**Physiologie pulmonaire**

**La ventilation / La respiration**

**Plan**

1. **La ventilation**
2. **La mécanique ventilatoire**
3. **Les volumes pulmonaires**
4. **Les débits ventilatoires**
5. **Régulation**
6. **Ventilation en immersion :**
7. **La respiration**
8. **Les échanges gazeux**
9. **Mode de transport des gaz**
10. **Echanges gazeux en plongée**
11. **Cas du monoxyde de carbone (CO)**
12. **LA VENTILATION**
13. **La mécanique ventilatoire**

* Les changements de volume de la cage thoracique permettent la circulation et le renouvellement de l’air à l’intérieur des poumons.

1. ***Inspiration***

* L’inspiration est due à l’augmentation du volume de la cage thoracique, ce qui entraîne une dépression et un appel d’air dans les poumons.
* ***Des muscles vont intervenir dans cette phase inspiratoire :***
  + **Le muscle inspiratoire principal est** **le diaphragme**, muscle plat séparant le thorax de l’abdomen.
    - Il assure à lui seul la mobilisation des trois quarts environ de l’air inspiré lors d’une respiration de repos.
    - Sa contraction permet un élargissement du thorax dans ses 3 dimensions et favorise la ventilation de la partie basse des poumons.
  + **Les autres muscles inspiratoires sont :** **les intercostaux**, **le petit dentelé**, **les scalènes.** 
    - Ils permettent plutôt une ventilation thoracique haute, moins efficace.
  + **Pour une inspiration forcée entrent en jeu les muscles inspiratoires accessoires:** **pectoral**, **trapèze** et **sterno cléido mastoïdiens** (muscles du cou).
* **L’inspiration est une phase active**

1. ***Expiration***

* A l’inverse, l'expiration normale est liée au simple relâchement des muscles inspiratoires.
* L’élasticité de la cage thoracique et des poumons ramène l’ensemble à sa position initiale.
* **L’expiration est une phase passive** pour un individu au repos.
* Elle devient active pour la respiration à l’effort et l'expiration forcée où les abdominaux se contractent et jouent un rôle actif.
* C’est également le cas pour une respiration normale en plongée, pour vaincre les résistances à l’expiration.

1. **Les volumes pulmonaires**
2. ***Le volume courant (VC)***

* Au cours de la respiration calme, chez un sujet au repos, **un volume d'air d'environ 0,5 litres est inspiré et expiré à chaque mouvement** : c'est le volume courant

1. ***Le volume de réserve inspiratoire (VRI)***

* Après une inspiration calme, c'est le volume de l'air inspiré en supplément grâce à une inspiration forcée.
* Il est de 2,5 litres en moyenne, mais est évidemment très variable suivant l'âge, la taille, le sexe, l'état physiologique de l'individu.
* L'inspiration forcée est notamment pratiquée par le plongeur en libre (sans bouteille) qui s'apprête à plonger en apnée (apnée veut dire arrêt respiratoire) et qui a besoin d'emmagasiner dans ses poumons une grande quantité d'air.

1. ***Le volume de réserve expiratoire (VRE)***

* C'est le volume d'air supplémentaire expiré après une expiration calme, grâce à une expiration forcée.
* Il est d'environ 1, 5 litres, et variable selon les individus pour les mêmes raisons.
* L'expiration forcée est notamment pratiquée par un sportif avant ou après un effort physique important.
* Elle est conseillée dès que l'on sent les premiers symptômes d'un essoufflement pendant une plongée.
* En effet, elle permet l’élimination rapide du gaz carbonique.

1. ***Le volume d'air résiduel (VR)***

* Après l'expiration forcée, il reste encore dans les poumons une certaine quantité de gaz que l'on ne peut expirer : c'est le volume résiduel.
* Il est d'environ 1 litre, lui aussi variable selon les individus.

1. ***La capacité vitale (CV)***

* C'est la somme des volumes de gaz expiré après une expiration forcée qui a été précédée d'une inspiration forcée, soit :
* *Volume courant 0,5 litres*
* *+ Volume de réserve inspiratoire 2,5 litres*
* *+ Volume de réserve expiratoire 1,5 litres*
* *Capacité vitale 4,5 litres*
* Cette capacité vitale est, elle aussi, variable suivant les personnes.
* Pour le plongeur, elle représente l’amplitude maximale dont il dispose pour utiliser le poumon ballast.

1. ***La capacité totale (CT)***

* C'est la somme du volume de la capacité vitale et du volume résiduel
* *Capacité vitale 4,5 litres*
* *+ Volume résiduel 1 litre*
* *Capacité totale 5,5 litres en moyenne*

1. ***L’espace mort anatomique***

* L’espace mort anatomique représente le volume d’air qui ne participe pas aux échanges gazeux, car situé en dehors des alvéoles (nez, bouche, pharynx, trachée…)
* Il représente environ 150 ml chez l’adulte.
* Cela signifie que, lors d’une inspiration de 500 ml, seulement
* 350 ml participent aux échanges alvéolaires.
* Le rôle de l’espace mort est cependant fondamental : par effet « tampon », il permet la dilution de l’air extérieur.
* La conséquence essentielle est un taux constant des différents gaz au niveau des alvéoles.
* Les échanges se feront donc en continu.
* Cependant la respiration en surface grâce au tuba augmente l’espace mort, le tuba devra être ni trop long, ni trop large.

1. **Les débits ventilatoires**

* **La fréquence respiratoire** est d'environ **15 à 20 cycles**/ mn et varie en fonction de l'âge, la taille et l'effort.
* Au repos, le débit est de **7 à 10 l/mn**. En plongée, on considère plutôt des chiffres de l’ordre de 15 à 20 l/mn
* A l’effort, par l’augmentation de la cadence et de l’amplitude des mouvements ventilatoires, ces débits peuvent atteindre 100 à 120 l/mn chez des sujets non entraînés et jusqu’à 250 l/mn chez certains athlètes lors d’efforts intenses.

1. **Régulation**

* La régulation de cette fonction essentielle est d’origine nerveuse, sous la dépendance du **centre respiratoire** situé dans le bulbe rachidien.

1. ***Automatisme du centre respiratoire :***

* Les mouvements alternés de la respiration sont dus à l’activité périodique et rythmée du centre respiratoire.
* On parle d’auto rythmicité (12 à 15 par minute au repos chez l’adulte) assurant le débit minimum nécessaire au maintien des fonctions vitales au repos, en mobilisant simplement le volume courant.

1. ***Adaptation automatique***

* Les différentes conditions ambiantes (effort, lutte contre le froid, fièvre, déficit en O2 ou excès de CO2, etc.) imposent une adaptation de l’approvisionnement en O2 et du rejet de CO2.
* Des capteurs, situés directement dans le centre respiratoire ou répartis dans l’organisme des transmettent au centre respiratoire les informations relatives aux grandeurs vitales :
* Température corporelle (thermorécepteurs cutanés)
* Pression artérielle (barorécepteurs)
* Pp O2 / Pp CO2 / pH sanguin (chémorécepteurs)
* Taux des hormones (adrénaline, etc.)
* Ces mesures, comparées à des valeurs de référence, vont entraîner une réaction d’adaptation de la ventilation en agissant d’abord sur le rythme du cycle respiratoire puis, ensuite, sur son amplitude.
* ***Le principal indicateur est l’augmentation de la PpCO2, son augmentation, même minime, commande une hyperventilation.***
* La transmission des informations (vers ou en provenance du bulbe rachidien) est assurée, par libération d’hormones, par les systèmes nerveux sympathique (accélérateur ventilatoire, hormone médiatrice : adrénaline) et parasympathique (ralentisseur ventilatoire, hormone médiatrice : acétylcholine).

1. ***Commande volontaire***

* Il est possible de modifier volontairement notre ventilation.
* Cette action peut porter sur l’amplitude (exemple : l’inspiration ou l’expiration forcée) ou sur le rythme (exemple : arrêt complet du cycle réflexe => apnée).
* Ce niveau de commande a bien évidemment des limites, le centre respiratoire reprenant plus ou moins rapidement le dessus.

1. **Ventilation en immersion :**

* L’immersion en scaphandre modifie sensiblement notre ventilation.
* L’immersion entraîne un afflux sanguin vers le thorax.
* Cela a pour effet de diminuer les volumes alvéolaires et de diminuer l’élasticité des poumons.
* Le travail des muscles de la ventilation est augmenté.
* Ce phénomène est accentué par le port d’une combinaison qui comprime plus ou moins la poitrine.
* Une résistance expiratoire accrue du fait du détendeur.
* La mise en bouche d’un détendeur oblige à une expiration active.
* Tous ces phénomènes augmentent les risques de fatigue à l’effort.
* Une diminution du débit maximal due à l’augmentation de la masse volumique (viscosité) de l’air qui limite son écoulement.
* Ce débit est réduit de manière significative dès 30 à 40 mètres, pour atteindre 70% de sa valeur de surface à une profondeur de 60 mètres.
* Ainsi, en plongée, les débits ventilatoires maximaux de sujets sains sont comparables à ceux de sujets insuffisants respiratoires en surface.
* **Nous pouvons en déduire que tous ces facteurs concourent à favoriser l’essoufflement, du fait d’une ventilation alvéolaire insuffisante et d’une fatigue accrue des muscles ventilatoires.**



***Les volumes pulmonaires***

1. **LA RESPIRATION**
2. **Les échanges gazeux**

* **Les échanges gazeux se déroulent en deux étapes** :
  + une phase alvéolaire et une phase tissulaire
  + le sang jouant le rôle de transporteur de l’une à l’autre.
* Les échanges gazeux se font par diffusion au travers de membranes cellulaires, uniquement sous l’influence de différences de pression ou de concentration de part et d’autre de cette membrane: les gaz vont des pressions les plus fortes vers les pressions les plus basses pour rétablir l’équilibre.

1. ***Echange gazeux : phase alvéolaire***

* **L’oxygène,** en plus forte concentration dans les alvéoles, passe dans les capillaires afin **d’oxygéner le sang**.
* Dans le même temps **le gaz carbonique** du sang passe dans les alvéoles **pour être évacué lors de l’expiration.**
* Au niveau alvéolaire, la diffusion du CO2 est beaucoup plus rapide que celle de l’O2.

1. ***Echanges gazeux : phase cellulaire***

* Au fur et à mesure de son parcours dans notre corps, **le sang libère les molécules d’O2.**
* Elles **se fixent alors sur les cellules qui, en contrepartie, rejettent du CO2**.

1. **Mode de transport des gaz**
2. ***Mode de transport de l’oxygène***

* L’oxygène est transporté dans le sang sous deux formes :
* ***Forme dissoute*** :

Dans les conditions normales, la quantité d’O2 dissout dans le plasma est très minime.

Mais c’est l’intermédiaire obligatoire entre les globules rouges d’une part, l’air alvéolaire ou les cellules périphériques d’autre part.

* ***Forme combinée*** :

**L’O2 se combine à l’hémoglobine** contenue dans les globules rouges, pour former l’oxyhémoglobine.

Cette réaction est réversible.

En surface, 98% de l’oxygène utilise ce mode de transport.

En immersion, la pression partielle d’oxygène augmente et l’hémoglobine étant saturée, on trouve une quantité plus importante d’oxygène dissous.

1. ***Mode de transport du gaz carbonique***

* Le CO2 produit par les cellules est transporté aux poumons pour être expulsé.
* Il emprunte également deux formes différentes :
  + ***Forme dissoute dans le plasma*** :

En faible quantité (5%), C’est cependant l’intermédiaire obligatoire entre les formes combinées et le CO2 produit par les cellules ou évacué vers l’alvéole.

* + ***Formes combinées*** :

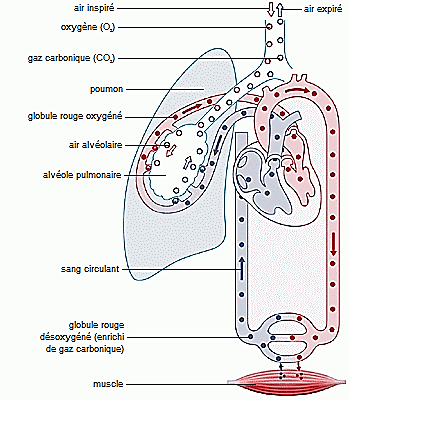
La plus grande partie **(87%)** est transportée sous forme de **bicarbonate** par le plasma, le reste **(8%)** est combiné dans le globule rouge à **l’hémoglobine** en **carbhémoglobine instable**.

1. **Echanges gazeux en plongée**

* En plongée, **les échanges gazeux concernent également l’azote.**
* Ces échanges sont inexistants en surface, les Pp N2 sont identiques dans l’alvéole, le sang et les cellules (0.81 b).
* Pendant la descente et durant le séjour en plongée, la Pp N2 augmente dans l’alvéole.
* L’azote passe à l’inspiration des alvéoles dans les capillaires puis s’accumule progressivement dans les cellules des différents organes.
* A la remontée, la Pp N2 diminue dans l’alvéole.
* L’azote doit suivre le cheminement inverse pour être éliminé par l’expiration.
* Mode de transport de l’azote : **L’azote est dissous en totalité dans le plasma.**

1. **Cas du monoxyde de carbone (CO)**

* Le monoxyde de carbone est un gaz extrêmement nocif, même en faibles proportions.
* Il se combine de manière **stable et indissociable** avec l’hémoglobine, en prenant la place de l’oxygène ce qui conduit rapidement à l’asphyxie.
* Ce gaz résulte d’une combustion imparfaite.
* Par exemple il est produit par nos véhicules et se retrouve dans les gaz d’échappement.
* Cela doit inciter à la plus grande vigilance quant à la localisation des prises d’air de compresseurs et à la ventilation des locaux



***Les échanges gazeux***