.3 %	79.7 %
<i>Gaz alvéolaire</i>	14%	5.6 %	80.4 %

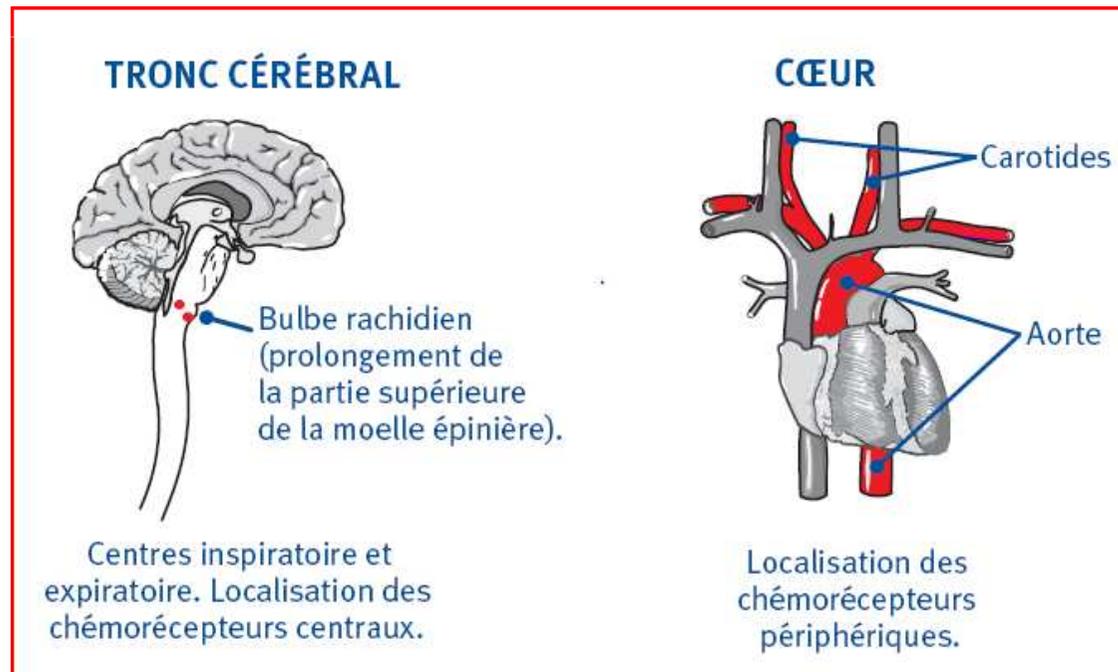
Pour info.
Hors programme
niveau IV



Le chémorécepteurs : Grace au SNC, le lien avec le système circulatoire

Les Chémorécepteurs centraux (base du bulbe rachidien) et périphériques (Sinus carotidien , artères carotides, aorte) informent le SNC de la concentration sanguine en gaz carbonique (CO₂) et en dioxygène (O₂).

En fonction de ces informations le SNC gère la fréquence et l'amplitude des cycles ventilatoire. Ces informations lui permettent également de contrôler la répartition du volume sanguin.



Autonomie et consommation d'air



Autonomie et consommation d'air

La loi de Boyle-Mariotte $P \times V = C$ (ou $P_{\text{surf}} \times V_{\text{surf}} = P_{\text{fond}} \times V_{\text{fond}} = C$) nous indique que l'autonomie en air diminue de manière inversement proportionnelle à la pression ambiante.

Ainsi pour un bloc de 15 l à 200 b en surface (1b) l'autonomie sera de 3000 litres:

$$1 \times 3000 \text{ l } (15 \times 200) = 3000$$

ou plus simplement

$$\text{Constante} / \text{Pression} = \text{Volume soit } 3000 / 1 \text{ bar} = 3000 \text{ l}$$

Cette autonomie sera ramenée à 40 m (5b) à 600 litres :

$$5 \times 600 \text{ l } (3000/5) = 3000$$

ou plus simplement

$$\text{Constante} / \text{Pression} = \text{Volume soit } 3000 / 5 \text{ bar} = 600 \text{ l}$$



Calcul de l'autonomie

A partir de ces informations, il est aisé de calculer son autonomie.

Si l'on considère que nous respirons, en moyenne et en surface, 20 litres d'air à la minute **en absence d'effort particulier**, notre autonomie théorique sera donc de :

$$3000 / 20 = \mathbf{150 \text{ minutes à 1 bar}}$$

En revanche ne sera plus que de

$$600 / 20 = \mathbf{30 \text{ minutes à 5 bar (40 m)}}$$

Et de

$$428 / 20 = \mathbf{21 \text{ minutes à 7 bar (60 m)}}$$

Ces valeurs doivent évidemment être pondérées par la notion d'effort qui, en raison des effets de la pression, intervient obligatoirement en plongée et augmente d'autant plus la consommation



Le GP et l'autonomie

Le GP doit être particulièrement sensible et attentif à la consommation.

De multiples facteurs peuvent influencer la consommation d'un plongeur débutant ou non :

- Stress
- Fatigue
- Condition physique
- Le manque d'expérience
- Lestage
- Conditions de plongée (froid, courant, luminosité, etc.)
- etc.



- L'impact de ces facteurs, outre le fait qu'ils peuvent conduire à l'essoufflement, est en général très important et immédiat en matière de consommation et donc d'autonomie



- La présence d'un ou plusieurs de ces facteurs peut conduire à une consommation de 100 à 120 litres par minute, voir plus, selon l'importance de l'effort ou de l'essoufflement.



Le GP et l' autonomie

Autonomie en minutes (bloc de 15 litres à 200 bars)

Consommation en L/Mn	Profondeur (pression)				
	20 m (3b)	30 m (4b)	40 m (5b)	50 m (6b)	60 m (7b)
20	50,00	37,50	30,00	25,00	21,43
40	25,00	18,75	15,00	12,50	10,71
60	16,67	12,50	10,00	8,33	7,14
80	12,50	9,38	7,50	6,25	5,36
100	10,00	7,50	6,00	5,00	4,29
120	8,33	6,25	5,00	4,17	3,57



Le GP et l' autonomie

Le GP doit être d'autant plus vigilant que les conditions sont particulières.

- 1^{ère} plongée à 40 m pour un nouveau P2 ou un P2 sans expérience (dialogue en surface),
- suspicion de fatigue ou de mauvaise condition physique (dialogue en surface),
- stress important,
- manque d'expérience (dialogue en surface),
- plongée de réadaptation après une longue période d'inactivité (dialogue en surface),
- etc.

La prudence doit prévaloir et amener à adapter les caractéristiques de la plongée en fonction du contexte et de l'expérience des plongeurs.

- diminution de la profondeur prévue,
- diminution du temps de plongée,
- diminution du nombre de plongeur,
- modification du site de plongée en accord avec le DP
- etc.
- annulation de la plongée



La suppression pulmonaire



La suppression pulmonaire

La suppression pulmonaire constitue le barotraumatisme le plus grave, elle peut être mortelle. Il est donc essentiel pour le GP de prévenir cet accident pour les plongeurs de la palanquée et pour lui-même.

Encore une fois, la loi de Boyle-Mariotte explique ce phénomène.

Pendant la phase remontée, l'air contenu dans les poumons se décomprime progressivement pour retrouver son volume normale en surface.

Si il ne peut s'échapper (respiration bloquée, expiration insuffisante) la pression, à l'intérieur des poumons augmente jusqu'à créer une surpression

cet accident, particulièrement dangereux ne nécessite qu'une faible variation de profondeur. **Il peut survenir dans 3 à 5 mètres d'eau.**

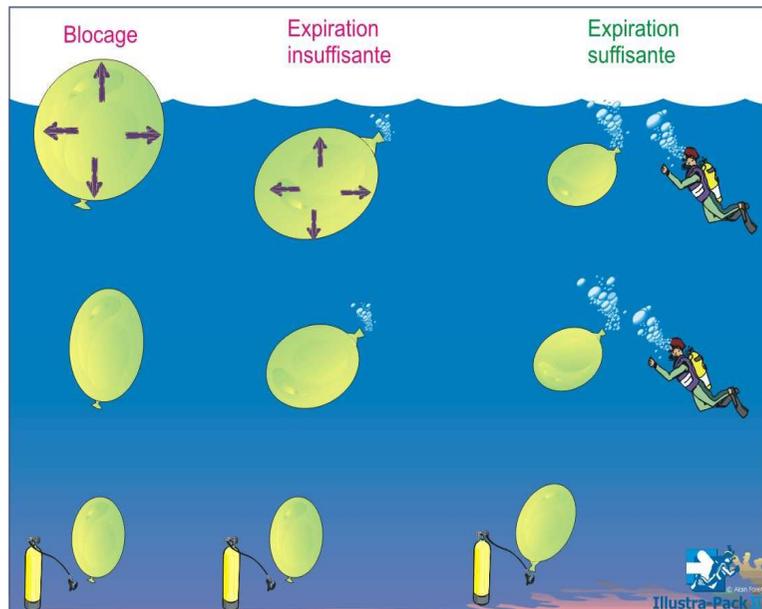
En effet lors d'une remontée de 5 mètres (1,5 bar) à la surface (1bar) le volume d'air contenu dans nos poumons aura augmenté de 50% (30% de 3 mètres à la surface).



La suppression pulmonaire concerne tous les plongeurs y compris dans le cadre des baptêmes de plongée



La suppression pulmonaire



En cas de blocage de la respiration (peur panique) ou d'expiration insuffisante, l'air contenu dans les poumons augmente de volume et va les dilater jusqu'à la limite d'élasticité des alvéoles pulmonaires.

La surpression pulmonaire engendre un déchirement et un écrasement des alvéoles entre elles.

Lorsque cette limite est dépassée, les alvéoles se déchirent et les échanges gazeux ne peuvent plus s'effectuer correctement

Cet accident se décompose en deux phases :



Phase mécanique

- distension d'une ou plusieurs alvéole(s) puis éclatement de celle-ci
- compression des alvéoles voisines, d'où une diminution de la capacité ventilatoire et un pneumothorax uni ou bilatéral
- déchirement d'un ou des deux feuillets de la plèvre avec passage d'air dans le médiastin pouvant précéder une compression d'un poumon encore sain et/ou du muscle cardiaque
- passage de l'air dans la zone sous-cutanée du cou provoquant un emphysème sous-cutané.



Phase neurologique

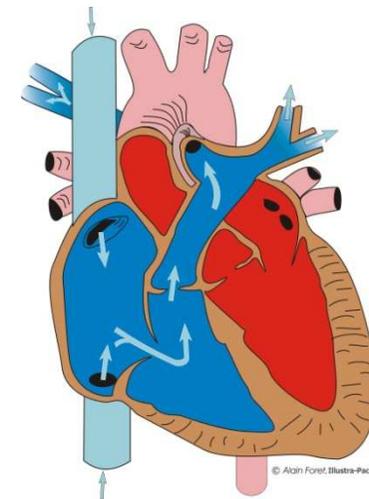
Les déchirures alvéolaires peuvent permettre à des bulles d'air de repasser dans le circuit sanguin.

Ces bulles (passées dans les veines pulmonaires) vont alors arriver dans la partie gauche du cœur puis passer dans la grande circulation.

Dirigées vers l'aorte elles vont, dans la crosse aortique, passer dans les carotides, disposées verticalement puis se retrouver dans le circuit d'irrigation du cerveau.

Celui-ci étant en arborescence avec des ramifications de plus en plus petites, les bulles d'air vont finir par se coincer (aéro-embolie cérébrale), empêchant alors l'oxygène de passer et contribuant à créer une nécrose des zones nerveuses cérébrales.

D'autres bulles d'air peuvent passer dans les artères coronaires et venir perturber le fonctionnement du cœur, le privant de l'apport en oxygène vital à son fonctionnement.



Symptômes

phase mécanique

- douleur plus ou moins violente lors de la distension alvéolaire
- douleur vive et très violente (en forme de *coup de poignard*) lors de l'éclatement d'une ou plusieurs alvéoles
- toux et crachat sanglant
- difficultés respiratoires pouvant aller jusqu'à l'arrêt ventilatoire total
- emphysème sous-cutané

phase neurologique

- état de choc : pouls rapide, pâleurs, ou teint violacé
- troubles de la parole et/ou de la vision
- perte de sensibilité
- perte de motricité (le plus souvent sous forme d'hémiplégie gauche, voire droite)
- arrêt ventilatoire et/ou circulatoire
- mort



Traitement

- mise sous oxygénothérapie Normobare (15 litres/mn) afin de pallier la détresse ventilatoire
- alerter immédiatement les secours compétents en fonction de la zone ou du pays (pompiers, CROSS, SAMU, etc.)
- évacuer vers un milieu hospitalier sans délai en appliquant les gestes de premiers secours qui s'imposent (massage cardiaque, ventilation artificielle, etc.)
- si l'état de la victime le permet **et** qu'elle n'est pas allergique, lui proposer de prendre de l'aspirine à raison de 500 mg pour un adulte et l'hydrater.



Prévention

Afin de prévenir ce type d'accident, il faut en permanence permettre à l'air d'être évacué en expirant à la remontée.

L'hyper-extension du cou est particulièrement efficace dans ce cas puisqu'elle interdit la fermeture de la glotte.

Cette consigne prend toute son importance dans le cas de remontées non contrôlées (mauvaise utilisation du gilet, panique, essoufflement) au cours desquelles un plongeur peu expérimenté ne pensera pas forcément à expirer.

Il ne faut pas non plus faire d'apnée en plongée sous-marine en bouteille afin d'éviter les risques de surpression à la remontée.

De la même manière, il ne faut pas donner d'air sur son détendeur à un apnéiste ou un chasseur sous-marin, qui n'aura pas forcément l'habitude d'expirer à la remontée.

L'asthme non allergique ou les bronches à clapets sont des contre-indications à la pratique de la plongée sous-marine afin de prévenir les risques de surpression pulmonaire.



L'essoufflement



L'essoufflement

L'essoufflement intervient, lors d'un effort, si l'apport en O₂ est inférieur à la demande.

Mécanisme de l'essoufflement

Au repos et en temps normal, l'expiration a une durée supérieure à l'inspiration.

Lors d'un effort et sous influence de l'augmentation de la concentration en CO₂, l'expiration se raccourcit et devient égale à l'inspiration puis diminue encore.

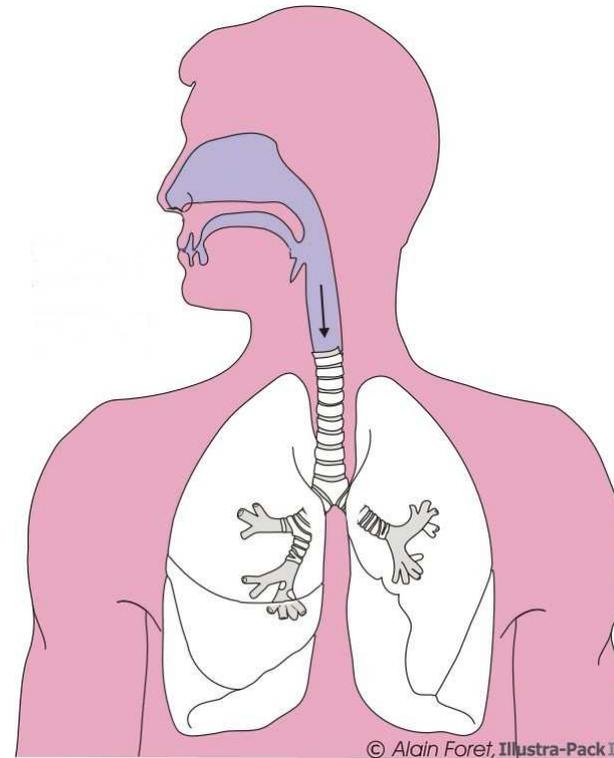
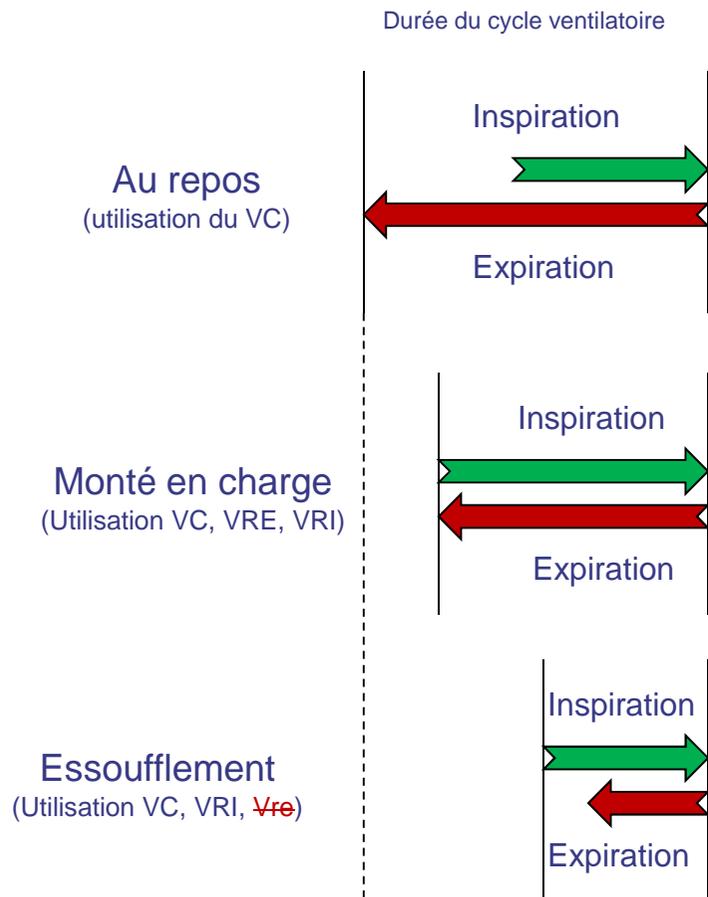
On inspire avec facilité mais l'expiration devient de plus en plus difficile.

Il en résulte que l'on vide mal nos poumons et le CO₂ s'accumule. On n'utilise plus que le volume courant (VC) et le volume de réserve inspiratoire (VRI), le volume de réserve expiratoire (VRE) n'est plus utilisé.

Plus l'essoufflement s'installe et plus l'expiration devient difficile.



Mécanisme de l'essoufflement



La ventilation

Au cours d'un effort, la ventilation pulmonaire s'adapte aux besoins du plongeur

Elle assure l'apport en O2 mais aussi l'élimination du Co2 produit par l'organisme.

Les mécanismes de régulation (chémo-récepteur, SNC) sont prévus, en cas d'effort, pour accroître la quantité d'O2 et non pour réduire la quantité de CO2.

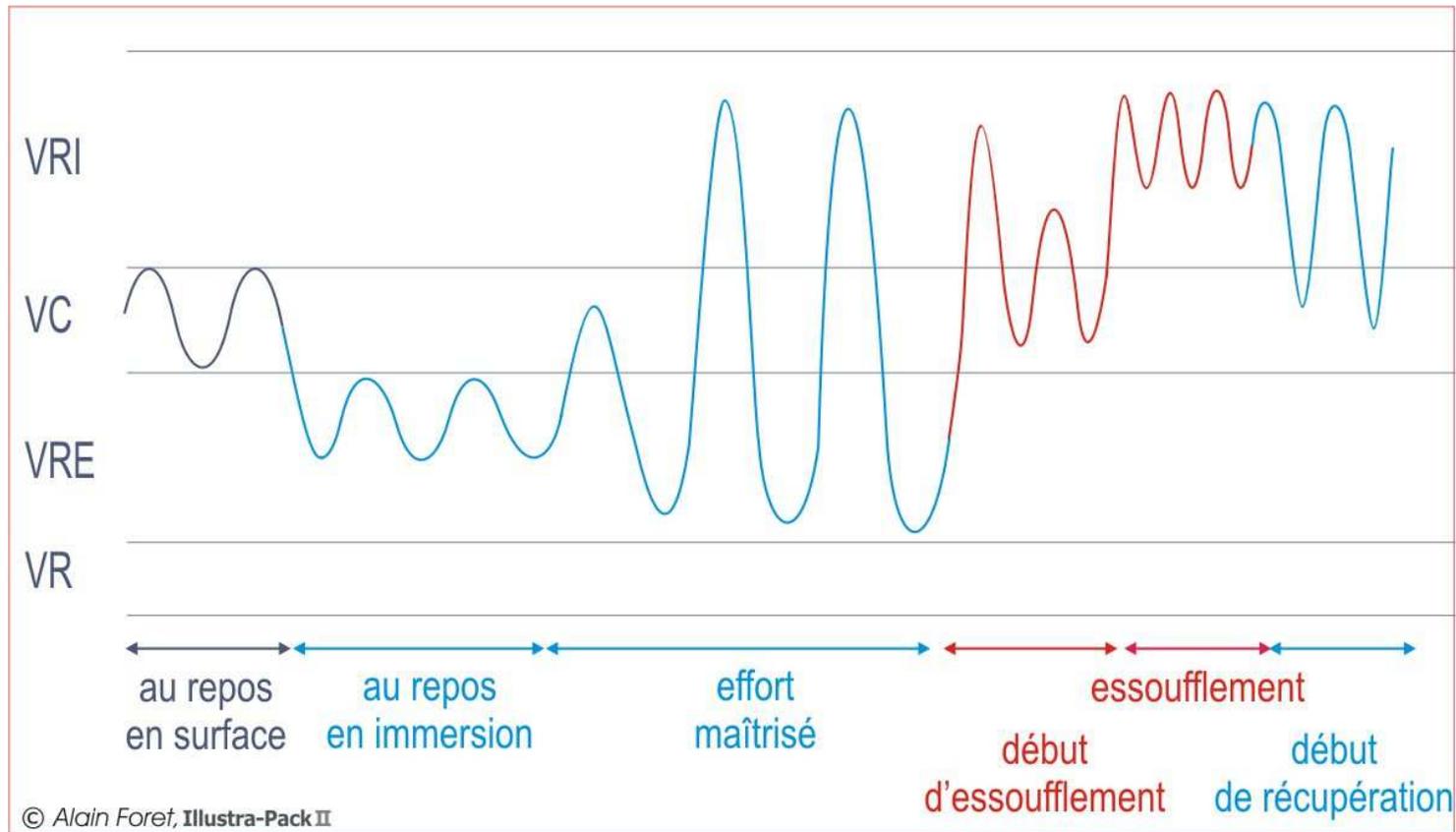
Si l'apport en O2 est insuffisant ces mécanismes commandent une **augmentation de l'inspiration** (volume, fréquence) alors qu'il faudrait au contraire **forcer l'expiration pour éliminer le CO2**

La ventilation devient superficielle, on dit qu'il y a **hypercapnie** (intoxication par augmentation de la teneur en Co2 dans le sang artériel).

En plongée, le problème se trouve aggravé par le fait que la respiration au moyen d'un détendeur, aussi souple soit il, est plus difficile qu'à l'air libre.



La ventilation



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

La tolérance à certains gaz par l'organisme varie selon la pression à la quelle ils sont respirés.

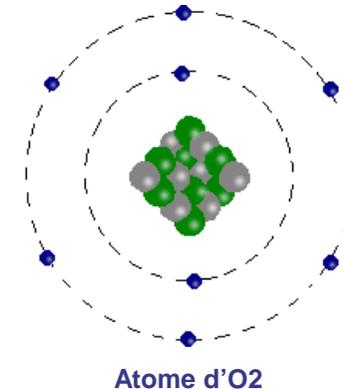
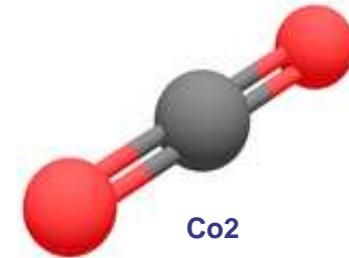
Le dioxyde de carbone ou Co_2 est toxique pour l'homme à partir de 0,07 bar.

Pression Partielle	Symptômes
< 0,02 b	néant
> 0,02 b	augmentation de la fréquence ventilatoire (essoufflement)
> 0,03 b	maux de têtes
> 0,05 b	maux de têtes violents, sensation d'oppression, suffocation, cyanose
> 0,07 b	syncope, mort



Les facteurs principaux

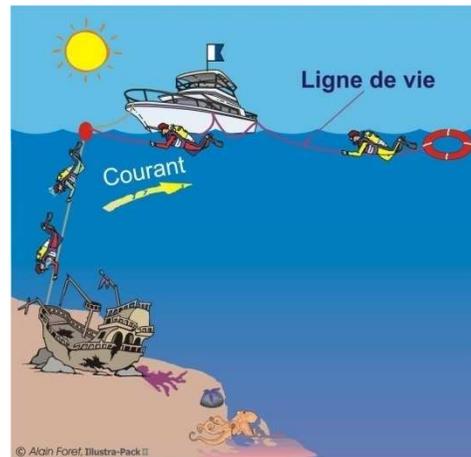
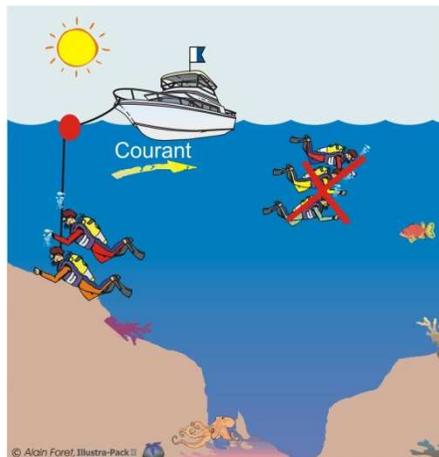
- La profondeur: l'augmentation de la masse volumique de l'air en **augmente la viscosité** (1,3 g en surface > 6 g à 40 mètres) ,
- Le détendeur: l'augmentation de l'espace mort et la résistance mécanique à l'inspiration et à l'expiration du détendeur favorise l'accumulation du Co_2 .
- Un effort inadapté ou trop important
- Le froid
- l'angoisse, le stress, la peur panique
- Le manque de technique
- le matériel (détendeur mal réglé ou défectueux)



La prévention

Le GP doit veiller à éviter l'essoufflement des plongeurs et en prévenir les causes.

- éviter le stress en surface (dialogue, explications),
- laisser les plongeurs reprendre leur souffle après la mise à l'eau,
- ne pas plonger si un plongeur est essoufflé en surface,
- utilisation d'une ligne de vie en cas de courant,
- immersion rapide si présence de courant,
- descente au mouillage,
- surveillance de la consommation des plongeurs.



Conduite à tenir

Si malgré les précautions prises un essoufflement survient il est essentiel de réagir rapidement.

- L'actions prioritaire consiste à remonter sans attendre le plongeur de quelques mètres et de lui faire cesser tout effort.
 - Calmer le plongeur et lui demander de forcer son expiration,
 - Mettre fin à la plongée,
 - Vérifier les réserves d'air,
 - être attentif à la vitesse de remontée (attention à la zone des 10m)
 - augmenter le temps de pallier (pallier de sécurité en l'absence de pallier)
- de retour au bateau, en cas d'essoufflement important (maux de tête, nausée), mettre le plongeur sous O2 (15l/mn) procéder en son évacuation si nécessaire.



- **L'essoufflement peut favoriser l'accident de décompression**
- **L'essoufflement est la principale cause de noyade en plongée**



Le risque de noyade



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

La **noyade** est due à l'envahissement des voies aériennes supérieures par un liquide, **avec ou sans** inondation des alvéoles pulmonaires.

La noyade n'entraîne pas nécessairement la pénétration de grande quantité d'eau dans les poumons.

La pénétration d'eau, même en infime quantité, dans les voies respiratoires, provoque une apnée réflexe : l'épiglotte se ferme pour protéger les voies respiratoires, empêchant de respirer même lorsque la tête se retrouve hors de l'eau.

Par conséquent, l'oxygène disponible dans l'organisme diminue : on parle d'hypoxie.

Les séquelles persistant après la noyade de la victime sont fonction de l'importance de l'hypoxie et de sa durée, mais l'éventuelle présence d'eau dans les poumons cause un **œdème pulmonaire traumatique**.

Cet œdème, ainsi que l'eau ayant pénétré, gênent les échanges gazeux au niveau de la paroi alvéolaire et maintiennent le déficit d'oxygène même si la personne respire spontanément.



Formation théorique Niveau IV / Le système respiratoire

Quatre stades de la noyade sont généralement distingués : l'aquastress, la petite hypoxie, la grande hypoxie et la noyade anoxique.

stade	état de la victime	bilan secouriste
Aquastress	accident aquatique sans inhalation de liquide, hyperventilation, tachycardie, frissons, tremblements	Victime consciente, qui respire, faible, angoissée, a froid. Pouls et ventilation accélérés
Petite hypoxie	engorgement liquidien broncho-pulmonaire, cyanose des extrémités, épuisement, hypothermie	Victime consciente, qui respire, épuisée, angoissée, cyanosée, froide. Présente des signes de détresse ventilatoire. Pouls accéléré.
Grande hypoxie	détresse respiratoire aiguë	Conscience altérée (inconscient ou conscient avec trouble du comportement), détresse ventilatoire majeure, ventilation rapide ou lente, pouls accéléré. Victime froide.
Anoxie	arrêt cardio-respiratoire en cours d'installation ou avéré et coma aréactif	Victime inconsciente aréactive, pas de ventilation, pouls très lent ou absent, pouls radial non perçu, hypothermie.



Les causes principales de la noyades en plongée

La première cause de noyade en plongée est la panne d'air consécutive en générale :

- l'apparition d'un essoufflement
- à une mauvaise gestion du stock d'air
- à un défaut de comportement (palanquée « éparpillée »)
- givrage du détendeur en eau froide
- la narcose (incapacité à gérer son air)

Autres causes

- sur-lestage
- peur panique
- pièges sous marins (filets, grottes, épaves)
- perte de connaissance (morsures, piqûres, malaise, syncope hypoxique en apnée),
- etc.



Conduite à tenir

- Maintenir les voies aériennes hors de l'eau le plus top possible
- Libérer les voies aériennes,
- Alerter la sécurité surface,
- Mise sous oxygénothérapie passive ou active selon que la victime ventile seule ou non,
- Alerter les secours (VHF, GSM, Pompiers, CROSS, Samu),
- Evacuation obligatoire vers un centre hospitalier, quelque soit le niveau de gravité de la noyade.



Prévention

En surface:

- Vérifier le matériel (bouteilles ouvertes, inflateur, détendeur)
- Si débutant, faire gonfler les gilets avant la mise à l'eau
- Détendeur en bouche et masque maintenue à la mise à l'eau,

Mise à l'eau :

- le GP se met à l'eau en premier près à intervenir (masque sur le visage, détendeur en bouche, gilet vide)
- adapter la technique de mise à l'eau en fonction de l'embarcation.

Sous l'eau :

- rester proche les uns des autres,
- adapter la plongée aux circonstances et aux compétences,
- vérifier les stocks d'air régulièrement,

A la remontée:

- Arrêt à 3 mètres
- tour d' horizon
- Emersion
- Tour d'horizon



Des questions ?



La prochaine fois ...

- Réglementations
- Physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- **Sphère ORL et plongée**
- Eléments de calcul de tables
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Etre un guide de la mer connaissant le milieu



Sources documentaires:

- Odysée
- ILLUSTRAPACK
- Encyclopédie Wikipédia
- Université de Rennes
- divers

