

I. INTRODUCTION

Tous les animaux ont besoin d'oxygène pour effectuer les réactions cellulaires de transformation d'énergie essentielles à la vie. Durant le métabolisme cellulaire, l'oxygène est consommé quand les nutriments, comme les protéines, carbohydrates, et graisses, sont oxydés, et le dioxyde de carbone est produit en tant que déchet gazeux. Collectivement, les processus par lesquels l'oxygène est capté dans l'atmosphère, véhiculé aux cellules, et consommé, et ceux de production de dioxyde de carbone, de passage par les poumons pour une excrétion dans l'atmosphère, constituent la *respiration*.

Le processus de respiration comprend trois parties: respiration externe, transport gazeux et respiration interne. *La respiration* externe se réfère aux mécanismes par lesquels une personne capte de l'oxygène dans l'environnement extérieur et élimine le dioxyde de carbone dans cet environnement. *Le transport gazeux* se réfère aux mécanismes utilisés pour distribuer l'oxygène aux cellules et éliminer le dioxyde de carbone. *La respiration interne* se réfère aux réactions chimiques du métabolisme cellulaire dans lequel l'oxygène est consommé et le dioxyde de carbone est produit. Dans cette leçon, on se focalisera sur les mécanismes de la respiration externe chez l'homme.

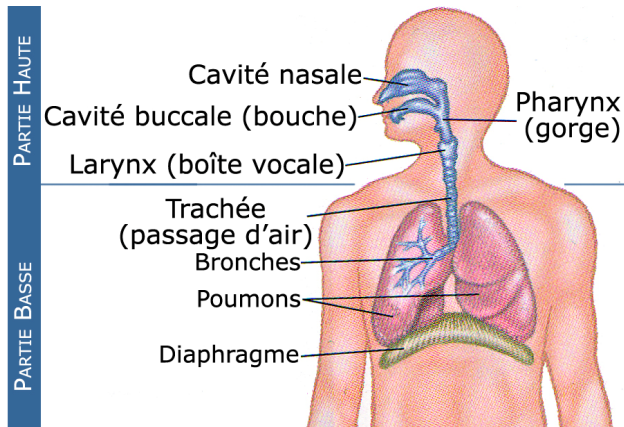


Fig. 12.1 Le Système Respiratoire

Le système respiratoire humain (Fig. 12.1) se divise en une partie haute et une partie basse. La *partie* haute est constituée des cavités nasale et buccale, du pharynx (gorge), et du larynx (système vocal). La *partie* basse est constituée d'un système de passages d'air, séquentiellement disposés et progressivement de plus en plus petits, qui ressemble à un arbre inversé. Souvent appelé arbre respiratoire (Fig. 12.2), il comprend la trachée (tuyau d'air), une branche primaire droite et gauche des bronches, le lobe bronchique, les bronches segmentées, les bronches sous-segmentées, les bronchioles terminales, les bronchioles respiratoires, les canaux alvéolaires, les sacs alvéolaires, et les alvéoles individuelles. L'échange gazeux avec le sang se produit seulement dans les parties terminales de l'arbre (les plus petites et ayant la paroi la plus fine) et commence avec les bronchioles respiratoires. Le reste de l'arbre respiratoire, et l'ensemble de la partie haute, comprend l'espace mort anatomique, espace qui est ventilé mais qui ne joue pas de rôle direct dans l'échange gazeux.

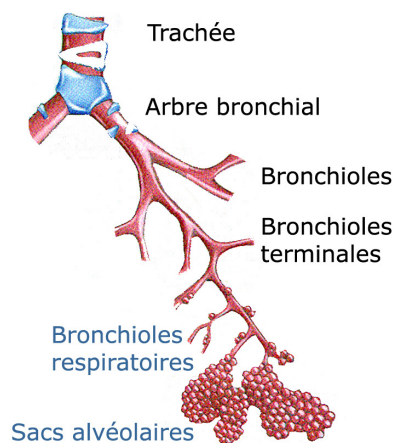


Fig. 12.2 L'arbre Respiratoire

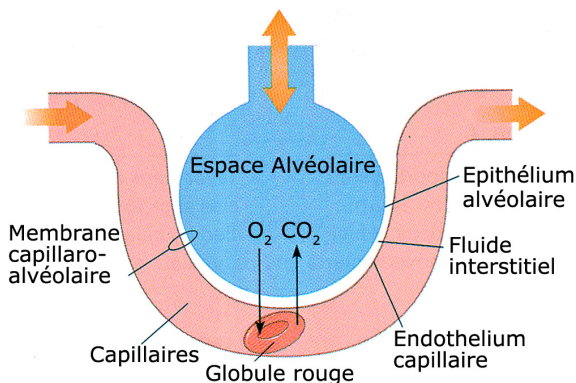


Fig. 12.3 Echanges Gazeux Pulmonaires

L'échange gazeux entre l'air des poumons et le sang est un processus de simple diffusion (Fig. 12.3). Un gaz diffuse d'une région de forte concentration vers une région de faible concentration, ou à partir d'une surface de forte pression partielle vers une de faible pression partielle. La pression partielle est simplement une façon d'exprimer la concentration de molécules gazeuses. C'est la pression exercée par un gaz quand il est dans un mélange gazeux et elle est égale à la pression qu'exercerait un même volume d'air si aucun autre gaz n'était présent. La pression partielle d'un gaz se calcule facilement si son % dans le mélange gazeux et la pression totale du mélange sont connus. Par exemple, l'atmosphère au niveau de la mer exerce une pression de 760 mmHg. Si l'oxygène représente 20% de l'atmosphère, sa pression partielle serait de 20% de 760 mmHg, soient 152 mmHg.

Le sang transporte des gaz vers et à partir des cellules du corps. Le système respiratoire apporte l'oxygène au sang et élimine le dioxyde de carbone du sang. La majorité des échanges gazeux se passe au niveau des alvéoles et le processus est complètement dépendant du maintien des pressions partielles favorables pour une diffusion adéquate de l'oxygène et du dioxyde de carbone. Durant l'inspiration, les alvéoles se gonflent d'air frais. Durant l'expiration, les alvéoles diminuent de volume obligeant l'air à être chassé dans l'atmosphère. Le processus continu et cyclique du mouvement d'air vers et en-dehors de l'arbre respiratoire est appelé *ventilation pulmonaire*. Ce processus sert à maintenir des pressions partielles favorables d'oxygène et de dioxyde de carbone dans les alvéoles, facilitant ainsi la captation d'oxygène par le sang et le relargage de dioxyde de carbone du sang.

Les mécanismes de ventilation pulmonaire sont mieux compris en appliquant la loi de *Boyle*, qui statue que le volume d'une quantité donnée de gaz à une température constante varie inversement avec la pression du gaz. En d'autres termes, comme le volume d'un gaz à une température constante augmente, la pression du gaz diminue. Si, à la place, le volume diminue, alors la pression augmente. Mathématiquement, le produit pression x volume d'un gaz à température constante est lui-même une constante ($PV = K$). En ignorant les unités, si $P = 6$ et $V = 3$, alors $K = 18$. Si P diminue à 2, alors V doit diminuer à 9 car la valeur de K est 18 et est constante tant que la température est constante.

Les poumons sont enfermés dans la cage thoracique, qui est comprise entre le sternum, les côtes, la colonne vertébrale, et le diaphragme (Fig. 12.1). Les tissus de la cage thoracique forment la cavité thoracique qui est partitionnée par des membranes en plus petites cavités. Chaque poumon est recouvert d'une fine membrane appelée plèvre viscérale. A la racine de chaque poumon, à l'entrée des bronches, la plèvre viscérale se double autour du poumon pour former la plèvre pariétale, une membrane lubrifiante qui tapisse le thorax et couvre une partie du diaphragme (Fig. 12.4).

Normalement, chaque poumon remplit sa cavité pleurale formée en partie par la plèvre viscérale. Les membranes pleurales permettent au poumon de glisser librement dans la cavité pleurale durant le cycle respiratoire. L'espace entre la plèvre viscérale et pariétale, appelé espace pleural, est seulement un espace potentiel. Normalement, seulement une fine couche de fluide lubrifiant sépare les 2 couches de la plèvre. Les cavités pleurales sont hermétiques et forment une partie de la cavité thoracique; cependant, l'intérieur des poumons est ouvert vers l'atmosphère via les passages d'air. Quand la cavité thoracique s'agrandit, les cavités pleurales, avec les poumons, augmentent aussi de volume.

Les changements de volume du thorax sont produits par une contraction des muscles squelettiques appelés muscles respiratoires. Ils sont arbitrairement divisés en 2 groupes. *Les muscles inspiratoires se contractent et augmentent le volume thoracique*. Le diaphragme et les muscles intercostaux externes en sont des exemples. *Les muscles expiratoires se contractent et diminuent le volume thoracique*. On peut citer les muscles intercostaux internes et les muscles abdominaux.

Au début de l'inspiration, la cavité thoracique s'agrandit par contraction du diaphragme et des intercostaux externes (Fig. 12.5). Le diaphragme, normalement en forme de dôme au repos, devient plus plat quand ses fibres musculaires se contractent, augmentant ainsi le volume thoracique. Les intercostaux externes élèvent les côtes, comme un genre de poulie, ce qui augmente le diamètre et donc le volume du thorax. Une augmentation du volume thoracique est accompagnée par une augmentation du volume intrapulmonaire, et, selon la loi de Boyle, une diminution de la pression intrapulmonaire. Dès que la pression intrapulmonaire chute en-dessous de la pression atmosphérique, le flux d'air diminue le gradient de pression allant de l'atmosphère vers les espaces pulmonaires jusqu'à ce que la pression intrapulmonaire soit égale à la pression atmosphérique (Fig. 12.5). A l'inspiration, la pression intrapulmonaire égale la pression atmosphérique et le flux d'air cesse même si le volume intrapulmonaire est plus grand qu'au début de l'inspiration.

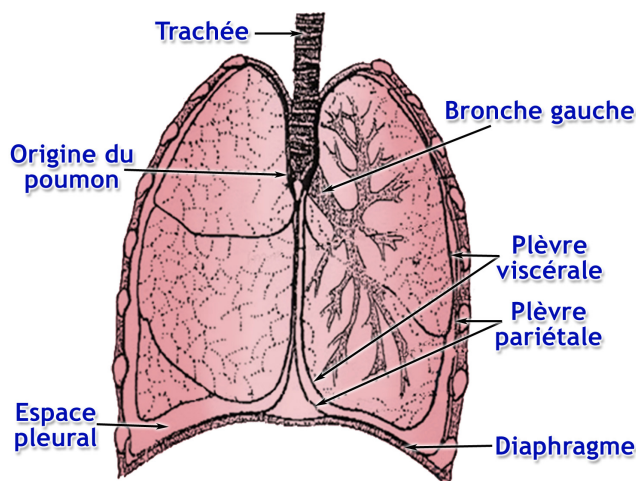


Fig. 12.4 Cavités Pleurales (coupe frontale)

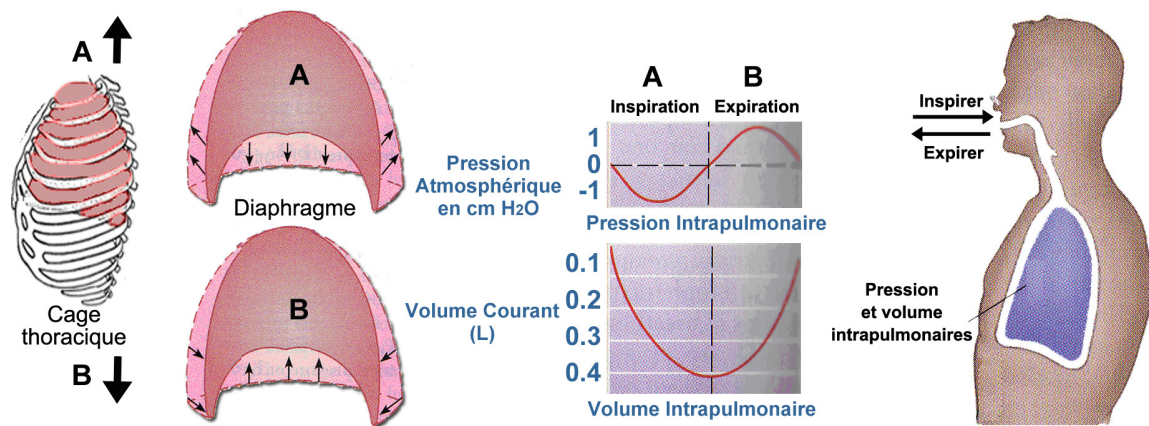


Fig. 12.5 Variations de la pression intrapulmonaire et du volume pendant un cycle respiratoire

L'expiration commence quand les muscles inspiratoires se relaxent. Le diaphragme revient à sa forme de dôme au repos, diminuant le volume thoracique et intrapulmonaire. La relaxation des intercostaux externes permet aux côtes de revenir à leur position de repos, diminuant ainsi le diamètre, et donc le volume du thorax et des poumons (Fig. 12.5). Une réduction du volume intrapulmonaire est accompagnée par une augmentation de la pression intrapulmonaire. Dès que la pression intrapulmonaire augmente au-dessus de la pression atmosphérique, le flux d'air diminue le gradient de pression des espaces d'air dans les poumons vers l'atmosphère, en continuant jusqu'à ce que la pression intrapulmonaire égale la pression atmosphérique (Fig. 12.5).

Le volume d'air qu'une personne inspire et expire peut être mesuré à l'aide d'un **spiromètre** (*spiro* = respiration, *mètre* = mesurer). Un spiromètre à cloche est constitué d'un cylindre à double paroi dans lequel vient se glisser une cloche remplie d'air enrichi d'oxygène. En plus de recevoir la cloche, l'espace entre les deux cylindres est rempli d'eau pour isoler l'air enrichi du milieu extérieur (Fig. 12.6). Un stylet est relié à la cloche; il permet d'enregistrer les variations de volume en écrivant sur un tambour qui tourne à vitesse constante. Pendant l'inspiration, l'air s'enfuit de la cloche et le stylet monte, mesurant ainsi le volume inspiré. Quand l'air expiré rentre dans la cloche, le stylet descend, mesurant ainsi le volume expiré. La courbe qui résulte de l'évolution du volume selon le temps est appelée **spirographe**.

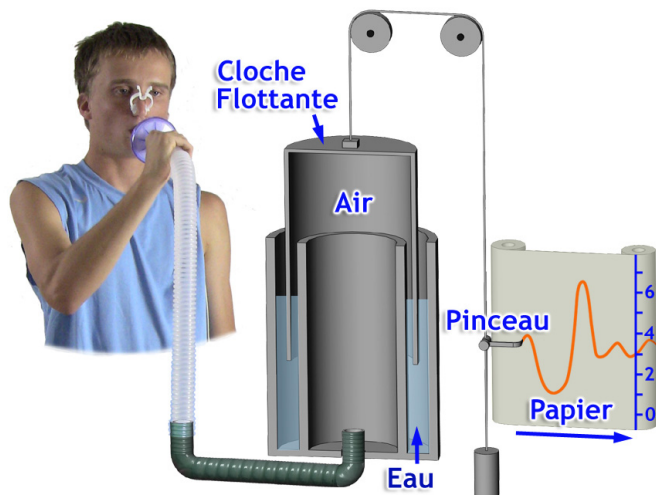


Fig. 12.6 Spiromètre à cloche

Au cours de cette leçon, vous utiliserez le pneumotachographe BIOPAC; le logiciel convertira le flux d'air en volume, soit l'équivalent aux mesures de volume d'un spiromètre. L'air passe à travers une tête étanche qui est divisée en deux par un tamis à mailles fines. L'écran crée une légère résistance au flux d'air induisant une pression plus élevée d'un côté. Un capteur de pression différentielle mesure la différence de pression, qui est proportionnelle au flux d'air, et la convertit en une tension, qui est enregistrée par l'unité MP de BIOPAC. A la fin de l'enregistrement, le logiciel calcule le volume en intégrant les données de flux d'air. Cette méthode est simple pour obtenir des volumes mais est très sensible aux variations de la ligne de base. Pour cette raison, les procédures de calibration et d'enregistrement doivent être suivies **à la lettre** pour obtenir des résultats corrects.

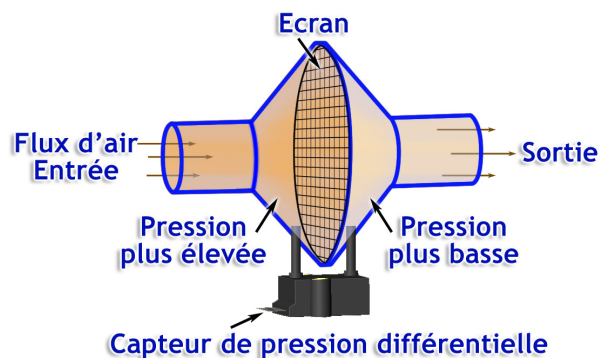


Fig. 12.6b Pneumotachographe

La capacité pulmonaire se sépare en quatre parties différentes (Fig. 12.7):

1. Volume courant
2. Volume de réserve inspiratoire
3. Volume de réserve expiratoire
4. Volume résiduel

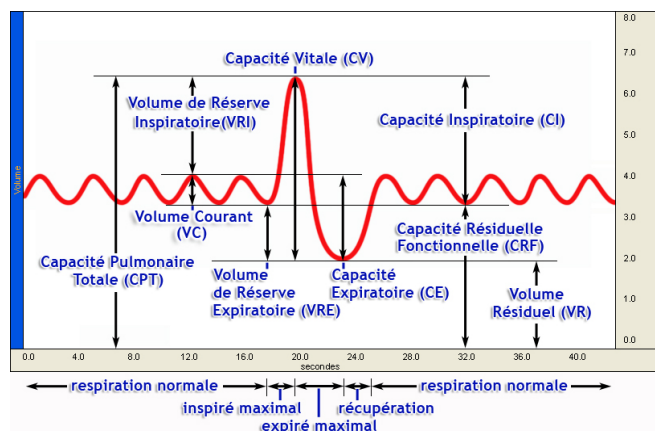


Fig. 12.7 Exemple de Volumes et Capacités Respiratoires

- **Volume Courant (VC)** Volume d'air inspiré ou expiré pendant une seule respiration. Quand une personne respire normalement, le volume courant vaut environ 500 mL. Pendant un exercice physique le volume courant peut augmenter jusqu'à plus de 3 L.
- **Volume de Réserve Inspiratoire (VRI)** Volume maximal d'air qui peut être inspiré à la fin d'une respiration courante. Au repos, le volume de réserve inspiratoire vaut environ 3300 mL pour un jeune homme et 1900 mL pour une jeune femme.
- **Volume de Réserve Expiratoire (VRE)** Volume maximal d'air qui peut-être expiré à la fin d'une respiration courante. Au repos, le VRE vaut environ 1000 mL pour un jeune homme et 700 mL pour une jeune femme.
- **Volume Résiduel (VR)** Volume de gaz restant dans les voies respiratoires et dans les poumons après une expiration maximale. Par opposition au VRI, VC, ou VRE, le volume résiduel ne change pas pendant un exercice physique. En moyenne, pour un jeune homme le VR vaut 1200 mL, et pour une jeune femme 1100 mL. Le volume résiduel rend compte du fait qu'après que la première inspiration de l'enfant à la naissance, les poumons gonflent, ceux-ci ne sont jamais entièrement vidés pendant les cycles respiratoires suivants.

La **Capacité Pulmonaire** est la somme de deux volumes pulmonaires élémentaires. Il existe cinq capacités pulmonaires, que l'on peut calculer comme indiqué ci-dessous:

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1. Capacité Inspiratoire (CI) | $CI = VC + VRI$ |
| 2. Capacité Expiratoire (CE) | $CE = VC + VRE$ |
| 3. Capacité Résiduelle Fonctionnelle (CRF) | $CRF = VRE + VR$ |
| 4. Capacité Vitale (CV) | $CV = VRI + VC + VRE$ |
| 5. Capacité Pulmonaire Totale (CPT) | $CPT = VRI + VC + VRE + VR$ |

Chacune de ces capacités est représentée graphiquement dans la Fig. 12.7 ci-dessus.

Les capacités et volumes pulmonaires sont généralement mesurés pour vérifier l'état de santé du système respiratoire. En effet, certaines pathologies des poumons dégradent les volumes et les capacités pulmonaires. Par exemple, la capacité inspiratoire équivaut normalement à 60-70% de la capacité vitale.

Les équations suivantes permettent d'obtenir la capacité vitale théorique selon l'âge, le sexe et la taille. Comme la capacité vitale dépend d'autres paramètres que l'âge, la taille, et le sexe, une valeur à 80% de la capacité observée est considérée comme normale.

The following equations can be used to obtain the predicted vital capacities for men or women of your height and age. Vital capacities are dependent on other factors besides age and height. Therefore, 80% of the calculated values are still considered normal.

Tableau 12.1

Equations de la Capacité Vitale Théorique (Kory, Hamilton, Callahan: 1960)	
Masculin	$C.V. = 0.052T - 0.022A - 3.60$
Féminin	$C.V. = 0.041T - 0.018A - 2.69$

C.V. Capacité Vitale en litre
T Taille en centimètres
A Age en années

En utilisant les équations du Tableau 12.1, vous pouvez estimer la capacité vitale d'une jeune fille de 19 ans et mesurant 167 centimètres à 3.815 litres:

$$0.041 \times (167) - 0.018 \times (19) - 2.69 = 3.815 \text{ litres}$$