

INTRODUCTION

Le poumon droit (3 lobes) reçoit habituellement 60 % de la ventilation et de la perfusion et le poumon gauche (2 lobes) reçoit les 40 % restants. Les poumons sont ventilés par les voies de l'**arbre trachéo-bronchique** qui lui sont destinés, et perfusés par des branches du tronc de l'**artère pulmonaire**.

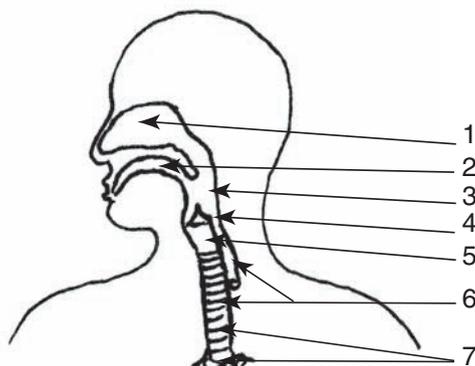
Chaque poumon est recouvert d'une fine membrane à deux feuillets : la **plèvre cervicale**.

L'espace entre les deux poumons est le **médiastin**, il est principalement composé des voies aériennes et digestives, des gros vaisseaux, du cœur, et de formations ganglionnaires.

Le poumon est un organe **spongieux**, inclus dans une cage thoracique **rigide** formée par les corps vertébraux en arrière, le diaphragme en bas, la paroi thoracique (sternum, côtes, muscles intercostaux) autour.

LES VOIES AÉRIENNES SUPÉRIEURES

Ou **voies sus-glottiques** (Cf . Fig. 1). Elles comprennent les fosses nasales, la cavité buccale, le pharynx et le larynx. Elles sont surtout rattachées à la pathologie ORL.



- | | |
|--------------------|---------------|
| 1 : Fosses Nasales | 5 : Larynx |
| 2 : Cavité buccale | 6 : Oesophage |
| 3 : Pharynx | 7 : Trachée |
| 4 : Glotte | |

Figure 1 : Voies aériennes supérieures

LES VOIES AÉRIENNES SOUS-GLOTTIQUES

C'est l'**arbre trachéo-bronchique** (cf. Fig. 2).

1. La trachée cervicothoracique

- Anatomie descriptive :
 - Conduit cylindrique aplati en arrière, elle s'étend du larynx à la carène (bifurcation).
 - Sa limite supérieure se situe au niveau de C6 (cartilage cricoïde) et sa limite inférieure au niveau de T4.
 - Son diamètre varie chez l'adulte de 12 à 15 mm, et sa longueur de 11 à 12 cm.
 - La trachée cervicale n'est séparée de la peau que par l'isthme thyroïdien et les muscles cervicaux antérieurs (intérêt pour les trachéotomies).

- Constitution :

C'est un conduit **fibro-musculo-cartilagineux** formé par l'empilement de 15 à 20 anneaux en forme de fer à cheval, unis en arrière par une lame fibreuse, la membraneuse. Ces anneaux sont séparés les uns des autres par les ligaments interannulaires.

La face interne de la trachée est tapissée d'une muqueuse (épithélium respiratoire cylindrique cilié pseudostratifié + chorion fibroélastique), d'un tissu conjonctif sous muqueux contenant des formations glandulaires. Sa face postérieure est intimement liée à l'œsophage.

2. La carène

La bronche souche droite se comporte comme un prolongement naturel de la trachée, alors que la bronche souche gauche fait un angle beaucoup plus horizontal au niveau de la carène (environ 45° avec la verticale). Cela explique les **plus fréquentes localisations à droite des inhalations** (corps étrangers, pneumopathies d'inhalation).

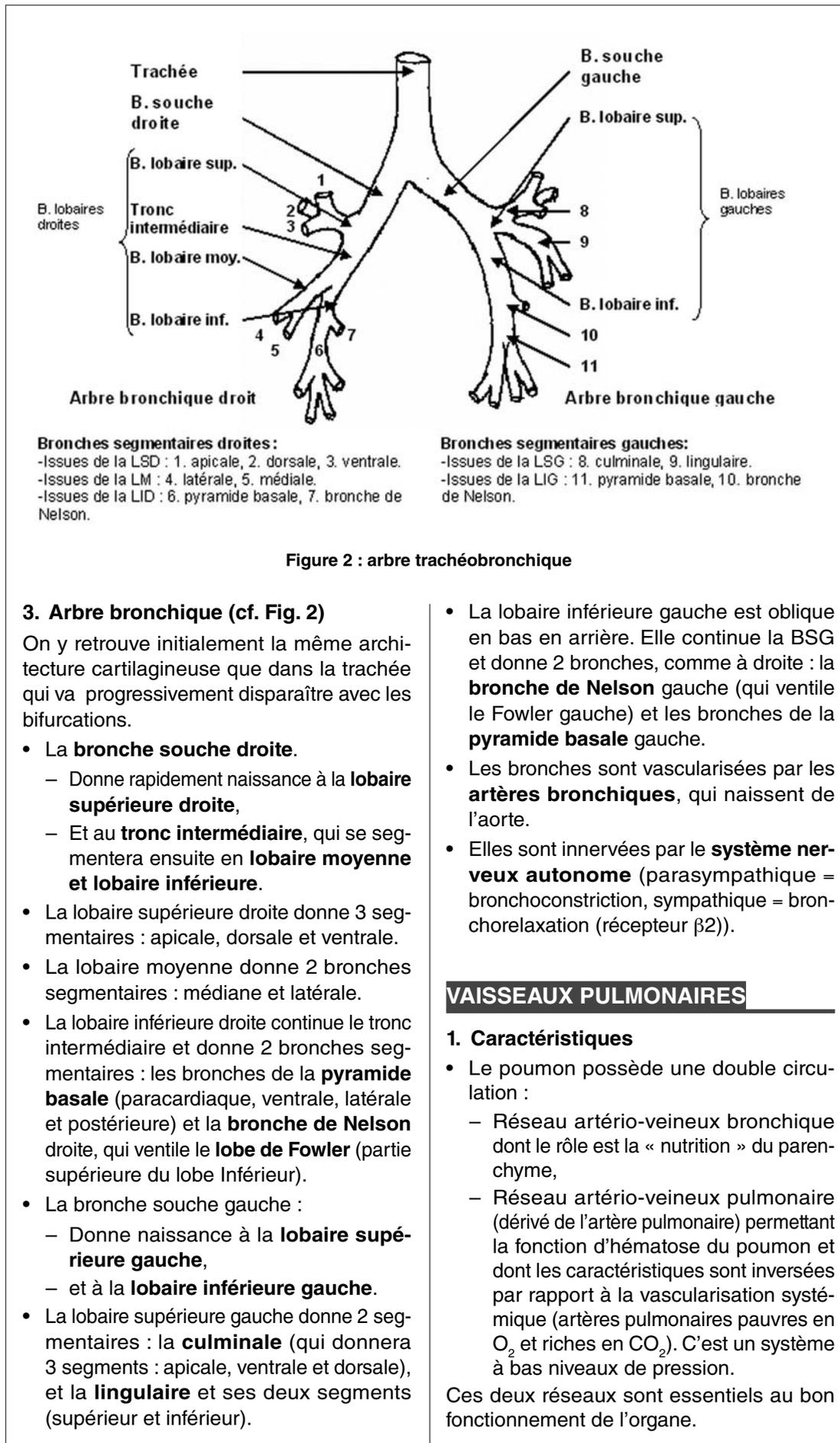


Figure 2 : arbre trachéobronchique

3. Arbre bronchique (cf. Fig. 2)

On y retrouve initialement la même architecture cartilagineuse que dans la trachée qui va progressivement disparaître avec les bifurcations.

- La **bronche souche droite**.
 - Donne rapidement naissance à la **lobaie supérieure droite**,
 - Et au **tronc intermédiaire**, qui se segmentera ensuite en **lobaie moyenne** et **lobaie inférieure**.
- La lobaie supérieure droite donne 3 segmentaires : apicale, dorsale et ventrale.
- La lobaie moyenne donne 2 bronches segmentaires : médiane et latérale.
- La lobaie inférieure droite continue le tronc intermédiaire et donne 2 bronches segmentaires : les bronches de la **pyramide basale** (paracardiaque, ventrale, latérale et postérieure) et la **bronche de Nelson** droite, qui ventile le **lobe de Fowler** (partie supérieure du lobe Inférieur).
- La bronche souche gauche :
 - Donne naissance à la **lobaie supérieure gauche**,
 - et à la **lobaie inférieure gauche**.
- La lobaie supérieure gauche donne 2 segmentaires : la **culminale** (qui donnera 3 segments : apicale, ventrale et dorsale), et la **lingulaire** et ses deux segments (supérieur et inférieur).

- La lobaie inférieure gauche est oblique en bas en arrière. Elle continue la BSG et donne 2 bronches, comme à droite : la **bronche de Nelson** gauche (qui ventile le Fowler gauche) et les bronches de la **pyramide basale** gauche.
- Les bronches sont vascularisées par les **artères bronchiques**, qui naissent de l'aorte.
- Elles sont innervées par le **système nerveux autonome** (parasymphatique = bronchoconstriction, sympathique = bronchorelaxation (récepteur β_2)).

VAISSEAUX PULMONAIRES

1. Caractéristiques

- Le poumon possède une double circulation :
 - Réseau artério-veineux bronchique dont le rôle est la « nutrition » du parenchyme,
 - Réseau artério-veineux pulmonaire (dérivé de l'artère pulmonaire) permettant la fonction d'hématose du poumon et dont les caractéristiques sont inversées par rapport à la vascularisation systémique (artères pulmonaires pauvres en O_2 et riches en CO_2). C'est un système à bas niveaux de pression.

Ces deux réseaux sont essentiels au bon fonctionnement de l'organe.

2. Constitution du réseau pulmonaire

- Le tronc de l'artère pulmonaire émerge du ventricule droit, pour donner les **artères pulmonaires droite et gauche**.
- Au niveau des pédicules pulmonaires, ces artères se partagent en branches. Chaque lobe sera vascularisé par une artère qui lui est propre.
- Les artères suivent les ramifications de l'arbre bronchique, jusqu'à donner les capillaires pulmonaires (lit capillaire).
- Les capillaires pulmonaires sont très fins, séparés des alvéoles par leur mince endothélium et l'espace interstitiel. Ils donnent ensuite naissance aux veinules pulmonaires qui confluent en **4 veines pulmonaires** (2 à droite et 2 à gauche), qui se jettent dans l'oreillette gauche.

LE PARENCHYME PULMONAIRE

1. Macro-organisation (cf. Fig. 3)

La topographie lobaire répond à la division bronchique :

- 3 lobes à droite (cf. Fig. 4) : supérieur, moyen et inférieur, chacun organisés en segments.
- 2 lobes à gauche (cf. Fig. 5) : supérieur et inférieur.
- Ne pas oublier le « lobe » de Fowler, qui est en fait le segment supérieur de chaque lobe inférieur.

Chaque lobe est organisé en segments, qui sont eux-mêmes organisés autour d'une bronche, d'une artère et de deux veines.

- Chaque lobe est séparé d'un autre par une scissure :
 - 2 à droite (grande scissure, oblique – et petite scissure, horizontale),
 - 1 à gauche.

2. Micro-organisation

- Chaque bronche se divise en **bronchioles** pour arriver à l'unité fonctionnelle pulmonaire : le **lobule**.
- Chaque lobule est vascularisé par une artère et deux veines lobulaire, et contient des **sacs alvéolaires** (amas alvéolaires dérivés de bronchioles terminales).

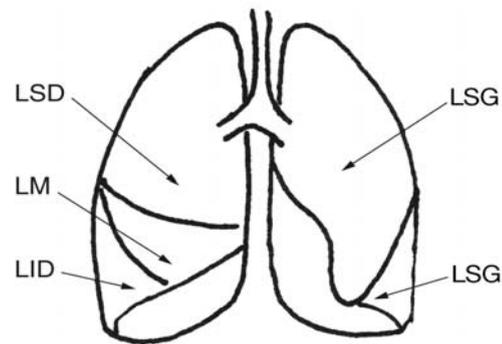


Figure 3 : Segmentation pulmonaire (face)

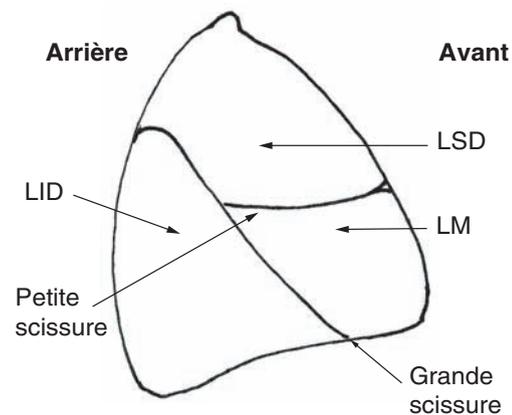


Figure 4 : Segmentation du poumon droit (vue latérale)

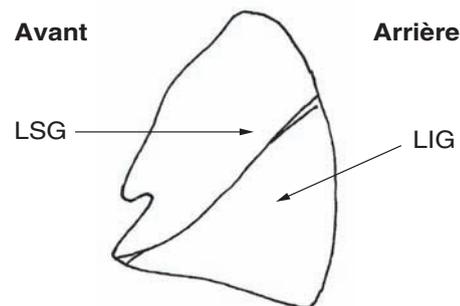


Figure 5 : Segmentation du poumon gauche (vue latérale)

LA PLÈVRE

- C'est une **séreuse**, constituée de deux feuillets (pariétal et viscéral). L'espace virtuel (puisque la pression y est négative) situé entre les 2 feuillets constitue l'espace pleural.
- Le **feuillelet pariétal** recouvre l'intérieur de la paroi thoracique. Il est séparé de la paroi par le fascia endothoracique (qui permet un plan de clivage : « extra-pleural »).
- Chaque poumon est recouvert par une plèvre qui lui est propre : le **feuillelet viscéral**, dont les plis interlobaires forment les

scissures. Il est complètement adhérent au parenchyme.

- Les deux feuillets sont dans le prolongement l'un de l'autre, et leur plicature se crée au niveau des hiles.
- La plèvre à deux rôles principaux :
 - Sécrétion d'un lubrifiant permettant au poumon de « glisser » contre la paroi lors des mouvements respiratoires,
 - Éviter le collapsus expiratoire du poumon grâce à la présence d'une pression négative régnant dans la cavité pleurale.

LE MÉDIASTIN

1. Limites

- Le **sternum** en avant.
- Les **corps vertébraux** en arrière (de la 1^{re} vertèbre thoracique à la 12^e).
- Les **plèvres** droite et gauche latéralement.
- Le **diaphragme** en bas.
- L'orifice supérieur du thorax en haut.

2. Segmentation (Cf. Fig. 6)

- Le **médiastin antérieur**, comprenant le cœur et le péricarde, les gros vaisseaux cardiaque (tronc de l'artère pulmonaire, aorte), la veine cave, ainsi que le thymus, habituellement à l'état résiduel chez l'adulte.
- Le **médiastin moyen**, comprenant la trachée et les bronches souches, certains vaisseaux (la crosse aortique, la crosse de la veine azygos) ainsi que les pédicules pulmonaires (confluence des voies aériennes, vasculaires et lymphatiques).
- Le **médiastin postérieur**, comprenant l'œsophage, la partie descendante de l'aorte thoracique, le système veineux azygos, la chaîne sympathique, le nerf phrénique et le nerf vague ainsi que le canal thoracique (conduit lymphatique).
- Il existe également une segmentation en étage sur une vue de face (cf. Fig. 7).

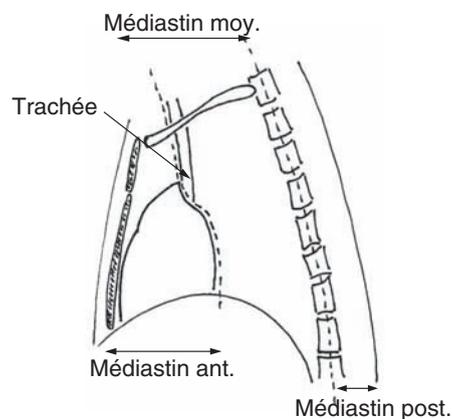


Figure 6 : Segmentation du médiastin (vue latérale)

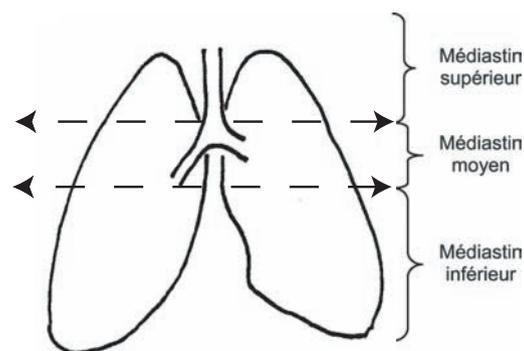


Figure 7 : Étages du médiastin (vue de face)

LA CAGE THORACIQUE

Elle est délimitée :

- En arrière, par la colonne vertébrale, de la 1^{re} vertèbre thoracique jusqu'à la 12^e.
- En avant par le sternum.
- Latéralement, par les 12 paires de côtes.

1. Les vertèbres thoraciques

On compte 12 vertèbres thoraciques. La colonne thoracique est concave vers l'avant.

2. Le sternum

Il est composé de trois os (de haut en bas) : le manubrium, le corps sternal et l'appendice xiphoïde.

3. Les côtes

- 12 paires de côtes.
- Elles s'articulent :
 - En avant et en dedans avec le sternum par l'intermédiaire du cartilage costal (articulation chondro-sternale),

- En arrière avec la vertèbre thoracique correspondante.
- Les 6 premières sont « vraies ».
 - Par opposition, les côtes 7 à 10 sont dites fausses : elles s'articulent par un même cartilage costal au sternum,
 - Les côtes flottantes sont les côtes 11 et 12 : elles n'ont pas d'articulation avec le sternum.

4. Les espaces intercostaux (EIC)

Ce sont tous les éléments situés entre 2 côtes voisines.

Cet espace mesure en moyenne 2 cm de haut et est fermé par trois couches musculaires (muscles externe, interne, intime).

Dans cet espace chemine le **paquet vasculo-nerveux** (veine / artère / nerf) intercostal, le long du bord inférieur de la côte supérieure.

Il est doublé en dedans par la plèvre endothoracique et c'est donc la voie d'accès à l'examen de la plèvre.

LE DIAPHRAGME

- C'est une cloison musculo-aponévrotique qui est le muscle principal de la respiration.
- Il sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale.
- Il est formé de 2 coupoles dont le centre est fibreux et la périphérie musculieuse. Chacune s'insère en périphérie sur les côtes et le plastron chondrosternal.
- L'insertion postérieure est réalisée notamment par les 2 piliers diaphragmatiques, qui s'insèrent verticalement sur les vertèbres.
- Entre les 2 piliers se situent plusieurs hiatus, qui permettent une communication entre les étages thoracique et abdominal (œsophage vers T10, veine cave vers T9, aortique vers T12).
- Il est innervé par le **nerf phrénique**, qui est issu du plexus cervical C4.
- Le diaphragme en se contractant à l'inspiration s'abaisse et permet une augmentation de volume de la cage thoracique.

NERFS

Les deux nerfs principaux rencontrés dans la cavité thoracique sont les nerfs récurrent et phrénique.

1. Nerf récurrent

- Origine : naît du nerf pneumogastrique au niveau thoracique
- Trajet : réalise une boucle sous l'artère sous-clavière à droite, et sous la crosse aortique (au niveau du ligament artériel) à gauche, pour regagner la gouttière trachéo-œsophagienne au sein de laquelle il remonte vers le pharynx.
- Terminaison-fonction :
 - branches motrices => muscles intrinsèques du pharynx (dont les cordes vocales)
 - branches sensibles => muqueuse pharyngée inférieure, jusqu'aux cordes vocales.
- Toute lésion ou irritation sur son trajet (compression tumorale ou ganglionnaire, lésion iatrogène après chirurgie cardio-thoracique ou thyroïdienne) peut donc se manifester par une dysphonie (voix bitonale) et/ou des troubles de déglutition.

2. Nerf phrénique

- Origine : racine C4 principalement (des racines C3 et C5 en partie)
- Trajet : Descend en bas et en avant entre les muscles scalènes au niveau cervical (en arrière du chef claviculaire du sterno-cléïdo-mastoïdien).
 - À gauche, il passe entre les artères carotide et sous-clavière à leur origine, en avant du pneumogastrique, pour cheminer sur la face latérale du médiastin antéro-supérieur, et longer la partie antérieure du péricarde, en passant en avant du hile pulmonaire
 - À droite, il croise l'artère mammaire interne (branche de l'A. sous-clavière), chemine sur le bord externe de la veine cave supérieure et passe également en avant du hile pulmonaire, sur le péricarde.

- Terminaison : Sur la partie antéro-médiale du diaphragme sur lequel il rayonne pour l'innover. Sa fonction peut donc être gênée ou abolie par une lésion cervicale (médullaire ou radiculaire), un processus expansif sur son trajet, ou de manière iatrogène (chirurgie). Les traumatismes à haute cinétique (forte décélération) sont également à l'origine de paralysies phréniques, souvent régressives.
- Son atteinte est caractérisée par une paralysie diaphragmatique et donc une surélévation de la coupole correspondante.

L'ESSENTIEL

- Le poumon droit possède trois lobes, le gauche n'est constitué que de deux.
- Les segments de Fowler sont les segments apicaux des lobes inférieurs et sont ventilés par la bronche de Nelson.
- L'appareil circulatoire pulmonaire est double :
 - Réseau bronchique nutritif,
 - Réseau pulmonaire assurant l'hématose et de caractéristiques gazeuses inversées par rapport à la circulation systémique.
 - Le diaphragme est innervé par le nerf phrénique qui naît de C4.

GÉNÉRALITÉS

La respiration a comme objectif ultime d'assurer l'**hématose**, c'est-à-dire de fournir le carburant de l'organisme : l'oxygène (O_2), ainsi que de permettre l'épuration du dioxyde de carbone (CO_2), qui résulte de la respiration cellulaire.

On distingue plusieurs étapes :

- La **ventilation**, avec le conditionnement de l'air inspiré, son transfert jusqu'aux alvéoles puis l'expiration du gaz alvéolaire.
- La **diffusion**, correspondant au passage de l' O_2 à travers la membrane alvéolo-capillaire jusque dans la circulation pulmonaire, et le passage en sens inverse du CO_2 .
- Puis, le sang veineux pulmonaire, riche en oxygène, sera envoyé à travers la circulation systémique.

Ces étapes sont contrôlées par les centres de la respiration, et en particulier les chémorécepteurs.

LA VENTILATION

On différencie les **zones de conduction** (trachée, bronches, bronchioles principales) des **zones d'échange** (bronchioles terminales, canaux alvéolaires).

1. Conditionnement

Le nez et sa muqueuse jouent le rôle de filtre :

- Humidification de l'air,
- Mise à la température interne,
- Élimination des particules potentiellement pathogènes.

2. L'inspiration

Phénomène **actif**, visant à conduire l'air extérieur jusqu'aux alvéoles.

- La position de repos du système poumon-paroi est la **capacité résiduelle fonctionnelle**. C'est le volume de relaxation, où la pression de rétraction du parenchyme pulmonaire s'équilibre avec la pression

d'expansion de la paroi. Cette position peut donc être maintenue spontanément.

- Le débit inspiratoire est assuré grâce au travail du **diaphragme (muscle principal de la respiration)** : sa contraction entraîne son déplacement vers le bas => augmentation du volume de la cage thoracique => génération d'une pression négative provoquant un « appel d'air ».
- Les **muscles accessoires de l'inspiration** n'interviennent pas dans l'inspiration calme :
 - Intercostaux externes,
 - Sterno-cléido-mastoïdiens,
 - Releveurs des clavicules,
 - Scalènes,
 - Releveurs des vertèbres.

Leur mise en jeu témoigne d'une augmentation du travail inspiratoire (exercice, augmentation des résistances à l'écoulement de l'air, diminution de la compliance pulmonaire).

L'étude des volumes pulmonaires est possible lors d'explorations fonctionnelles (CRF, capacité vitale (CV), débit inspiratoire de pointe, pression inspiratoire maximale).

3. L'expiration

Phénomène **passif**, visant à expulser le gaz alvéolaire vers l'air extérieur : relaxation du diaphragme => augmentation de pression et expulsion d'air.

Certains muscles peuvent être mis à contribution lors de l'expiration forcée :

- Muscles abdominaux,
- Intercostaux.

L'expiration sera un des premiers temps à être atteint dans les pathologies d'obstruction bronchique. Son étude est possible lors des explorations fonctionnelles respiratoires (DEP, VEMS).

4. Espace mort

Lors de la respiration, un volume n'intervient pas dans les échanges pulmonaires : c'est l'espace mort. Il correspond aux zones qui

sont ventilées et non perfusées, par exemple la trachée. On parle d'**espace mort anatomique**. Il correspond à environ 150 mL chez le sujet sain (ou $2,2 \times$ poids, en ml/kg).

Le rapport ventilation/perfusion, noté V_a/Q , diminue chez l'adulte sain, debout, des sommets aux bases du fait d'une diminution verticale de la perfusion plus importante que celle de la ventilation. En position allongée, cette différence disparaît.

Chez l'adulte sain, cet espace est négligeable, mais il peut être augmenté en pathologie.

LA DIFFUSION

Dans les zones d'échange, le flux d'oxygène ou de gaz carbonique est assuré par un **mécanisme de diffusion**, secondaire à une différence de pression partielle en gaz entre l'alvéole et le capillaire à son contact.

Plus de 300 millions d'alvéoles vont intervenir dans ce phénomène.

1. Diffusion de l'oxygène

- Au repos, chez le sujet sain, la pression alvéolaire en O_2 est proche de 100 mmHg, alors que la pression dans le capillaire pulmonaire est initialement de 40-45 mmHg.
- Grâce à cette différence de pression, l' O_2 diffuse alors vers les molécules d'hémoglobine du capillaire. La pression partielle en O_2 dans le sang d'une veinule pulmonaire, juste après le passage au contact de l'alvéole, est proche de 95 mmHg.
- Au repos, le temps de contact entre un globule rouge et une alvéole est de 0,75 seconde. La diffusion se fait très rapidement. À l'exercice, ce temps de contact se réduit (augmentation du débit sanguin) mais reste suffisant pour assurer une diffusion correcte chez le sujet sain.
- La différence entre la pression alvéolaire et la pression retrouvée dans un prélèvement artériel systémique est nommée le **gradient alvéolo-artériel**. Il est induit par des shunts physiologiques droit-gauche (veines bronchiques) et par des inégalités ventilation / perfusion. Physiologiquement, il est inférieur ou égal à 5 mmHg. Il peut être augmenté dans les pathologies affectant la diffusion.

2. Diffusion du gaz carbonique

Elle permet au poumon de remplir sa fonction d'épuration.

- Au repos, elle suit le même principe que l' O_2 , mais dans un sens inverse. La pression partielle en CO_2 dans le capillaire pulmonaire est supérieure à celle du gaz alvéolaire. Le CO_2 diffuse donc du capillaire vers l'alvéole.
- Il faut noter que le CO_2 diffuse 15 à 20 fois mieux que l' O_2 . Une atteinte de la diffusion se manifestera donc en premier par une altération de la diffusion de l' O_2 et donc par une hypoxie.

3. Généralités sur la diffusion

Deux facteurs interviennent dans la diffusion :

- Le facteur membranaire et,
- Le volume capillaire pulmonaire.

L'étude de la diffusion est possible par la mesure de la diffusion pour le monoxyde de carbone (CO) : la **DLCO**.

Normalement :

$$PaO_2 + PaCO_2 = 120 \text{ à } 130 \text{ mmHg.}$$

Cette somme sera diminuée dans le cadre de shunt ou d'effet shunt, ainsi que dans les atteintes sévères de la diffusion.

AUTRES FONCTIONS PULMONAIRES

1. Fonction d'épuration

On différencie deux systèmes : épuration rapide (voies aériennes, avec aide de la gravité) et lente.

• Clairance muco-ciliaire

C'est la résultante de l'action des cellules ciliées et du mucus. Cet « escalator » vise à drainer les particules inhalées en dehors de l'arbre trachéo-bronchique. L'efficacité de son action repose aussi sur une synergie d'action avec la toux, qui permet d'accélérer l'expulsion. C'est le système d'épuration le plus rapide.

Certaines pathologies (ex : BPCO) peuvent entraîner des atteintes de ce système. La toux est alors un des seuls moyens d'assurer un drainage bronchique correct.

• Épuration du poumon profond

Il associe les cellules phagocytaires alvéolaires (macrophages ++) et leur matériel enzy-