**Appareil respiratoire**

**Trachée cervico-thoracique**

**Schéma 1**

*Os hyoïde, grande corne du cartilage thyroïde, cartilage cricoïde,*Trachée : conduit **cartilagineux**, est croisée par la glande thyroïde (cible de pathologies ++)  
La trachée va, à l’aplomb de TH4 TH5 se bifurquer en constituant la **carène** (bifurcation trachéale)  
**Conduit oesophagien qui a des rapports intimes avec la face postérieure de la trachée**, **nerf laryngé inférieur (rapport ++ de la trachée)** puis en avant, la silhouette de la pomme d’Adam.

*Pathologies de la trachée : trachéite (toux productives), trachéotomie (le plus souvent sous la thyroïde)*

🡪 Corps étrangers partent dans la trachée (surtout enfants de moins de 2 ans : 1fois/10 dans poumon droit)

*Fistules oeso-trachéales*: accolement entre la trachée et l’œsophage (car même origine embryologique)

**Morphologie externe de la trachée schéma 2**

Assemblage constituée de **16 anneaux**, **13 cm**: conduit **élastique** qui peut augmenter  
Trachée se bifurque en **bronche principale droite et gauche**, la bifurcation n’est pas symétrique.  
**\*Carène : angle de 70° a droite, 40° à gauche : asymétrie dans la bifurcation**Coté droit branché sur la verticale dont le diamètre est supérieur au coté gauche (angle plus aigu)

*(La cartilage de la carène est un cartilage qui ressemble a une culotte, peut avoir la forme d’un string, ou encore un aspect totalement irrégulier avec un hémi cartilage ou deux hémi cartilages)*

Face antérieure de la trachée : **empreintes à l’aplomb de C6 (isthme thyroïde) + crosse de l’aorte + crosse veine azygos**

**Vue antérieure schéma 3**

1er rapport : **artère pulmonaire**: artère **pauvre** en oxygène, nait de l’infundibulum pulmonaire, donne une artère pulmonaire droite située devant la branche souche droite, et une artère pulmonaire gauche qui part un peu en arrière

La crosse de l’aorte s’enroule en laissant une empreinte sur la face **antérieure** de la trachée, à l’aplomb de **TH4**, elle a un gros calibre

A droite, la crosse de l’aorte donne le **tronc brachio-céphalique**

Face supérieure de l’aorte 🡪 branches pour la thyroïde : **artère thyroïdienne moyenne (ou ima)** qui vascularise la thyroïde par le bas

Il existe aussi la **veine cave supérieure**, se terminant dans l’oreillette droite, reçoit le TBC veineux gauche et droit, surcroise & précroise la crosse de l’aorte

🡺 TBC gauche donne des branches thyroïdiennes moyennes ou veines ima qui précroisent les anneaux cartilagineux trachéaux. Il donne de vaisseaux qui descendent vers le bas : vaisseaux à destinée péricardique pour le péricarde et le thymus.

**Ligament artériel** entre la crosse de l’aorte et l’artère pulmonaire ; sur lequel vient se poser le **ganglion de Wrisberg**

**Nerfs :**

* **X gauche**, passe en arrière du hile pulmonaire, sous la crosse de l’aorte, se met en avant de l’oesophage 🡪 donne le nerf laryngé inférieur sous l’isthme de la crosse de l’aorte en direction des CV
* **X droit**: descend en arrière, se retrouve en arrière du pédicule pulmonaire, en arrière de l’œsophage, abandonne le nerf laryngé inférieur droit sous la crosse de la subclavière

*(TH4 : abouchement de la grande veine azygos)*

**Vue postérieure**

***Corps étrangers terminent à droite 9 fois / 10***

***Tuberculose : dans poumon droit ++***

Crosse de l’aorte à gauche, elle se pose sur l’artère pulmonaire latérale gauche

L’aorte donne

* à gauche : l’artère subclavière gauche et l’artère carotide primitive gauche
* à droite : le tronc brachio-céphalique droit

**Veine cave inférieure : en position pré-bronchique et pré-carénaire, elle reçoit en face postérieure la crosse de la grande veine azygos**

Crosse de l’aorte, en **TH4 TH5**🡪 artère trachéo-oesophagienne, vascularise la face postérieure de la carène et les pédicules bronchiques des souches droites et gauches et une artère à destinée de l’œsophage

**Nerfs**:

* **X** : donne à gauche le **nerf laryngé inférieur gauche**
* **X** : donne à droite sous la sous-clavière le **nerf laryngé inférieur droit** (qui passe en arrière du pédicule pulmonaire)

++ Branches pour broncho-dilatation de la trachée

+ conduit thoracique qui draine la lymphe, appartient au médiastin postérieur  
+ lymphonoeuds sub-carénaires

+ chaîne sympathique latéro-vertébrale qui donne quelques rameaux nerveux pour pédicule bronchique

**Coupe sagittale simplifiée de la trachée**

Trachée fermée en arrière par un **muscle lisse trachéal**

*On retrouve les membranes crico-thyroïdiennes, crico-trachéales, et en arrière, la lumière de l’œsophage qui est sous-tendu.*

*Muqueuse laryngée, rachis thoracique, vertèbres cervicales (7 à convexité antérieure : lordose)*

*Isthme thyroïdien plaqué en avant par le ligament* ***thyro-trachéal*** *qui le fixe*

En avant, en TH2 : orifice sup du thorax avec le manubrium sternal + angle de **15°** entre manubrium et corps du sternum

🡺 Rapport antérieur de la trachée : TBC veineux abandonne une **veine ima (ou thyr moyenne)** qui vascularise l’isthme de la thyroïde

**Fascias :**

* **lame superficielle du fascia cervical**
* **lame pré-trachéale qui se détache en avant du cartilage thyroïde**

A l’extrémité inférieure du TBC céphalique : **fascia suspenseur du dôme péricardique**

*\* Remarque : reliquats de la loge thymique (disparaissent à l’âge adulte)*

*Trachéotomies : la trachée dans sa portion haute est sous cutanée*

**Coupe de la bifurcation trachéale en TH4**

*Articulation costo-vertébrale*

*En avant : sternum avec son cartilage sterno-chondro-costal, corps du sternum, arcs antérieurs des cotes, sections d’autre cotes du gril costal*

*Carène qui s’épanouit de chaque coté avec les deux bronches, on met en place le poumon droit et gauche (plus petit a cause du cœur)*

Crosse de la grande veine azygos + Conduit thoracique + Replis de péricarde avec le péricarde viscéral et le pariétal

+ **Plèvre viscérale épouse les scissures**, se replie au niveau du hile pour donner la **plèvre pariétale qui se s’enfonce pas**; la plèvre pariétale se **dédouble** et dedans : **ganglion** de la chaine LV sympathique 🡺 **espace pleural**: espace de glissement, pas de liquide dedans normalement

+ **nerf phrénique** (C3 C4) se place dans un dédoublement de plèvre pariétale, s’entoure d’une artère phrénique et de veines

+ X gauche qui donne le nerf récurrent gauche, + X droit en arrière

+ artère thoracique interne utilisée dans les pontages

+ artères intercostales   
+ lymphonoeuds latéraux pré-aortique, lymphonoeuds de Barthez : du pédicule bronchique droit

+ **loge de barretty**🡺 lymphonoeuds 🡺 curages ganglionnaires

+ artère trachéo-bronchique

**Rappel embryologique : schéma**

**Stomodéum**: bouche primitive : au niveau du thorax 🡪 donne le futur oesophage, et donne le bourgeon pulmonaire ou trachéal

Région de développement : **œsophage donne la trachée (origine endoblastique)**

**Vue latérale**

Crêtes oesophago-trachéales donnent les 2 bourgeons bronchiques   
Fistules oeso-trachéales peuvent être ***supérieures*** ou ***inférieures***: cause de détresse respiratoire chez les NN : un morceau de l’oesophage vient dans la trachée ++

**Lymphonoeuds trachéo-bronchique vue antérieure**

Rapport postérieur essentiel : **œsophage**

Plusieurs groupes :

* groupe trachéo-bronchique ou hilaire
* groupe azygos dans la loge de barretty
* groupe du ligament artériel
* groupe trachéo-bronchique gauche
* groupe sous carénaire ou trachéo-bronchique inférieur
* groupe sus claviculaire vers le conduit thoracique
* groupe aortico-oesophagiens moyens
* groupe phréniques inférieur gauche : ont la possibilité de migrer et se retrouver sur le groupe coeliaque
* groupe phrénique inférieur droit
* groupe oeso-trachéal droit
* groupe oeso-trachéal gauche

🡺 réunis en **avant**

*Pathologies : dissémination métastatique, tuberculose et sarcoïdose donnent des ganglions, lymphomes (hodgkin) …*

**Morphologie du poumon**

Droit : **500g**

Gauche : **300g**

***Droit :***

*Vue latérale*

**3 lobes**: supérieur, moyen, inférieur. **2 scissures**- lobe supérieur : segment apical du lobe supérieur, segment dorsal, segment ventral

- lobe moyen : segment médial, segment latéral

- lobe inférieur : segment basal ventral, segment basal latéral, segment basal dorsal, segment apical

*Vue médiale*

Pédicule pulmonaire avec le ligament du hile dont l’extrémité est fibreuse : ligament triangulaire

**3 lobes**

(Dans le lobe inférieur : segment basal médial en plus qu’on ne voit que sur cette coupe)

**Hile**: artère pulmonaire en avant de la bronche souche droite + veines pulmonaires riches en O2 (TH5 sup et TH8 inf)

Veines et artères bronchiques + lymphonoeuds

Crosse de la grande veine azygos

+ Incrustation du TBC droit

***Gauche :***

*Vue latérale*

**2 lobes, 1 scissure principale :**

- lobe supérieur

- lobe inférieur

*Vue médiale*

Empreinte de la crosse de l’aorte qui donne l’artère carotide primitive et l’artère subclavière

Bronche souche gauche (+ artère et veines pulmonaires)

+ lymphonoeuds du pédicule bronchique gauche

(le segment 7 est spécifique de la vue médiastinale)

+ empreinte cardiaque

**Plèvre**

**Séreuse**, feuillet viscéral s’incruste dans les scissures (contrairement au pariétal), dérivent du coelum

**TH2 : projection de la plèvre : vue antérieure**

1ère cote à l’aplomb de TH1 : donne le tubercule du scalène antérieur

Dôme pulmonaire qui dépasse de **2cm** le creux sus claviculaire, s’entoure de plèvre

Certains ligaments suspendent le dôme : système d’amarrage suspenseur :

* Transversor pleuror C5 C6 C7
* Ligament vertébro-pleural TH1 C6 C7

Eléments vasculo-nerveux du dôme :

* **veine jugulaire interne**reçoit la **veine subclavière** pour donner le **TBC veineux**

\* **Muscle scalène antérieur** : muscle respirateur accessoire chez les nageurs olympiques : passe par les tubercules antérieurs de C3 C4 C5 C6, présente un corps charnu rectiligne qui ferme en avant la région de la coupole pleurale

🡪 En arrière : l’artère subclavière qui surcroise la 1ère côte (pince) *🡪 pathologie si coincée*

\* **Muscle scalène moyen**: se détache des processus transverses plus haut à partir de C2, étrangle l’artère subclavière (qui va devenir artère axillaire plus tard)

*\** ***Muscle scalène post****: pas important*

+ Tronc antérieur du plexus brachial de C7 à TH1

+ Branches importantes de l’artère subclavière : artère thoracique interne (élément du médiastin antérieur)

+ Artère vertébrale (branche sup de l’artère subclavière, va dans foramens transversaires) *🡪 trauma dans coups du lapin (dissection)*

+ Tronc tyro-cervical (branche sup de l’artère subclavière)

+ Chaîne sympathique LV : **ganglion** **stellaire** +++ : peut s’infiltrer en pathologie

*Rq : douleurs qu’on traite en infiltrant ce ganglion : douleurs des membres fantômes, algodystrophies (douleurs articulaires secondaires à hémiplégie ou fractures), cancer du poumon*

**Vue latérale**

**Artère subclavière :**

🡺 Donne l’artère vertébrale qui pénètre dans les foramens transverses

🡺 Donne vaisseaux thoraciques internes pour la vascularisation mammaire, donne artères intercostales antérieures

**Veine subclavière**: donne aussi veine thoracique int et veines intercostales ant

Espace pleural postérieur :

**Hémothorax**: rempli de sang

**Pneumothorax**: rempli d’air

**Pleurésie**: épanchement pleural

**Dernier schéma**

3 muscles intercostaux :

* externe
* interne
* intime

Pédicule vasculaire : artère et veine intercostales

Artères intercostales post : tributaire de l’aorte et azygos

Chaque pédicule costal est placé en dessous du corps

**Fascia endothoracique**: membrane qui caresse la face interne du thorax

🡺 Ponctions pleurales : dans espace inter-costal, attention aux côtes et aux vaisseaux, juste au dessus de la côte inférieure

On voit la **ligne de damoiseau** sur radio thorax++

+ *cul de sac costo-diaphragmatique : accumulation liquide*

**L’appareil respiratoire**

La trachée

Rapports

Partie des voies aériennes sup. qui fait suite au larynx, elle commence à la hauteur de C5 est oblique vers le bas en arrière pour se terminer à la hauteur de Th4 avec la bifurcation en 2 bronches souches. Elle mesure environ 18 cm de longueur, 20 mm de diamètre et sépare le médiastin en 2 régions (post et ant).

- Portion cervicale: 6 cm, elle est située en arrière de la face antérieure à environ 2 cm de la paroi (trachéotomie).

- Portion thoracique: 12 cm, elle est profonde dans le thorax, oblique et vers l’arrière (environ 10 cm de la paroi antérieure).

Constitution de la trachée

Conduit fibro musculo cartilagineux formé par l’empilement d’un certain nombre d’anneaux (16 à 20) cartilagineux incomplets en forme de fer à cheval entourés par la membrane trachéale et réunis entre eux par le ligament annulaire. A la face postérieure, la membrane prend le nom de membrane basale et comporte sur sa face interne des muscles lisses ou muscles de Reissesein. La trachée a sa face interne tapissée d’une muqueuse comportant les glandes trachéales et sa face postérieure est intimement liée à l’oesophage par les ligaments de Luchka.

La bifurcation trachéale

Elle se fait de façon variable: soit par un cartilage particulier en forme de Y (carène cartilagineuse) soit par un grand ligament annulaire (carène fibreuse). Au niveau des bronches souches, on retrouve la même architecture cartilagineuse qui va devenir moins régulière et qui va finir par disparaître au fil des bifurcations. L’angle de la carène est d’environ 70° répartie par rapport à l’axe vertical de la trachée de 20° pour la bronche souche droite qui semble poursuivre la direction de la trachée, et de 50° pour la bronche souche gauche bcp plus horizontale. La BSD mesure 25 mm et la BSG 70 mm.

Vascularisation de la trachée (cf. schéma)

Exploration de la trachée

Elle se fait de facon endoscopique.

Les arbres bronchiques

L’arbre bronchique droit à partir de la bronche souche

1. Bronche lobaire supérieure

- Bronche segmentaire apicale supérieure

- Bronche segmentaire apico-ventrale

- Bronche segmentaire apico-dorsale

1. Bronche lobaire moyenne

- Bronche segmentaire moyenne médiale

- Bronche segmentaire moyenne latérale

1. Bronche lobaire inférieure

- Bronche segmentaire apicale inférieure

- Bronches de la pyramide basale:

- Bronche segmentaire médio-basale (para-cardiaque)

- Bronche segmentaire ventro-basale

- Bronche segmentaire latero-basale

- Bronche segmentaire dorso-basale

Il existe un certain nombre de bronches surnuméraires assez fréquentes: parabronches de Lucien.

L’arbre bronchique gauche à partir de la bronche souche

il est à peu prés identique qu’à droite mais la bronche lobaire moyenne n’existe pas.

1. Bronche lobaire supérieure.

- Tronc bronchique apico-dorsal.

- Bronche segmentaire apicale supérieure.

- Bronche segmentaire apico-ventrale.

- Bronche segmentaire apico-dorsale.

- tronc bronchique lingulaire.

- Bronche lingulaire supérieure ou craniale.

- Bronche lingulaire inférieure ou caudale.

1. Bronche lobaire inférieure.

- idem qu’à droite.

Les poumons

Morphologie générale

Ils ont la forme d’un ½ cône tronqué coupé en 2 par le sommet supérieur. On décrit à chaque poumon 1 face latérale convexe qui se moule sur le grill costal, 1 sommet, 1base = pyramide basale, 1 face médiale grossièrement plane: face médiastinale ou se trouve le hile. Ils mesurent:

1. 25 cm de hauteur.
2. 15 cm de profondeur.
3. 10 cm de largeur (7cm pour le gauche).

et pèsent:

1. 500g pour le droit.
2. 300g pour le gauche.

Le poumon est recouvert par le feuillet viscéral de la plèvre.

Morphologie du poumon droit

Sur la face latérale on distingue:

1. Scissure horizontale (petite) et la scissure verticale (grande) qui délimitent les 3 lobes (sup., moy, inf.).
2. Emprunte de la subclavière droite.
3. Empruntes de la 1ère et 2 ième côtes.

Sur la face médiastinale:

1. Hile du poumon en forme de virgule
2. 2 scissures
3. Empruntes:

- Subclavière droite.

- Oreillette droite.

- Veine cave supérieure.

- Veine azygos.

Morphologie du poumon gauche

Sur la face latérale on distingue:

1. Scissure oblique.
2. Incisure paracardiaque.
3. 3 empruntes (les même que sur le droit).

Sur la face médiastinale :

1. Mêmes caractéristiques que sur la face latérale (sauf empruntes)
2. Hile du poumon en forme de pipe
3. Empruntes:

- Subclavière gauche.

- Crosse aortique.

- Départ subclavière gauche.

- Départ carotide commune.

- Ventricule gauche.

1. Processus linguforme.

La segmentation des poumons

cf. schéma et arbre bronchique.

Trajet de l’artère pulmonaire

Elle se divise pareillement à l’arbre bronchique, attention cependant au trajet de la branche gauche qui passe au dessus de la bronche et non pas en avant de celle ci comme le fait la branche droite (cf. schéma). Les noms des branches sont identiques à ceux de l’arbre bronchique.

Trajets des veines pulmonaires

Elles se placent en avant des plans de division des bronches. Elles sont formées par la réunion d’un certain nombre de branches scissurales et médiastinales. (cf.Rouvière tome 2 p275)

1. La VPSD draine de cette facon les lobes supérieur et moyen du poumon droit.
2. La VPID draine le lobe inférieur du poumon droit.
3. La VPSG draine le lobe supérieur du poumon gauche.
4. La VPIG draine le lobe inférieur du poumon gauche.

La circulation nouricière du poumon se fait par l’intermédiaire des artères bronchiques droite et gauche qui naissent de la crosse de l’aorte.

L’innervation des poumons

Elle est sous dépendance du plexus bronchique qui apartient au système nerveux végétatif, il comprend les 2 pneumogastriques et la chaine orthosympathique.

Le drainage lymphatique des poumons

Il s’effectue par l’intermédiaire de relais. Le 1er est sous forme de ganglions le long des bronches segmentaires, le 2ième est constitué par les ganglions du ligament triangulaire. Le tout est dirigé pour le poumon droit vers le ganglion de Bartheels et pour le gauche vers le ganglion d’Engel.

Les hiles pulmonaires

Au niveau du poumon droit on retrouve:

1. Bronche lobaire supérieure.
2. Tronc bronchique intermédiaire.
3. 2 branches de l’artère pulmonaire correspondantes (a. lobaire sup. pour la 1ère).
4. 2 veines pulmonaires.
5. 2 artères bronchiques et veines associées.
6. Plexus nerveux.
7. Ligament triangulaire.
8. Ganglions lymphatiques.

Au niveau du poumon gauche:

1. Bronche souche gauche
2. Artère pulmonaire gauche (au dessus)
3. 2 veines pulmonaires
4. Artère bronchique
5. Ligament triangulaire
6. Ganglions lymphatiques
7. Plexus nerveux

**II - ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU SYSTEME RESPIRATOIRE**

[**1 -** **Anatomie du système respiratoire**](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#1 - Anatomie du système respiratoire)

[A - L'arbre respiratoire](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#A - L'arbre respiratoire)[B - Les poumons](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#B - Les poumons)[C - Les muscles de la respiration](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#C - Les muscles de la respiration)[D - Le coeur](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#D - Le coeur)

[**2 - Fonctionnement du système respiratoire et cardio-vasculaire**](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#2 - Fonctionnement du système respiratoire et cardiovasculaire (Physiologie))

[A - La respiration](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#A - La respiration)[B - La circulation sanguine](http://www.antadir.com/internet/guides/guideoxy/guideoxy/chapit2.htm#B - La circulation sanguine)

Pour vous aider à mieux comprendre votre maladie, voici quelques rappels d'anatomie et de physiologie respiratoire.

***Ce qu'il faut savoir :***

* *l'anatomie est la description des organes et des muscles,*
* *la physiologie est l'étude de leur fonctionnement.*

**Respirer** est la fonction qui permet de :

* prélever l'air atmosphérique,
* l'amener aux poumons (lieu d'échange, où le sang se charge en oxygène (O2) et se décharge  
  en gaz carbonique (CO2).

La finalité de la respiration étant de permettre à toutes les cellules de l'organisme de recevoir de l'oxygène et d'éliminer le gaz carbonique, nous verrons donc :

* le système respiratoire
* le système cardio-vasculaire (circulation sanguine).

**1 - Anatomie du système respiratoire**

* l'arbre respiratoire,
* les poumons,
* les muscles respiratoires,
* le coeur,
* les gros vaisseaux.

**A - L'arbre respiratoire**

L'arbre respiratoire est ainsi nommé parce qu'il ressemble à un arbre à l'envers. Il comprend :

***- Les voies aériennes supérieures :***

* le nez,
* l'arrière-nez : naso-pharynx,
* la bouche,
* l'arrière-bouche : oro-pharynx,
* le larynx, carrefour situé entre la bouche et l'oesophage.

C'est là que se séparent les voies respiratoires et les voies digestives.

***Attention*** *! Vous entendrez parler de l'espace mort anatomique. Il est situé au niveau des voies aériennes supérieures. C'est un volume qui ne participe pas à la respiration et aux échanges d'oxygène.*

***- La trachée :***

C'est un gros conduit constitué d'une vingtaine d'anneaux cartilagineux (le cartilage est à la fois rigide et flexible). Elle permet le passage de l'air vers les poumons. La trachée se prolonge par les bronches.

***- Les bronches***

**Deux bronches principales** desservent le poumon droit et le poumon gauche.

Chacune de ces bronches se subdivise en arrivant au poumon (au niveau du hile) en bronches lobaires puis segmentaires. Par la suite, elles se divisent en bronches de plus en plus petites.

***- Les bronchioles***

Elles n'ont pas de cartilage, sont fines comme des cheveux et se terminent par de minuscules sacs pleins d'air : les alvéoles pulmonaires.

***- Les alvéoles pulmonaires***

Elles sont au nombre d'environ 200 millions et représenteraient une surface de 100 m2 si elles étaient étalées.

* quand vous inspirez, ces petits sacs se gonflent,
* quand vous expirez, ils diminuent de volume en se vidant.

Les alvéoles sont entourées sur leurs parois de vaisseaux sanguins très fins : les capillaires.

- *Les capillaires pulmonaires*

C'est à travers leurs parois que se font les échanges gazeux.

***Ce qu'il faut savoir :***

* *Si les muscles qui entourent les bronches se contractent de façon trop importante, le calibre des bronches peut être diminué : c'est le bronchospasme.*
* *L'intérieur des bronches et tapissé de cellules portant à leur surface des cils microscopiques mobiles qui sont revêtus de mucus. Ils forment une sort de tapis roulant ou "escalator" dont le rôle est de recueillir et de rejeter vers l'extérieur les poussières éventuellement inhalées et les "débris cellulaires". La toux supplée à ce système d'évacuation des déchets quand le tapis muco-ciliaire fonctionne mal.*

**B - Les poumons**

Ils sont constitués par les bronchioles, les alvéoles et les capillaires pulmonaires.

* Le poumon droit est constitué de trois lobes.
* Le poumon gauche, de deux lobes. Sa face interne présente un emplacement où se loge le coeur.
* La **plèvre** est une mince membrane qui tapisse, à la fois, la paroi intérieure du thorax et le côté externe des poumons. Entre les deux feuillets de la plèvre, une infime quantité de liquide permet aux poumons de glisser doucement à l'intérieur de la cage thoracique. L'excès de liquide est appelé **pleurésie.**

**C - Les muscles de la respiration**

Le **diaphragme** se situe en dessous de la cage thoracique. Il sépare la cage thoracique de l'abdomen. **C'est le muscle de plus important** pou la ventilation.

D'autres muscles interviennent :

* Les muscles intercostaux (entre les côtes),
* Les muscles abdominaux, les muscles du cou, etc...

leur rôle devient important lors de l'insuffisance respiratoire.

**D - Le coeur**

C'est un muscle dont la taille normale est de la grosseur du poing. Il fonctionne comme une pompe, en aspirant le sang oxygéné, et en le renvoyant dans l'organisme.

Schématiquement, il se compose :

* **du coeur gauche** qui reçoit du sang oxygéné provenant des poumons et l'envoie dans les différents organes du corps,
* **du coeur droit** où arrive le sang provenant des organes et l'envoie vers les poumons. Ce sang est donc appauvri en O2 (oxygène) et enrichi en CO2 (gaz carbonique).

**2 - Fonctionnement du système respiratoire et cardiovasculaire (Physiologie)**

Pour amener l'oxygène à tous les organes, plusieurs étapes sont nécessaires :

* arrivée de l'air frais dans les poumons,
* échange de l'oxygène et du gaz carbonique entre l'air contenu dans les alvéoles pulmonaires et le sang amené par les capillaires,
* transport par le sang de l'oxygène (dissous ou combiné) du niveau des poumons aux différents organes.

Pour cela, deux pompes sont nécessaires :

* celle qui renouvelle l'air dans les poumons : c'est **le thorax**, mobilisé par les muscles respiratoires,
* celle qui transporte le sang : c'est **le coeur**.

**A - La respiration**

***Le cycle respiratoire***

Il comprend :

* la phase inspiratoire (entrée de l'air),
* la phase expiratoire (sortie de l'air).

A l'inspiration, le diaphragme se contracte, descend et le thorax s'agrandit. Cette augmentation du volume pulmonaire crée une dépression qui permet à l'air d'entrer dans les poumons et d'aller dans les alvéoles.

A l'expiration, le diaphragme s'élève, le thorax et les alvéoles diminuent de volume, il y a expulsion de l'air des poumons vers la trachée.

***L'automatisme de la respiration***

Au repos, un sujet sain a besoin de 10 à 15 respirations par minute pour l'approvisionnement en O2 et l'élimination du CO2.. Cette fréquence respiratoire est maintenue automatiquement par une régulation nerveuse complexe dépendant du taux d'O2 et de CO2 dans le sang.

La protection des poumons

Elle se fait à trois niveaux :

* Dans les voies aériennes supérieures, l'air qui pénètre par le nez est réchauffé, humidifié et dépoussiéré. Cette adaptation se poursuit tout au long de la trachée et des bronches.
* Dans la trachée et dans les bronches grâce au tapis roulant constitué par les cils, les sécrétions (poussières et mucus) sont remontées et normalement dégluties. En cas de production trop importante, la toux devient indispensable et elles sont en partie expectorées.

***Attention !*** *Eternuer, se moucher ou tousser sont des moyens naturels d'éliminer les sécrétions.*

* Dans les **alvéoles pulmonaires**, des cellules appelées "macrophages" digèrent poussières et microbes grâce aux enzymes qu'elles contiennent.

***Ce qu'il faut savoir :***

* *Les moyens naturels de défense contre les infections peuvent être augmentés par les vaccins. En cas d'infection plus grave, il peut être fait appel aux antibiotiques.*
* *Certaines poussières comme les fibres d'amiante, les poussières de silice ne sont évacuées qu'en plusieurs mois ou années, certaines persistent définitivement.*
* ***Par ailleurs, le tabac, et plus précisément la fumée inhalée dans les poumons, irritent et altèrent gravement les moyens de défense de l'arbre bronchique (bronchite chronique).***

**B - La circulation sanguine**

Le système cardio-vasculaire comprend :

1. un appareil propulseur du sang ou pompe : **le coeur**.
2. Des vaisseaux sanguins.

**1 - Le coeur**

Il se compose de deux **ventricules** et de deux **oreillettes**.  
Chaque oreillette droite et gauche communique avec le ventricule correspondant.

* Du ventricule gauche part l'**aorte**, du ventricule droit part l'**artère pulmonaire**.
* Dans l'oreillette droite arrivent les deux **veines caves** et dans l'oreillette gauche, les quatre **veines pulmonaires** qui amènent le sang au coeur.
* **Des tubes conducteurs ou vaisseaux** : les artères, veines, capillaires.

Les artères conduisent le sang chargé d'oxygène (O2) vers les organes. Les veines acheminent le sang chargé de gaz carbonique (CO2) au coeur. Les capillaires sont des vaisseaux très fins qui établissent le passage du sang des artères aux veines.

***Ce qu'il faut savoir :***

*Le muscle cardiaque se contracte rythmiquement en présentant successivement :*

* *la contraction des oreillettes,*
* *la contraction des ventricules,*
* *la phase de repos (relâchement du muscle cardiaque). C'est pendant cette phase que les oreillettes et les ventricules se remplissent. Le cycle cardiaque dure environ 0,9 secondes. Il existe à peu près 70 battements réguliers par minute.*
* *Quand les oreillettes se contractent, le sang est propulsé dans les ventricules.*
* *Quand les ventricules se contractent, ils chassent le sang vers l'aorte et l'artère pulmonaire.*

**2 - Les vaisseaux sanguins**

Il faut distinguer :

* la **circulation sanguine générale** qui permet au sang d'irriguer tous les organes.
* la **circulation sanguine pulmonaire** qui permet au sang de circuler dans les poumons où il se charge en O2 et se décharge du CO2.

***Attention*** *!  
Le sang chargé d'oxygène est véhiculé par les artères (C'est dans l'une d'elles que se font les gaz du sang).  
Le sang chargé de gaz carbonique est véhiculé par les veines.*

**ANATOMIE PULMONAIRE**

**I - LES VOIES AÉRIENNES SUPÉRIEURES.**

** Les fosses nasales.**

 Ce sont deux couloirs parallèles horizontaux qui sont creusés dans le massif facial. Les orifices antérieurs s'appellent les narines. Les narines sont pleines de poils qui filtrent grossièrement l'air inhalé. La cavité des fosses nasales est limitée en dedans par une cloison médiane osseuse et cartilagineuse qui s'appelle le vomer et l'ethmoïde.

 En dehors, elle est limitée par une paroi osseuse complexe formée par le maxillaire supérieur et l'ethmoïde sur laquelle sont implantées des lamelles osseuses très fines : les cornets supérieurs, les cornets moyens et les cornets inférieurs.

 En haut, la cavité est limitée par le sphénoïde et l'ethmoïde.

 En bas, la cavité des fosses nasales est limitée par la voûte du palais qui les sépare de la cavité buccale. Les fosses nasales sont tapissées par une muqueuse appelée muqueuse pituitaire. On en distingue deux parties.

 La muqueuse olfactive (partie supérieure) contient des cellules du nerf olfactif.

 La muqueuse respiratoire qui est richement vascularisée, qui a des cellules à mucus qui vont aller humidifier. Elle contient des cellules à cils vibratiles et des poils qui vont filtrer l'air.

 Dans la cavité des fosses nasales débouchent :

 Des sinus : ce sont des cavités creusées dans les os qui constituent les fosses nasales.

 Les conduits lacrymaux : ils véhiculent le liquide lacrymal (les larmes).

 Les fosses nasales sont innervées par le nerf trijumau (5eme paire du nerf crânien). C'est un nerf très excitable et la réponse est un éternuement.

 L'orifice des fosses nasales débouche dans le pharynx et porte le nom de "les choanes."

** Le pharynx.**

 C'est un carrefour aéro-digestif. Il fait communiquer les fosses nasales (voies aériennes) et le larynx (l'organe respiratoire) avec la bouche (les voies digestives) et l'œsophage. Au niveau de ces deux voies, il y a au cours de la déglutition la fermeture de la voie aérienne pour éviter les fausses routes. Cette fermeture s'accomplit par :

 Un recul de la langue.

 Une élévation de la luette.

 Un abaissement de l'épiglotte.

 Une ascension du larynx.

Une fausse route va entraîner une toux réflexe, des crachements.

 Le pharynx est composé de trois niveaux.

 Le niveau supérieur ou rhino-pharynx : au niveau de cette partie s'ouvrent les choanes et la trompe d'eustache.

 Le niveau moyen ou oro-pharynx (bouche) : c'est la que s'ouvre la cavité buccale.

 Le niveau inférieur ou hypo-pharynx : il communique avec l'œsophage. A ce niveau se présente le niveau supérieur du larynx.

 Le pharynx est très réflexogène car il est très innervé.

** Le larynx.**

 Il fait suite au pharynx et devance la trachée. Sa structure est ostéo-cartilagineuse. Cette structure comprend différents os dont l'os hyoïde, le cartilage thyroïde (pomme d'adam), le cartilage cricoïde et les cartilages aryténoïdes. Les cordes vocales sont insérées sur la partie supérieure du cartilage aryténoïde. Ils sont reliés entre eux par des ligaments et des muscles.

 Le larynx est composé de trois parties.

 Le niveau supérieur : séparé de l'hypo-pharynx par l'épiglotte.

 Le niveau moyen (correspond aux deux cordes vocales) ou ligaments thyro-aryténoïdien du cartilage aryténoïde. L'espace entre les cordes vocales constitue la glotte.

 Le niveau inférieur ou espace sous glottite : il se continue avec la trachée.

 L'innervation du larynx est faite par les nerfs récurrents. Ils sont des branches du nerf pneumogastrique.

** La trachée.**

 C'est un conduit aérifère (qui conduit l'air), de 12 cm de long et de 2,5 cm de diamètre.

 Elle est constituée de 15 à 20 anneaux cartilagineux empilés les uns sur les autres et unis entre eux par un tissu conjonctif riche en fibres élastiques. Ces anneaux sont incomplets, en forme de fer à cheval (ouverts coté œsophage). La partie ouverte est reliée au muscle trachéal qui ferme l'ouverture de l'anneau.

 La trachée prend son origine dans la région cervicale puis elle descend dans le thorax verticalement où elle va donner naissance à deux bronches souches, droite et gauche, à l'angle sternal, au niveau de la 5eme vertèbre dorsale (D5), en arrière de l'œsophage est la glande thyroïde. En avant, on a le sternum et la crosse aortique. Sur les cotés, on a les nerfs récurrents qui innervent le larynx, les artères carotides et les veines jugulaires.

 Structure de la trachée.

 Elle est tapissée par une muqueuse riche en cellules à mucus et de cils vibratiles. Cette muqueuse va permettre l'épuration de l'air.

**II - LES BRONCHES.**

** Description.**

 A l'angle sternal, la trachée se divise en deux bronches souches, droite et gauche. La bronche souche droite est plus verticale, plus courte (2 cm de long) et plus large que la bronche souche gauche (5 cm de long).

 Les bronches souches sont dites extra pulmonaires. Elles sont médiastinales et extra pulmonaires. Elles pénètrent chacune dans un poumon au niveau du hile pulmonaire. Elles sont accompagnées d'une artère et de deux veines pulmonaires. Cet ensemble s'appelle le pédicule pulmonaire.

 Les bronches souches vont se rediviser en bronches plus petites, les bronches lobaires (1 par lobe : 3 à droite et 2 à gauche), puis des bronches segmentaires, puis des bronches lobulaires et se terminent par des bronchioles (ou canal alvéolaire). Tout cet ensemble s'appelle l'arbre bronchique.

** Structure.**

 Les bronches souches : c'est la même structure que la structure.

 En pénétrant, elles deviennent moins grosses, cylindriques et perdent progressivement leur cartilage au profit de muscles lisses.

** Bronco-motricité.**

 Les bronches ont la possibilité de se dilater et de réduire leur calibre sous la dépendance du système nerveux autonome (ou végétatif).

**III - LES POUMONS.**

** Descriptif.**

 Les poumons sont des organes spongieux de teint gris rosé ayant une forme pyramidale. Ils sont situés dans la cage thoracique. Ils sont séparés par le cœur et le médiastin. Les poumons s'étendent du diaphragme à un point qui est situé à 1 à 2 cm des clavicules. La base des poumons (à coté du diaphragme) est concave et épouse la région convexe du diaphragme. Le sommet s'appelle l'apex.

** Configuration interne.**

 Les poumons sont creusés par des sillons très profonds appelés scissures, qui vont délimiter des lobes. Le poumon droit a deux scissures donc 3 lobes (supérieur, moyen et inférieur). Le poumon droit pèse de 650 g à 700 g. A gauche, il y a une seule scissure, donc deux lobes. Il pèse de 550 g à 600 g. A gauche il y a une région qui correspond au lobe du poumon droit qui s'appelle la lingula. La face interne des poumons possède une incurvation que l'on nomme le hile pulmonaire. Il ressort du hile pulmonaire des veines et de petits vaisseaux lymphatiques.

 Les lobes se subdivisent en segments :

** Le poumon droit :**

 3 lobes donc 10 segments.

 3 segments dans le lobe supérieur.

 2 segments dans le lobe moyen.

 5 segments dans le lobe inférieur.

** Le poumon gauche.**

 2 lobes donc 10 segments.

 5 segments dans le lobe supérieur.

 5 segments dans le lobe inférieur.

 Chaque segment se subdivise en unité fonctionnelle pulmonaire appelée lobule pulmonaire.

 Chaque lobule constitue un poumon miniature qui est appendue à une bronchiole terminale.

** La vascularisation.**

 L'ensemble des éléments du lobule est enveloppé dans un tissu conjonctif riche en fibres élastiques.

 La bronchiole terminale est accompagnée d'une branche de l'artère pulmonaire et se ramifie en canal alvéolaire qui débouche dans une sorte de sac appelé acinus. Cet acinus est formé de petites dilatations appelées alvéoles.

 Il y a environ 300 à 700 millions alvéoles (surface d'échange gazeux : 200 m2). Les alvéoles sont formées d'une seule couche de cellules. Elles sont le siège des échanges gazeux entre l'air et le sang circulant. Les alvéoles sont recouvertes à l'intérieur par un film très fin appelé le surfactant.

 Le surfactant évite le collapsus des alvéoles lors de l'expiration (que les alvéoles se collent). De plus il facilite les échanges gazeux. La surface interne de chaque alvéole est en contact avec l'air inhalé.

 La surface externe des alvéoles est tapissée par les capillaires pulmonaires. Au départ, les capillaires viennent de l'artère pulmonaire (sang non oxygéné). Après les échanges gazeux, le sang part oxygéné.

** Il existe deux systèmes.**

** Le système circulatoire nutritif pulmonaire.**

Cette circulation nutritive assure l'oxygénation et l'apport nutritif aux poumons. Cette circulation est assurée par les vaisseaux bronchiques. Les artères bronchiques naissent de l'aorte et elles suivent le trajet des bronches jusqu'aux bronches terminales. Arrivées au bout, les artères donnent naissance aux capillaires bronchiques puis aux veines bronchiques, puis vont suivre le trajet bronchique à l'inverse jusqu'aux veines azygos, puis enfin dans une veine cave supérieures.

** Le système circulatoire fonctionnel.**

Il va aller assurer l'oxygénation de tout l'organisme. Il se fait par l'artère pulmonaire qui pénètre dans les poumons au niveau du hile, puis se ramifie jusqu'aux capillaires pulmonaires qui vont être au contact direct avec les alvéoles (contact externe). L'artère pulmonaire contient du sang non oxygéné après les échanges des alvéoles. Les veines pulmonaires ramènent du sang oxygéné jusqu'au cœur gauche.

**IV - LES PLEVRES.**

Ce sont des séreuses qui enveloppent chaque poumon. Chaque séreuse est constituée de deux feuillets : un feuillet viscéral qui recouvrent la surface externe du poumon et un feuillet pariétal qui tapisse la paroi interne de la cage thoracique. Entre les deux feuillets, il existe un espace virtuel qui s'appelle la cavité pleurale. Dans cette cavité pleurale il existe un mince film liquidien qui empêche les deux feuillets de se collaber. Grâce à cette plèvre, le poumon est très solidaire de la cage thoracique ce qui va permettre les mouvements respiratoires. Dans la cavité pleurale, il règne une pression négative (inférieur à la pression atmosphérique soit 760 mm de mercure). En cas de pneumo-thorax, il y a une pression positive.

**V - LA CAGE THORACIQUE.**

Voir le cours de l'appareil locomoteur.

**VI - LES MUSCLES RESPIRATOIRES.**

Il y a deux types de muscles.

** Les muscles inspiratoires.**

** Le diaphragme.** C'est un muscle plat qui sépare le thorax de l'abdomen. Il a une forme de coupole. La coupole de droite est plus haute que la coupole de gauche, à cause du foie. Il est innervé par le nerf phrénique. Le nerf phrénique a son origine dans la moelle épinière. La contraction du diaphragme entraîne :

 Un abaissement des viscères abdominaux.

 Une augmentation du volume de la cage thoracique dans le sens de la hauteur.

L'ensemble des deux phénomènes augmente la capacité thoracique et créé une dépression intra thoracique d'où appel d'air. Le diaphragme représente 60% de la capacité inspiratoire.

** Les muscles intercostaux externes.** Ils se contractent en même temps que le diaphragme et en se contractant ils comblent les espaces intercostaux.

** Les muscles sterno-cleido-mastoïdiens.** Leur rôle, c'est élever le sternum à l'inspiration.

** Les muscles scalènes**. Leur rôle c'est d'élever les cotes.

Ces muscles interviennent essentiellement dans l'inspiration forcée. L'inspiration est un phénomène actif, déclenché par un processus musculaire.

** Les muscles expiratoires.**

 L'expiration est un phénomène passif correspondant au relâchement de tous les muscles inspiratoires.

 L'expiration forcée est un phénomène actif car les muscles intercostaux internes se contractent.

**L’ÉTAPE PULMONAIRE**

**I –        DONNÉES MORPHOLOGIQUES**

L’appareil respiratoire comporte différents éléments :

- Une partie de conduction : les voies aériennes,

- Une partie d’échanges : les alvéoles et capillaires pulmonaires

- Ces éléments présentent une vascularisation et une innervation particulière.

**1) les voies aériennes**

L’air inspiré, après avoir franchi les narines, rencontre successivement les fosses nasales, le pharynx, le larynx (au niveau duquel les voies aériennes présentent un rétrécissement), puis entre dans la trachée qui se ramifie pour former le système bronchique qui s’ouvre sur les alvéoles ***(figure 6).***

Chez l’homme adulte, on peut repérer environ 23 divisions entre la trachée et les sacs alvéolaires. Les 16 premières générations constituent la zone de conduction où ne se déroule aucun échange entre l’air et le sang. Les branches résultant de la 17e et de la 19e division forment les bronchioles respiratoires, de 1 mm de diamètre environ, et dont la paroi présente un petit nombre d’alvéoles.

A la 20e division débute la zone respiratoire : les bronchioles respiratoires se divisent pour produire environ un million de conduits alvéolaires qui eux-mêmes, après s’être divisés, débouchent sur les sacs alvéatoires ; la paroi de ces deux derniers types de conduits est tapissée d’alvéoles.

Outre la conduction des gaz respiratoires, ces voies aériennes assurent un double rôle :

Ø   **le conditionnement de l’air :** Quelle que soit la température de l’air inspiré (entre –100 et +500° C) sa température rejoint celle de l’organisme au niveau de l’arbre trachéo-bronchique ; à ce niveau il est d’autre part saturé en vapeur d’eau, ce qui à 37° représente une teneur en eau de 44 g.m-3.Le tractus respiratoire fonctionne comme un système à régénération : le réchauffement et l’humidification de l’air inspiré refroidissent la muqueuse des voies aériennes supérieures, mais au cours de l’expiration le gaz provenant des alvéoles restitue une partie de sa chaleur et de son humidité. Lorsqu’il fait très froid, la condensation de la vapeur d’eau détermine une accumulation d’eau dans les fosses nasales, ce qui explique la rhinorrhée observée dans ces circonstances.

Ø   **L’épuration et la filtration de l’air :** La vie en milieu urbain conduit à inhaler quotidiennement des milliards de particules ; celles dont le diamètre dépasse 10 mm sont arrêtées au niveau du nez par les poils et les muqueuses humides. Les particules qui franchissent ces obstacles se déposent habituellement sur les parois de la trachée, des bronches et des bronchioles ; seul un très petit nombre d’entre elles atteint les alvéoles dont l’état de stérilité finale est assurée par les macrophages présents dans les alvéoles. Les particules agglutinées au mucus sécrété par les glandes des parois bronchiques, sont ramenées vers la larynx par les mouvements des cellules ciliées à une vitesse de l’ordre de 1 cm par minute ; cette expulsion est parfois accélérée par la toux.

***L’épithélium trachéal et bronchique :***

L’épithélium trachéal et bronchique est recouvert d’une couche de fluide qui assure un état d’hydratation convenable de la muqueuse et une fluidité suffisante du mucus, permettant de maintenir une clairance mucociliaire normale. L’épithélium trachéal et bronchique a pour double rôle de sécréter le fluide périciliaire et d’en contrôler le volume. Ainsi, les cellules cellules épithéliales trachéales,

- excrètent du chlore de l’espace interstitiel vers la lumière

- absorbent du sodium de la lumière vers l’espace interstitiel. ***(figure 7)***

**Figure 7** : *Mécanismes de transports ioniques au niveau des cellules épithéliales*

*trachéales et bronchiques*

Þ L'absorption de sodium

 se fait à travers la membrane apicale par un canal, sensible à l'amiloride (médicament diurétique connu pour son action rénale). Cette absorption se fait le long du gradient électrochimique qui lui est favorable : la concentration intracellulaire de sodium est plus basse que celle du liquide de surface et l'intérieur de la cellule est plus négatif que la surface luminale. Le processus qui permet au sodium de sortir de la cellule, vers l'espace interstitiel, est actif et dépend de l'activité de la pompe Na,K-ATPase située exclusivement au pôle basolatéral des cellules; 3 ions sodium sont échangés contre 2 ions potassium, lesquels sont recyclés par la membrane par un canal potassique. Cette pompe Na,K-ATPase permet de maintenir une concentration de sodium intracellulaire faible et de créér un potentiel intracellulaire négatif.

Þ L'excrétion de chlore

se fait de la façon suivante:

- la membrane basolatérale possède un système de transport Na,K,2Cl qui facilite l'influx du Cl à travers cette membrane. Ce processus est bloqué par un médicament diurétique, le furosémide.

- Le chlore intracellulaire diffuse ensuite passivement à travers la membrane apicale vers la lumière par un canal grâce à un gradient électrochimique favorable.

- La présence de sodium est indispensable à la sécrétion de chlore puisque l'entrée de chlore au pôle basolatéral est couplée à celle de sodium. Le sodium est extrudé par la Na,K-ATPase dont l'activité maintient le gradient chimique nécessaire au fonctionnement du cotransporteur.

ÞLa voie paracellulaire.

Lorsque l'épithélium absorbe du sodium, pour satisfaire à l'électroneutralité, il absorbe de l'eau et du chlore par voie paracellulaire (à travers les jonction serrées et l'espace intercellulaire). A l'inverse, lorsque l'épithélium excrète du chlore, il excrète également de l'eau et du sodium par voie paracellulaire.

Þ La mucoviscidose

est une maladie qui se caractérise par une **imperméabilité de la membrane** **apicale au chlore** et une absorption excessive de sodium responsable d’une différence de potentiel transépithéliale très élevée[[1]](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm" \l "_ftn1" \o ") Les conséquences physiopathologiques de ces anomalies biochimiques sont liées aux anomalies du mucus qu’entraînent la diminution de la sécrétion d’eau par l’épithélium trachéo-bronchique. Il y a perturbation de la clairance mucociliaire (et donc risque d’infections respiratoires) et obstruction bronchique par le mucus qui est très épais.

**2) les alvéoles**

Elles sont au nombre de 400-500 millions environ et constituent la plus grande partie de la masse pulmonaire ; elles ont un diamètre de 300 µm en moyenne, leur surface totale représente 80-90 m2.

La paroi des alvéoles est striée par les capillaires qui sont à son contact et par les structures subcellullaires, telles que les noyaux. Cette paroi est extrêmement mince, si bien que l'épaisseur de l'ensemble épithélium alvéolaire-endothélium vasculaire qui sépare le gaz alvéolaire du sang capillaire est comprise entre 0,2 et 4 µm et présente une valeur moyenne de 1 µm. Chaque capillaire est habituellement en contact avec 2 alvéoles voisines.

L'épithélium alvéolaire présente des pores qui permettent la circulation du gaz entre les différentes alvéoles. Ceci assure donc une véritable ventilation collatérale.

Associées à l'épithélium alvéolaire composé des cellules épithéliales (ou pneumocytes) de type I qui recouvrent 95 % de la surface alvéolaire, on trouve des fibres élastiques, des cellules phagocytaires (macrophages) et les cellules épithéliales de type II (deux fois plus nombreuses mais moins étalée que les cellules de type I) qui sécrètent le surfactant pulmonaire (cf § Elasticité pulmonaire).

L’épithélium alvéolaire est recouvert d’un film de fluide situé entre la surface des cellules alvéolaires et le surfactant. Les échanges gazeux sont favorisés par la faible épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire. L’homéostasie du film de fluide résulte d’un équilibre entre les forces mécaniques, hydrostatiques, colloïdo-osmotiques au travers de la membrane, entre le secteur interstitiel et le secteur alvéolaire, et d’un mécanisme de résorption active.

***Epithélium alvéolaire du poumon adulte*** ***[[2]](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm" \l "_ftn2" \o ")***

            Il est de type absorptif.L'absorption du sodium et de chlore du secteur alvéolaire vers le secteur interstitiel par les pneumocytes II et le flux d'eau qui découle de la force engendrée par ces transports ioniques permettent de réguler le volume de la couche de fluide.

Le mode d'entrée du sodium au pôle apical des cellules épithéliales alvéolaires est multiple (voir ***Figure 8)***

***Figure 8 :*** *Transport transépithélial de sodium dans les pneumocytes II du poumon adulte.*

Ø        **Canaux sodiques**

sensibles à l’amiloride, qui représentent 50% de l’absorption du sodium.

Ø        **Entrée de sodium couplée à l'entrée de substrats**  tels que le glucose et les acides aminés ou d'anions inorganiques (ex. le phosphate) (symports). L'entrée du sodium est favorisée par son gradient électrochimique, et entraîne l'entrée de la substance cotransportée contre son gradient chimique ou électrique.

Ø        **Entrée de sodium couplée à une sortie de protons**  (antiports). La sécrétion de protons vers l'espace alvéolaire explique le pH acide du film de fluide.

Cette absorption active d'eau et d'électrolytes du secteur alvéolaire vers le secteur interstitiel pourrait être particulièrement mise en jeu au cours des oedèmes pulmonaires de type lésionnel (atteinte de la membrane alvéolo-capillaire) ou de type hydrostatique (par augmentation de la pression dans les capillaires pulmonaires au cours des insuffisances cardiaques) et contribuerait à diminuer l'inondation alvéolaire.

**3) le réseau vasculaire**

Il est double :

-   d'une part le **système pulmonaire**, au niveau duquel se produit l'hématose

-   d'autre part le **système bronchique**, qui assure la vascularisation des voies   
aériennes. Il naît de l'aorte pour se jeter dans les veines pulmonaires : il constitue donc un court-circuit gauche-gauche.

**4) l’innervation est assurée par le système nerveux autonome**

Il existe :

- des fibres **afférentes** qui suivent le trajet du nerf vague et assurent la propagation des influx nés au niveau des mécanorécepteurs et des récepteurs polymodaux (mécaniques, chimiques, thermiques) pulmonaires.

- des fibres **efférentes** appartenant au système cholinergique se distribuent aux fibres des muscles lisses de l'arbre bronchique et aux glandes sous muqueuses, alors que celles du système adrénergique innervent les glandes et les vaisseaux bronchiques. Un système **non-cholinergique non-adrénergique** qui se caractérise par l'intervention au niveau des muscles lisses des bronches de neuropeptides ayant le rôle de neurotransmetteurs. (voir l'étude de la bronchomotricité)

**II - CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA VENTILATION PULMONAIRE**

Le thorax de tout sujet vivant présente une succession de mouvements avec alternativement ampliation qui fait pénétrer l'air dans les poumons, réalisant ainsi l'inspiration, et rétraction qui fait sortir les gaz des poumons, réalisant ainsi l'expiration.

C'est l'ensemble de ces mouvements gazeux qui constitue la ventilation pulmonaire. On peut constater que l'amplitude des mouvements thoraciques présente une importance variable, mais qu'elle ne peut jamais concerner la totalité des gaz contenus dans le poumon.

**1) les volumes mobilisables *(figure 9)***

Ils sont habituellement déterminés par la technique spirométrique. Au cours de chaque cycle ventilatoire, le volume d'air inspiré puis expiré porte le nom de volume courant (VT). Chez le sujet adulte, au repos, il est en moyenne de 500 ml BTPS, mais peut varier de façon importante. Au cours de l'exercice, il peut dépasser 3 l BTPS.

- Le volume d'une inspiration forcée pratiquée à la fin d'une inspiration normale est le volume de réserve inspiratoire (VRI).

- Le volume d'une expiration forcée pratiquée à la fin d'une expiration normale est le volume de réserve expiratoire (VRE).

A la fin d'une inspiration forcée, il est possible d'effectuer un mouvement d'expiration maximale, lequel va permettre d'expulser à l'extérieur la totalité des volumes mobilisables, c'est-à-dire la somme des volumes de réserve inspiratoire et expiratoire ainsi que le volume courant ; ce volume correspond à la capacité vitale qui représente donc le volume maximal qu'un sujet peut mobiliser volontairement au cours d'un seul mouvement ventilatoire .

La capacité vitale dépend des caractéristiques morphologiques du sujet, et en particulier de sa taille ; elle est aussi influencée par l'âge et le sexe. Des tables réalisées à partir d'un grand nombre d'observations permettent d'apprécier si la mesure réalisée chez un sujet est normale, compte-tenu de l'ensemble de ces caractéristiques.

 On cite habituellement pour l'Homme comme valeurs type : VRI = 2,5 litres\*, VRE = 2 litres\*, ce qui pour un volume courant de 0,5 litre donne une capacité vitale de 5 litres ; chez la Femme, ces valeurs sont réduites de 15 %.

Dans les conditions normales, le poumon droit et le poumon gauche participent respectivement pour 55 et 45 % de la capacité vitale. La valeur de la capacité vitale varie avec la position du sujet : elle diminue d'environ 500 ml lorsque le sujet passe de la position verticale à la position horizontale, du fait des modifications de répartition de la masse sanguine.

\* Les volumes pulmonaires sont exprimés en litres BTPS.

**2) volume non mobilisable : le volume résiduel**

A la fin d'une expiration forcée, il reste encore une certaine quantité de gaz dans les poumons ; elle correspond au volume résiduel (VR).

**Ce volume ne peut être mesuré que de façon indirecte**

Ø      ***En circuit ouvert*** ***(figure 10)***

Le sujet ventile à travers un jeu de soupapes qui séparent les gaz inspirés et expirés. A la fin d'une expiration forcée, le sujet qui inhalait de l'air et rejetait les gaz expirés est branché sur un circuit qui lui permet d'inhaler de l'oxygène pur et de rejeter ses gaz expirés dans un spiromètre. Un analyseur branché directement sur le corps de la soupape permet de connaître à chaque instant la fraction de l'azote dans les gaz expirés. En quelques minutes, cette concentration devient nulle : les poumons ont été rincés de l'azote qu'ils contenaient. La détermination de la quantité qui a été rincée permet de calculer le volume résiduel VR.

*En effet :*

- A l'instant 0, le volume d'azote pulmonaire, mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image015.gif

                 - A la fin, tout l'azote est passé dans le spiromètre ; si on appelle V le volume du spiromètre et FN2  la concentration de l'azote à son niveau, mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image017.gif

*D'où :* mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image019.gif

***Par exemple :* Volume de rinçage,                           V = 12 litres**

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image021.gif

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image023.gif

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image025.gif

Ø      ***Méthode en circuit fermé*** ***(figure 10)***

A la fin d'une expiration forcée, le sujet est relié à un spiromètre classique de volume V contenant une concentration connue d'Hélium mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image027.gif

Le sujet ventile en circuit fermé dans le spiromètre jusqu'à ce que les concentrations soient les mêmes dans les poumons et dans le spiromètre ; à ce moment la concentration d'Hélium se stabilise dans le circuit à une valeur mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image029.gif

à l'instant O on avait                                                    mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image031.gif(1)

à l'équilibre on a :                                             mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image033.gif(2)

*on peut donc écrire* mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image035.gif(3)

*d’où* mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image037.gif

La valeur de VR dépend elle aussi des caractéristiques morphologiques du sujet : pour un homme de 20 à 29 ans mesurant 1,70 m, la valeur normale est de 1,35 litres ; cette valeur augmente avec l'âge pour atteindre 1,92 litres entre 60 et 65 ans.

L'ensemble VRE + VR constitue la capacité résiduelle fonctionnelle ou CRF.

Ø      ***Méthode pléthysmographique***

Les méthodes de dilution ci-dessus ne permettent de mesurer que le volume pulmonaire résiduel qui est en contact avec les gaz mobilisés lors de la ventilation (effet de rinçage). Chez le sujet normal, toutes les zones pulmonaires ont un niveau de ventilation compatible avec les méthodes de dilution. Ceci n'est plus vrai dans certaines pathologies où des zones pulmonaires ne sont pas accessibles au rinçage par l'azote ou l'hélium qu'après un temps très long.

Dans ce cas, la mesure de cette zone mal ventilée peut être prise en compte par la méthode pléthysmographique.

Le sujet est assis quelques instants dans un caisson étanche. Les variations de pression sont mesurées simultanément à la bouche et dans l'enceinte ***(figure 11).*** En fin d'expiration normale (CRF), un obturateur empèche momentanément les mouvements gazeux au niveau de la bouche. Les efforts inspiratoires s'accompagnent donc d'une expansion volumique pulmonaire associée à une baisse de la pression buccale (Pbo). L'augmentation de volume de la cage thoracique impose une augmentation de pression dans le pléthysmographe (Ppléth).

Selon la loi des gaz parfaits à température constante **(loi de Boyle-Mariotte)**:

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image042.gif

*On considère que*  mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image044.gif *est négligeable*.

*d’où*                     mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image046.gif

*par ailleurs,* mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image048.gifse traduit par une augmentation directement proportionnelle de Ppléth qui dépend des caractéristiques du caisson K,

*d'où*                      mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image050.gif

**3) le débit ventilé**

            Le volume courant est inspiré puis expiré périodiquement un certain nombre de fois dans un temps donné. La ventilation pulmonaire est, par conséquent, caractérisée par un débit qui est égal au produit du volume courant (VT) par la fréquence respiratoire (f) celle-ci varie normalement entre 5 et 22 par minute. Elle peut s'élever à 40 à 60 par minute lors de l'exercice musculaire très intense. Le débit ventilatoire de repos oscille en moyenne chez l'homme entre 5 et 9 l BTPS.mn-1. Il varie dans le même sens que la dépense énergétique : aussi, lors de l'exercice musculaire intense, il peut atteindre 130 l BTPS.mn-1. Il augmente également lors d'un séjour à l'altitude.

            On définit aussi le débit ventilatoire maximal de repos appelé classiquement le volume maximal minute (VMM) : le sujet ventile le plus énergiquement et le plus rapidement possible. Il s'agit d'une épreuve très fatigante et qui ne peut être prolongée plus d'une vingtaine de secondes. Les valeurs de débit maximal obtenues peuvent dépasser 200 l.mn-1. Elles dépendent de certains facteurs tels que la taille, l'âge et le sexe ; des formules ont été définies empiriquement pour un calcul théorique.

            TIFFENEAU a défini le volume expiré maximal seconde (VEMS ; fig.14) qui représente une image assez fidèle du VMM (si on le multiplie par 37 correspondant à une fréquence maximale théorique pour ce volume, on obtient des valeurs de débit comparables). Par ailleurs, il est plus facile à déterminer car moins fatigant : on observe l'évolution d'une expiration au débit maximal. Le sujet, après une inspiration forcée expire sur ordre aussi rapidement que possible sa capacité vitale. Seul est mesuré le volume expiré au cours de la première seconde d'expiration.

Normalement le rapport mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image056.gif est voisin de 75-80 % (Rapport de TIFFENEAU).

            Le débit ventilatoire instantané peut être mesuré par un pneumotachographe dont le principe de fonctionnement est illustré par la ***figure 12***.

            Lors d'une expiration maximale développée, comme pour la mesure de VEMS, sur la totalité de la capacité vitale, le débit expiratoire instantané augmente très rapidement jusqu'à une valeur maximale proche de 10 l.s-1, puis décroît progressivement jusqu'à la mobilisation totale de la capacité vitale (figure 13). Outre la valeur maximale (débit de pointe), il est habituel de mesurer le débit instantané à 75%, 50% et 25% de CV. Le débit de pointe et à 75% CV témoignent de l'état des grosses voies aériennes, alors que les débits à 50% CV et 25% CV sont représentatifs des petites bronches.

**III -       LA SPIROMÈTRIE EN PHYSIOPATHOLOGIE RESPIRATOIRE**

L'étude du tracé spirographique permet de définir différents types d'insuffisance ventilatoire.

**1)     Réduction de la capacité vitale et de Vems, mais sans réduction du rapport de** **Tiffeneau.**

Il s'agit d'une insuffisance ventilatoire de type restrictif, que l'on peut observer lors de rigidités ou déformations thoraciques, tuberculose pulmonaire, etc... ***(figure 14 II).*** Le débit de pointe est diminué ***(figure 15)***

**2)     Conservation de la capacité vitale,** **mais réduction de** **Vems** **et donc** **abaissement du rapport de** **Tiffeneau.**

Il s'agit d'une insuffisance ventilatoire de type obstructif, avec obstacle à l'écoulement de l'air par spasme ou compression des voies aériennes ***(figure 14 III).*** Le débit de pointe est abaissé et le volume résiduel est augmenté ***(figure 15).***

Dans ce cas, on observe souvent sur le tracé du VMM un déplacement vers le haut de la position ventilatoire : signe du créneau ***(figure 14, VMM. III et IV).***

**3 ) Il est enfin possible d'observer des insuffisances** **de type mixte**

avec restriction volumétrique et résistance à l'écoulement du gaz ***(figure 14 IV).***

**IV -      LES FACTEURS MÉCANIQUES DE LA VENTILATION PULMONAIRE**

Comme tous les fluides, l'air ou les gaz pulmonaires s'écoulent des zones de haute pression vers les zones de faibles pression.

A l'inspiration, les muscles respiratoires développent des forces qui agrandissent le thorax, les poumons suivent les déplacements de celui-ci, c'est dire qu'ils se dilatent : la conséquence est une diminution de la pression intrapulmonaire qui devient inférieure à la pression atmosphérique. Le relâchement des muscles inspiratoires détermine le phénomène inverse.

**1) Action des muscles respiratoires**

Les muscles respiratoires agissent sur les côtes ; celles-ci présentent une double obliquité ; de haut en bas et d'arrière en avant, si bien que leur élévation détermine une augmentation des 3 diamètres du thorax.

***a - Les muscles de l'inspiration***

·        Le plus important est le **diaphragme** ***(figure 16).***

- C'est une large nappe musculaire en forme de dôme, qui sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale, ses nerfs moteurs sont les phréniques dont les origines sont au niveau des 3e, 4e et 5e espaces intervertébraux (C3 C4 C5).

Sa contraction raccourcit les fibres, ce qui entraîne un aplatissement et un abaissement de la courbure ; si on estime sa surface à 250 cm2, l'abaissement lors d'une inspiration normale est de 1,5 cm, ce qui entraîne une augmentation de volume de 375 cm3.

Dans les inspirations forcées le centre phrénique peut s'abaisser de 10 cm ; l'abaissement du diaphragme entraîne une augmentation de la pression intraabdominale, cette augmentation sera d'autant plus manifeste que la musculature abdominale sera moins relâchée. Lors des contractions intenses du diaphragme cette augmentation de la pression intraabdominale est telle que les côtes inférieures s'élèvent. L'élévation des côtes inférieures est également due  à la contraction des fibres musculaires diaphragmatiques qui sont apposées sur la face interne de la paroi thoracique et qui s'insèrent sur ces côtes de façon perpendiculaire à leur grand axe[[3]](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm" \l "_ftn3" \o "). Le diaphragme joue un rôle prépondérant dans la ventilation ; celle-ci peut néanmoins être assurée, s'il est paralysé alors que tous les autres muscles sont intacts.

·        **Les muscles** **intercostaux externes**,

innervés par les nerfs intercostaux qui quittent la moelle de D1 à D12. Ils sont constitués de fibres obliques de haut en bas et d'arrière en avant, leur raccourcissement tend à élever les côtes ***(figure 17).*** Par ailleurs, leur contraction tend les espaces intercostaux et les empêche d'être aspirés pendant l'inspiration. ils sont recrutés pendant la respiration de repos et leur paralysie détermine une diminution de 20 à 30% de VMM.

**·        Les autres muscles**

Les **scalènes** et les **sterno-cléido-mastoïdiens** ne se contractent pas tant que le débit ventilatoire est inférieur à 70 l.min-1

Pour les débits supérieurs à 100 l.min-1, les **trapèzes** et les muscles **paravertébraux** se contractent.

De toutes façons interviennent des muscles qui réduisent les résistances à l'écoulement   
de l'air : muscles de la face, des ailes du nez, du larynx, etc...

La contraction maximale des muscles inspiratoires abaisse la pression intrapleurale de 60 à 100 mmHg en dessous de la pression atmosphérique.

***b - Les muscles de l'expiration***

L'expiration est d'ordinaire passive, elle est due à la libération de l'énergie potentielle accumulée lors de la distension du thorax et des poumons.

·        Muscles de l'**abdomen**

- Ils ne commencent à intervenir que lorsque le débit dépasse 40 l.min-1.

- Ils ont pour effet d'abaisser les côtes inférieures, de fléchir le tronc, mais surtout d'augmenter la pression intra-abdominale, ce qui élève le diaphragme.

·        Muscles **intercostaux internes**

- Ils n'interviennent eux aussi qu'à partir d'un débit de 40 l.min-1 leur raccourcissement abaisse les côtes (figure 17) ; ils tendent les espaces intercostaux de telle sorte que ceux-ci ne bombent pas pendant les efforts expiratoires.

- Une contraction vigoureuse des muscles de l'expiration peut produire une pression intrapulmonaire prolongée de 120 mmHg et des augmentations transitoires de la pression pouvant aller jusqu'à 300 mmHg. La contraction des muscles de l'abdomen, pendant les efforts intenses peut élever la pression intraabdominale de 150 à 200 mmHg, ce qui est suffisant pour arrêter l'écoulement du sang dans l'aorte abdominale.

Les forces développées par ces muscles sont destinées à vaincre :

Les résistances élastiques thoraco-pulmonaires

Les résistances à l'écoulement des gaz ventilés.

**2) l’élasticité thoraco-pulmonaire**

Lors de la ventilation, les forces développées par les muscles respiratoires ont pour effet de déformer le thorax ; ces forces s'opposent aux résistances élastiques thoraco-pulmonaires ; celles-ci peuvent être mesurées.

***a - Technique de mesure***

- Les effets des résistances thoraco-pulmonaires peuvent être mesurés lorsque le sujet cesse toute action respiratoire : les systèmes élastiques tendent à revenir à leur position d'équilibre en exerçant sur les gaz pulmonaires une pression ou une aspiration ; celles-ci peuvent être mesurées lorsqu'on demande à un sujet dont la bouche est reliée à un manomètre de relâcher complètement ses muscles respiratoires en gardant la glotte ouverte ; la pression  
mesurée au manomètre est alors appelée **pression de relaxation**.

- En pratique, on fait ventiler un sujet dans un spiromètre. Après lui avoir demandé d'inspirer ou d'expirer plus ou moins profondément, on tourne le robinet à trois voies pour relier ce sujet au manomètre ***(figure 18)*** et on lui demande d'ouvrir sa glotte et de relâcher ses muscles thoraciques. En recommençant l'opération pour différentes pressions du thorax il est possible de construire le graphe traduisant l'évolution des pressions en fonction de la position du thorax ***(figure 19)*** ; on lui donne le nom de **courbe de relaxation totale**.

Si l'ensemble thoraco-pulmonaire constituait un système élastique parfait, la courbe serait absolument rectiligne ; ce n'est pas le cas, on peut considérer la courbe de relaxation comme une droite, sur près de 75 % de sa longueur ; c'est d'après la pente de cette portion rectiligne que l'on apprécie les qualités élastiques du thorax.

***b -* *Définitions***

On appelle **compliance** le rapport mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image078.gif

C'est la variation de volume par unité de pression ; on l'exprime en litres par cm H2O.

- Plus ce rapport est élevé (et donc plus la pente de la droite est forte), plus le thorax est distensible ; on obtient d'importantes variations de volume pour de faibles variations de pression.

- Plus ce rapport est faible , moins le thorax est distensible : le thorax oppose une résistance élastique importante à toute augmentation de volume.

· On définit parfois un autre rapport : l'**élastance**  mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image080.gif

C'est la variation de pression intra pulmonaire déterminée par une variation de volume du thorax ; on l'exprime en cm H2O par litre.

***c - Applications***

Chez l'adulte normal, la compliance thoraco-pulmonaire est de 0,1 l/cmH2O. En pathologie de nombreux facteurs peuvent modifier cette compliance ; l'un des plus fréquemment rencontrés est la fibrose pulmonaire ; elle peut faire atteindre à la compliance des valeurs de 0,01 l/cmH2O, soit 10 % de la valeur normale théorique ; chez de tels sujets il faut réaliser des pressions de 50 cm H2O pour mobiliser 500 ml. Ceci demande aux muscles thoraciques un travail qu'ils ne peuvent soutenir longtemps et une hypoventilation s'installe.

La compliance n'a de signification que si elle est rapportée au volume pulmonaire, ce qui définit la **compliance spécifique**. En effet, l'introduction du même volume d'air dans deux ensembles thoraco-pulmonaires d'élasticités comparables, mais de volumes différents, détermine des modifications de pression d'autant plus importantes que la capacité vitale est plus faible.

L'élasticité de l'ensemble thoraco-pulmonaire représente en fait l'intervention de deux systèmes élastiques différents.

**3)** **L’élasticité pulmonaire**

***a - Mise en évidence***

En ouvrant le thorax de façon à mettre la face externe du poumon au contact de l'air atmosphérique, on constate que de l'air s'engouffre dans le thorax : (on a réalisé un pneumothorax), et les poumons se rétractent autour de leur hile. Une simple pression d'insufflation par la trachée, ou l'aspiration de l'air introduit dans le thorax suffit à redéployer les poumons.

***b - Quels  sont  les  facteurs  qui déterminent  l'expansion  permanente  des   
poumons***

Si les poumons, malgré la mise en tension permanente de leurs systèmes élastiques, ne se rétractent pas autour de leur hile, c'est parce que leur face externe donne sur une cavité virtuelle totalement fermée et qui épouse les formes du thorax : la cavité pleurale. La traction exercée par les systèmes élastiques crée une dépression au niveau des cavités pleurales, mais cette dépression est très nettement insuffisante pour séparer les deux feuillets de la plèvre.

- On peut constater que la pression intrapleurale est inférieure à la pression atmosphérique, en introduisant un trocart dans un espace intercostal et en le reliant à un monomètre, après avoir injecté une petite quantité d'air pour séparer les deux feuillets pleuraux. On peut constater que cette dépression est d'autant plus importante que le thorax est dans une position plus éloignée de la position d'expiration forcée. A la fin d'une expiration normale, la valeur de cette dépression est d'environ 5 cm H20 ; après inspiration d'un volume courant, elle atteint 8 cm H20 ***(figure 20).***

- Les mesures effectuées à différents niveaux montrent que cette dépression est plus importante au niveau des parties hautes du poumon qu'au niveau de la base ; c'est l'action de la pesanteur sur le poumon qui est responsable de ce phénomène ; on peut en effet constater que le gradient de pression est inversé si on place le sujet la tête en bas. Ces différences de dépression expliquent que les zones pulmonaires hautes soient plus distendues que les zones pulmonaires basses. Cette distension des alvéoles fait qu'en fin d'expiration leur volume est plus grand que celui des alvéoles de la base ; le rinçage du gaz alvéolaire est donc moins important à leur niveau. Les alvéoles du sommet sont donc moins ventilées que celles de la base. Ceci se traduit sur la ***figure 21*** par la plus grande distensibilité des bases par rapport au sommet (mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image088.gif supérieur pour un même mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image090.gif)

***c - La relation pression-volume pour les poumons***

- On étudie cette relation de la même façon qu'au niveau de l'ensemble thoraco-pulmonaire. On mesure la pression intrapleurale à l'aide d'un ballonnet placé dans la partie basse de l'oesophage thoracique, là où il est coincé entre le poumon et la cage thoracique, à ce niveau le recul élastique du poumon exerce une traction sur l'oesophage et les pressions sont comparables à celles que l'on mesure au niveau de la plèvre. En plaçant sur un graphique les dépressions mesurées pour chaque position du thorax  on obtient la courbe (P) de la [***figure 19***](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm#f19) (où les valeurs des pressions sont inversées car à toute variation de pression œsophagienne correspond une variation inverse de la pression pulmonaire).

- Cette courbe présente une zone moyenne pratiquement rectiligne. L'élasticité pulmonaire n'est jamais satisfaite, même en expiration forcée.

On peut d'après la pente, calculer la compliance pulmonaire dans la zone de mobilisation habituelle du thorax         mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image094.gif

***d - Origine de l'élasticité pulmonaire.***

Deux systèmes interviennent pour donner au poumon ses propriétés élastiques.

ÞD'une part les poumons comportent des fibres élastiques classiques, qui peuvent être mises en évidence par coloration spécifique. Ces fibres de nature protéique doivent être renouvelées continuellement du fait de l'action destructrice d'un système de protéase (élastase) sécrété par les polynucléaires neutrophiles. L'action de ce système est partiellement inhibée par l'mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image096.gif-1-antitrypsine d'origine hépatique. Un déséquilibre de ce système peut entraîner une destruction exagérée de l'élastine : c'est le cas de l'intoxication tabagique qui induit sous l'effet de la fumée une diminution de l'efficacité de l'mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image097.gif-1-antitrypsine qui se traduit par une augmentation de la distensibilité pulmonaire (emphysème) qui gène la mécanique ventilatoire.

  Un autres système, de nature différente, lié à la structure alvéolaire du poumon.

**Mise en évidence**

**Si l'on prend un poumon isolé et que l'on compare les relations mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image099.gif**

obtenues en le gonflant avec un gaz et du liquide physiologique, on constate que dans chacun de ces cas le poumon présente une élasticité différente : dans les conditions statiques il faut, pour introduire un volume donné, une pression deux fois plus forte lorsqu'il s'agit du gaz que lorsqu'il s'agit du liquide ***(figure 22).***

La disparition de cette force de rétraction dès que l'on introduit un liquide aqueux dans les alvéoles n'est pas due à une lésion des fibres élastiques : la résistance élastique réapparaît dès que l'on vide les poumons du sérum et que l'on réintroduit du gaz. C'est donc la présence de gaz dans les alvéoles qui conditionne l'existence de cette force de rétraction.

L'interprétation la plus plausible de ce phénomène consiste à admettre l'existence au niveau de chaque alvéole, de forces de rétraction liées au contact du gaz alvéolaire avec la surface humide des alvéoles ; on aurait au niveau de chaque alvéole un phénomène comparable à celui que l'on observe au niveau des bulles de savon où les parois liquides tendent à se rétracter sur le gaz qu'elles contiennent, ce qui explique leur forme sphérique.

On a essayé de vérifier cette interprétation en calculant la force de rétraction que l'on devrait obtenir en assimilant les alvéoles à des bulles de liquide extracellulaire. La force de rétraction obtenue par ce calcul est très nettement supérieure à celle que l'on peut observer dans la réalité. On peut noter d'autre part que plus le volume du poumon, et donc de chaque alvéole, augmente, plus la résistance attribuée aux phénomènes de tension superficielle augmente.

L'interprétation initiale doit donc être complétée : on suppose que ce phénomène lié aux tensions superficielles est en partie masqué par l'intervention de substances tensioactives, c'est-à-dire de substances qui disposées à la surface d'un liquide réduisent sa tension superficielle. Ces substances sont d'autant moins actives qu'elles sont plus diluées à la surface du liquide : c'est ce qui se produit lorsque la couche liquidienne est étirée. Pour confirmer cette interprétation, on a pu mettre en évidence au niveau des extraits pulmonaires, une substance douée de ces propriétés tensioactives, formée par un mélange complexe de 85% de  phospholipides (lécithines saturées de phosphatidyl-choline) et de 13% de protéines ; on lui donne le nom de SURFACTANT.

Il est sécrété par les cellules épithéliales alvéolaires granuleuses (type II) et sa demi-vie est de   
30 h. La présence de ce surfactant entraîne un certain nombre de conséquences :

·   D'abord, en réduisant la tension superficielle au niveau des alvéoles, il réduit l'effort   
musculaire nécessaire pour maintenir les poumons dans une position donnée.

A la fin de la grossesse, la concentration de glucocorticoïdes augmente, ce qui contribue à accroître la synthèse du surfactant chez le fœtus. Chez les prématurés le surfactant est donc parfois absent ce qui détermine une détresse respiratoire. L'utilisation de surfactant artificiel et du traitement corticoïde peut aider à traiter ce syndrome.

·   L'aptitude qu'il présente à réduire d'autant moins la tension superficielle que les alvéoles sont plus dilatées explique la coexistence d'alvéoles de diamètres différents. Imaginons en effet une série de bulles au niveau desquelles la tension superficielle est la même, mais qui contiennent des quantités de gaz différentes alors qu'elles baignent toutes dans la même atmosphère. A l'équilibre la loi de LAPLACE indique que pour chacune d'elles :

                                      ou                  P : Pression exprimée en dynes.cm-2

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image104.gif                                   T : Tension exprimée en dynes.cm-1

                                                  r : Rayon exprimé en cm

Pour équilibrer la tension des parois il faut dans les bulles une pression d'autant plus élevée que le rayon est plus petit ; si l'on met deux bulles en communication, la petite se videra donc dans la grande. C'est ce qui se produirait sans surfactant au niveau des alvéoles qui sont de tailles différentes et communiquent entre elles alors qu'elles sont toutes gonflées.

·   Les vaisseaux sanguins situés dans les parois alvéolaires et au niveau des espaces où se rejoignent plusieurs alvéoles, sont soumis aux pressions règnant dans ces espaces : en raison des forces de surface, ces pressions sont négatives et ont tendance à faire sortir le plasma des vaisseaux. Il y aurait alors inondation des alvéoles (œdème pulmonaire). L'action du surfactant est de diminuer la  tension de surface et donc de rendre moins négatives les pressions autour des vaisseaux.

**4) L’élasticité thoracique**

Mise en évidence. La création d'un pneumothorax total chez un animal détermine une augmentation des diamètres transversal et sagittal du thorax. La solidarité poumons-thorax exerce donc une mise en tension permanente des systèmes élastiques du thorax.

Relation pression volume au niveau du thorax

Il est possible d'établir la relation pression-volume au niveau du thorax en portant sur le même graphique la courbe de relaxation totale et la courbe de relaxation pulmonaire. On veille pour cette dernière à mettre du côté positif les dépressions observées, ceci est logique car les dépressions observées au niveau de la plèvre témoignent d'une rétraction pulmonaire qui tend à augmenter la pression au niveau de l'ensemble thoraco-pulmonaire. On peut alors facilement calculer en soustrayant la rétraction pulmonaire de l'action totale, quelle action serait exercée par le thorax seul dans chaque position : on obtient ainsi la courbe T de la[***figure 19***.](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm#f19)

*L'observation de cette figure permet de mettre en évidence un certain nombre d'éléments :*

- Habituellement, thorax et poumon exercent des actions de sens opposés.

- Lorsque l'ensemble se trouve en position de relaxation, en fin d'expiration normale, les deux actions s'équilibrent.

- Lors de l'inspiration il y a satisfaction de l'élasticité du thorax lorsque les poumons contiennent environ 70-80% de la capacité vitale. Ce pourcentage est cependant variable et diminue en particulier en fonction de l'âge ***(figure 23).*** Si l'inspiration dépasse cette amplitude, il y a mise en tension d'autres systèmes élastiques du thorax, dont l'action s'exerce dans le même sens que celle des fibres élastiques du poumon. A partir de ce niveau, tout gain en volume se traduit par une augmentation très rapide de la pression de relaxation.

L'élasticité thoracique est liée aux propriétés élastiques des différents éléments de la cage thoracique (ligaments, fibres musculaires).

La compliance thoracique qui dans la zone de mobilisation du volume courant est de 0,2 l.cm H20-1, diminue lorsque les propriétés élastiques de la paroi sont altérées ; ceci se produit en cas de cypho-scoliose, d'atteinte des muscles respiratoires, d'obésité, etc...

**5) Les résistances dynamiques**

Ces résistances ne sont pas liées au fait que l'ensemble thoraco-pulmonaire s'écarte d'une position d'équilibre, mais aux mouvements  de l'ensemble thoraco-pulmonaire (résistances visqueuses de frottement), ou des particules de gaz. Dans les conditions de repos, les forces nécessaires pour vaincre ces résistances sont minimes par rapport à celles qui sont nécessaires pour vaincre les résistances élastiques, mais l'importance relative de ces résistances s'accroit lorsque le débit ventilatoire augmente, ou dans un certain nombre de circonstances pathologiques.

***a - Les résistances à l'écoulement de l'air***

Elles dépendent de 2 groupes de facteurs.

Ø      Les propriétés physiques des gaz : la viscosité et la densité.

Dans les conditions normales l'écoulement des gaz s'effectue en régime laminaire dans les voies aériennes sauf au niveau de leurs coudures ou de leurs divisions : dans ces zones l'écoulement est turbulent.

· En régime laminaire,

les relations entre le débit, les pressions et les résistances sont régies par la loi de POISEUILLE.

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image109.gif

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image111.gif : viscosité du gaz

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image113.gifl : longueur du conduit

r : rayon du conduit

*Il apparaît donc que :*

- La différence de pression (mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image115.gif) entre 2 points du réseau bronchique est proportionnelle au débit (mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image117.gif).

- Les résistances sont proportionnelles à la viscosité du gaz et inversement proportionnelles à la quatrième puissance du rayon bronchique.

· En régime turbulent,

la différence de pression entre deux points est proportionnelle à la deuxième puissance du débit. Le travail nécessaire pour assurer  un  débit donné est donc beaucoup plus élevé qu'en régime laminaire. Le régime devient turbulent  lorsque  la valeur  du  nombre  de  Reynolds :

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image119.gif  devient  trop élevée (mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image121.gif; densité du gaz, d ; diamètre).

La diminution du calibre bronchique, en déterminant une augmentation de la vitesse moyenne (mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image123.gif) fonction de la deuxième puissance de la diminution du rayon augmente la valeur de ce nombre qui lorsqu'il dépasse 2000 induit un écoulement turbulent. C'est ce qui se produit chez les emphysémateux par exemple ; il est possible de soulager momentanément ces malades en leur faisant inhaler un mélange hélium-oxygène dont la densité (mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image124.gif) est plus faible que celle du mélange azote-oxygène : ceci présente l'avantage de réduire le nombre des bronches où l'écoulement est turbulent, et là où ce régime subsiste, de réduire les résistances qui sont également fonction de la densité :

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image126.gif

De la même façon, au cours de la plongée, l'augmentation de la pression entraîne une augmentation de la densité des gaz ; l'inhalation d'un mélange hélium-oxygène réduit les résistances à l'écoulement de ces gaz.

· Au total,

la variation de pression (mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image128.gif) entre deux points du sytème ventilatoire est une fonction mixte entre les deux types d'écoulement des gaz telle que :

mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image130.gif

**Ø****Le diamètre des voies aériennes**

En régime laminaire, comme en régime turbulent, les résistances varient en fonction du   
rayon.

Deux mécanismes interviennent pour modifier le diamètre des bronches :

· Mécanisme passif :

Le calibre bronchique dépend de la différence qui existe entre les pressions intra et extrabronchique. Or les variations de pression au niveau des bronches sont normalement très faibles, (la pression à leur niveau restant proche de la pression atmosphérique), alors que les variations de la dépression intrapleurale sont très importantes. Il en résulte donc que la différence entre les pressions intra- et péribronchique, qui tend à dilater les bronches, est moins importante lors de l'expiration que lors de l'inspiration et, par conséquent, pour un tonus invariant des muscles bronchiques, le calibre des bronches est plus faible à l'expiration qu'à l'inspiration. Ce phénomène peut gêner l'écoulement des gaz lorsque le calibre bronchique est réduit (asthme) ou lorsque l'élasticité pulmonaire est diminuée (emphysème). Dans le premier cas, mais encore plus dans le deuxième, l'expiration devient lente et pénible alors que l'inspiration reste facile. Ces phénomènes se traduisent par une diminution de V.E.M.S.

· Mécanisme actif : action des muscles bronchiques.

C'est au niveau des bronchioles que les **muscles lisses** sont le plus développés. La paroi de ces bronchioles ne comporte pas de cartilage et leur béance est assurée uniquement par la dépression extrabronchique. La contraction des muscles bronchiques diminue le calibre des conduits.

Les muscles bronchiques reçoivent une double innervation : **parasympathique** et **sympathique**.

L'activité du nerf pneumogastrique (**parasympathique**) détermine une **bronchoconstriction**. Il s'agit d'un mécanisme d'action cholinergique : l'injection d'acétylcholine ou l'inhalation de ce produit en aérosol détermine le même effet.

La stimulation du système **orthosympathique** provoque une **bronchodilatation**. Il s'agit d'un mécanisme ß2 adrénergique, l'inhalation d'un aérosol d'adrénaline détermine le même effet. On utilise en thérapeutique certaines substances voisines (ALEUDRINE, SALBUTAMOL), pour lever un spasme bronchique. Si cette action locale de l'adrénaline est évidente, l'action du système nerveux noradrénergique ne semble pas avoir d'effet de nature synaptique sur le muscle lisse bronchique. Cependant, la présence de fibres noradrénergiques dans les ganglions parasympathiques bronchiques semble indiquer leur effet modulateur de la transmission cholinergique par inhibition présynaptique.

Au niveau des grosses bronches, un mécanisme de bronchodilatation existe par l'action d'un système nerveux **non adrénergique non cholinergique**, empruntant le trajet du parasympathique mais s'en différenciant par les neurotransmetteurs de la synapse effectrice (post-ganglionnaire). Le VIP (vasoactive intestinal peptide, neurotransmetteur initialement décrit dans le système digestif) exerce à ce niveau une action bronchodilatatrice.

Les muscles bronchiques sont également soumis à l'action cellulaire locale liée à la présence des **mastocytes** dont les granules peuvent libérer des **médiateurs** à effet bronchostricteur et inflammatoire tel que l'histamine. L'activation des mastocytes se fait par l'intermédiaire des anticorps IgE qui viennent se fixer sur les antigènes correspondants présents à la surface de la cellule ; c'est ce mécanisme qui est à l'origine de l'asthme allergique.

Il existe un **tonus musculaire bronchique** : l'atropine (substance parasympathicolytique) administrée en aérosol diminue les résistances. Ce tonus peut être modifié par l'activité des centres bronchomoteurs encéphaliques. Celle-ci peut être mise en jeu par un certain nombre de mécanismes surtout réflexes :

- La stimulation des chémorécepteurs artériels par la baisse de la pression d'oxygène   
du sang détermine une bronchodilatation.

- La stimulation des barorécepteurs par élévation de la pression artérielle, détermine   
une bronchoconstriction.

-  Il existe aussi de nombreux réflexes à point de départ local : l'inhalation de fumée, de poussières diverses, de substances chimiques, surtout en aérosols, peut provoquer  un spasme bronchique réflexe.

***b - mesure des résistances dynamiques***

Lors de l'inspiration, l'action des résistances dynamiques se traduit par une diminution plus importante de la pression alvéolaire (Palv) que celle de la bouche (Pbo) proche de la pression barométrique). La différence (Pbo)-(Palv) = ∆P est proportionnelle au débit ventilatoire mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image133.gif. Bien que cette proportionnalité ne soit pas une fonction linéaire du débit (présence d'écoulement turbulent au niveau des voies aériennes), l'approximation à la linéarité est cependant suffisante pour la détection des modifications des résistances en pathologie. De ce fait, selon la loi de POISEUILLE, les résistances des voies aériennes  mhtml:file://C:\Documents%20and%20Settings\gérald\Bureau\bio-phy\L’ETAPE%20PULMONAIRE.mht!http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7_fichiers/image135.gif

- Le principe de mesure répond à l'utilisation combinée du pléthysmographe et du pneumotachgraphe ***(figure 24)***.

- La valeur normale des résistances des voies aériennes est de 2 cm H2O • s / l  au cours de la respiration calme.

La mesure des résistances aériennes est une représentation moyenne de l'ensemble des résistances de l'arbre respiratoire. Cependant, chez le sujet normal, ces résistances se répartissent de la façon suivante ; 50% pour les voies aériennes supérieures, 40% pour la trachée et les bronches centrales et 10% pour les bronches périphériques. Ainsi une anomalie des voies aériennes périphériques (cas le plus fréquent au début de la bronchite chronique) peut s'accompagner de resistances normales. Ce "silence" des petites bronches peut sembler paradoxal mais ce phénomène montre que l'effet de la diminution individuelle du diamètre est surcompensé par le grand nombre de ramifications et l'augmentation très importante de la surface totale de section à partir de la 8-10e génération des bronches.

**6) Le travail respiratoire**

**La contraction des muscles respiratoires doit donc vaincre les résistances élastiques statiques (60 – 65%) et les résistances aériennes (27 – 30%) auxquelles viennent s’ajouter les résistances visqueuses des tissus (<10%). Le travail résultant peut s’exprimer par l’étude des courbes pression-volume.**

En effet, le produit d'une pression (N/m2) par un volume (m3) a la même dimension qu'un travail (Nm) et le travail respiratoire peut être calculé à partir de deux courbes ; l'une qui prend en compte la compliance thoraco-pulmonaire statique (élasticité ; ***figure 19***) et l'autre ajoutant l'action dynamique de l'écoulement des gaz (pression intrapleurale ; ***figure 20***). ***La*** ***figure 25*** illustre cette méthode théorique.

Ce travail, d'une valeur moyenne de 0,25 J au repos (soit une puissance de 0,05W pour une fréquence respiratoire de 12/mn) est minime par rapport au métabolisme de base (40W/m2). Cependant, lors de l'exercice très intense, la part de l'énergie consommée par les muscle ventilatoires peut dépasser 10% du métabolisme total. Chez les malades qui présentent un syndrome obstructif, l'augmentation du travail ventilatoire induite par les résistances élevées des voies aériennes, relativement bien supportée au repos, représente une limitation à l'exercice.

[[1]](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm" \l "_ftnref1" \o ") Les canaux chlore sont cependant présents et normalement activés par le calcium mais ne sont pas stimulés par l’AMP cyclique. C’est ce défaut de phosphorylation dépendant de l’AMPc des canaux chlore qui est à l’origine des anomalies fonctionnelles observées dans la mucoviscidose.

[[2]](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm" \l "_ftnref2" \o ") L’épithélium alvéolaire chez le fœtus est un épithélium de type sécrétoire.

A l’inverse de la situation observée dans le poumon adulte, les espaces alvéolaires du poumon fœtal sont remplis de liquide. La présence de ce liquide est indispensable au développement du poumon pendant la gestation. La composition de ce liquide diffère de celle du plasma et du liquide ammiotique par sa richesse en chlore et sa pauvreté en bicarbonates.

L’épithélium alvéolaire chez le fœtus est un épithélium préférentiellement de type sécrétoire et la présence de liquide dans les alvéoles est liée à une sécrétion active de chlore au pôle apical des pneumocytes de type II.

A la naissance l’épithélium alvéolaire fœtal de type sécrétoire se transformeen un épithélium de type absorptif et le liquide alvéolaire est réabsorbé permettant l’aération des espaces alvéolaires. Cette modification des propriétés de l’épithélium alvéolaire est sous la dépendance d’une sécrétion accrue de catécholamines au cours des jours qui précèdent la naissance.

[[3]](http://furan.univ-st-etienne.fr/facmed/finit/physio/respir/respir7.htm" \l "_ftnref3" \o ") Par la prise d'appui des fibres du diaphragme sur la masse abdominale, les côtes inférieures sont soulevées ce qui augmente le diamètre thoracique inférieur.

### **Glande mammaire**

Définition

c’est une glande annexée à la paroi antérieure du thorax. On la décrit chez la femme en période d’activité génitale. Ce tissu glandulaire existe aussi chez l’homme et chez l’enfant mais de façon réduite. Il se développe à la puberté mais involu à la ménopause.

# Limites

plan profond : 3 muscles : grand pectoral sur lequel glisse la glande mammaire , petit pectoral et sous clavier

plan superficiel : fascia superficialis, peau. Le fascia superficialis s’arrête avant la région mamelonaire qui constitue la limite antérieure et superficielle avec l’aréole.

Limite supérieure : 2 ou 3ième cote

extrémité inférieure : 6 ou 7ième cote

# Description

forme générale variable, le plus souvent conique arrondie

Aréole : sommet de la glande mammaire au niveau du 4ième EIC : région arrondie, pigmentée, se continuant avec la région cutanée sans limite nette.

Mamelon : partie centrale et surélevée de l’aréole ou l’on trouve l’ouverture microscopique de 10 à 15 canaux galactophores qui assurent en cas d’allaitement l’évacuation de la sécrétion lactée.

Glande de Mogani : partie de la peau grenue de l’aréole : glandes cutanées et sébacées qui s’hypertrophient à la grossesse et prennent alors le nom de tubercule de Montgomery.

Sillon sous mammaire reste fixe.

# Moyens d’amarre

supérieur : fascia superficialis et ligament suspenseur du sein : travée fibro-glandulaire

inférieur : épaississement plus net de ces travées va tirer la peau en profondeur : sillon sous-mammaire

# Constitution

La glande mammaire présente 10 à 15 lobules chacun drainé par 1 canalicule qui présente une petite dilatation : sinus galactophore avant de s’aboucher au mamelon. Ces canaux assurent la sécrétion lactée : canaux galactophores.

Le tissu glandulaire est cloisonné par des travées fibreuses : cloisons conjonctives provenant du fascia superficialis

En dehors du tissu glandulaire, la glande mammaire est remplie de tissu graisseux.

Au niveau de l’aréole, il existe des fibres musculaires lisses : muscles sphinctériens périalvéolaires qui contrôlent la fonction excrétrice du sein au moment de la lactation

# Vascularisation

richement vascularisée

Artères

1. branches supérieures venant de l’artère subclavière
2. 1 branche directe de l’artère axillaire
3. rameaux latéraux de l’artère thoracique externe
4. rameaux médiaux perforants les EIC de l’artère thoracique interne
5. rameaux perforants des artères IC en regard de la glande mammaire

Veines : parallèles au système artériel : même nom

Forment un cercle anastomotique périmamelonaire et périaréolaire : augmente chez la femme enceinte et en période de lactation.

Système Lymphatique

Le sein est divisé en 4 cadrans :

1. 2 cadrans externes vont être drainés ver le dehors. On trouve des lymphocentres le long de l’artère thoracique externe puis le courant remonte vers le creux axillaire : ganglion de Sorgius pour finir dans le ganglion sus claviculaire.
2. 2 cadrans internes ont leur lymphocentres dans la profondeur : gravité des tumeurs, car dépistage difficile : drainage sous le sternum par ganglion intrathoracique annexés à l’artère thoracique interne . Le courant lymphatique rejoint ensuite le relais sus claviculaire

# Innervation

Rameaux nerveux du plexus cervical superficiel C2 à C4

Rameaux perforants des nerfs IC (2,3,4,5 plus ou moins)

# Pathologie

cancer du sein : signe

rétraction du mamelon par interposition avec le tissu glandulaire

manoeuvre de Tilliaux : vérification de la mobilité de la glande vis-à-vis du grand pectoral

signe de la peau d’orange : rétraction en profondeur de la peau : la tumeur à envahit les travées fibreuses.

Observation des relais ganglionnaires : région creux axillaire et sus claviculaire

Traitement

ablation du sein et lymphocentre : gros bras

L’extension du cancer peut se faire par voie lymphatique et sanguine : métastase

Notion de prolongement axillaire du sein

Diaphragme

Définition

C’est le muscle respiratoire essentiel, principal et indispensable.

Situation

Repère topographique, il sépare en haut la cavité thoracique d’en bas la cavité abdominale

En forme de coupole il est au niveau en expiration forcée :

4ième EIC à droite

5ième EIC à gauche

Insertions

1. Latéralement sur les 6 dernières côtes
2. En avant sur l’appendice xiphoïde
3. En arrière : piliers postérieurs :
4. Pilier aortique : s’insère à droite jusqu’en L3, à gauche en L2. Délimite l’hiatus aortique (Th12)
5. Pilier musculaire oesophagien : s’insère sur le précédent, en forme de 8. Délimite l’hiatus oesophagien (Th10)
6. Arcade du psoas : pointe de la transverse de L1 aux vertèbres adjacentes.
7. Arcade du carré des lombes : pointe de la transverse de L1🡪 pointe de C12
8. Arcade entre les pointes de C12 et C11, C11 et C10.

Trajet

Des différentes insertions montent des fibres musculaires vers le centre tendineux

Terminaison

Le centre tendineux ( à hauteur du 4ième espace intercostal à droite et du 5ième à gauche) ou convergent tous les piliers a la forme d’une feuille de trèfle. Il est composé de 3 folioles présentant 2 épaississements : bandelettes fibreuses de Bourgery (oblique et transverse) délimitant l’orifice de la veine cave inférieure (Th9)

Principaux orifices et contenu

1. Hiatus aortique Th12 :Aorte thoracique qui devient aorte abdominale, citerne du chyle.
2. Hiatus oesophagien Th10 : Oesophage, nerfs vagues D et G.
3. Hiatus de la veine cave Th9 :Veine cave inférieure.
4. Hiatus rétro-xiphoïdiens D et G : Artère et veine thoraciques internes 🡪 épigastriques supérieures
5. Hiatus costo lombaire D et G : peut laisser passer une infection.

Autres éléments passant par des orifices accessoires

1. Nerfs moyen splanchnique et petit splanchnique D et G.
2. Chaîne orthosympathique latéro vertébrale D et G.
3. Nerfs grand splanchnique D et G + veine
4. Veines lombales ascendantes D et G

Innervation

Par le nerf phrénique issu du plexus cervical C4.

Vascularisation

Artères musculo-phréniques D et G branches des artères thoraciques internes D et G.

Artères diaphragmatiques supérieures D et G satellites des nerfs phréniques D et G.

Mécaniques

Le diaphragme en se contractant prend appui sur les viscères : résistance de la ceinture abdominale qui doit empêcher les viscères de partir vers l’avant🡪 écartement des côtes🡪 augmentation de volume de la cage thoracique🡪 inspiration.