

Physiologie Respiratoire

Cours destiné aux étudiants en kinésithérapie (L2)

Débora **TUKA DEBOLA**

Debora.tuka.debola@u-picardie.fr

Introduction

- **Physiologie** : Clé essentielle pour comprendre les situations cliniques complexes
- **La maîtrise de la physiologie respiratoire permet :**
 - D'identifier les principaux cadres pathologiques respiratoires : (Ex: insuffisance respiratoire)
 - De comprendre les bases des techniques d'exploration (spirométrie) ;
 - D'appréhender les principes généraux des stratégies thérapeutiques.

Objectif du cours

- décrire l'organisation fonctionnelle de l'appareil respiratoire ;
- expliquer les mécanismes de la ventilation ;
- identifier les volumes et capacités pulmonaires ;
- expliquer la biomécanique respiratoire ;
- comprendre les échanges et le transport des gaz respiratoires ;
- relier ces notions à l'évaluation fonctionnelle respiratoire.

Plan du cours

1. Introduction
2. Anatomie fonctionnelle de l'appareil respiratoire
3. Ventilation et volumes pulmonaires
4. Biomécanique respiratoire
5. Transport des gaz respiratoires et fonction respiratoire du sang

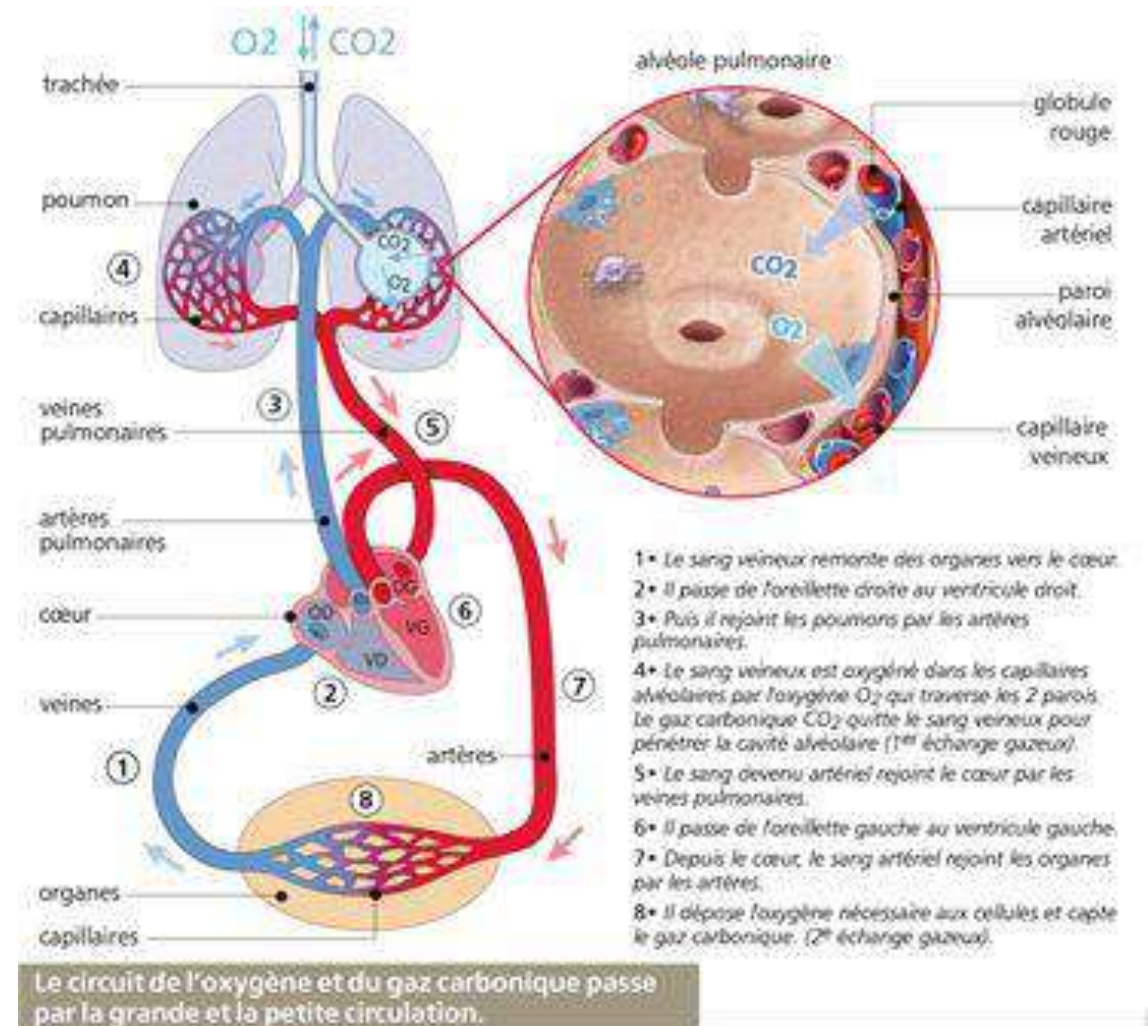
Introduction

Quand on est stressé , on nous dit respire par ceux qui nous entoure , c' est quoi la respiration ?



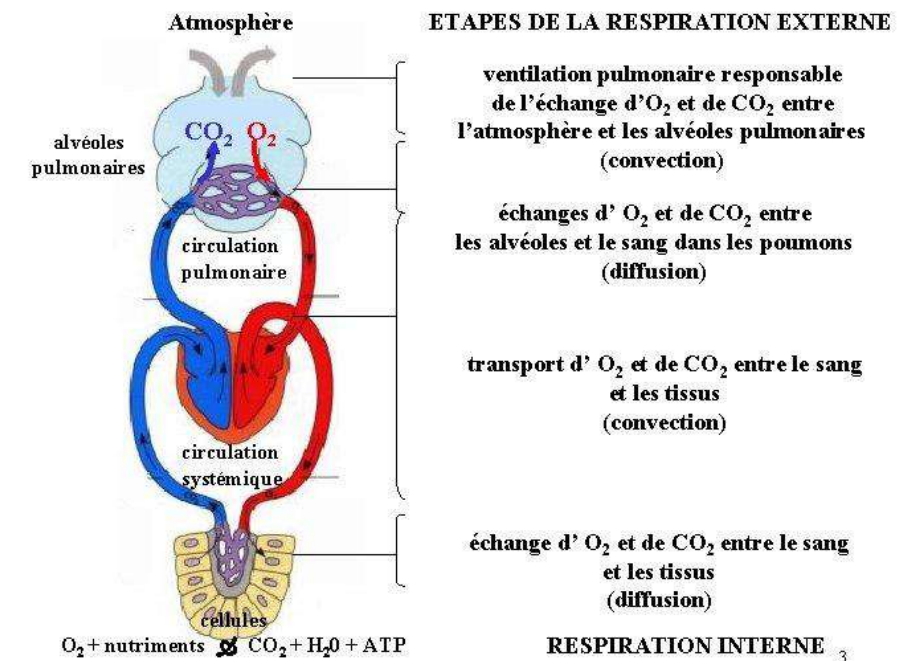
Introduction

- Oxygène contenu dans l'air est un gaz indispensable à notre organisme pour vivre
- Cellules ont besoin d'un apport continu en O_2 pour accomplir les fonctions vitales
- Cette consommation d' O_2 entraîne une production de dioxyde de carbone (CO_2)
- CO_2 est un gaz toxique et doit être éliminé
- Rôle : échange de l'oxygène et de gaz carbonique entre les poumons et l'atmosphère .



Introduction

- Respiration : Mécanismes permettant de transporter l'O₂ du milieu ambiant jusqu' aux cellules, et de rejeter dans l' atmosphère le CO₂ produit par le métabolisme cellulaire
- Respiration se déroule en 4 phases
 - ✓ Ventilation pulmonaire permet les échanges gazeux entre les poumons et l' air ambiant
 - ✓ Diffusion alvéolo-capillaire (hématose) : Passage de gaz de l' air des alvéoles vers les capillaires sanguins
 - ✓ Transport de l' O₂ grâce à la circulation sanguine qui transporte de l' oxygène aux différentes cellules de l' organisme
 - ✓ Respiration cellulaire : Cellule utilise l'O₂ et rejette le CO₂ qui sera excrété



Introduction

But

- Rôle essentiel dans l'hématose (échanges gazeux entre les alvéoles et le sang)
- Apporter de l'oxygène (O_2) aux cellules
- Eliminer le CO_2
- Régulation du PH
- Défense de l'organisme : présence des follicules et de tissus lymphoïdes diffus disséminés dans ses muqueuses
- Rôles endocrines : contient des cellules endocrines sécrétant la sérotonine , calcitonine, enképhaline

I. Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

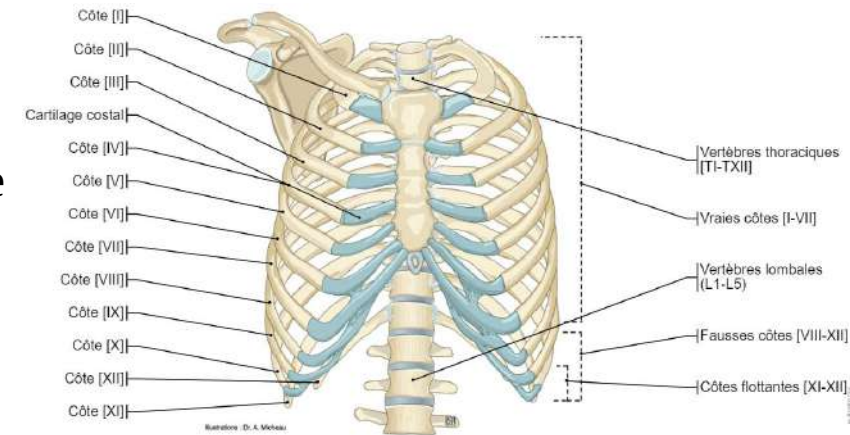
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Composants mécaniques et les voies respiratoires

Composants mécaniques : cage thoracique , muscles respiratoires : Protection et la flexibilité pour la ventilation

1. Composant mécanique : Cage thoracique

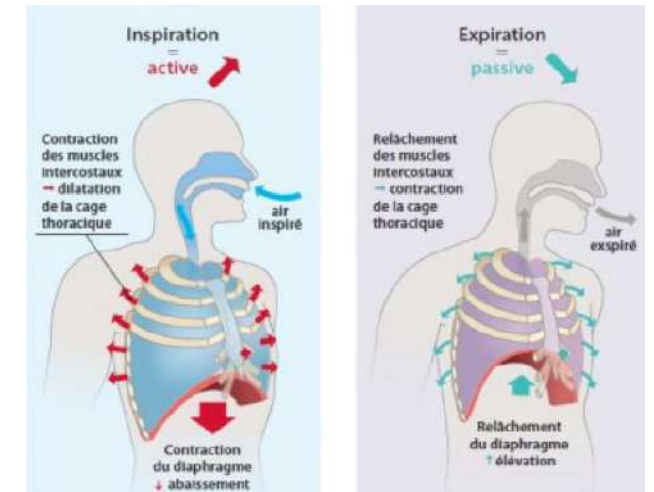
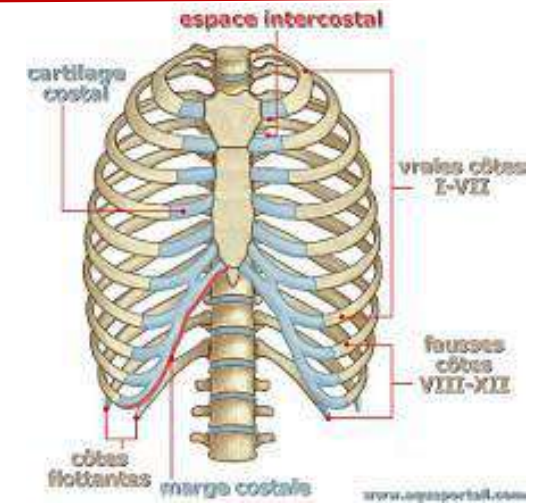
- Composante de la paroi thoracique qui renferme la majorité des structures du système respiratoire
- Cadre osseux : rigide pour protéger les organes et point d'ancrage aux muscles de la respiration.
- Malgré sa résistance : dynamique à cause de la flexibilité des côtes et de leurs articulations, ce qui permet la ventilation pulmonaire
- Cage thoracique est composée d'un squelette thoracique : 12 paires des côtes, le sternum, et 12 vertèbres thoraciques associés aux cartilages costaux et aux disques intervertébraux , orifices du thorax



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

1.1. côtes

- Structures légères et résilientes
- Forment la majeure partie de la cage thoracique
- S'étend de la paroi thoracique postérieure à la paroi thoracique antérieure
- Cartilages costaux flexibles confèrent à la paroi thoracique la flexibilité
- Rôle des côtes : variations de volume de la cage thoracique.
 - À l'inspiration, elles se déplacent vers le **haut et vers l'extérieur** → ↑volume thoracique et favorise l'entrée d'air dans les poumons.
 - À l'expiration calme, elles reviennent vers le **bas et vers l'intérieur**, : diminue le volume thoracique et favorise la sortie de l'air.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

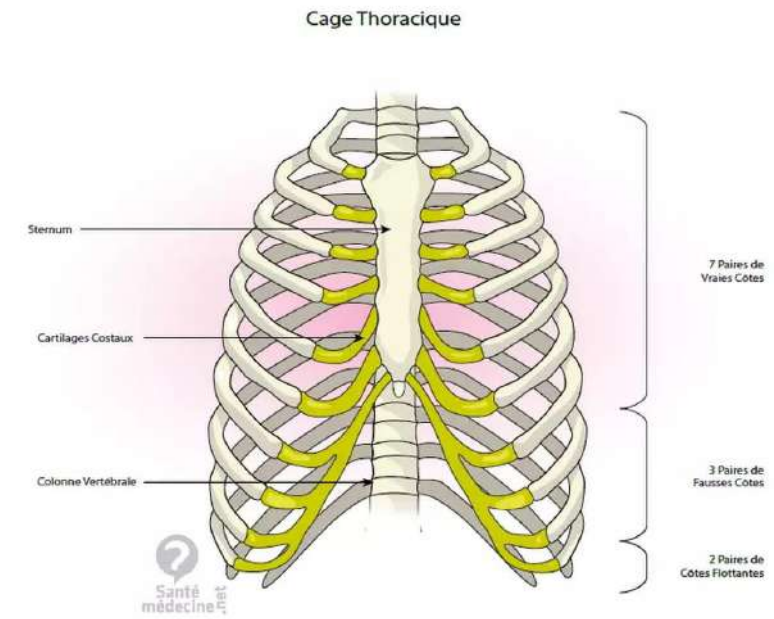
Les composants mécaniques et les voies respiratoires

1.2. Le sternum

➤ Portion centrale de la cage thoracique antérieure et se compose des trois parties :
manubrium, corps, processus xiphoïde

➤ Rôle du sternum dans la respiration

- Point d'attache aux côtes et aux mx respiratoires
- **A l'inspiration**, sous l'action des mx respiratoires, le sternum se déplace légèrement vers **le haut et vers l'avant**, augmentation du diamètre antéro-postérieur du thorax et du volume thoracique.
- **A l'expiration calme**, il revient vers sa **position de repos**, : diminution du volume de la cage thoracique



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Les composants mécaniques et les voies respiratoires

1.3. Les vertèbres thoraciques : T1 à T12

- Forme la partie de la cage thoracique postérieure
- Possèdent les facettes costales bilatérales sur les corps vertébraux, où s'insèrent les têtes des côtes
- Assurent l'articulation et la mobilité des côtes, permettant les mouvements de la cage thoracique pendant la respiration.

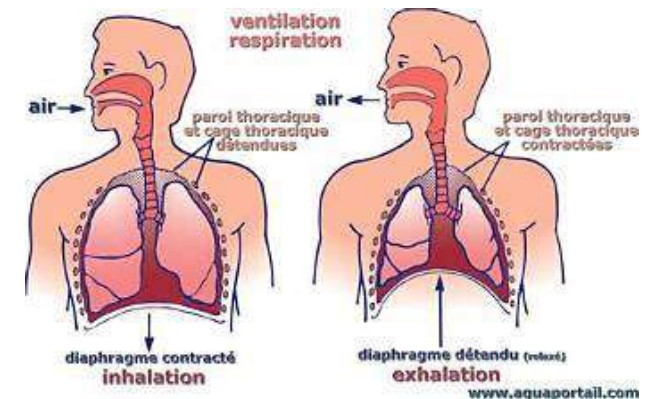
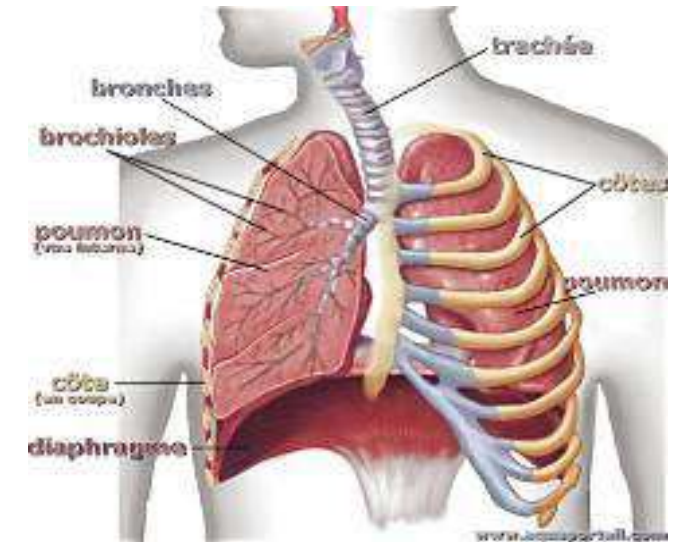


Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Les composants mécaniques et les voies respiratoires

1.4. Les orifices du thorax

- Orifice supérieur : passage de la trachée
- Orifice inférieur : beaucoup plus grand recouvert par le diaphragme
- À l'inspiration : lorsque le diaphragme se contracte, **il s'abaisse au niveau de l'orifice inférieur du thorax** : augmente le volume de la cage thoracique et permet l'entrée de l'air dans les poumons.
- À l'expiration : Lorsque le diaphragme se relâche, **il remonte au niveau de l'orifice inférieur du thorax**, : diminue le volume de la cage thoracique et favorise la sortie de l'air.

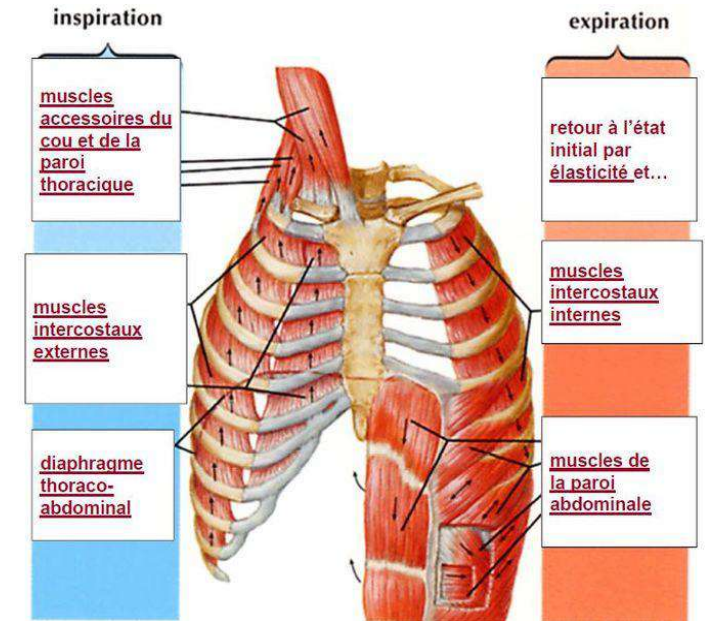


Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

2.1. Muscles thoraciques

- Impossible de respirer sans l'action des muscles
- Modifie le diamètre antéro postérieurs de la cage thoracique en élevant et en abaissant les côtes
- Les mx les plus importants sont :
 - ✓ Intercostaux externes : A l'**inspiration**. Leur contraction élève les côtes et augmente le volume de la cage thoracique.
 - ✓ Intercostaux internes : A l'**expiration forcée**. Leur contraction abaisse les côtes et diminue le volume thoracique



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

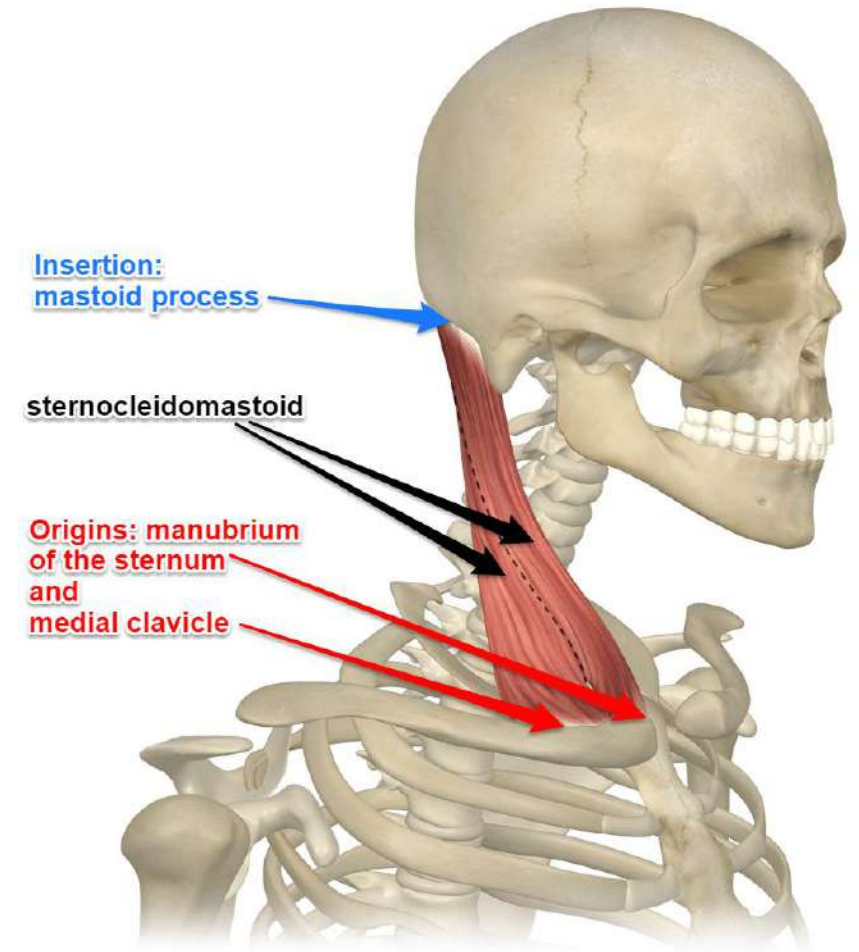
2.2. Muscles du cou

➤ Mx sternocléido mastoïdiens :

origine : manubrium sternal et extrémité sternale de chaque clavicule,

Insertion : processus mastoïde de l'os temporal et la ligne nuquale de l'os occipital

A l'inspiration : élever le sternum et la clavicule soulevant ainsi les côtes lors de l'inspiration, ils ont un rôle accessoires dans la ventilation



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

2.2. Muscles du cou

➤ Mx scalènes:

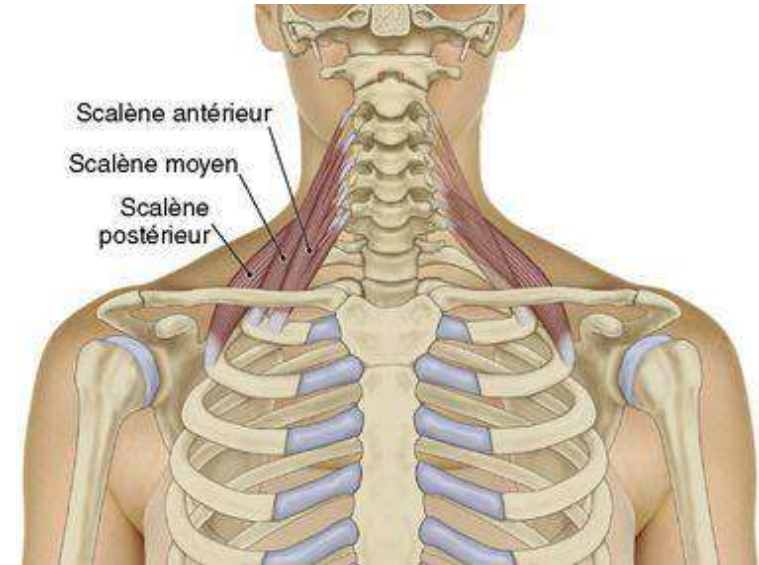
✓ Rôle dans l' **inspiration**

✓ 3: scalène antérieur, moyen et postérieur

✓ Scalène antérieur : part des tubercules antérieurs des processus transverses de l' axis et des vertèbres C3 et C7 jusqu' à la première cote , **qu' il aide à soulever**

✓ Scalène moyen: le plus important par des processus transverse de l' axis et des vertèbres C3 à C7 jusqu' à la première cote, qu' il aide **également à soulever**

✓ Scalène postérieur : passe des tubercules postérieurs des processus transverses des vertèbres C4 à C6 jusqu' à la deuxième cote , ce qui contribue à l' **élévation de cette cote**



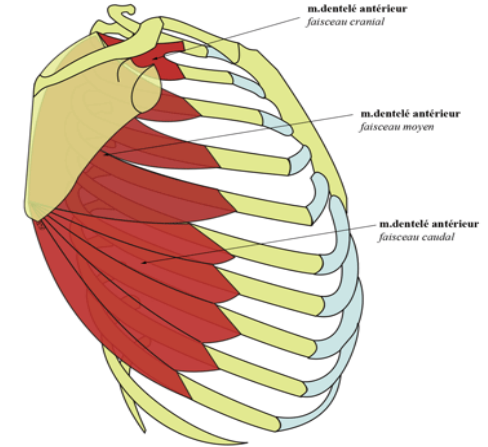
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

2.3. Muscles de la ceinture pectorale

➤ Muscles dentelés antérieur :

- ✓ Recouvre la **paroi latérale du thorax** et participe à la constitution de la **paroi médiale de l'aisselle**.
- ✓ Origine sur les **8 à 9 premières côtes**
- ✓ Insertion : **bord médial de la scapula**.
- ✓ Lorsque la **scapula est fixée** : lorsque le patient prend appui sur ses membres supérieurs, il peut participer à l'**inspiration forcée** en aidant à élever les côtes.
- ✓ Il peut donc être recruté lors d'une **respiration laborieuse** : **position de trépied** ou lorsque le patient **saisit un support**.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

2.3. Muscles de la ceinture pectorale

➤ Muscle grand pectoral

Origine :

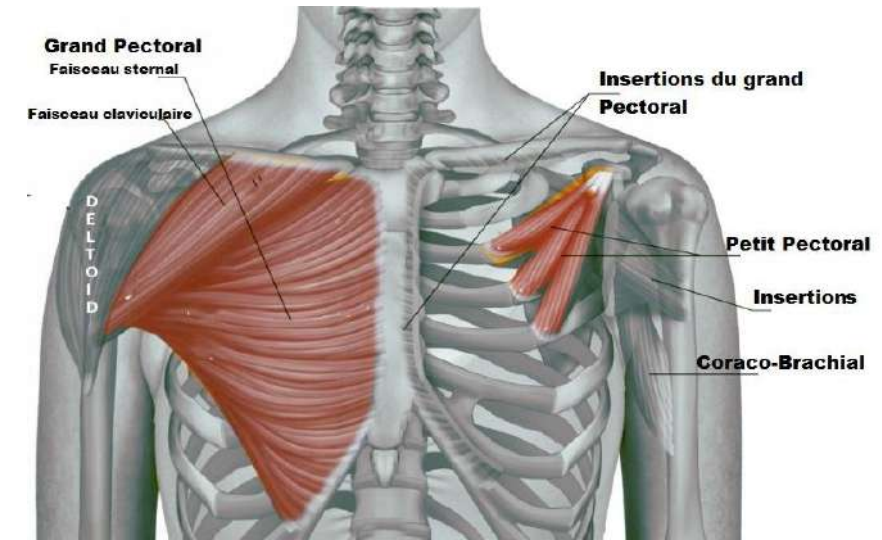
- ✓ moitié médiale de la clavicule ;
- ✓ sternum ;
- ✓ cartilages costaux supérieurs, principalement des côtes 1 à 6.

Insertion :

- ✓ humérus.

Rôle respiratoire :

- ✓ lorsque les **bras sont fixés sur un support**, le grand pectoral peut prendre appui sur l'humérus ;
- ✓ il contribue alors à **élever la cage thoracique** ;
- ✓ il participe ainsi à l'**inspiration forcée**



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

2.3. Muscles de la ceinture pectorale

➤ Muscle petit pectoral

Origine :

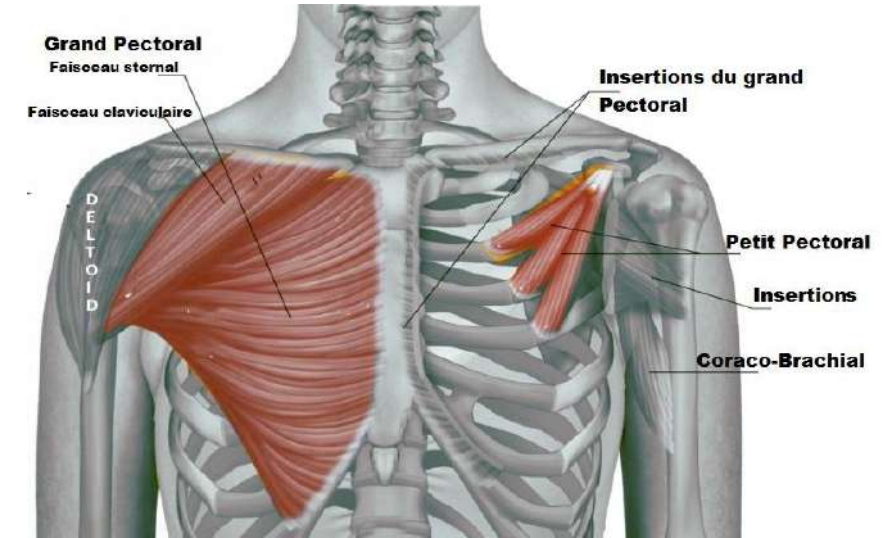
- ✓ face antérieure des **3e, 4e et 5e côtes**, près de leurs cartilages costaux.

Insertion :

- ✓ **processus coracoïde** de la scapula.

Rôle respiratoire :

- ✓ lorsque la **scapula est fixée**, le petit pectoral peut agir sur ses insertions costales ;
- ✓ il contribue à **élever les côtes 3 à 5** ;
- ✓ il participe donc à l'**inspiration forcée**.



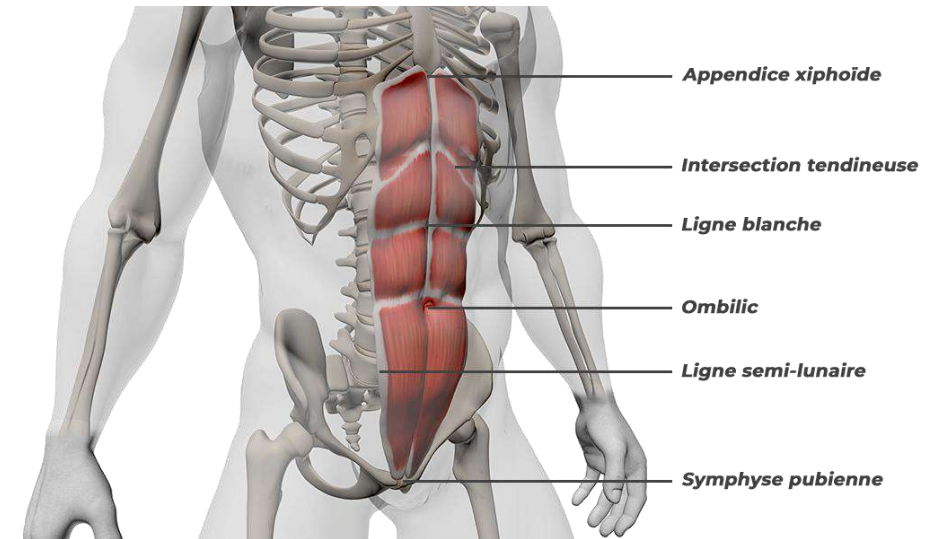
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

2.4. Muscles abdominaux

Mx grand droit de l'abdomen :

- ✓ **Origine** : symphyse pubienne et de la crête pubienne
- ✓ **Insertion** : processus xiphoïde et les cartilages costaux des cotes 5 à 7. ce mx pair est séparé par la ligne blanche
- ✓ **Expiration forcée** : sa contraction abaisse les côtes, comprime le contenu abdominal et repousse le diaphragme vers le haut, ce qui diminue le volume thoracique et facilite l'expulsion de l'air



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

2.4. Muscles abdominaux

Oblique externe

- ✓ **Origine** : faces externes des côtes 5 à 12.
- ✓ **Insertion** : ligne blanche, crête iliaque et pubis.
- ✓ Rôle respiratoire : comprime l'abdomen et participe à l'**expiration forcée** en repoussant le diaphragme vers le haut.

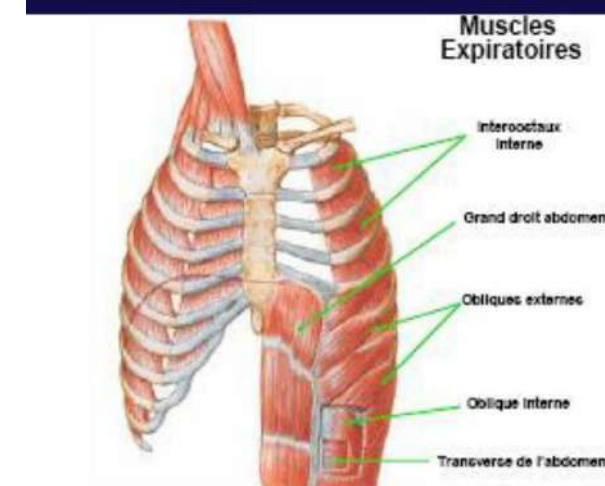
Transverse de l'abdomen

- ✓ **Origine** : faces internes des cartilages costaux inférieurs, fascia thoraco-lombaire, crête iliaque.
- ✓ **Insertion** : ligne blanche et pubis.
- ✓ Rôle respiratoire : c'est un **puissant compresseur abdominal** ; il augmente la pression abdominale et pousse le diaphragme vers le haut pendant l'**expiration forcée**.

Oblique interne

- ✓ **Origine** : fascia thoraco-lombaire, crête iliaque et ligament inguinal.
- ✓ **Insertion** : côtes 10 à 12, ligne blanche et pubis.
- ✓ Rôle respiratoire : comprime le contenu abdominal et participe à l'**expiration forcée**

Muscles expiratoires



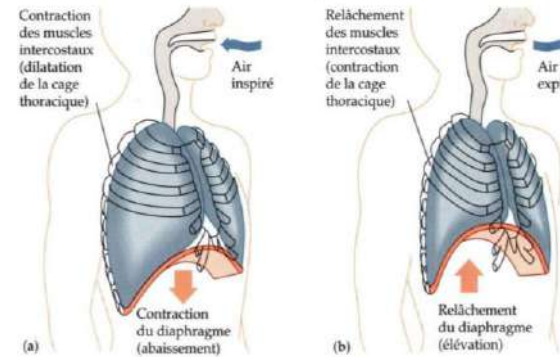
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Muscles respiratoires : les principaux et les accessoires

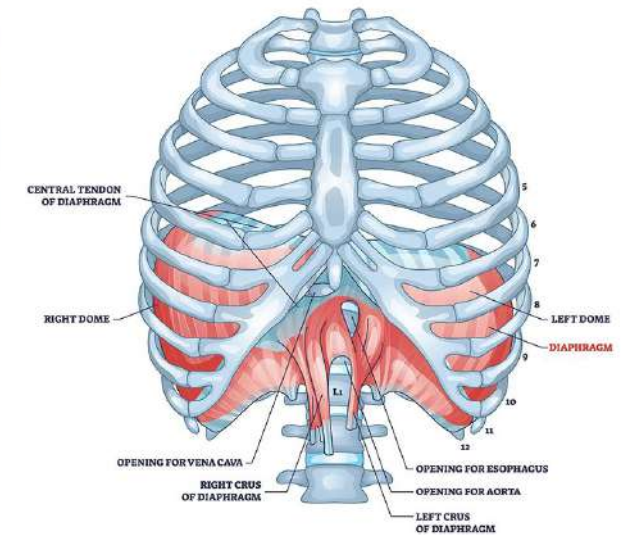
2.4. Muscles abdominaux

Le diaphragme:

- ✓ Origine sur sa périphérie fixe et circulaire, qui s'étend autour du bord inférieur de la cage thoracique et vertèbres lombaires supérieures
- ✓ allonge et raccourcit la cavité en se déplaçant de haut en bas; cette action permet d'expandre et de contracter les poumons
- ✓ Forme de dome, sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale
- ✓ Principal mx de l'inspiration
- ✓ Sa contraction : mouvement de descente des coupes de la partie centrale augmentant le volume de la cavité thoracique
- ✓ Mx **endurant**



Diaphragm



Le diaphragme est un muscle endurant

2 type de fibres musculaires

Fibres blanches
ou rapides

Pauvres en mitochondries

Métabolisme anaérobie
Contraction rapide
force

Fibres rouges
ou lentes

Riches en mitochondries

Métabolisme aérobie
Contraction lente
endurance

Composition déterminée génétiquement

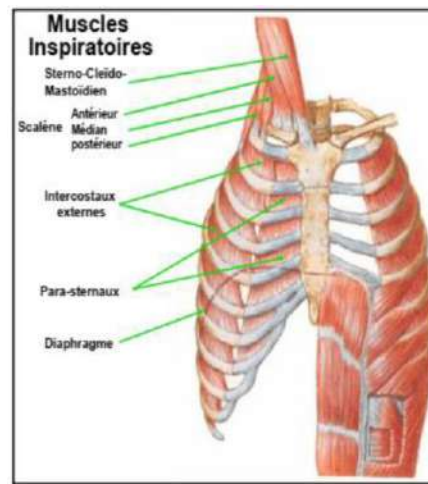
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Muscles inspiratoires principaux

- ✓ **Diaphragme** : 85 % du travail
 - principal muscle de l'inspiration
 - sa contraction l'abaisse
 - augmente le **diamètre vertical** du thorax
- ✓ **Intercostaux externes**
 - élèvent les côtes
 - augmentent les **diamètres antéro-postérieur et transversal** du thorax

Muscles inspiratoires accessoires

- ✓ **Scalènes**
 - élèvent les **1re et 2e côtes**
- ✓ **Sterno-cléido-mastoïdien**
 - élève le **sternum** et la **clavicule**
- ✓ **Petit pectoral**
 - si le membre supérieur est fixé, aide à élever les côtes
- ✓ **Grand pectoral**
 - si le membre supérieur est fixé, participe à l'expansion thoracique
- ✓ **Dentelé antérieur**
 - si la scapula est fixée, peut aider à élever les côtes



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

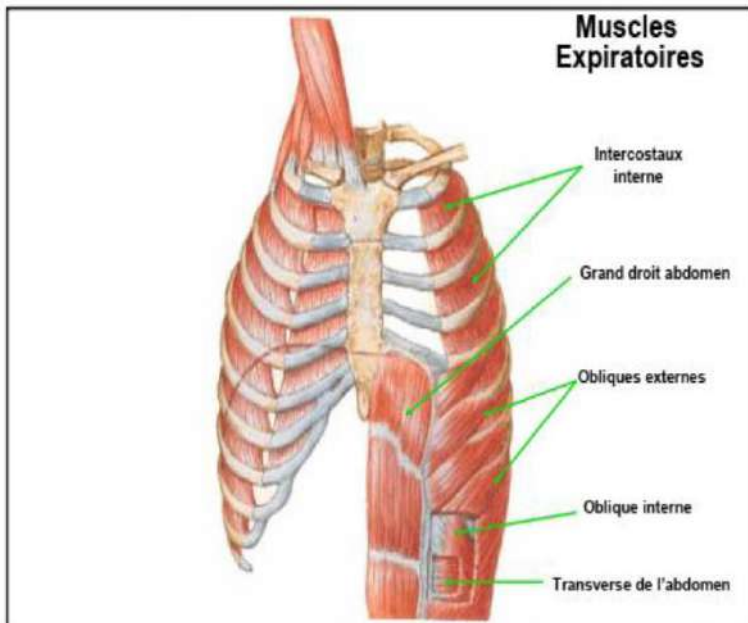
Expiration calme

Pas de muscle expiratoire principal spécifique

Expiration surtout **passive**

due au **recul élastique** des poumons et de la cage thoracique

b- Muscles expiratoires



Expiration forcée / active

Intercostaux internes

abaissent les côtes

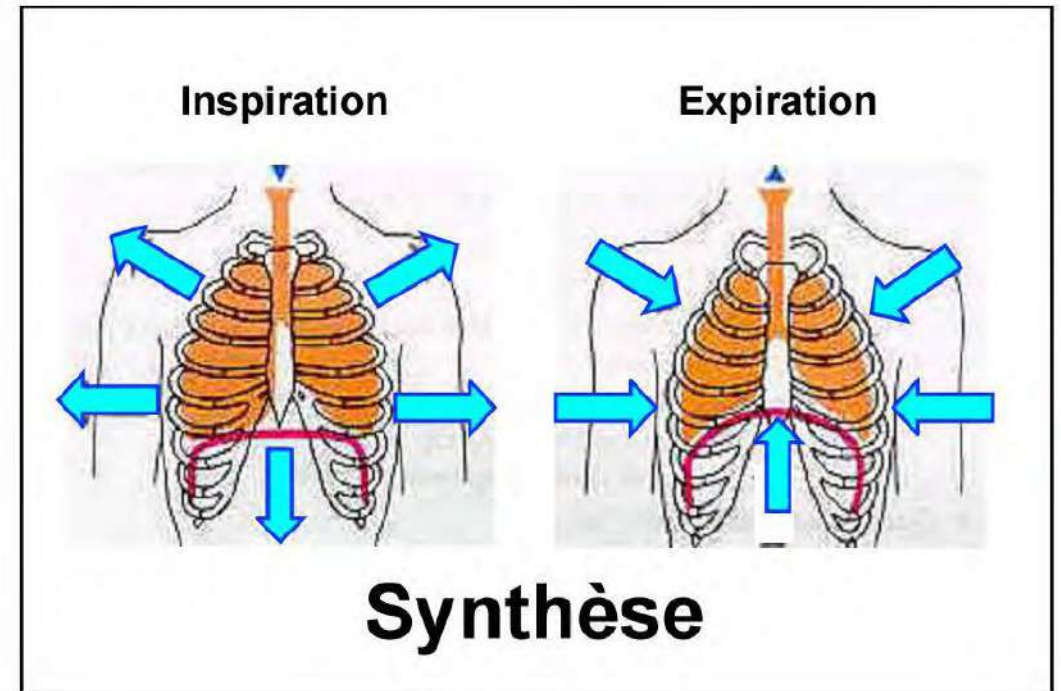
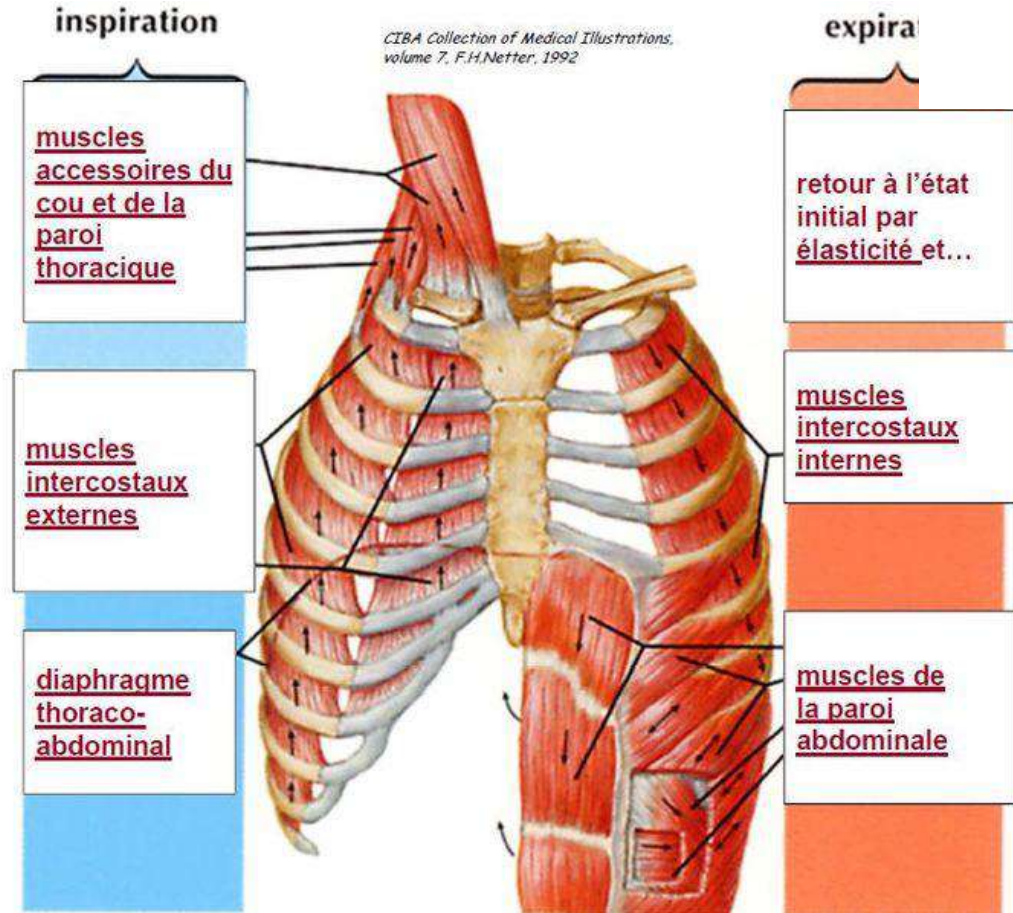
diminuent le volume thoracique

Muscles abdominaux

- grand droit de l'abdomen
- oblique externe
- oblique interne
- transverse de l'abdomen

compriment l'abdomen, repoussent le diaphragme vers le haut et facilitent la sortie de l'air

Anatomie fonctionnelle du système respiratoire



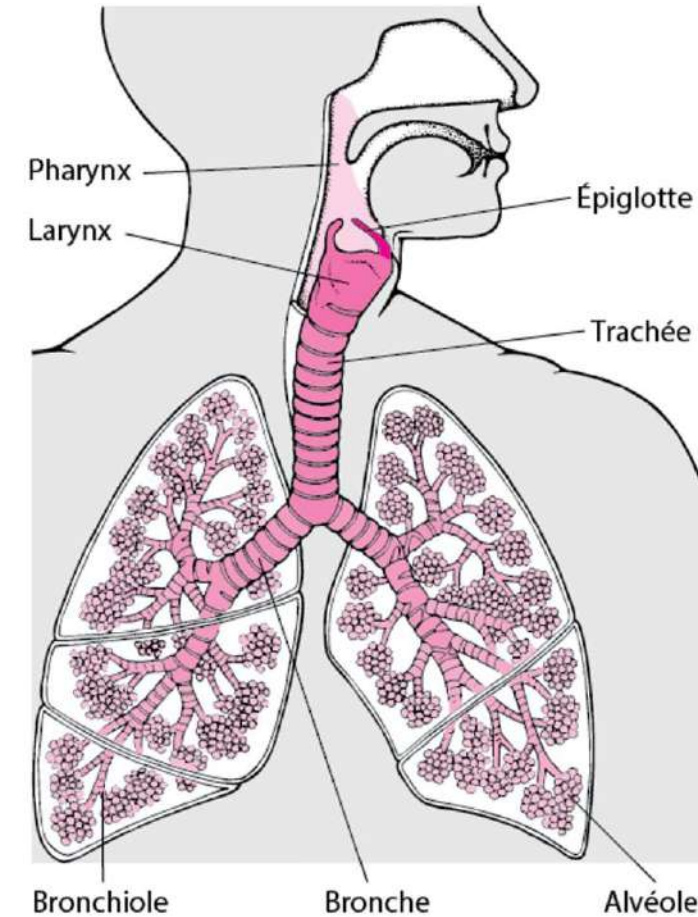
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Les voies respiratoires : il y a deux zones fonctionnelles : voie de conduction et voie de respiration

1. Voies de conduction :

- Représentée par les voies aériennes sont constituées d'une série de tubes ramifiés qui deviennent de plus en plus fins, courts et nombreux au fur et à mesure que l'on pénètre en profondeur des poumons:
- Le volume de gaz contenu dans cette zone = espace mort
- Assure la conduction de l'air inspiré vers la zone respiratoire, le réchauffement, l'humidification, la filtration et la purification de l'air inspiré
- Composée des voies aériennes > et <

Les voies aériennes supérieures sont composées de haut en bas de : nez, bouche, Pharynx, larynx



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

1. Voies de conduction (voies aériennes >)

➤ Cavité nasale

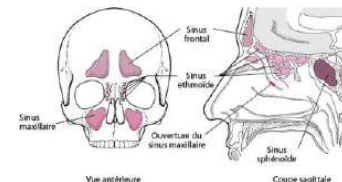
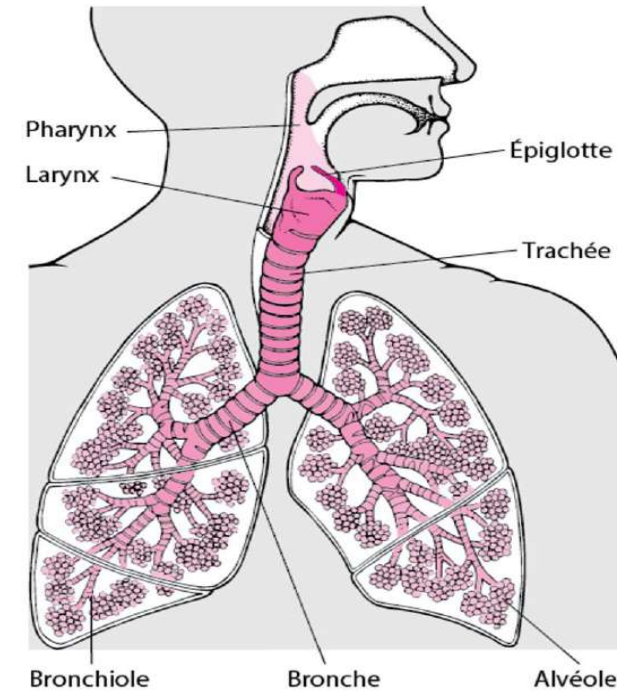
- ✓ Réchauffe et humidifie l'air inspiré grâce à sa riche vascularisation.
- ✓ Filtre l'air grâce au mucus et aux poils.
- ✓ Participe à la **clairance mucociliaire** : le mucus piège les particules et les cils les déplacent vers le pharynx.

➤ Sinus paranasaux

- ✓ Produisent du mucus qui contribue à la protection des voies respiratoires.
- ✓ Participent au réchauffement et à l'humidification de l'air.

➤ Nasopharynx

- ✓ Assure le passage de l'air entre les fosses nasales et le larynx.
- ✓ Participe à l'humidification et à la défense contre les microorganismes.
- ✓ Son épithélium cilié contribue à la **clairance mucociliaire**.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

1. Voies de conduction (voies aériennes >)

➤ Cavité nasale

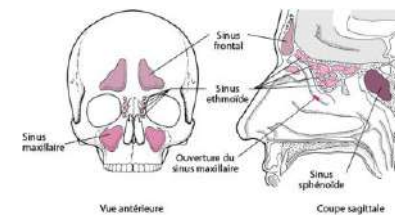
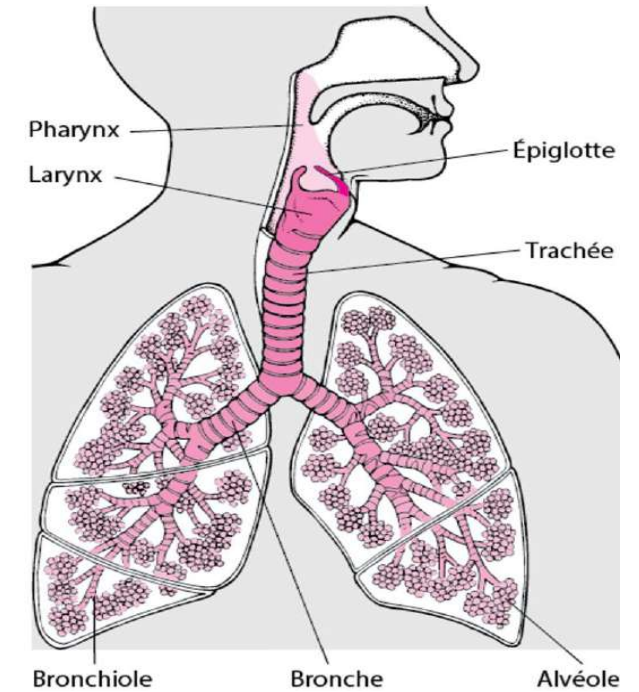
- ✓ Réchauffe et humidifie l'air inspiré grâce à sa riche vascularisation.
- ✓ Filtre l'air grâce au mucus et aux poils.
- ✓ Participe à la **clairance mucociliaire** : le mucus piège les particules et les cils les déplacent vers le pharynx.

➤ Sinus paranasaux

- ✓ Produisent du mucus qui contribue à la protection des voies respiratoires.
- ✓ Participent au réchauffement et à l'humidification de l'air.

➤ Nasopharynx

- ✓ Assure le passage de l'air entre les fosses nasales et le larynx.
- ✓ Participe à l'humidification et à la défense contre les microorganismes.
- ✓ Son épithélium cilié contribue à la **clairance mucociliaire**.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

1. Voies de conduction (voies aériennes >)

➤ Cavité buccale

- ✓ Voie secondaire de passage de l'air, surtout lorsque la respiration nasale est insuffisante.
- ✓ Réchauffe, humidifie et filtre l'air moins efficacement que le nez.
- ✓ Son épithélium pavimenteux stratifié résiste aux frottements.

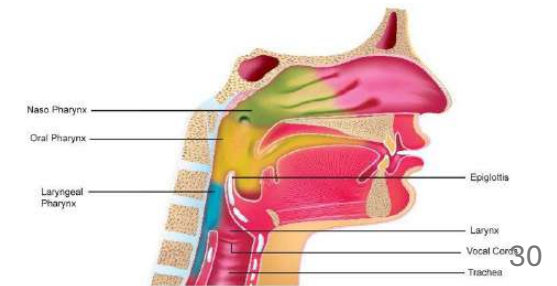
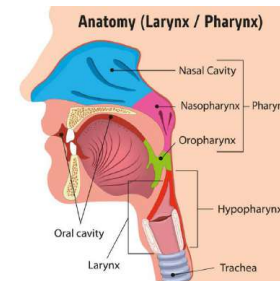
➤ Oropharynx

- ✓ Zone commune aux voies respiratoires et digestives.
- ✓ Assure le passage de l'air vers le larynx.
- ✓ Son épithélium pavimenteux stratifié résiste au passage des aliments.

Ligament cricothyroïdien : relie le cartilage thyroïde au cartilage cricoïde, stabilise le larynx et constitue un site d'accès d'urgence aux voies aériennes.



Epithélium pavimenteux stratifié



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

1. Voies de conduction (voies aériennes >)

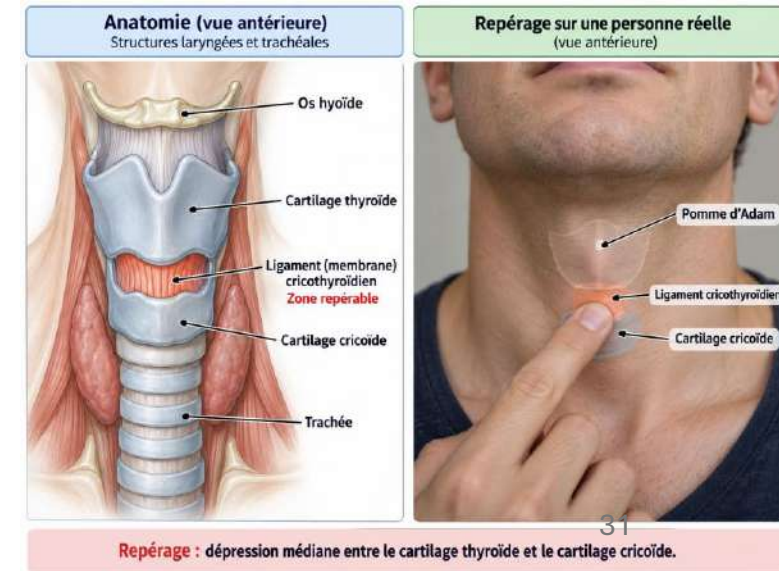
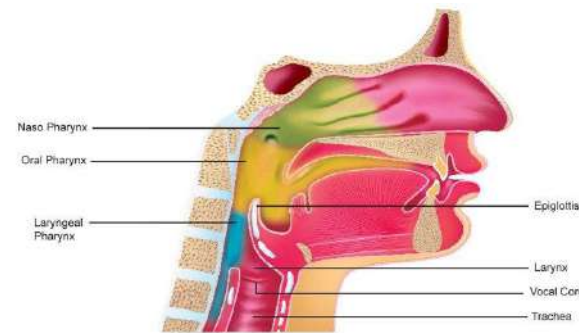
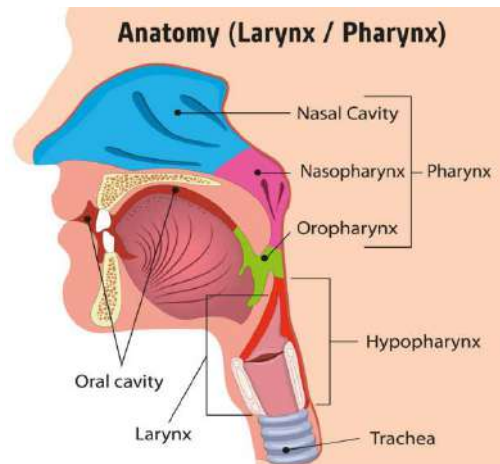
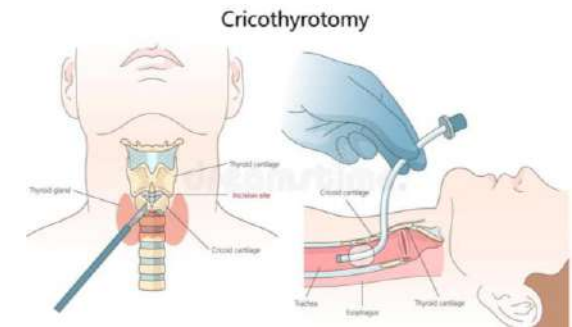
➤ Larynx

- ✓ Assure le passage de l'air vers la trachée.
- ✓ Protège les voies respiratoires inférieures.
- ✓ Participe également à la **phonation** grâce aux cordes vocales.

➤ Épiglote

- ✓ Participe à la fermeture de l'entrée du larynx pendant la déglutition.
- ✓ Empêche ainsi les aliments et les liquides de pénétrer dans les voies respiratoires.

- Ligament cricothyroïdien : relie le cartilage thyroïde au cartilage cricoïde, stabilise le larynx et constitue un site d'accès d'urgence aux voies aériennes.(cricothyrotomie)



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

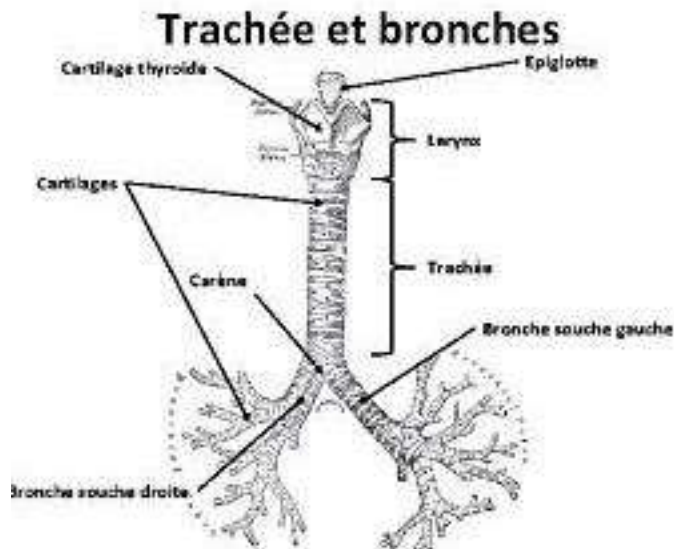
1. Voies de conduction (voies aériennes <)

➤ Trachée

- ✓ Se divise en **bronche souche droite** et **bronche souche gauche**.
- ✓ Paroi riche en **cartilage** : maintient la lumière ouverte.
- ✓ Épithélium respiratoire cilié avec mucus.
- ✓ **Fonctions** :
 - conduit l'air vers les bronches ;
 - participe au réchauffement, à l'humidification et à la filtration de l'air ;
 - participe à la **clairance mucociliaire**.

➤ Bronches

- ✓ Bronches souches → **bronches lobaires** → **bronches segmentaires**.
- ✓ Cartilage toujours présent mais **de moins en moins abondant**.
- ✓ Proportion relative de **muscle lisse qui augmente**.
- ✓ Épithélium cilié.
- ✓ **Fonctions** :
 - distribuent l'air dans les différents lobes et segments pulmonaires ;
 - poursuivent la filtration et la clairance mucociliaire ;
 - participent à la régulation du débit aérien.

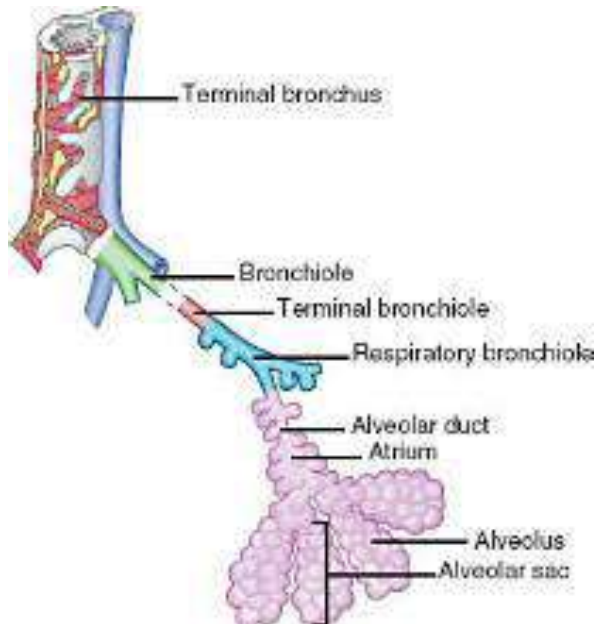


Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

1. Voies de conduction (voies aériennes <)

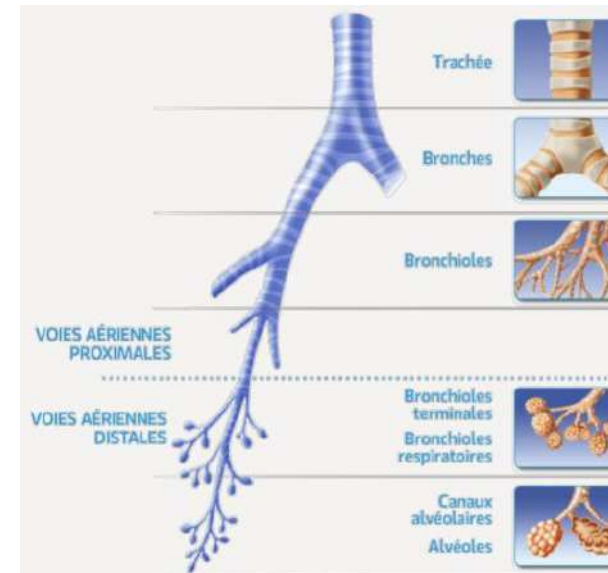
➤ Bronchioles

- ✓ Petites voies aériennes issues des ramifications bronchiques.
- ✓ **Absence de cartilage.**
- ✓ Paroi riche en **muscle lisse.**
- ✓ **Fonctions :**
 - conduisent l'air vers les régions distales du poumon ;
 - modifient leur calibre grâce au muscle lisse ;
 - régulent donc fortement la **résistance au passage de l'air.**



➤ Bronchioles terminales

- ✓ Dernières voies de la **zone de conduction.**
- ✓ Pas de cartilage.
- ✓ Pas d'alvéoles.
- ✓ Présence de muscle lisse.
- ✓ **Fonctions :**
 - conduisent l'air jusqu'à la zone respiratoire ;
 - marquent la **fin de la zone de conduction** ;
 - ne participent pas directement aux échanges gazeux.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

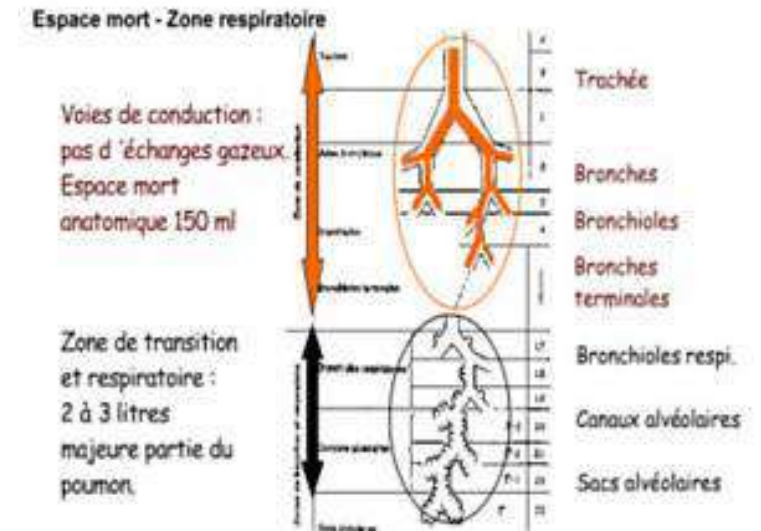
1. Voies de conduction (Fonction de la zone de conduction)

- transportent l'air inspiré jusqu'à la zone respiratoire ;
- réchauffent et humidifient l'air ;
- filtrent les particules inhalées ;
- participent à la **clairance mucociliaire** ;
- régulent le débit aérien grâce au muscle lisse bronchique.
- Pas d'alvéoles fonctionnelles et **pas d'échanges gazeux**.

Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

1. Voies de conduction (Espace mort anatomique)

- Les voies de conduction ne possèdent pas d'alvéoles permettant les échanges gazeux.
- Constituent donc l'**espace mort anatomique**.
 - nez et pharynx ;
 - larynx ;
 - trachée ;
 - bronches ;
 - bronchioles jusqu'aux bronchioles terminales.
- L'air est ventilé mais **ne participe pas directement aux échanges O_2 – CO_2** .
- Volume est d'environ **150 mL chez un adulte moyen**, mais varie notamment avec la taille.



Attention

Espace mort anatomique $\neq$ espace mort alvéolaire

Espace mort alvéolaire : alvéoles ventilées mais insuffisamment ou non perfusées.

Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Transition entre la zone de conduction et zone respiratoire

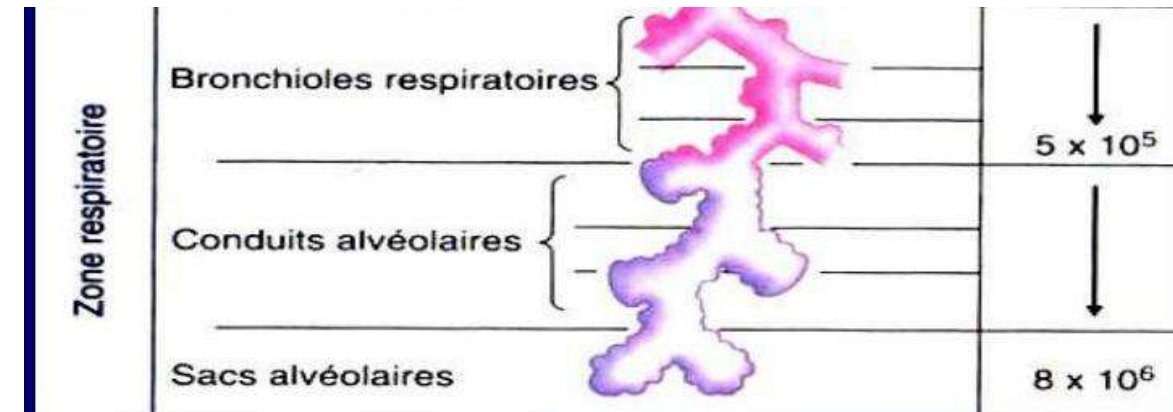
- **Bronchiole terminale**
 - ✓ dernière structure de la **zone de conduction** ;
 - ✓ ne porte pas d'alvéoles ;
 - ✓ ne participe pas directement aux échanges gazeux.
- ↓
- **Bronchiole respiratoire**
 - ✓ première structure de la **zone respiratoire** ;
 - ✓ quelques alvéoles apparaissent sur sa paroi ;
 - ✓ début des échanges gazeux.
- ↓
- **Conduits alvéolaires**
 - ✓ parois largement bordées d'alvéoles ;
 - ✓ les échanges gazeux deviennent de plus en plus importants.
- ↓
- **Sacs alvéolaires et alvéoles**
 - ✓ principaux sites des échanges entre l'air et le sang.

Zone de conduction	Trachée		0
			1
	Grosses bronches		2
	Bronchioles		3
			4
	Bronchioles terminales		
Zone de transition			16
	Bronchioles respiratoires		17
			18
			19
Zone respiratoire	Conduits alvéolaires		20
			21
			22
	Sacs alvéolaires		23

Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Zone respiratoire

- Partie de l'appareil respiratoire où commencent et s'effectuent les échanges gazeux entre l'air et le sang.
- Débute au niveau des bronchioles respiratoires.
- Elle comprend :
 - ✓ les bronchioles respiratoires ;
 - ✓ les conduits alvéolaires ;
 - ✓ les sacs alvéolaires ;
 - ✓ les alvéoles pulmonaires.
- Fonction
 - ✓ Passage de l'O₂ de l'air alvéolaire vers le sang.
 - ✓ Passage du CO₂ du sang vers l'air alvéolaire.



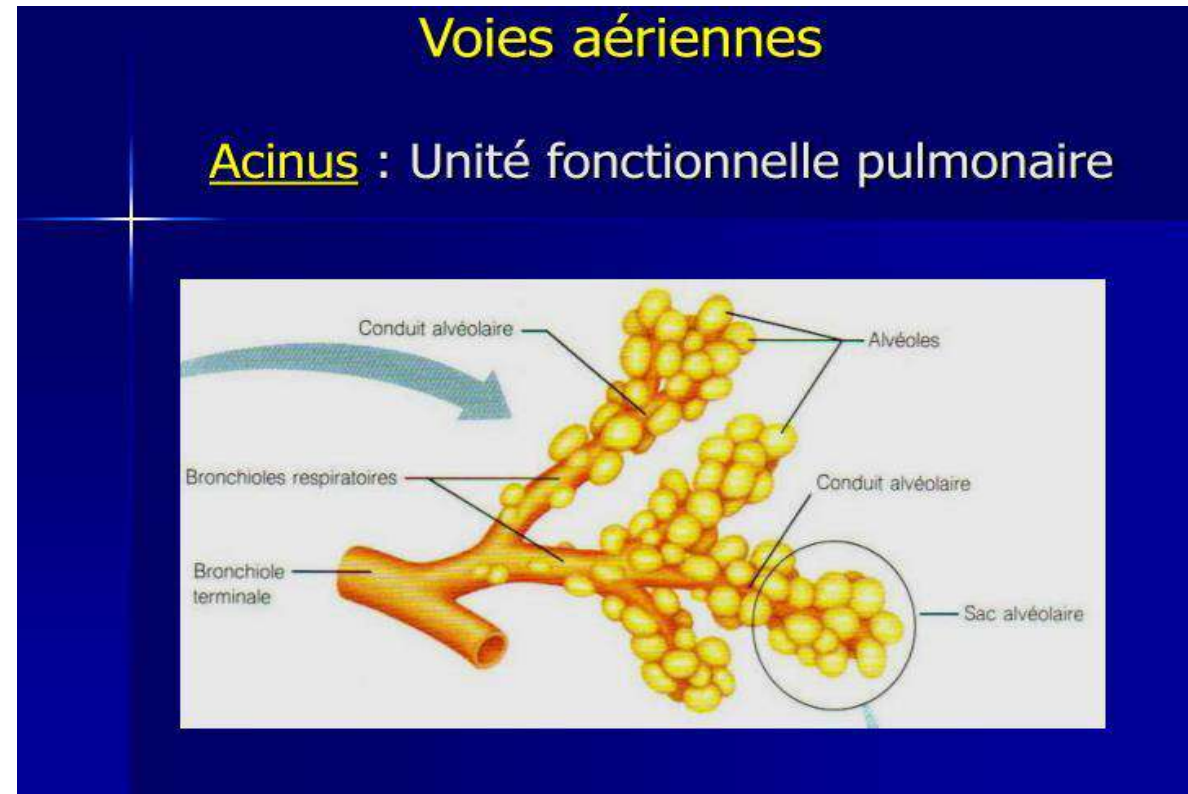
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Zone respiratoire (acinus pulmonaire)

➤ **Acinus** : unité fonctionnelle des échanges gazeux du poumon

➤ Il comprend :

- ✓ bronchioles respiratoires ;
- ✓ conduits alvéolaires ;
- ✓ sacs alvéolaires ;
- ✓ alvéoles.

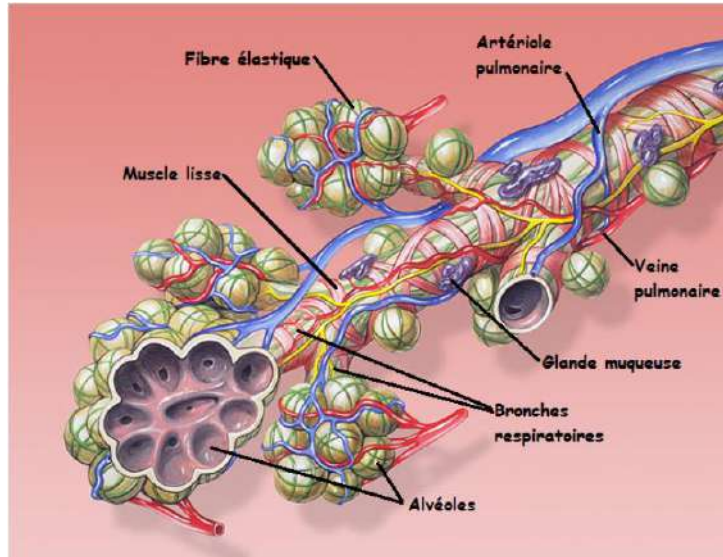


➤ **Zone respiratoire** est constituée d'un très grand nombre d'acini

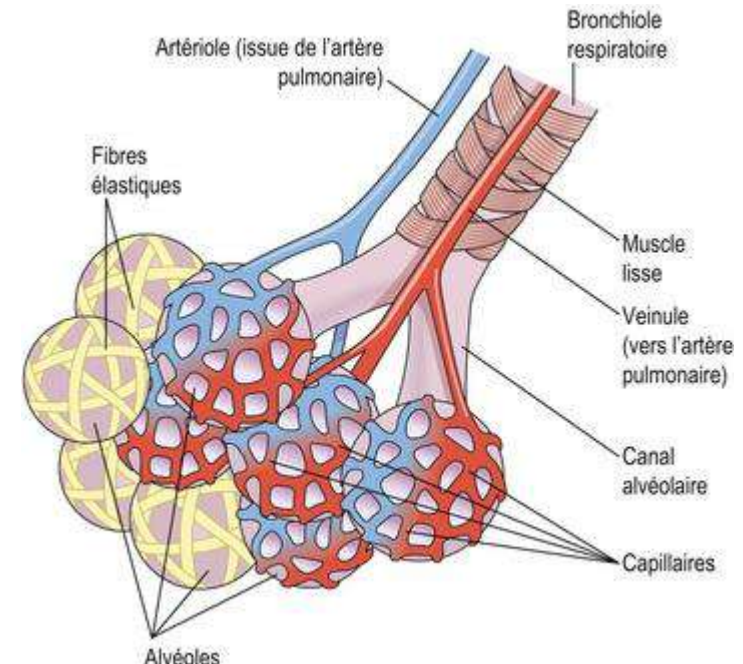
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Zone respiratoire (acinus pulmonaire)

- **Bronchioles respiratoires**
 - ✓ Font suite aux **bronchioles terminales**.
 - ✓ Leur paroi est interrompue par quelques **alvéoles**.
 - ✓ Contiennent encore du **muscle lisse** dans leur paroi.
 - ✓ Epithélium devient progressivement plus simple et plus bas.
- **Rôle :**
 - ✓ conduisent encore l'air ;
 - ✓ constituent le **début de la zone respiratoire** ;
 - ✓ commencent à participer aux **échanges gazeux** grâce aux alvéoles présentes dans leur paroi.



- **Conduits alvéolaires**
 - ✓ Font suite aux bronchioles respiratoires.
 - ✓ Parois entièrement constituées d'**ouvertures alvéolaires**.
 - ✓ Il persiste de petites quantités de tissu élastique et de muscle lisse autour des ouvertures.
- **Rôle :**
 - ✓ conduisent l'air vers les sacs alvéolaires ;
 - ✓ offrent une grande surface pour les **échanges gazeux**.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Zone respiratoire (acinus pulmonaire)

➤ Sacs alvéolaires

- ✓ Situés à l'extrémité des conduits alvéolaires.
- ✓ Formés par plusieurs **alvéoles regroupées autour d'un espace commun.**

➤ Rôle :

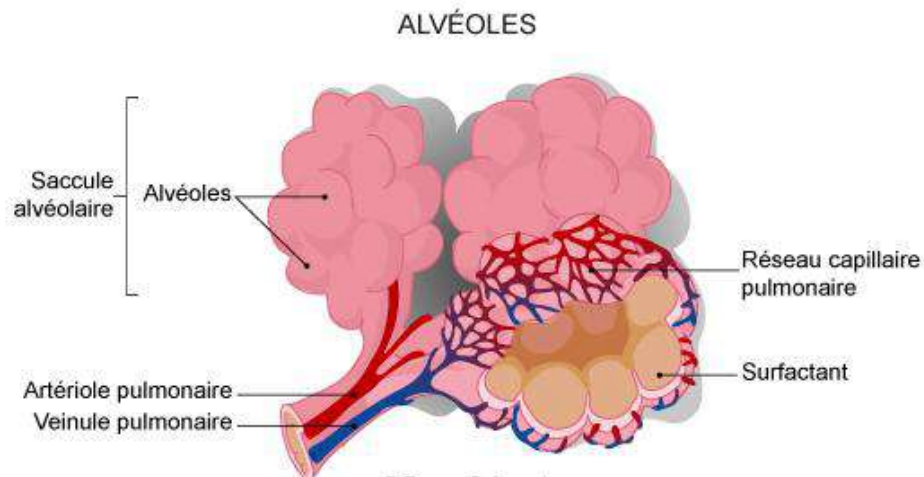
- ✓ distribuent l'air vers les alvéoles ;
- ✓ participent à la grande surface d'échange du poumon.

➤ Alvéoles pulmonaires

- ✓ Petites cavités aériennes à paroi extrêmement fine.
- ✓ Entourées d'un réseau dense de capillaires sanguins.
- ✓ Leur paroi contient principalement :
 - pneumocytes de type I ;
 - pneumocytes de type II ;
 - macrophages alvéolaires présents dans leur lumière.

➤ Rôle :

- ✓ constituent le principal site des échanges gazeux ;
- ✓ permettent le passage de l'O₂ de l'alvéole vers le sang ;
- ✓ permettent le passage du CO₂ du sang vers l'alvéole.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Zone respiratoire (Cellules de la paroi alvéolaire)

➤ Pneumocytes de type I

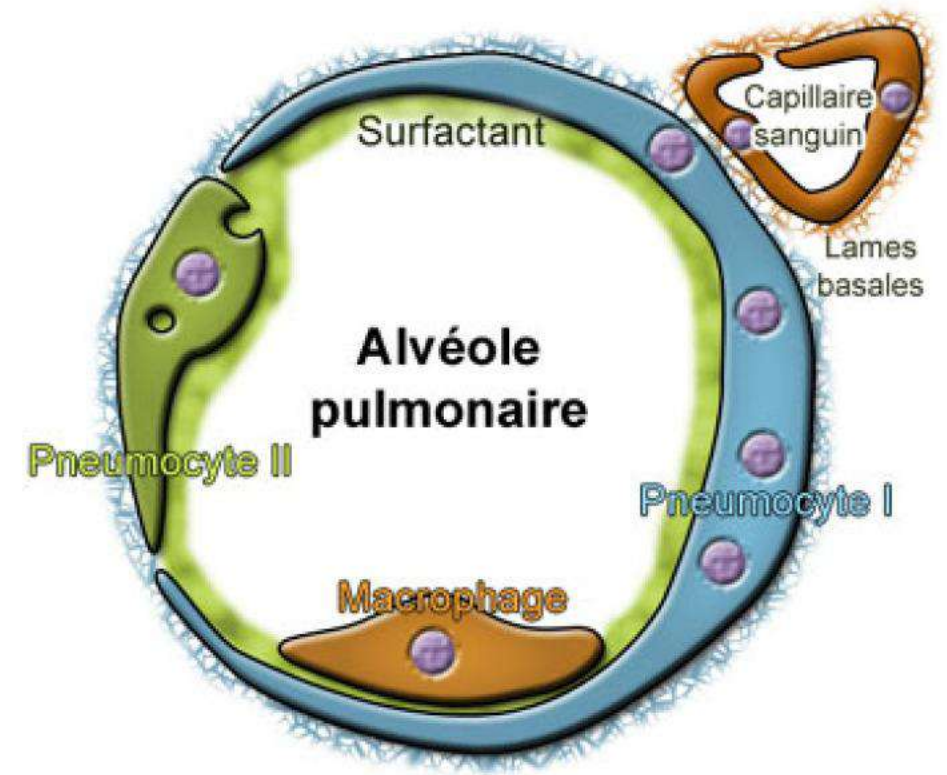
- ✓ Cellules très plates et très fines.
- ✓ Recouvrent la majorité de la surface alvéolaire.
- ✓ Permettent la diffusion rapide de l'O₂ et du CO₂.

➤ Pneumocytes de type II

- ✓ Cellules plus volumineuses.
- ✓ Produisent le surfactant pulmonaire.
- ✓ Participent au renouvellement de l'épithélium alvéolaire.

➤ Macrophages alvéolaires

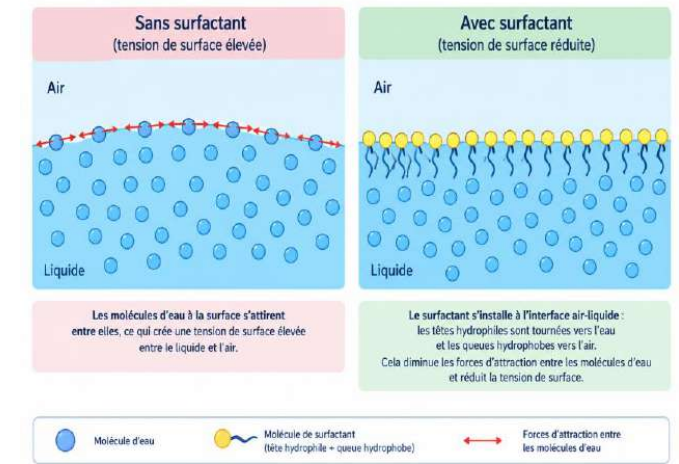
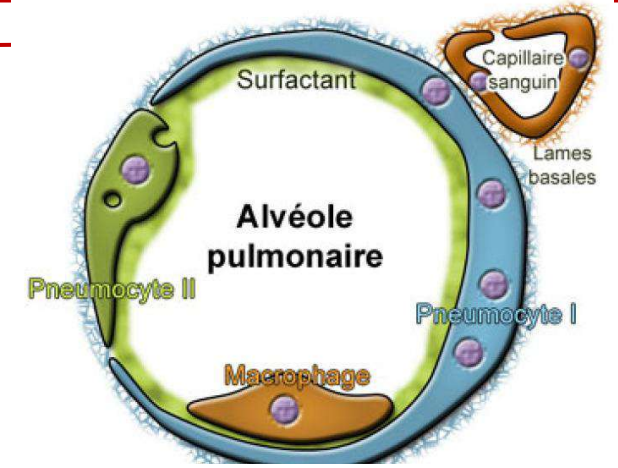
- ✓ Cellules de défense.
- ✓ Phagocytent les poussières, particules et microorganismes ayant atteint les alvéoles.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

2. Zone respiratoire (Le surfactant pulmonaire)

- Substance produite par les **pneumocytes de type II**.
- Tapisse la face interne des alvéoles.
- Diminue la **tension superficielle** du liquide alvéolaire.
- Facilite l'ouverture des alvéoles lors de l'inspiration.
- Empêche leur affaissement excessif à l'expiration.
- Diminue le travail nécessaire pour gonfler les poumons.



- sa production commence approximativement vers **20–24 semaines d'aménorrhée** ;
- elle augmente nettement à partir de **28–32 SA** ;
- elle devient généralement suffisante vers **34–35 SA**

Surfactant : rôles

Surfactant

Pneumocyte de type II:

- 60% des cellules épithéliales alvéolaires
- 5% de la surface épithéliale
- synthèse et sécrétion du surfactant

Corps lamellaires

1. Diminution de la tension de surface:

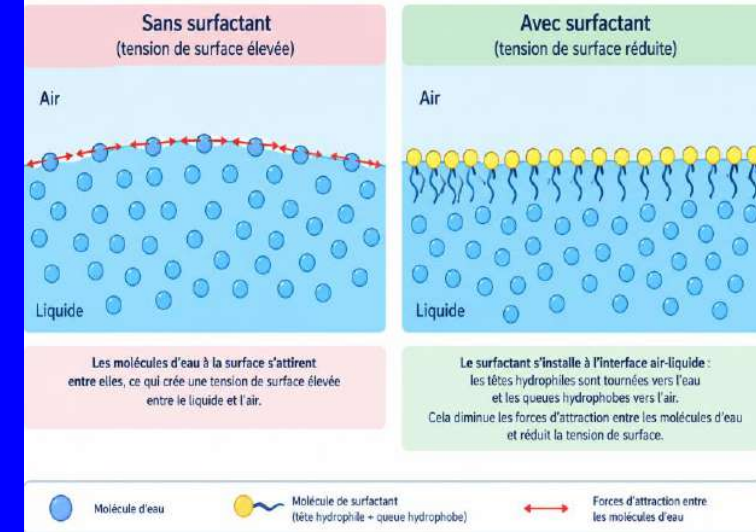
- économie d'énergie pour la respiration
- absence de surfactant: détresse respiratoire

2. Permet la coexistence d'alvéoles de taille différente:

- stabilisation alvéolaire (loi de Laplace)
- surfactant adapte la tension de surface à la taille alvéolaire

3. Permet au poumon de rester "sec":

- diminue la pression autour des vaisseaux
- évite l'issue de plasma (œdème)



- sa production commence approximativement vers **20–24 semaines d'aménorrhée** ;
- elle augmente nettement à partir de **28–32 SA** ;
- elle devient généralement suffisante vers **34–35 SA**

Maladies des membranes hyalines

Déficit en surfactant



Tension superficielle alvéolaire ↑



Collapsus des alvéoles en fin d'expiration



Travail respiratoire ↑

**SCORE DE SILVERMAN EN CAS DE DETRESSE RESPIRATOIRE
CHEZ LE NOUVEAU-NE**

Signe et Cotation		0	1	2
INSPIRATION	Tirage intercostal	Absent	Modéré (intercostal)	Intense et sus-sternale
	Entonnoir xiphoïdien	Absent	Modéré	Intense
	Balancement thoraco abdominal	Respiration synchrone	Thorax immobile	Respiration paradoxale
	Battement des ailes du nez	Absent	Modéré	Intense
EXPIRATION	Geignement expiratoire	Absent	Audible au Stéthoscope	Audible à l'oreille

✓ Score = 0 : pas de DR

✓ Score = 1-2 : DR légère

✓ Score = 2-5 : DR modérée

✓ Score sup à 5 : DR sévère

MOYEN MNEMOTECHNIQUE : Bébé (Balancement/battement) Tire (Tirage) En (Entonnoir) Geignant (Geignement)

Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

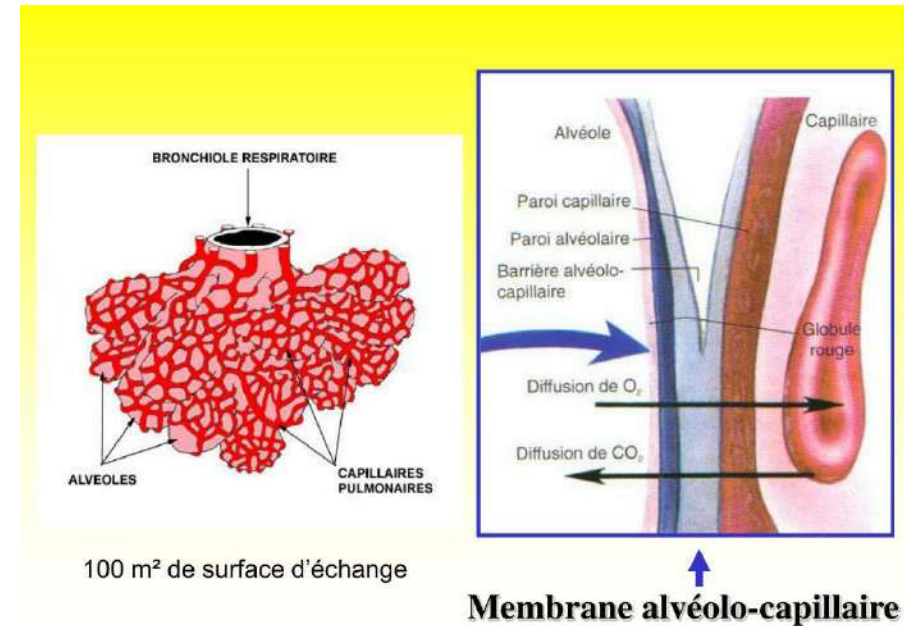
2. Zone respiratoire (Membrane alvéolo-capillaire)

- **Membrane alvéolo-capillaire** sépare l'air contenu dans l'alvéole du sang contenu dans le capillaire.
- **Constituée de :**
 - ✓ l'épithélium alvéolaire, surtout les pneumocytes de type I ;
 - ✓ une membrane basale très fine ;
 - ✓ l'endothélium du capillaire pulmonaire.
- Elle est extrêmement mince afin de faciliter la diffusion des gaz.

➤ Échanges

Alvéole → O₂ → sang

Sang → CO₂ → alvéole



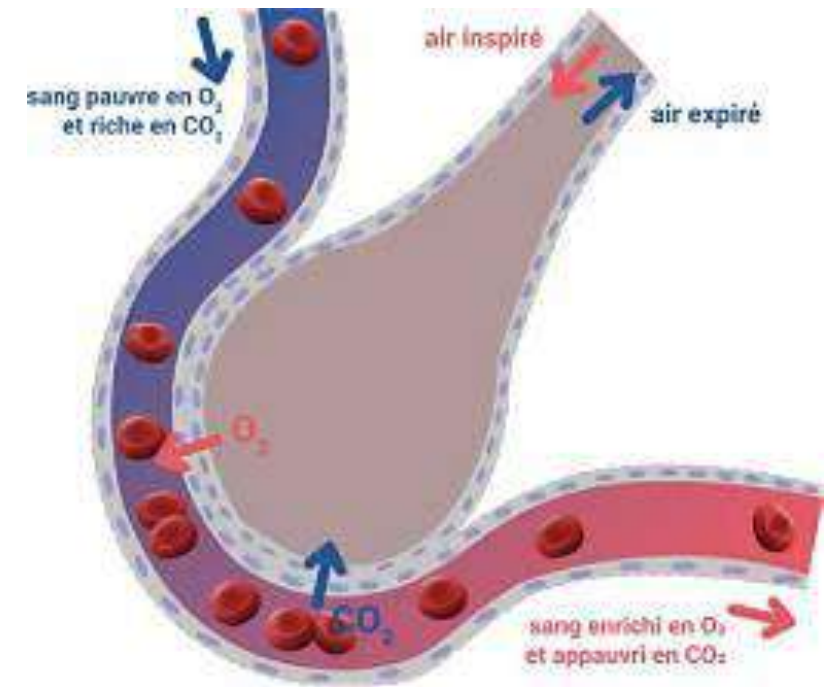
Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Déplacement des gaz dans la zone respiratoire

➤ Dans les grosses voies aériennes, l'air se déplace par **convection**.

À l'approche de la zone respiratoire :

- ✓ le nombre de ramifications augmente fortement ;
- ✓ la surface transversale totale devient très grande ;
- ✓ la vitesse de déplacement de l'air diminue.

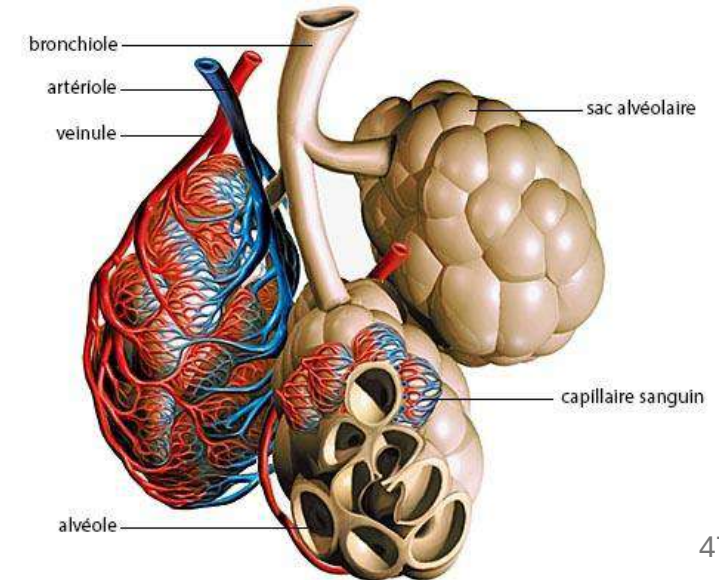
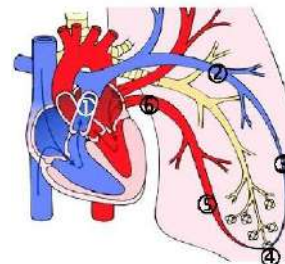
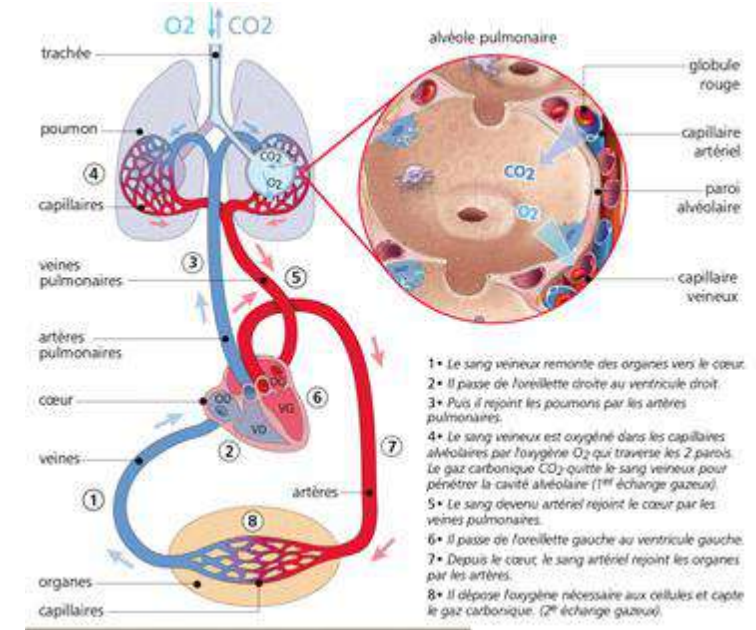


➤ Dans l'acinus, le déplacement des molécules d' O_2 et de CO_2 se fait par **diffusion**.

Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Capillaires pulmonaires

- Capillaires pulmonaires forment un réseau très dense autour des alvéoles.
- Paroi est très fine : échanges gazeux avec l'air alvéolaire.
- Pôle artériel du capillaire pulmonaire
- ✓ Reçoit le sang provenant des artères pulmonaires. : pauvre en O_2 et riche en CO_2 .
- Au niveau du capillaire
- ✓ Echanges (membrane alvéolo-capillaire)
- ✓ O_2 : alvéole → sang
- ✓ CO_2 : sang → alvéole
- Pôle veineux du capillaire pulmonaire
- ✓ Reçoit Le sang devient riche en O_2 et pauvre en CO_2 .
- ✓ Rejoint ensuite les veines pulmonaires, puis le cœur gauche.

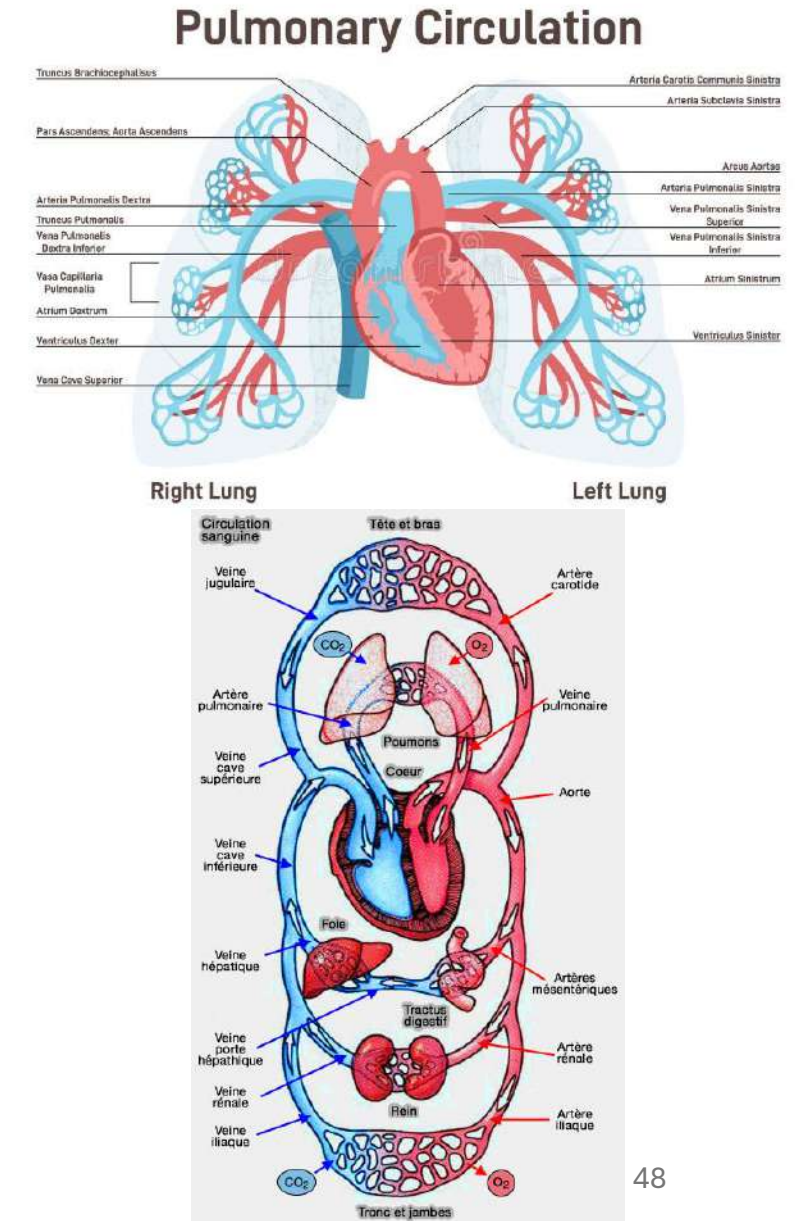


Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Vascularisation pulmonaires

Le poumon possède une double vascularisation : pulmonaire et bronchique

- **Circulation pulmonaire ou fonctionnelle**
 - ✓ Assure les échanges gazeux.
 - ✓ Sang pauvre en O_2 arrive par les artères pulmonaires.
 - ✓ Artères pulmonaires accompagnent les bronches et se ramifient jusqu'aux capillaires alvéolaires.
 - ✓ Après les échanges gazeux, le sang riche en O_2 rejoint les veines pulmonaires.
 - ✓ Les veines pulmonaires ramènent le sang oxygéné vers l'oreillette gauche.
- **Trajet :**
Ventricule droit → artères pulmonaires → capillaires alvéolaires → veines pulmonaires → oreillette gauche
- **Fonction :** assurer l'oxygénation du sang et l'élimination du CO_2 .



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Vascularisation pulmonaires

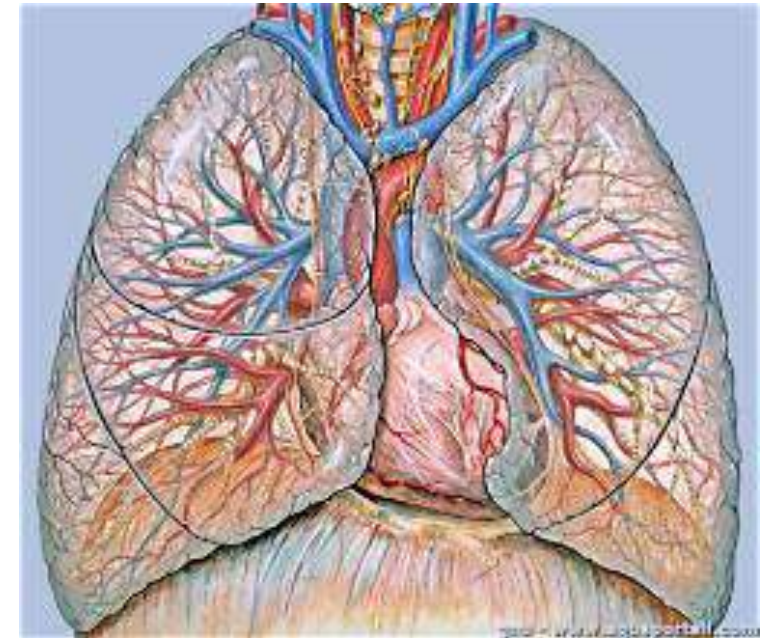
Le poumon possède une double vascularisation : pulmonaire et bronchique

➤ Circulation bronchique

- ✓ Appartient à la circulation systémique.
- ✓ Provient principalement des artères bronchiques issues de l'aorte thoracique.
- ✓ Apporte du sang oxygéné aux :
 - parois des bronches ;
 - tissus de soutien du poumon ;
 - gros vaisseaux pulmonaires ;
 - plèvre viscérale.

➤ Fonction

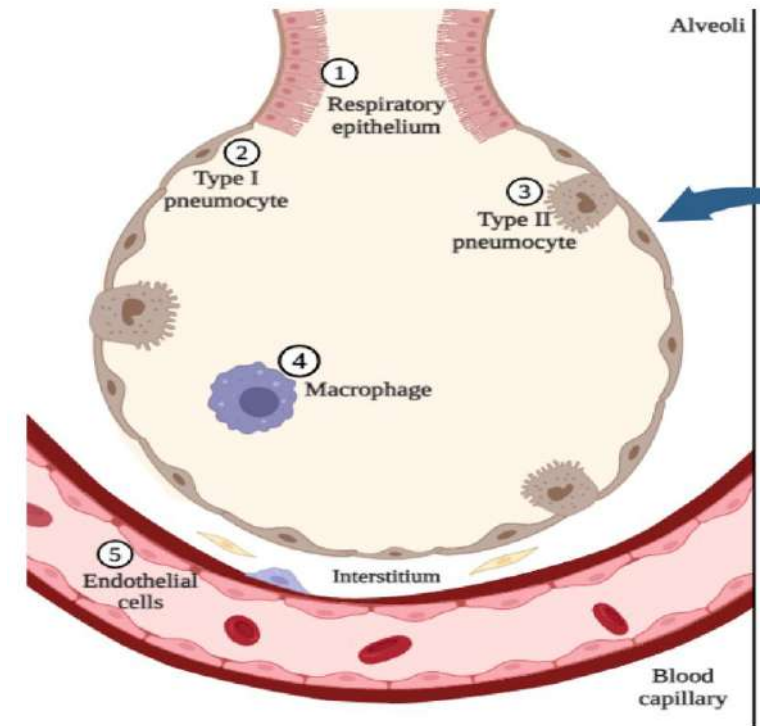
- Nourrir et oxygéner les tissus pulmonaires eux-mêmes.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Macrophages alvéolaires

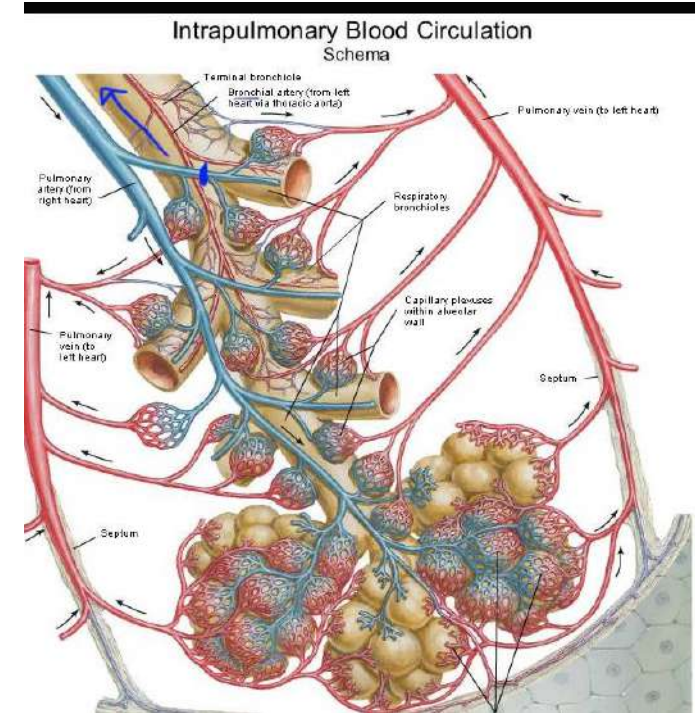
- **Macrophages alvéolaires : défense de la zone respiratoire**
- Phagocytent :
 - les poussières ;
 - les particules inhalées ;
 - certains microorganismes.
- Participent ainsi à la **protection des alvéoles** contre les agents étrangers.
- Peuvent ensuite migrer vers les voies aériennes ou être éliminés par les voies lymphatiques.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Particularités de la circulation pulmonaire

- Circulation à basse pression et à faible résistance.
- Reçoit pratiquement la totalité du débit cardiaque du ventricule droit.
- Nombreux capillaires entourant les alvéoles offrent une très grande surface d'échange.
- Vaisseaux pulmonaires peuvent se distendre et recruter davantage de capillaires lorsque le débit sanguin augmente, par exemple pendant l'exercice.



Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Fonctions métaboliques du poumon

Plusieurs fonctions métaboliques.

- Enzyme de conversion de l'angiotensine (ECA) :
 - transforme l'angiotensine I en angiotensine II ;
 - participe ainsi à la régulation de la pression artérielle.
- Poumon peut inactiver ou modifier plusieurs substances circulantes:
 - la bradykinine (bronchoconstriction) ;
 - certaines prostaglandines (module le tonus bronchique) ;
 - la sérotonine (vasoconstriction pulmonaire).
 - l'inflammation.
- Pneumocytes de type II assurent la synthèse et le renouvellement du surfactant.

Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Métabolisme énergétique du poumon

Besoin d'énergie pour assurer les fx cellulaires.

- Nutriments : glucose, mais aussi les acides gras et d'autres substrats énergétiques.
- En présence d'O₂, ces substrats sont dégradés dans les mitochondries pour produire de l'ATP.
- ATP fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement des différentes cellules pulmonaires.

Glucose + O₂ → mitochondries → ATP + CO₂ + H₂O

Épithélium cilié

→ ATP nécessaire au mouvement des cils et donc à la clairance mucociliaire.

Pneumocytes de type II

→ ATP nécessaire à la synthèse et à la sécrétion du surfactant.

Muscle lisse bronchique

→ ATP nécessaire à la contraction et au relâchement du muscle.

Cellules endothéliales et épithéliales

→ ATP nécessaire au transport actif des ions, au maintien des gradients ioniques et à l'intégrité cellulaire.

Macrophages alvéolaires

→ ATP nécessaire à la phagocytose et aux mécanismes de défense.

Modification circulatoire à la naissance

Premier cri / première respiration

- Les poumons se remplissent d'air → ↓ pression dans l' OD et ↑ pression dans l' OG,
- Le septum primum s'applique sur le septum secundum → fermeture fonctionnelle du foramen ovale

Renforcement par la coupure du cordon ombilical → Fermetures des vaisseaux et canaux

1. Artères ombilicales

1. Segment distal → ligaments ombilicaux latéraux
2. Segment proximal → artères vésicales supérieures (reste perméable)

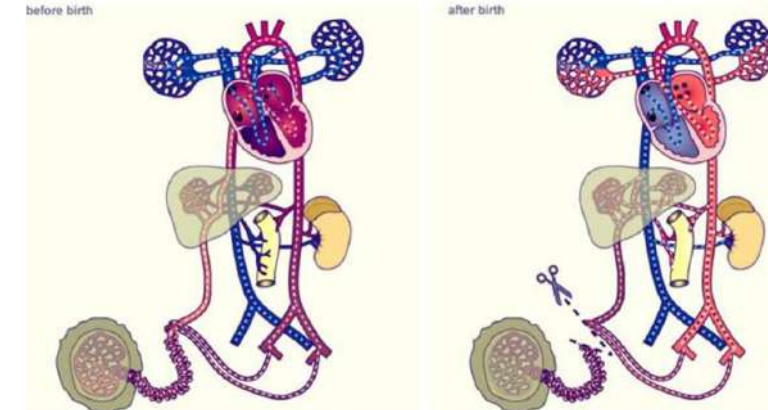
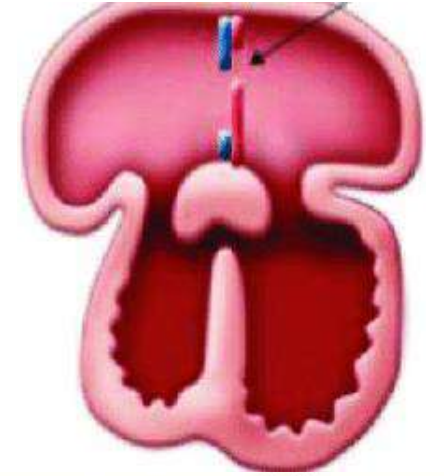
2. Veine ombilicale et canal veineux d'Arantius

1. Veine ombilicale → ligament rond du foie
2. Canal veineux → ligament veineux

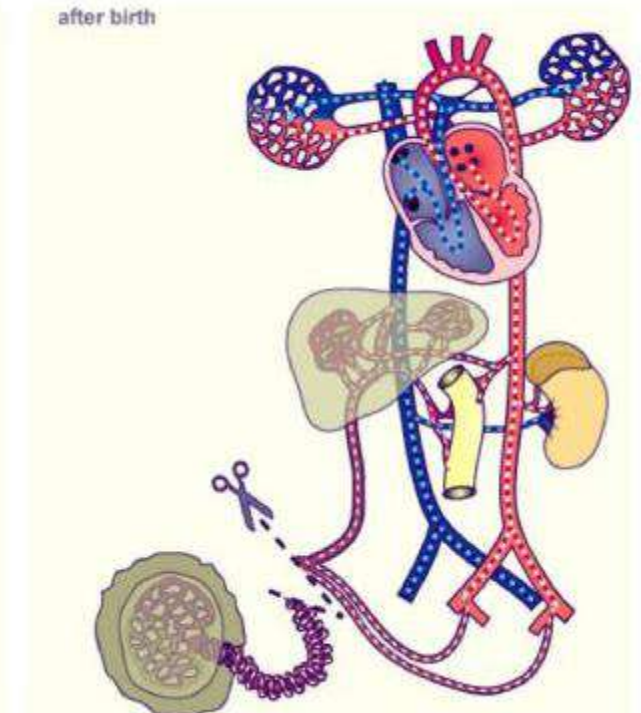
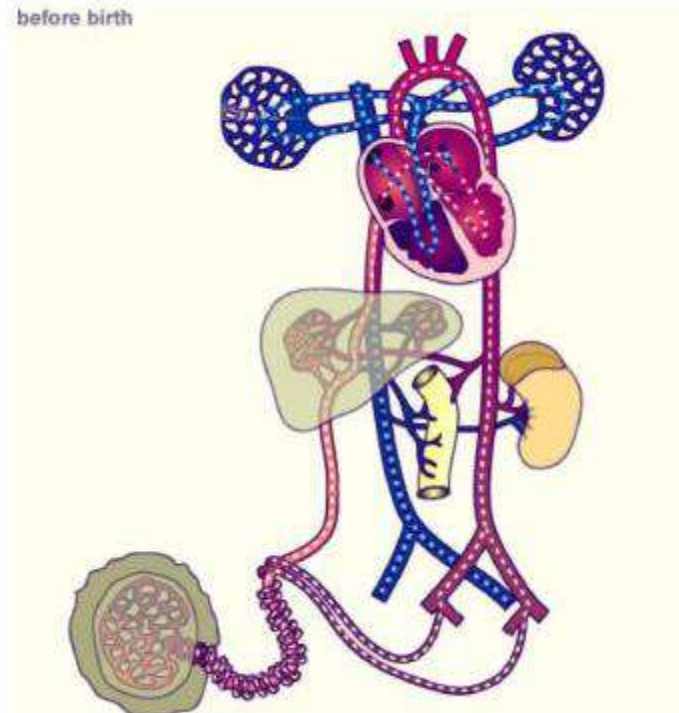
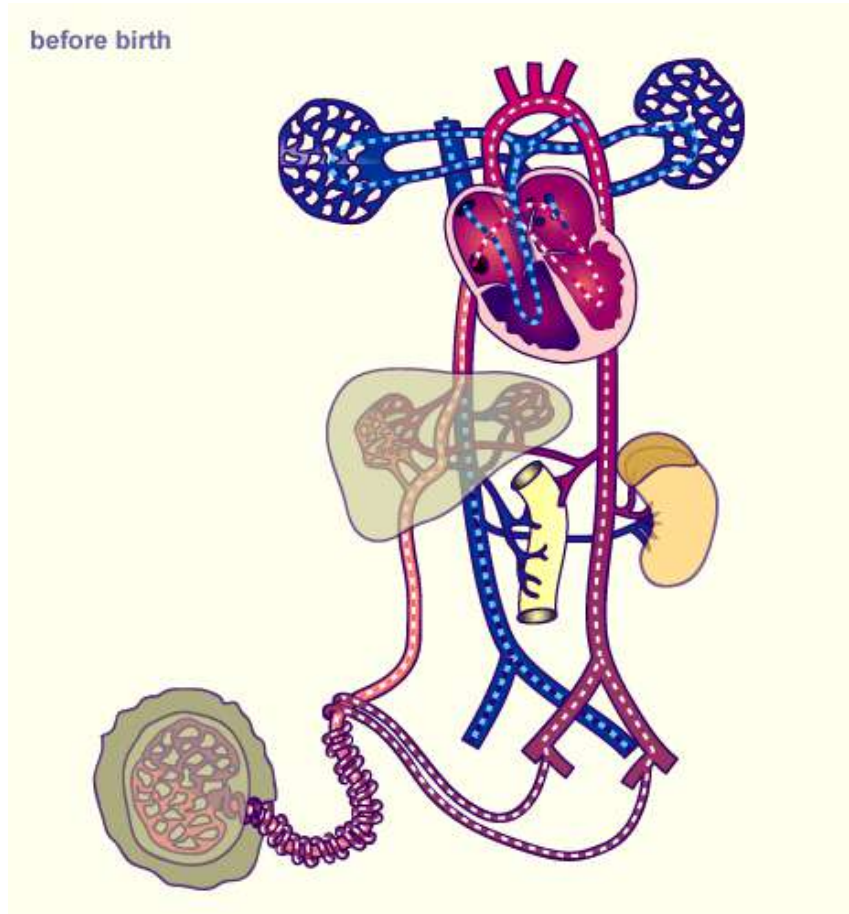
3. Canal artériel

1. Se ferme → ligament artériel

Chute des résistances pulmonaires et augmentation des résistances périphériques

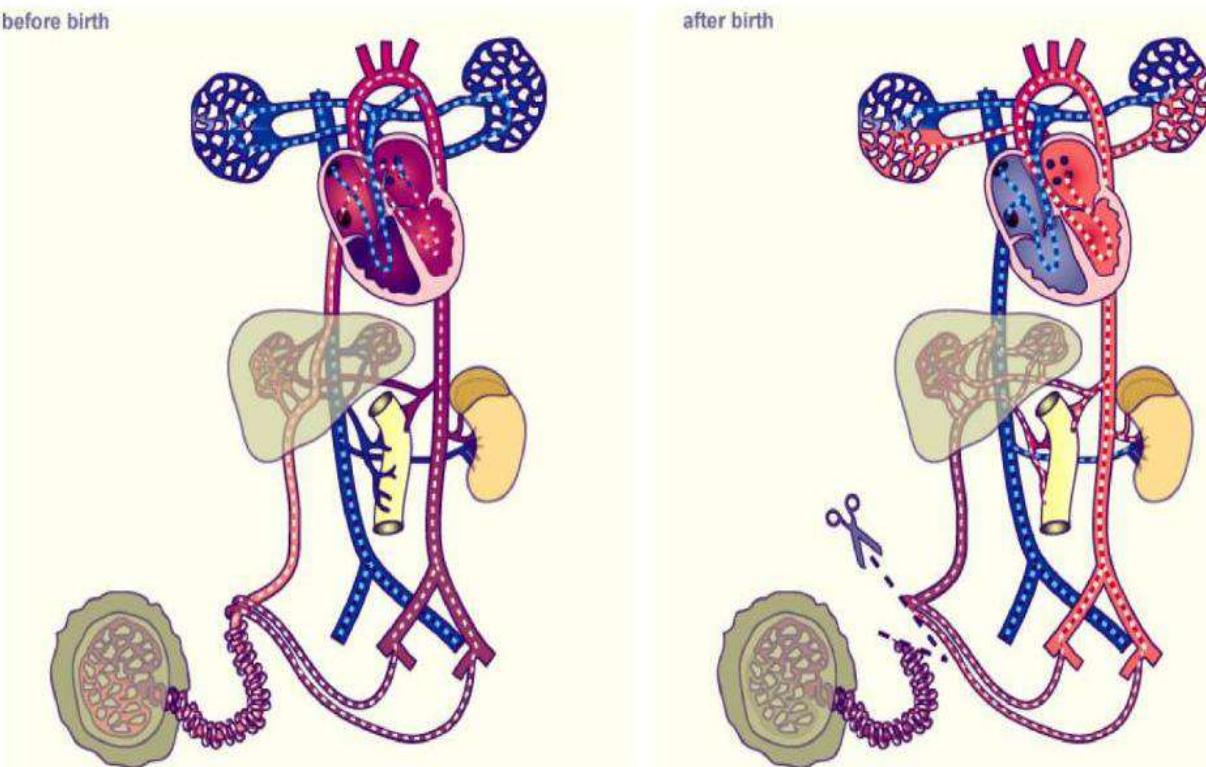


Circulation avant et après la naissance



Hypertension artérielle pulmonaire du Nouveau-né

•Circulations foétale et néonatale



Période périnatale

- Barrière foetoplacentaire: 3,5µm(échanges)
- In utéro: 15% sang cœur → poumon; 85% via canal artériel(AP → Aorte) et sang oxygéné via placenta → OD via foramen ovale → O.G
- A la naissance: - stress++ , maturation chémorécepteurs
 - mélange air+ liquide alvéolaire (40% in utéro) (rôle surfactant sur tension superficielle)
 - Pression intra pleurale ↓
 - ↓ Résistance vasculaire pulmonaire ($O_2 > <$ vasoconstriction hypoxique, ↑ volume pulmonaire et traction radiaire d'où vasodilatation extra-alvéolaire d'où ↑ pression O.G et fermeture foramen ovale)

Innervation de l'appareil respiratoire

1. Innervation des muscles respiratoires

➤ Nerf phrénique (C3–C5)

- Assure l'innervation motrice du **diaphragme**.
- Transporte aussi des informations sensibles provenant notamment de la partie centrale du diaphragme et de la plèvre médiastinale.

➤ Nerfs intercostaux

- Innervent les **muscles intercostaux**.
- Transmettent également la sensibilité de la paroi thoracique.

Innervation de l'appareil respiratoire

2. Innervation des bronches et des poumons

- Elle dépend principalement des **plexus pulmonaires**, formés de fibres :

➤ Parasympathiques – nerf vague

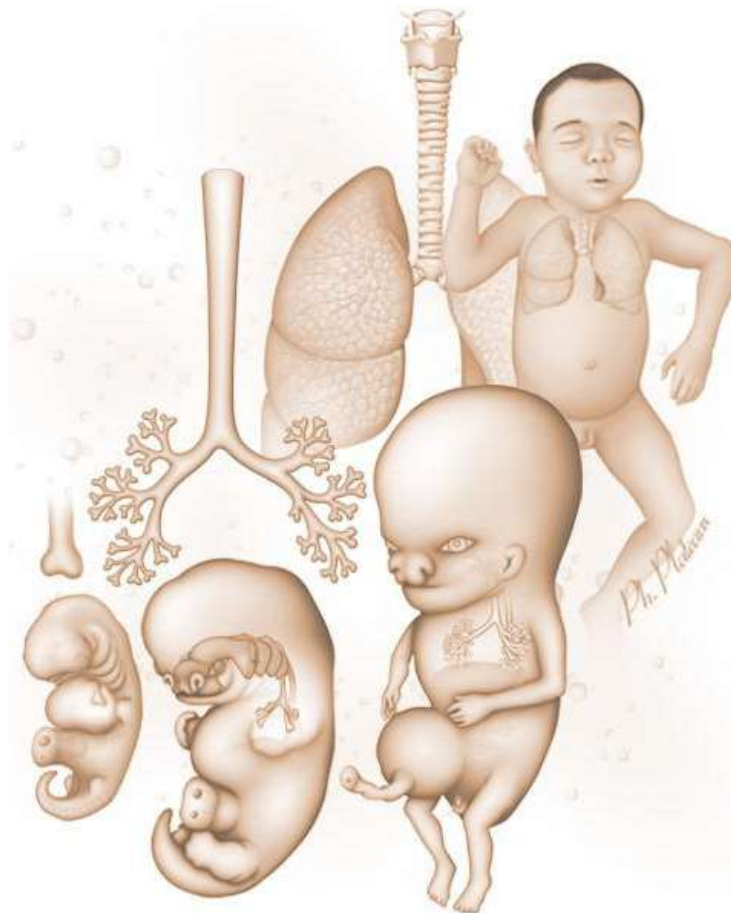
- **bronchoconstriction** ;
- ↑ sécrétions bronchiques ;
- transport d'informations sensibles vers le tronc cérébral.

➤ Sympathiques

- **bronchodilatation** ;
- ↓ sécrétions bronchiques ;
- modulation du tonus vasculaire pulmonaire.

Merci de votre attention

Embryologie du système respiratoire



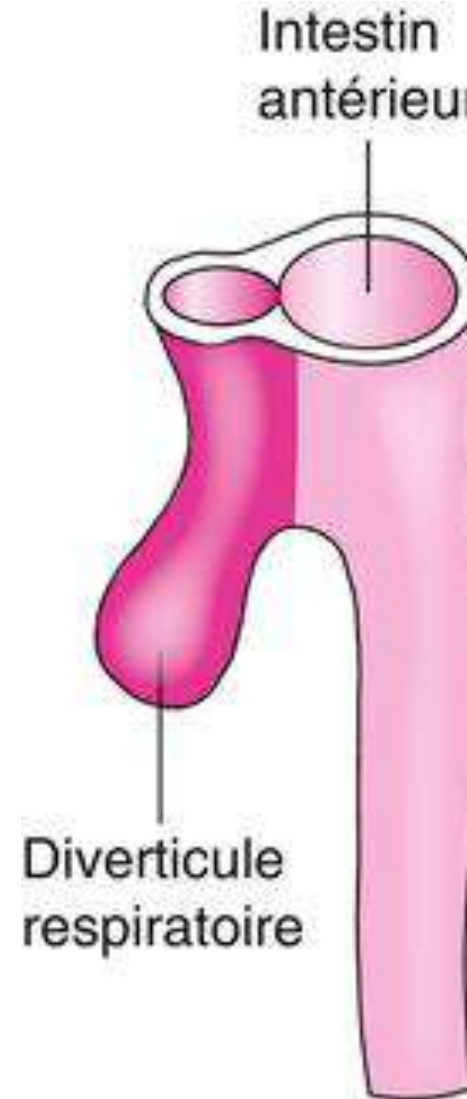
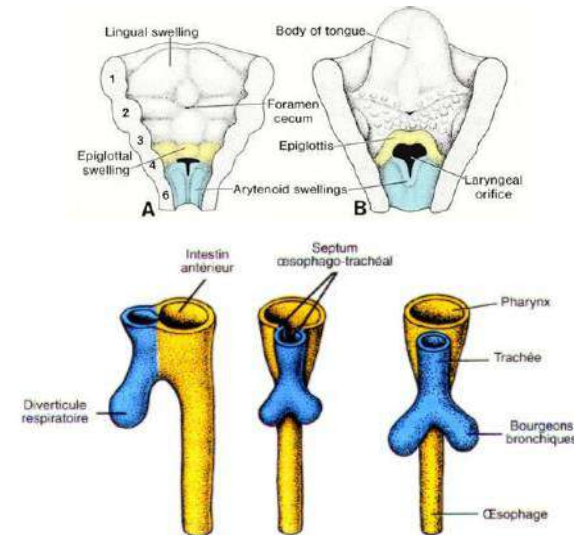
Formation du diverticule respiratoire

➤ **4e semaine** : Gouttière apparaît sur la face ventrale de l'intestin pharyngien.

➤ Cette gouttière s'individualise progressivement pour former le **diverticule respiratoire** (un tube)

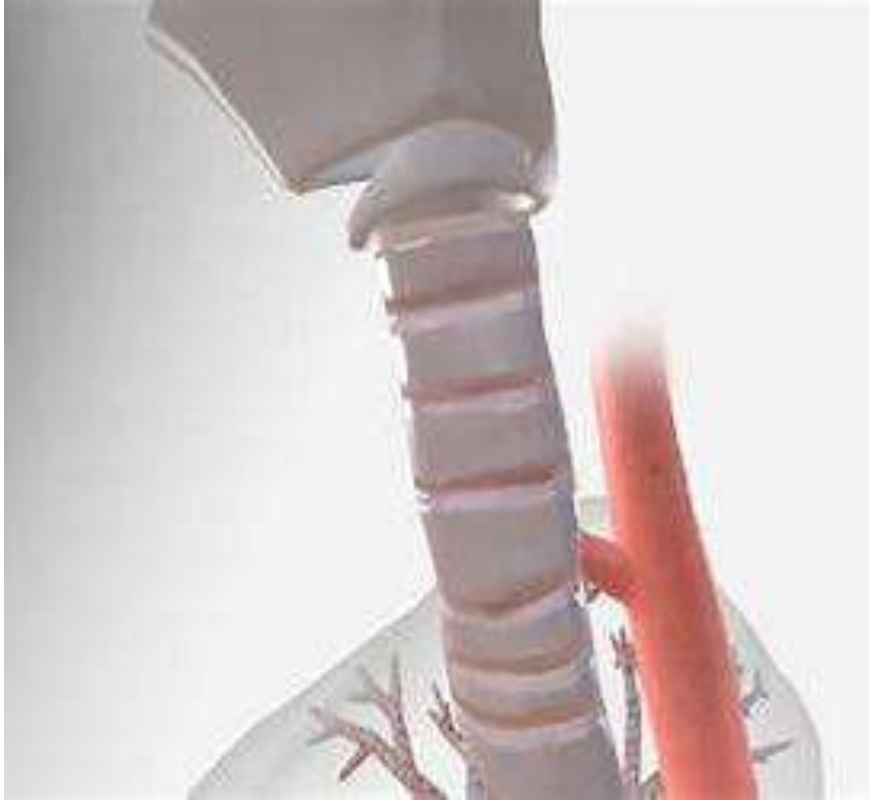
✓ l'extrémité > reste en communication avec le pharynx ;

✓ l'extrémité < est initialement fermée.



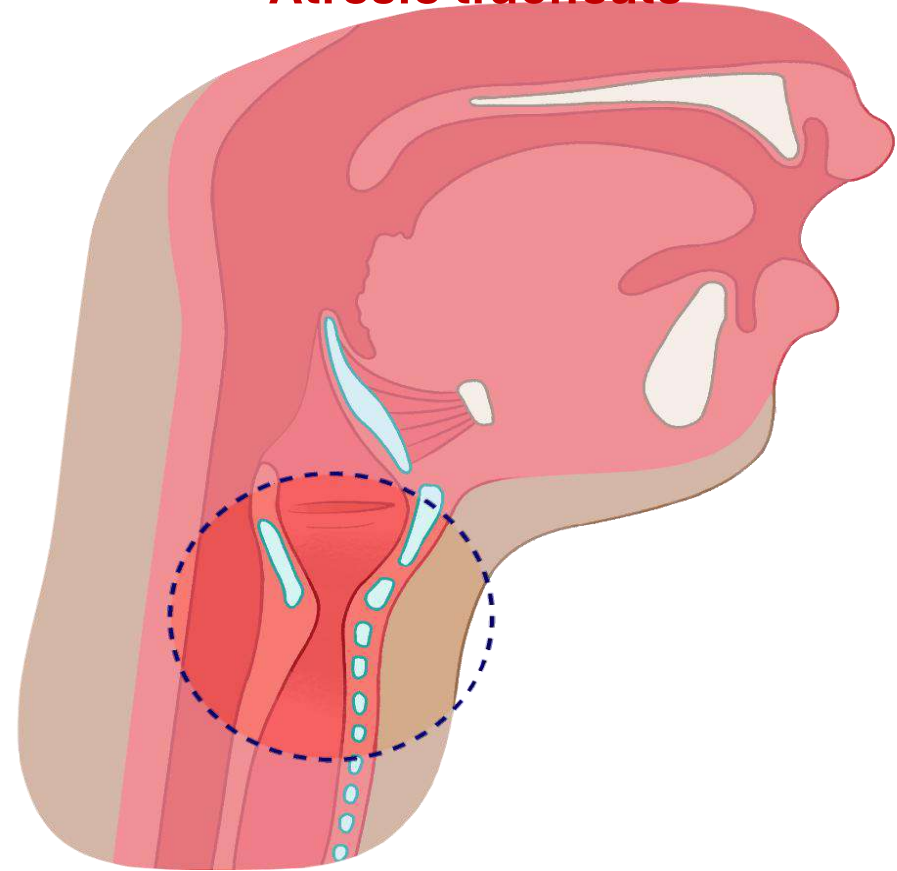
Anomalie la 4e semaine

Fistule oesotrachéale



- toux et étouffement lors des premières alimentations ;
- encombrement bronchique ;
- inhalation ;
- pneumopathies d'inhalation ;
- détresse respiratoire

Atrésie trachéale



- Détresse respiratoire sévère dès la naissance
- Cyanose
- Cri absent ou très faible
- Ventilation et intubation très difficiles ou impossibles

Formation des bourgeons bronchiques

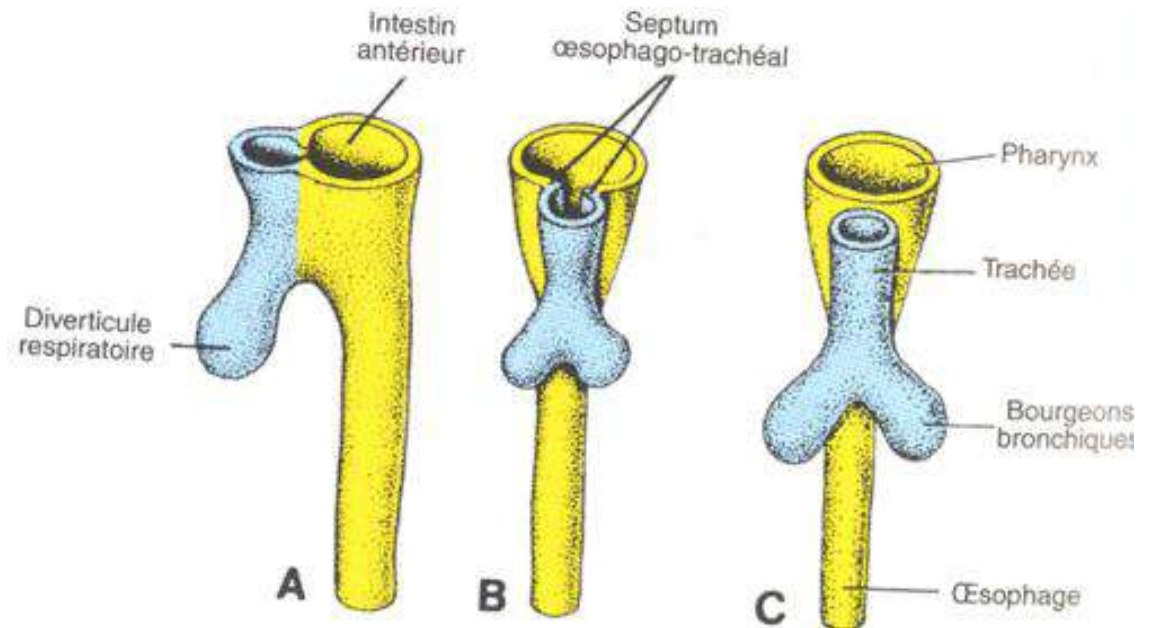
➤ Extrémité caudale du diverticule respiratoire se divise en 2

✓ **bourgeon bronchique droit ;**

✓ **bourgeon bronchique gauche.**

➤ Segment rectiligne donnera la **trachée**.

➤ Les deux bourgeons donneront les **bronches souches**.



Formation des bourgeons bronchiques

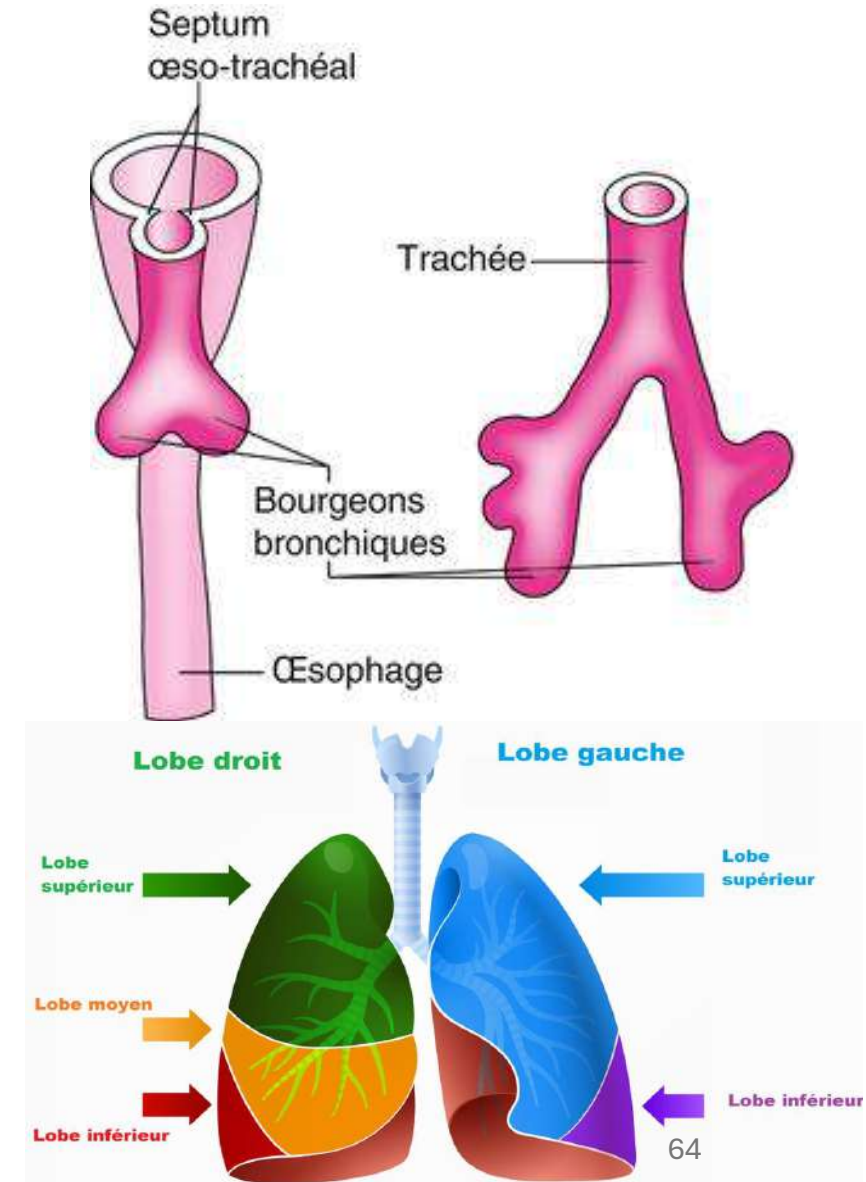
5e semaine

➤ A droite :

- ✓ formation de **3 bourgeons secondaires** ;
- ✓ correspondant aux futurs **3 lobes pulmonaires droits**.

➤ A gauche :

- ✓ formation de **2 bourgeons secondaires** ;
- ✓ correspondant aux futurs **2 lobes pulmonaires gauches**.



Ramification de l'arbre bronchique

➤ Bourgeons bronchiques se divisent successivement selon un mode **dichotomique**.

➤ **5e et 17e semaine**, les ramifications donnent progressivement :

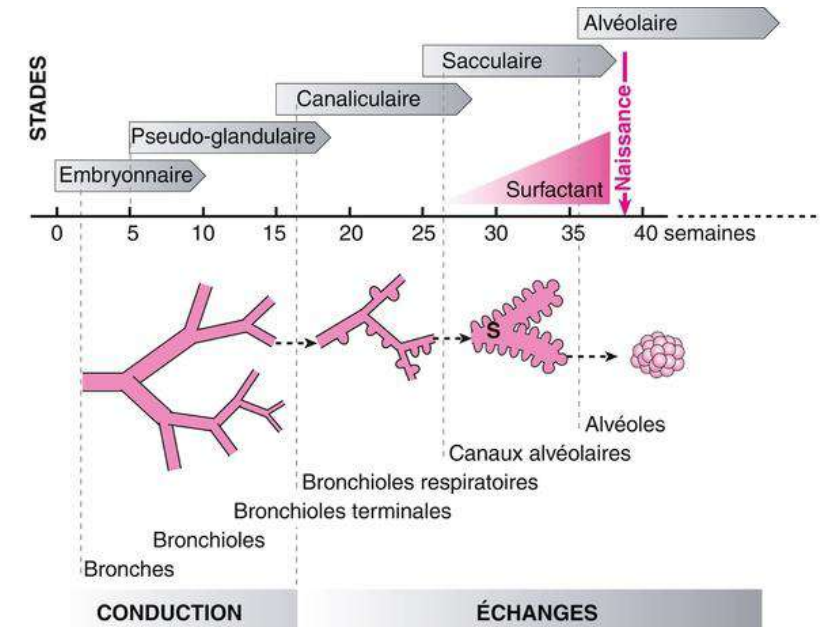
✓ bronches lobaires ;

✓ bronches de plus petit calibre ;

✓ bronchioles.

➤ Le calibre des voies aériennes diminue progressivement

➤ Les ramifications peuvent encore se poursuivre après la naissance.



Formation de la paroi des voies aériennes

- Paroi des VA se forme à partir du **mésenchyme** entourant les bourgeons respiratoires.
- l'**endoderme** donne l'**épithélium** ;
- le **mésenchyme** donnera :
 - ✓ tissu conjonctif (rôle de soutien) ;
 - ✓ muscle lisse (rôle contractile) ;
 - ✓ Cartilage (ouverture des voies aériennes).
- La composition de la paroi varie ensuite selon le calibre des voies aériennes.

Formation de la paroi des voies aériennes

➤ Trachée et grosses bronches

- cartilage important
- glandes et mucus
- épithélium cilié

➤ Petites bronches

- cartilage et glandes diminuent
- muscle lisse devient important

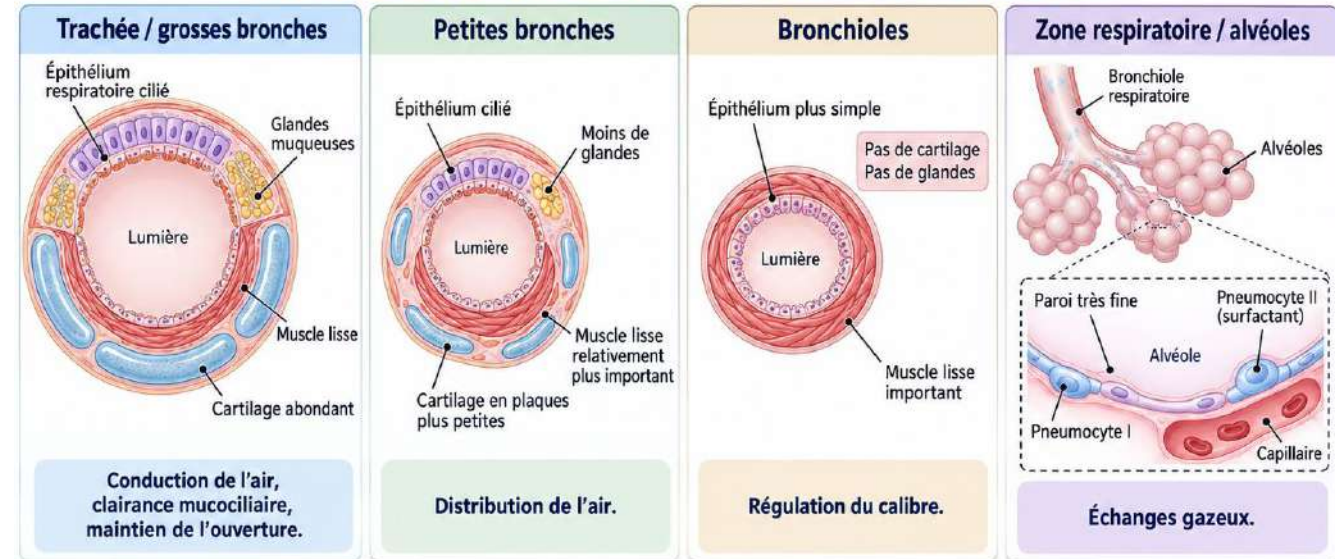
➤ Bronchioles

- pas de cartilage
- pas de glandes
- muscle lisse important :

➤ Zone respiratoire et alvéoles

- paroi très fine
- pneumocytes de type I : échanges gazeux
- pneumocytes de type II : production du surfactant

Paroi des voies aériennes selon le calibre



Quand le calibre diminue

Cartilage ↓

Glandes ↓

Paroi plus fine

Rôle du muscle lisse ↑
jusqu'aux bronchioles

Alvéoles apparaissent
dans la zone respiratoire

L'essentiel pour le kiné



Le cartilage maintient les grosses voies aériennes ouvertes.



Le mucus et les cils participent au désencombrement.



Les bronchioles, sans cartilage, se ferment plus facilement.



La zone alvéolaire a une paroi très fine pour les échanges gazeux.

Maturation du parenchyme pulmonaire

4 périodes successives qui se chevauchent.

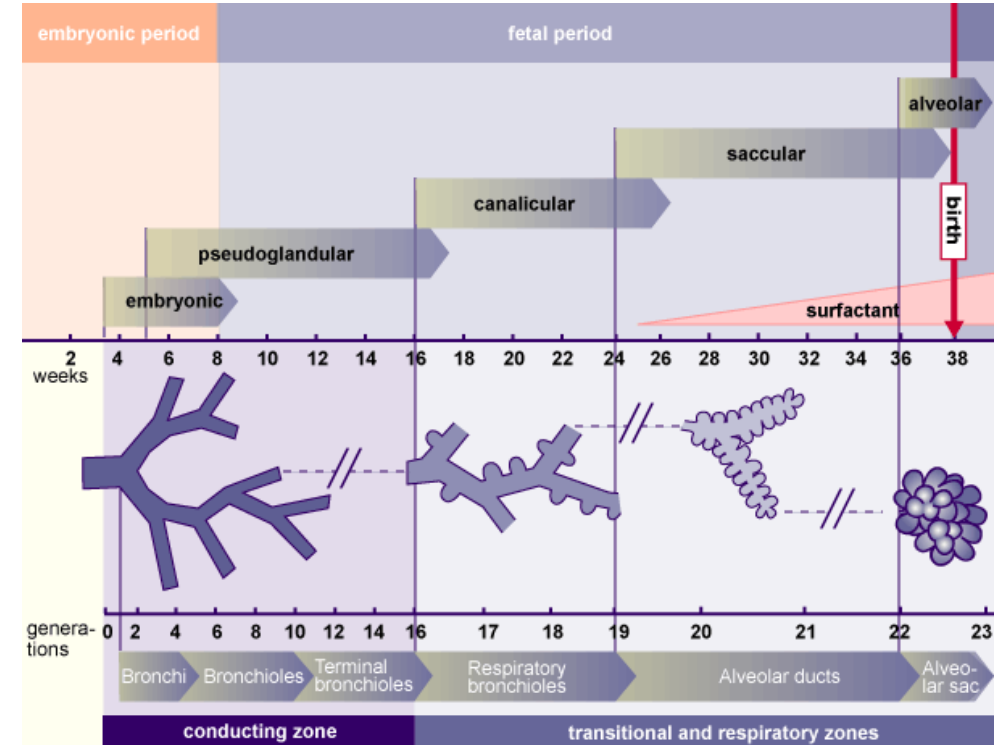
➤ 1. Période pseudoglandulaire : 5e → 17e semaine

✓ formation des voies aériennes jusqu'aux bronchioles ;

➤ 2. Période canalaire : 17e → 25e semaine

✓ apparition des **canaux alvéolaires** ;

✓ développement progressif des régions d'échanges gazeux.



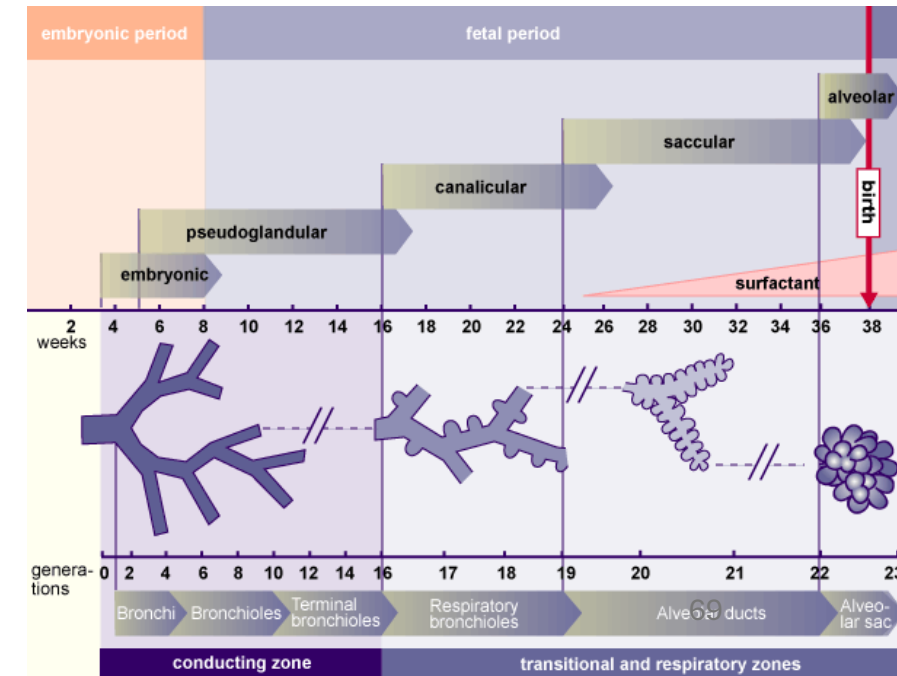
Maturation du parenchyme pulmonaire

3. Période du sac terminal : vers la 24e semaine ;

- formation des premiers **sacs alvéolaires** ;
- sécrétion de **surfactant** par les **pneumocytes de type II** ;
- maturation progressive permet une survie du prématuré à la **24e semaine**.

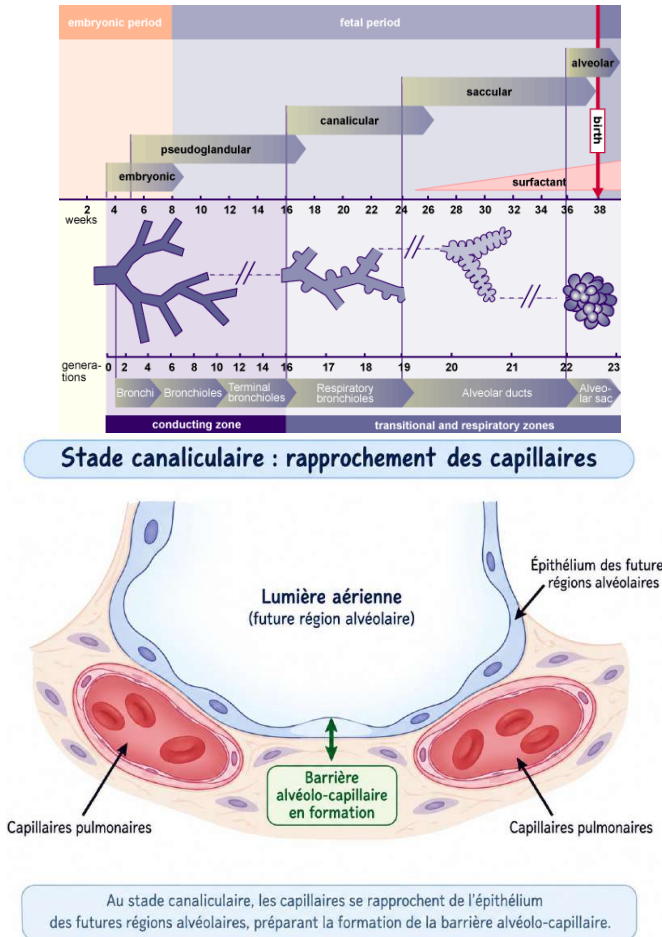
4. Période alvéolaire : fin grossesse et après naissance;

- ✓ augmentation progressive
- du nombre et de la maturation des structures alvéolaires ;
- du volume pulmonaire



Développement de la vascularisation pulmonaire

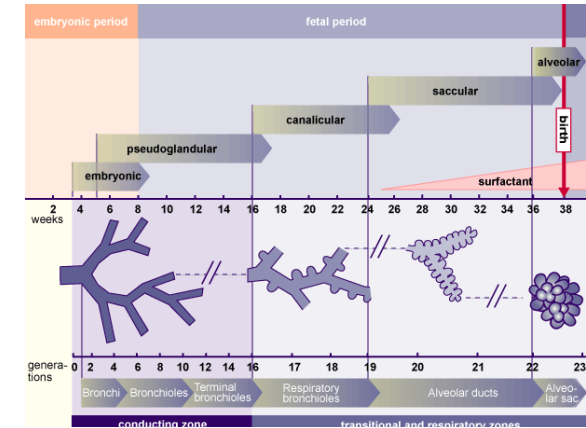
- Les **vaisseaux pulmonaires** se développent progressivement autour des **voies aériennes**.
- Au stade **canaliculaire**, les capillaires se rapprochent de l'épithélium respiratoire.
- Formation progressive de la **barrière alvéolo-capillaire**.
- **Vie fœtale** : résistances pulmonaires élevées ; les échanges gazeux sont assurés par le placenta.
- **Naissance** : expansion des poumons → résistances vasculaires pulmonaires ↓ → débit sanguin pulmonaire ↑ → mise en fonction efficace des échanges pulmonaires.



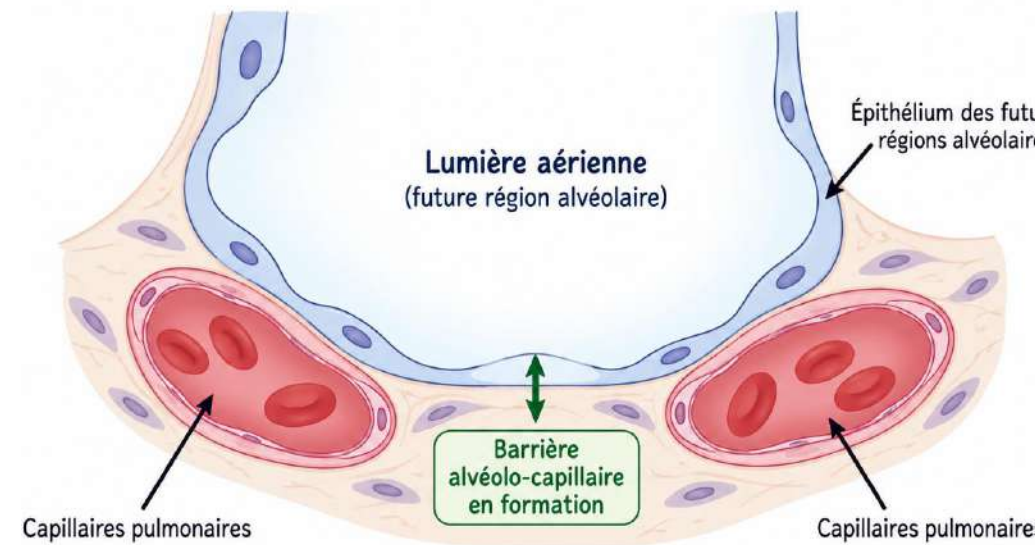
Développement de la vascularisation pulmonaire

Intérêt pour les kiné

La maturation de la barrière alvéolo-capillaire conditionne l'efficacité des échanges gazeux. Son immaturité explique une partie de la détresse respiratoire et de l'hypoxémie chez le prématuré.



Stade canaliculaire : rapprochement des capillaires

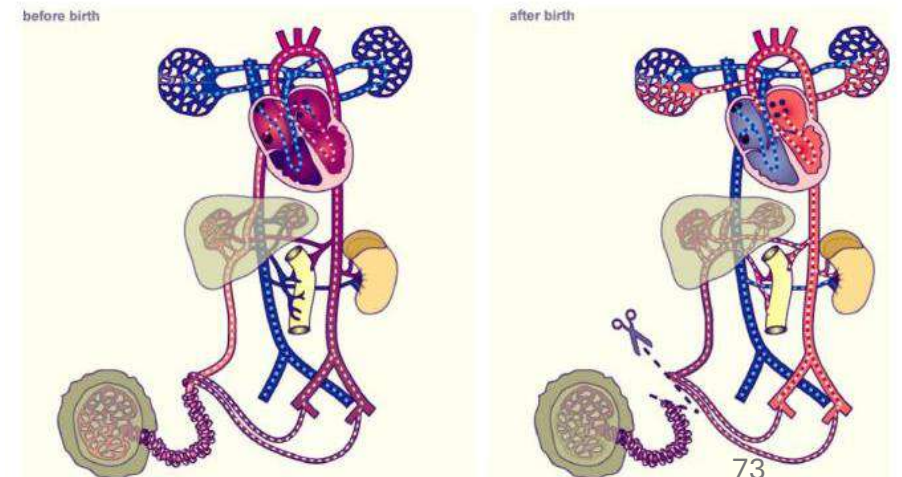
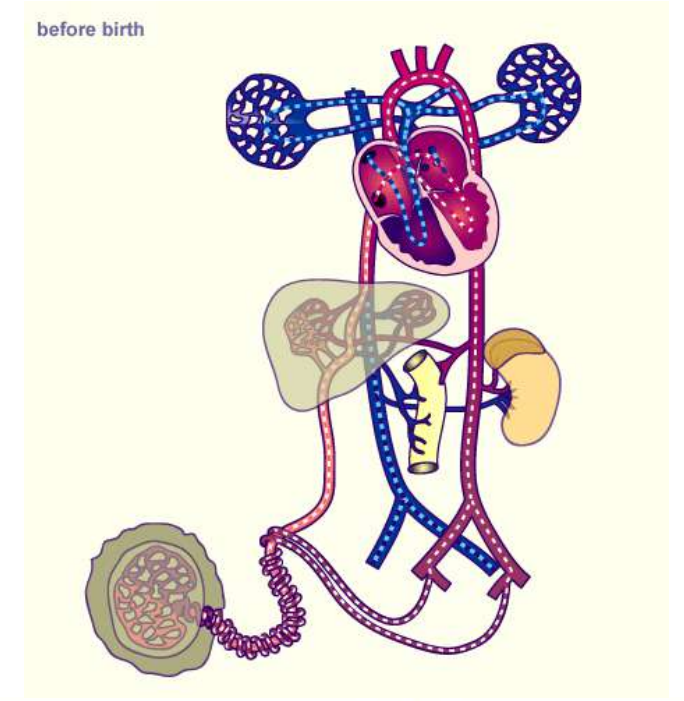


Au stade canaliculaire, les capillaires se rapprochent de l'épithélium des futures régions alvéolaires, préparant la formation de la barrière alvéolo-capillaire.

À la naissance : mise en fonction des poumons

À la naissance :

- 1er mouvement respiratoire provoquent le **déploiement des alvéoles** ;
- l'air pénètre dans les poumons ;
- Pneumocytes alvéolaires se rapprochent fonctionnellement du réseau capillaire ;
- les **échanges gazeux pulmonaires commencent** ;
- la circulation pulmonaire devient pleinement fonctionnelle ;
- la circulation bronchique conserve principalement un rôle **nourricier**.



Hypertension artérielle pulmonaire

HTAP persistante du nouveau-né

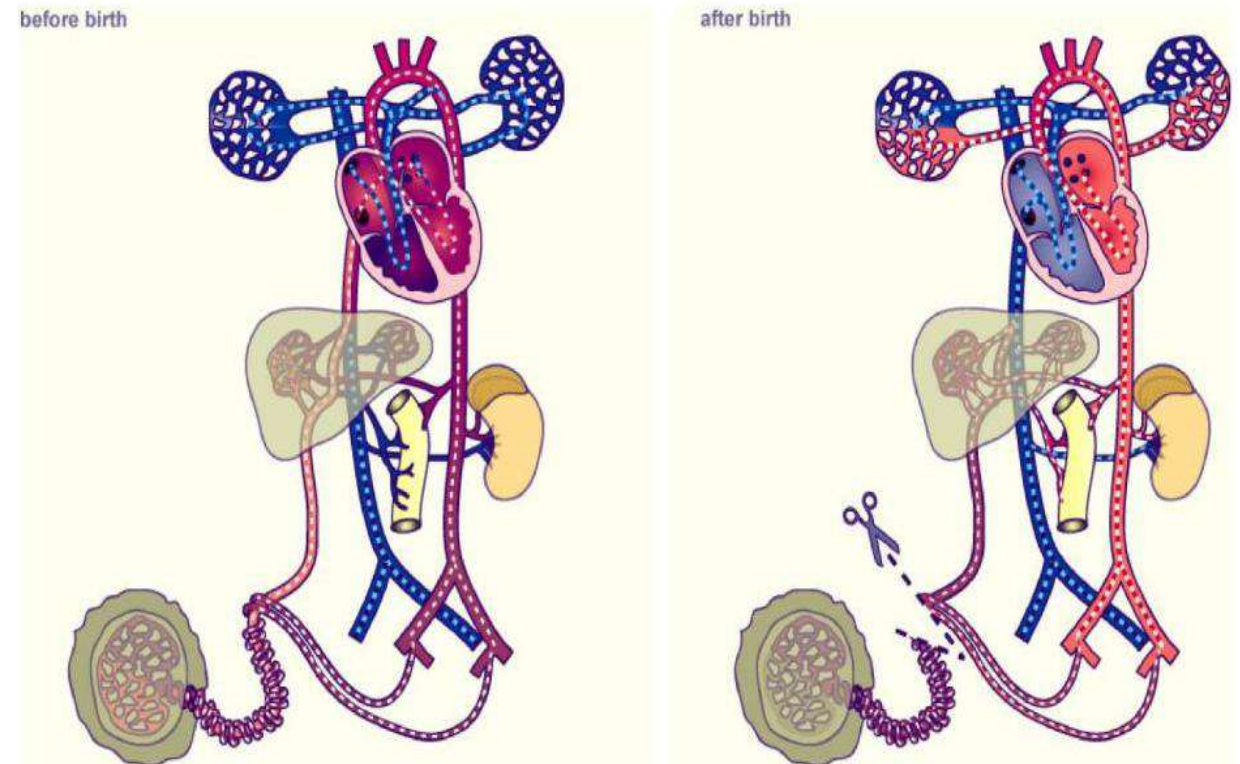
Résistances vasculaires pulmonaires restent
élevées après la naissance

↓
Débit sanguin pulmonaire insuffisant
shunts droite-gauche persistants

↓
Oxygénation ↓

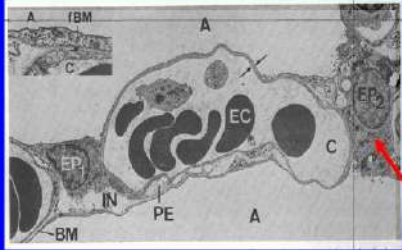
↓
Hypoxémie parfois sévère

•Circulations foetale et néonatale



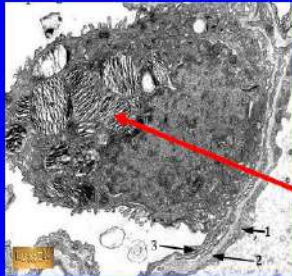
Surfactant : rôles

Surfactant



Pneumocyte de type II:

- 60% des cellules épithéliales alvéolaires
- 5% de la surface épithéliale
- synthèse et sécrétion du surfactant



Corps lamellaires

1. Diminution de la tension de surface:

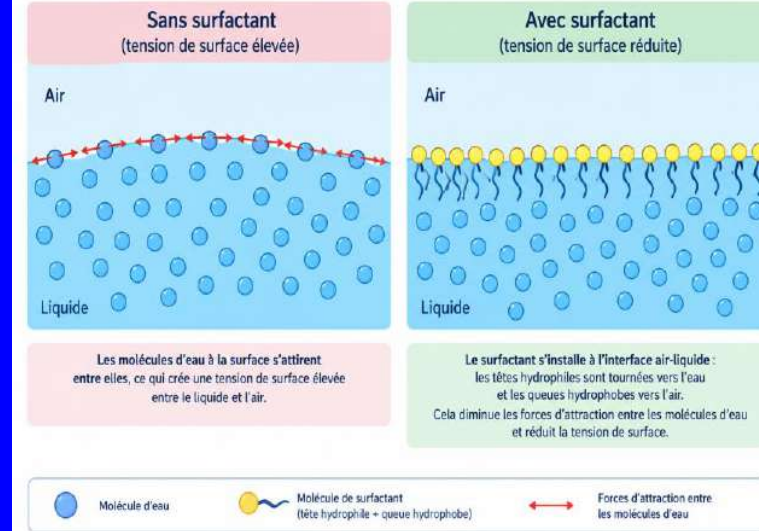
- économie d'énergie pour la respiration
- absence de surfactant: détresse respiratoire

2. Permet la coexistence d'alvéoles de taille différente:

- stabilisation alvéolaire (loi de Laplace)
- surfactant adapte la tension de surface à la taille alvéolaire

3. Permet au poumon de rester "sec":

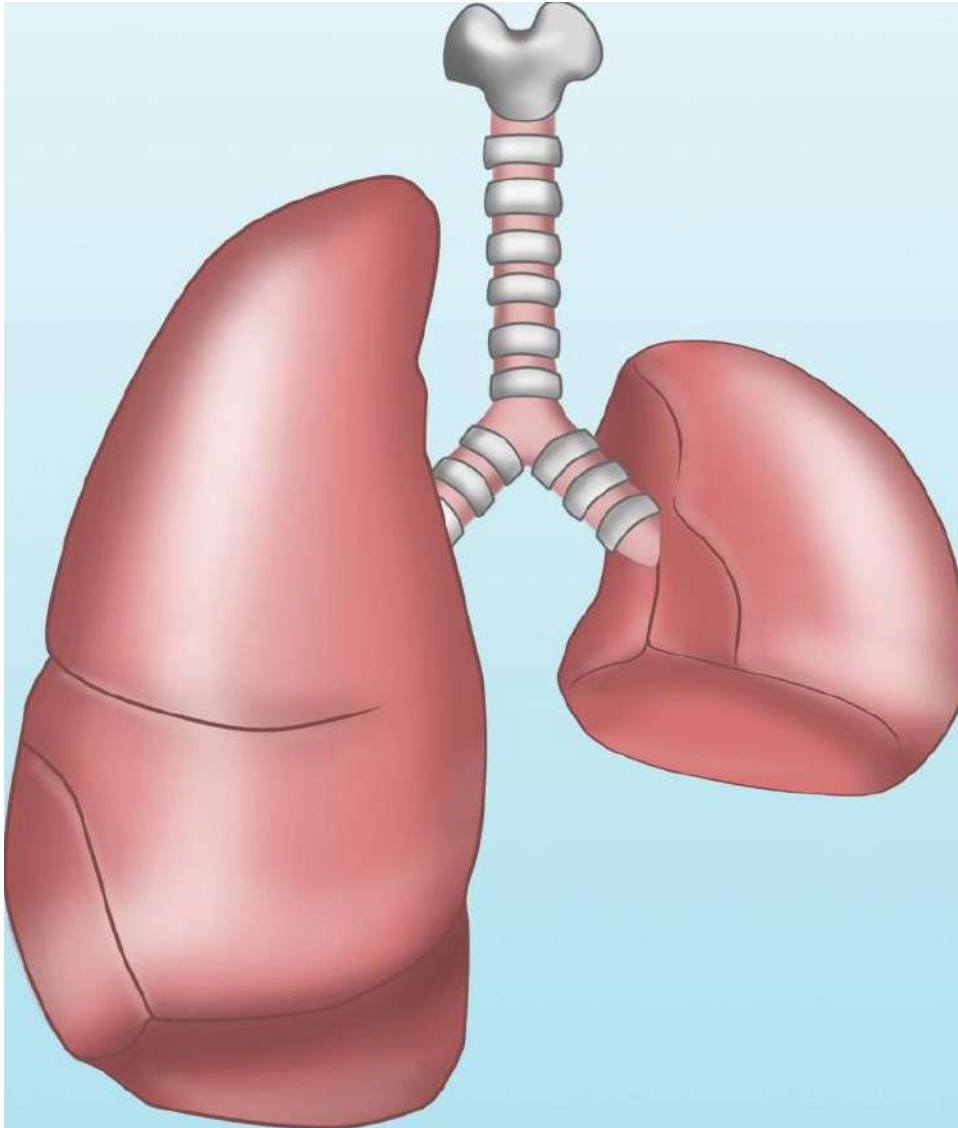
- diminue la pression autour des vaisseaux
- évite l'issue de plasma (œdème)



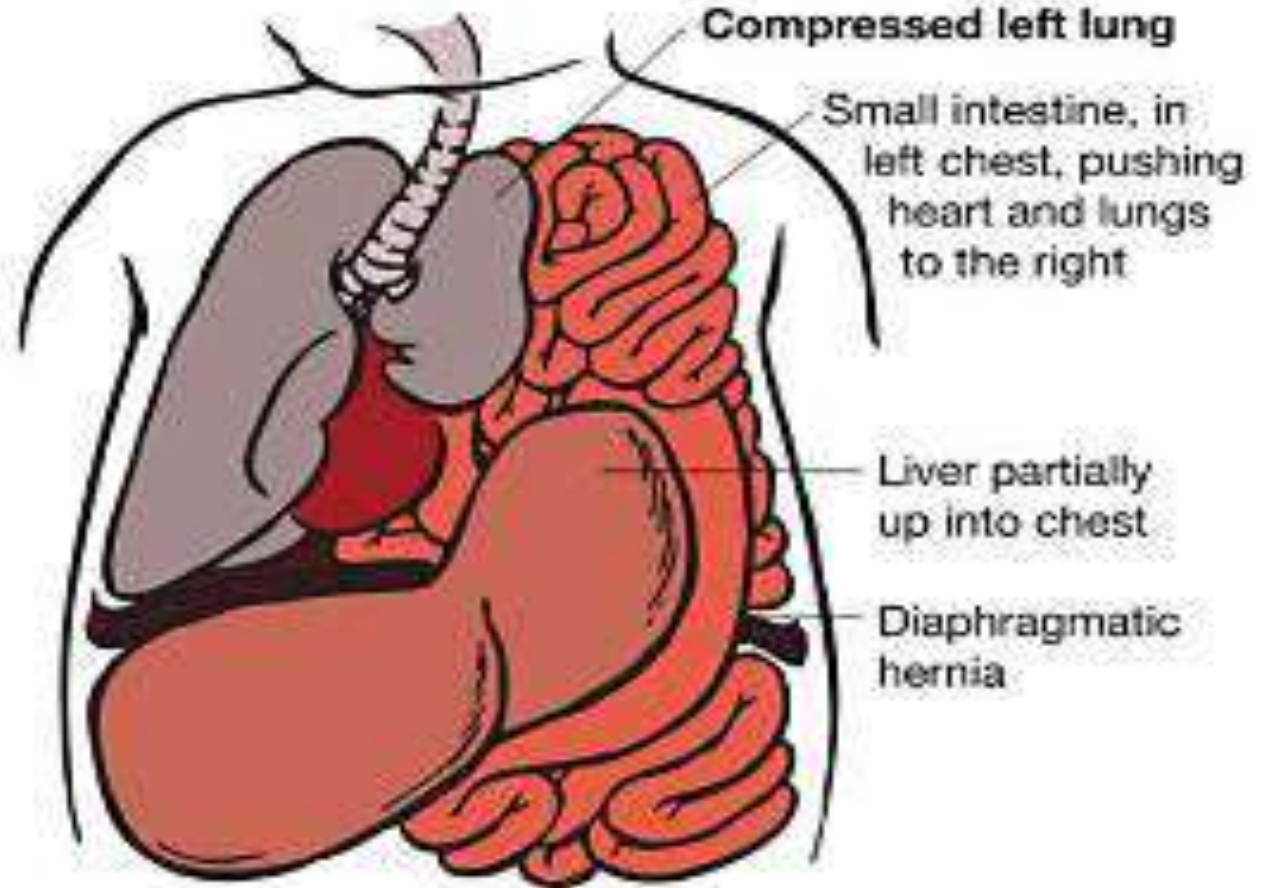
- sa production commence approximativement vers **20–24 semaines d'aménorrhée** ;
- elle augmente nettement à partir de **28–32 SA** ;
- elle devient généralement suffisante vers **34–35 SA**

Pathologie de la maturation

Hypoplasie pulmonaire

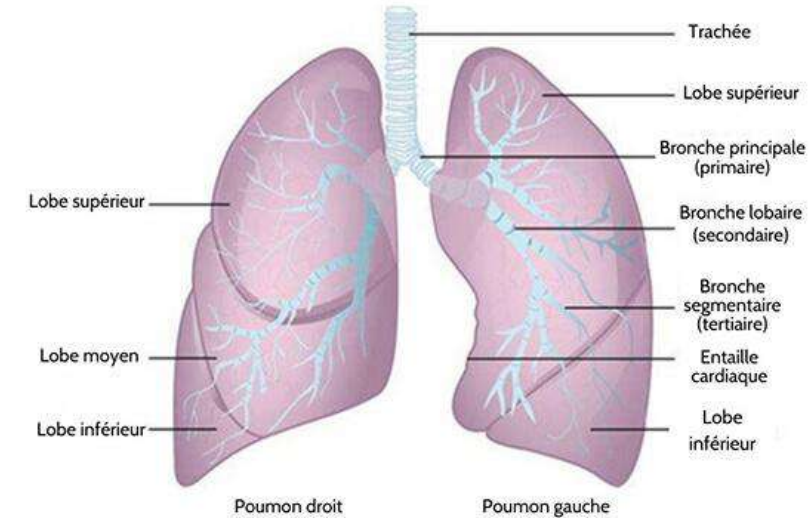


Hernie diaphragmatique



Poumons

- Arbre bronchique intrapulmonaire bronches lobaires, segmentaires, petites bronches et bronchioles
- Parenchyme pulmonaire (conduit alvéolaires, sacs alvéolaires, alvéoles)
- Vaisseaux sanguins
- Tissus conjonctifs et fibres élastiques (charpente)
- Vaisseaux lymphatiques
- Nerfs
- Plèvre viscérale



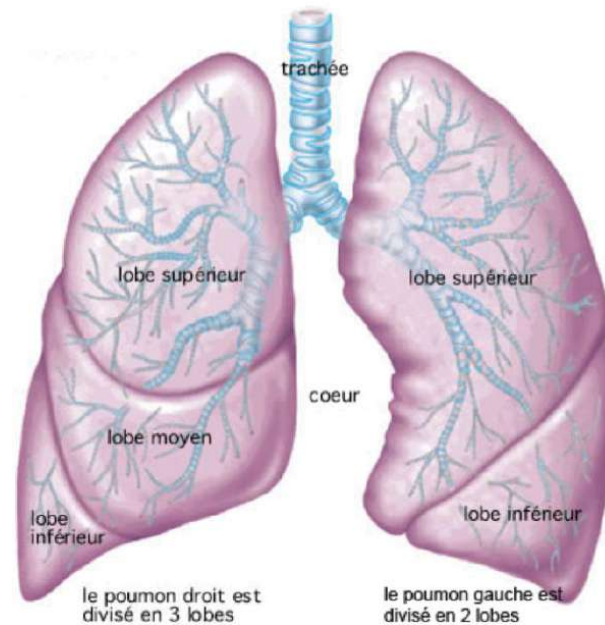
Poumons

Poumon droit

- Hauteur : **25 à 27 cm**
- Largeur maximale : **10 à 12 cm**
- Épaisseur antéro-postérieure : **15 à 16 cm**
- Poids : environ **600 à 700 g**

Poumon gauche

- Hauteur : **24 à 26 cm**
- Largeur maximale : **9 à 11 cm**
- Épaisseur antéro-postérieure : **14 à 15 cm**
- Poids : **500 à 600 g**



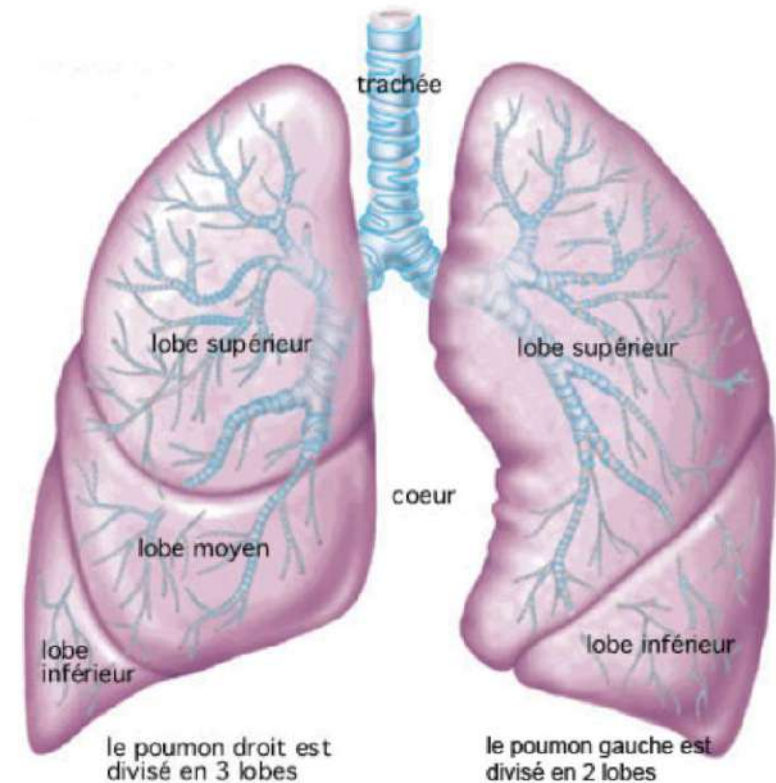
Poumons (Morphologie)

Caractéristiques générales

➤ Les poumons sont deux organes **spongieux, élastiques et coniques** situés dans la cavité thoracique.

➤ Chaque poumon présente :

- un **apex** ;
- une **base diaphragmatique** ;
- une face costale ;
- une face médiastinale ;
- un hile pulmonaire.



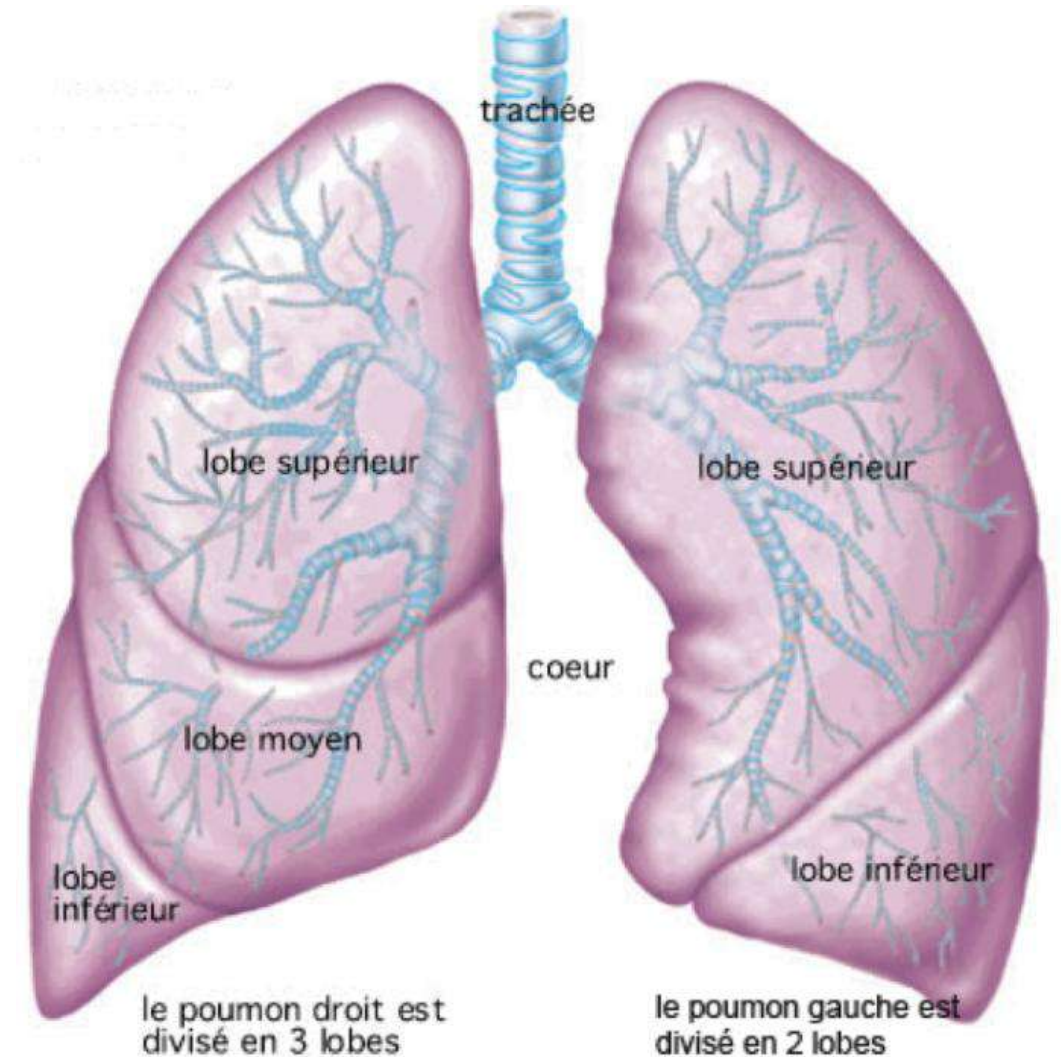
Poumons (Morphologie)

Poumon droit

- **plus volumineux et plus lourd.**
- **3 lobes** : supérieur ; moyen ; inférieur.
- Séparés par les fissures **horizontale et oblique.**

Poumon gauche

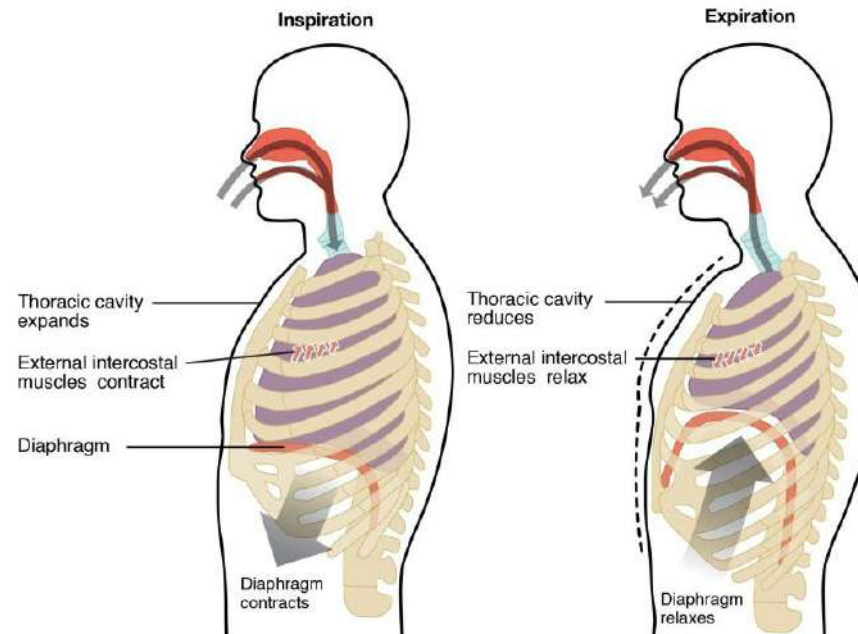
- **plus petit** (présence du cœur)
- **2 lobes** : supérieur ; inférieur.
- Séparés par une **fissure oblique.**
- Présente une **incisure cardiaque.**



II. Ventilation et volumes pulmonaires

Ventilation

- Processus par lequel l'air entre et sort des poumons en empruntant les voies aériennes.
- Assure un constant renouvellement de l'air dans les alvéoles pulmonaires.
- Comprend 2 phases Inspiration : l'air va du nez (bouche) aux alvéoles et Expiration : inverse



Ventilation (composition de l'air)

Composition de l'air atmosphérique

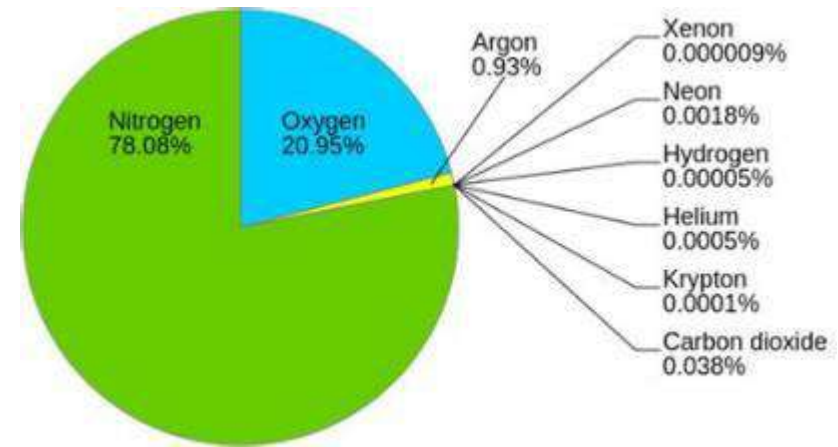
➤ L'air inspiré contient principalement :

➤ $N_2 \approx 78-79 \%$

➤ $O_2 \approx 21 \%$

➤ $CO_2 \approx 0,04 \%$

➤ autres gaz en faible proportion (argon, néon, hélium, méthane, krypton, hydrogène)



Ventilation

Ventilation : processus mécanique qui repose sur des Δ de volumes dans la cage thoracique.

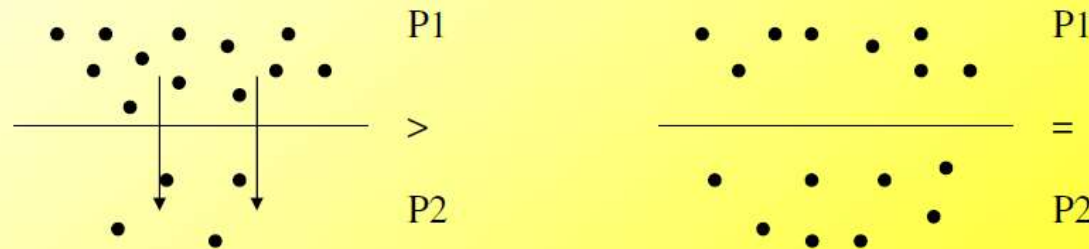
$$- \Delta V \Rightarrow \Delta P^\circ$$



- Loi de Boyle Mariotte : à T cste $PV = \text{cste}$

Le Vol d'un gaz varie inversement proportionnel avec la P° qui lui est appliquée

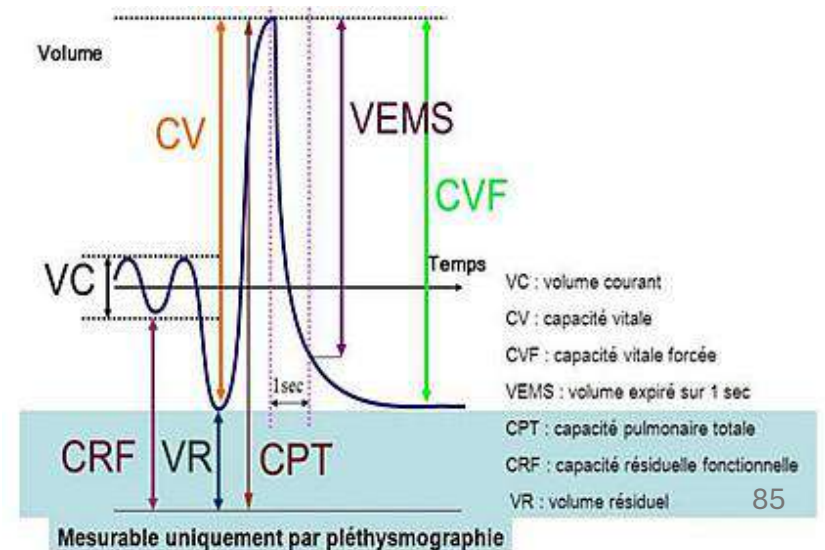
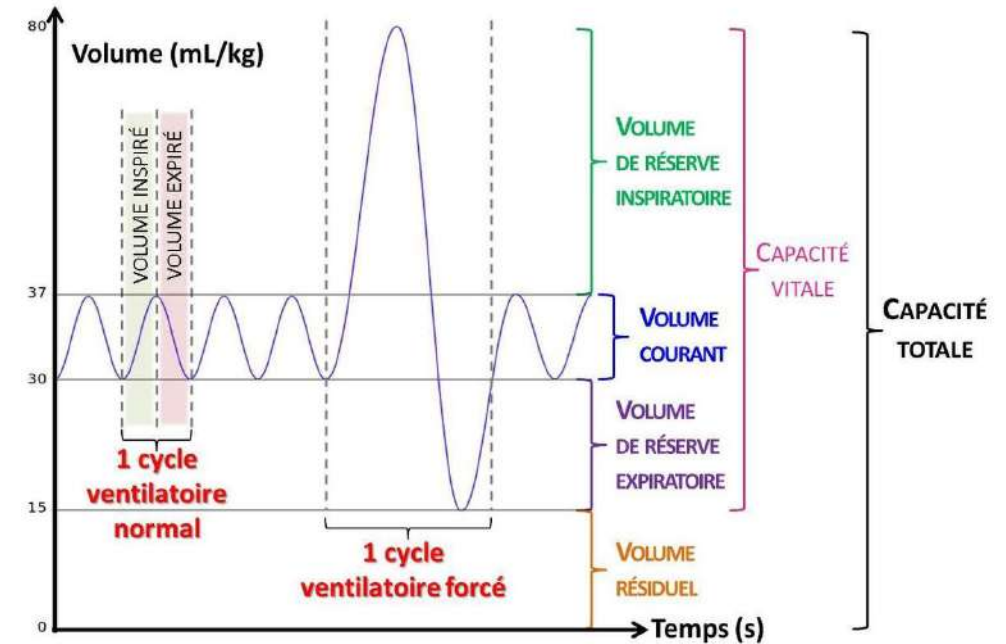
Les Δ de P° provoquent l'écoulement des gaz qui s'écoulent de la P° la + forte vers la + faible jusqu'à égalité des P° .



Volumes pulmonaires (Volumes pulmonaires)

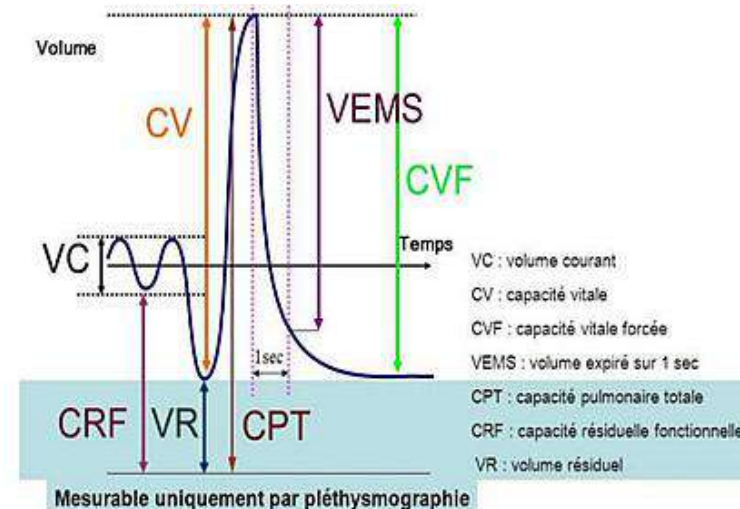
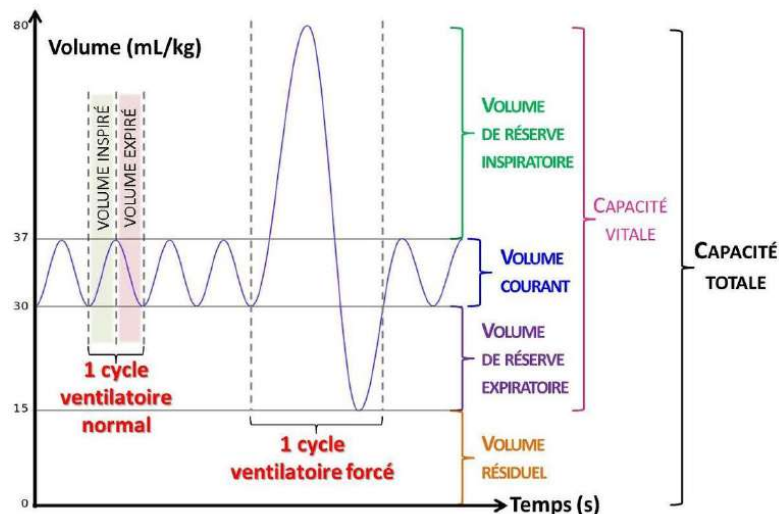
Volumes pulmonaires : quantité d'air présentes dans les poumons pendant la respiration

- **VT : Volume courant (autour de 500 ml)**
Volume d'air inspiré ou expiré lors d'une respiration normale.
- **VRI : Volume de réserve inspiratoire**
Volume supplémentaire pouvant être inspiré après une inspiration normale.
- **VRE : Volume de réserve expiratoire**
Volume supplémentaire pouvant être expiré après une expiration normale.
- **VR : Volume résiduel**
Volume d'air restant dans les poumons après une expiration maximale.
- **VEMS**
Volume Expiratoire Maximal en 1 seconde
→ volume expiré pendant la 1^{re} seconde d'une expiration forcée



Volumes pulmonaires(Volumes pulmonaires)

Volume pulmonaire	Abréviation	Valeur approximative
Volume courant	VT	≈ 500 mL
Volume de réserve inspiratoire	VRI	≈ 3 000 mL
Volume de réserve expiratoire	VRE	≈ 1 100 mL
Volume résiduel	VR	≈ 1 200 mL



Volume pulmonaire (Capacités pulmonaires)

Capacités pulmonaires : somme des plusieurs volumes

➤ **CV : Capacité vitale**

Volume maximal d'air que vous pouvez expirer après une inspiration profonde.

$$CV = VRI + VT + VRE$$

➤ **CRF : Capacité résiduelle fonctionnelle**

Volume d'air restant dans les poumons à la fin d'une expiration normale.

$$CRF = VRE + VR$$

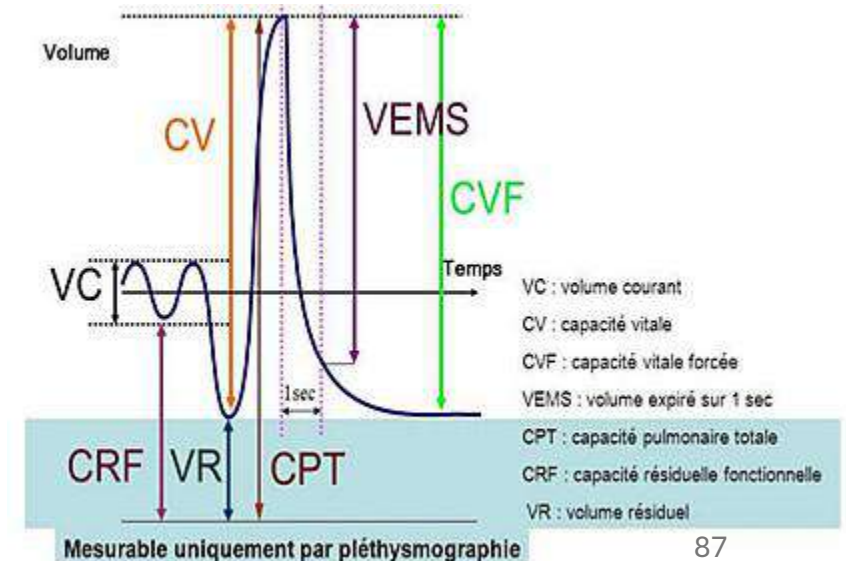
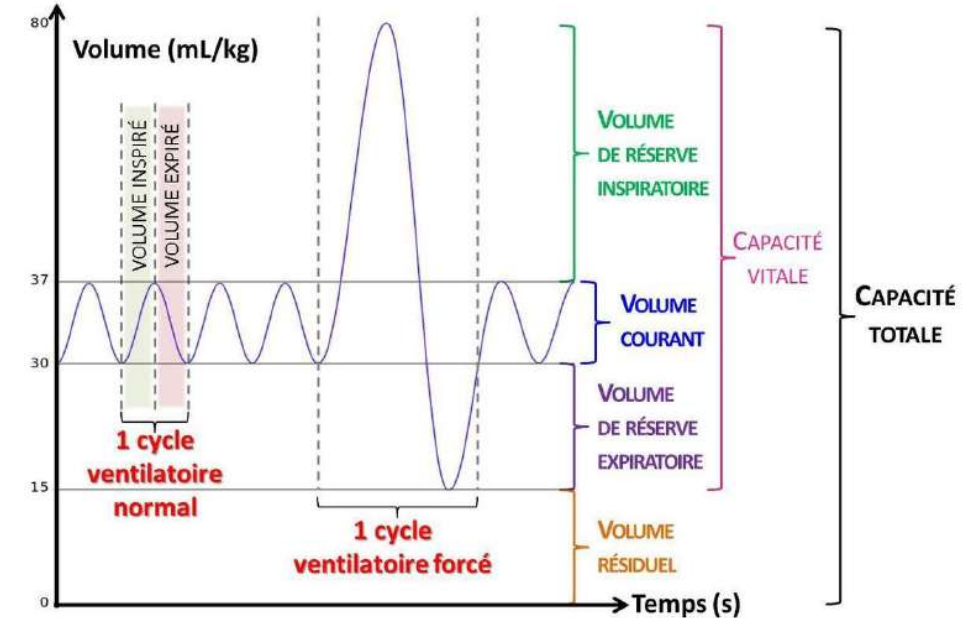
➤ **CPT : Capacité pulmonaire totale**

Volume total contenu dans les poumons après une inspiration maximale.

$$CPT = CV + VR$$

➤ **CVF : Capacité Vitale Forcée**

volume total expiré lors d'une expiration forcée après inspiration maximale



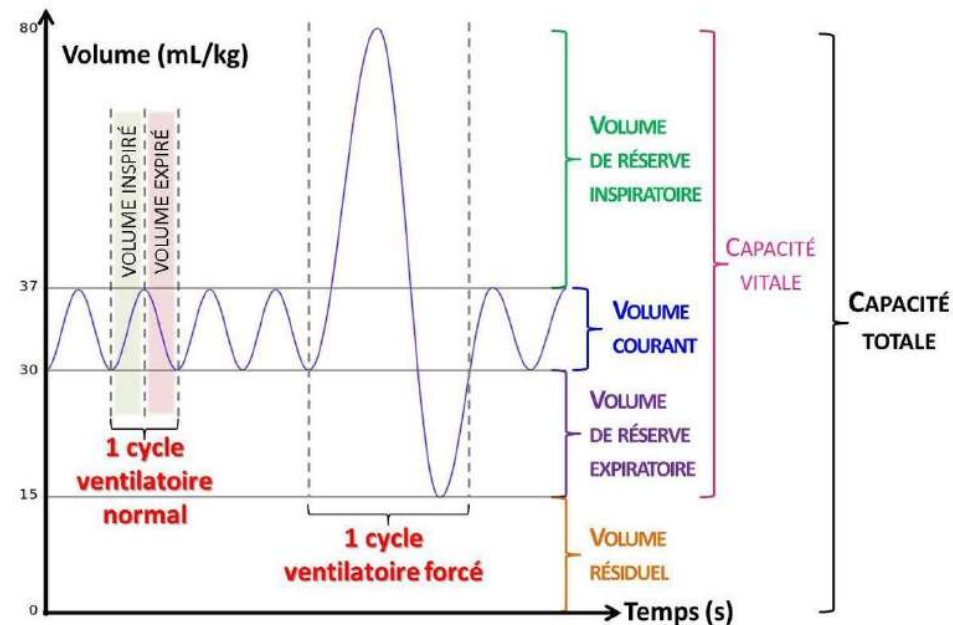
Volume pulmonaire (Volumes pulmonaires)

Volumes

- **VT** : volume courant
- **VRI** : volume de réserve inspiratoire
- **VRE** : volume de réserve expiratoire
- **VR** : volume résiduel

Capacités

- **CV** : capacité vitale
- **CRF** : capacité résiduelle fonctionnelle
- **CPT** : capacité pulmonaire totale



Volume pulmonaire (Principaux paramètres spirométriques)

➤ **VEMS** : Volume Expiratoire Maximal en 1 sec

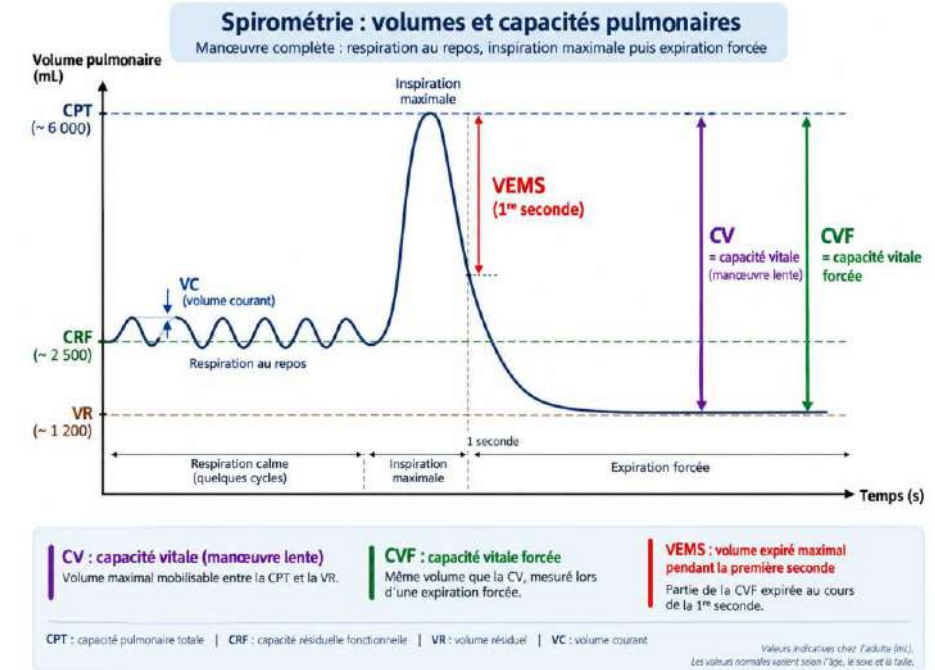
→ volume expiré pendant la première sec d'une expiration forcée

➤ **CVF** : Capacité Vitale Forcée

→ volume total expiré lors d'une expiration forcée après une inspiration maximale

➤ **VEMS/CVF**

→ rapport utilisé pour rechercher une obstruction bronchique



Ventilation

➤ **Ventilation minute** : quantité d'air ventilé dans les poumons en une minute

Ventilation minute (VE) Volume total d'air mobilisé en 1 minute

Formule :

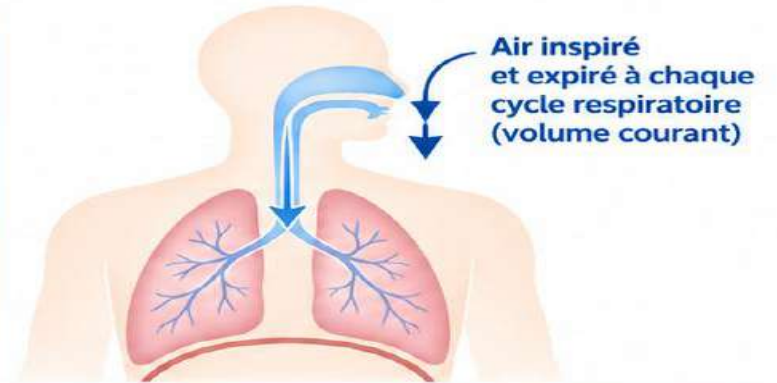
$$VE = \text{Volume courant (VT)} \times \text{Fréquence respiratoire (f)}$$

(mL par inspiration) (cycles par minute)

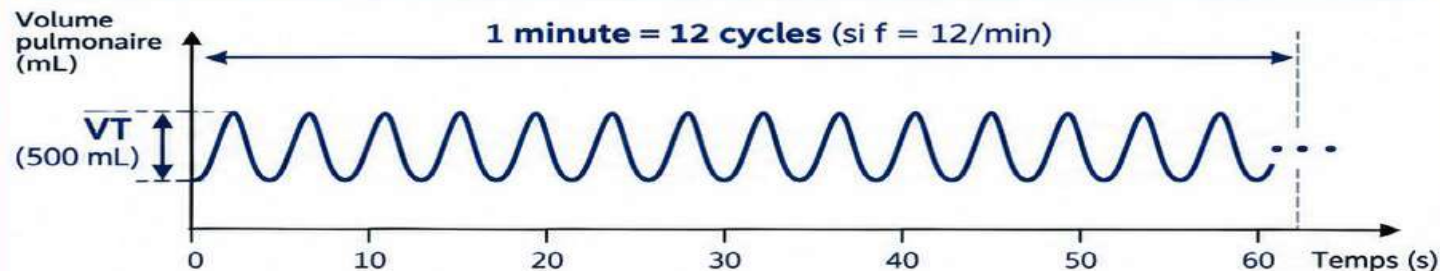
Exemple de calcul :

$$\begin{aligned} VT &= 500 \text{ mL} \\ f &= 12/\text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VE &= 500 \times 12 \\ &= 6000 \text{ mL/min} \\ &= 6 \text{ L/min} \end{aligned}$$



La ventilation minute = somme des volumes courants sur 1 minute



Ventilation minute (VE)
= air total ventilé par minute

Somme de tous les volumes courants inspirés (ou expirés) en 1 minute.

Ventilation alvéolaire (VA)
= (VT - espace mort) × f

Volume d'air qui atteint réellement les alvéoles et participe aux échanges gazeux.



Point important pour les kinés :

Une partie de la ventilation minute n'atteint pas les alvéoles (espace mort).



Donc, la ventilation minute ne correspond pas à un volume pulmonaire statique, mais à un débit ventilatoire exprimé en L/min.

VE s'exprime habituellement en L/min

Ventilation (espace mort)

Espace mort anatomique

➤ Volume d'air contenu dans les voies de conduction où aucun échange gazeux ne se produit

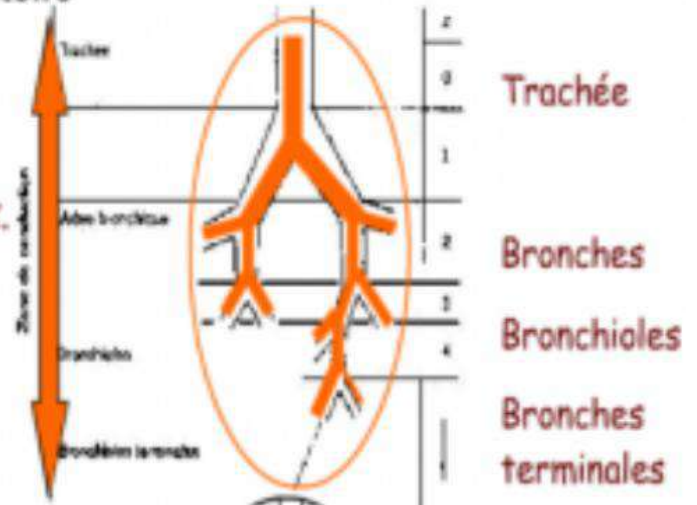
Cet air **ne participe pas directement aux échanges gazeux**,

➤ Il comprend :

- ✓ nez et pharynx ;
- ✓ larynx ;
- ✓ trachée ;
- ✓ bronches ;
- ✓ bronchioles jusqu'aux bronchioles terminales.

Espace mort - Zone respiratoire

Voies de conduction :
pas d'échanges gazeux.
Espace mort
anatomique 150 ml

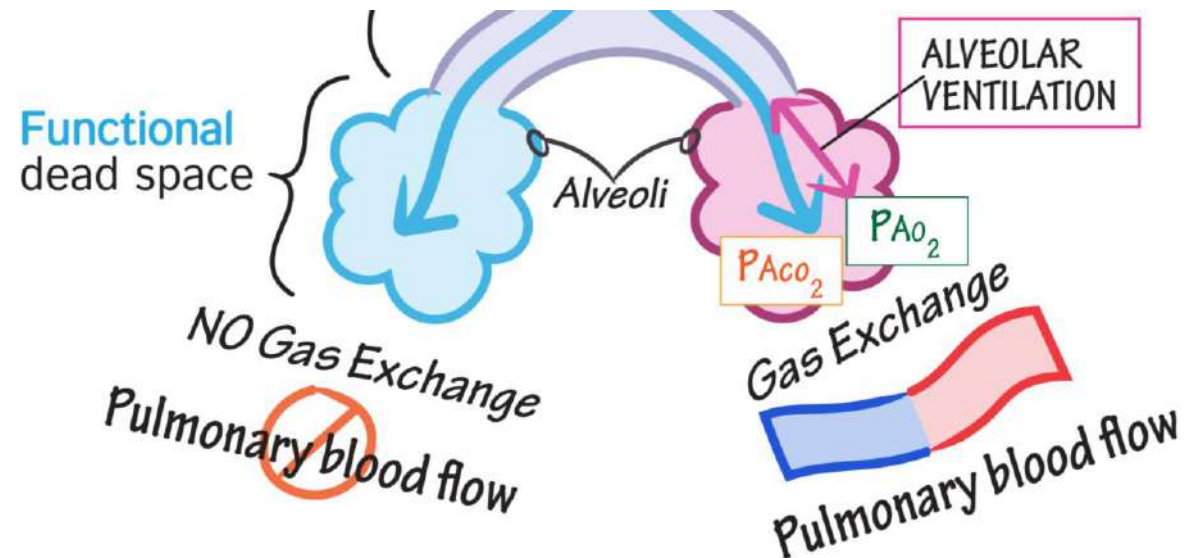


➤ 500 mL inspirés = **environ 150 mL dans l'espace mort** + environ 350 mL d'air frais atteignant les alvéoles.

Ventilation (espace mort)

2. Espace mort alvéolaire

- Correspond à des **alvéoles ventilées mais peu ou pas perfusées**.
- L'air y arrive, mais les échanges gazeux sont inefficaces en raison d'un débit sanguin insuffisant.
- Chez le sujet sain, il est normalement **très faible**



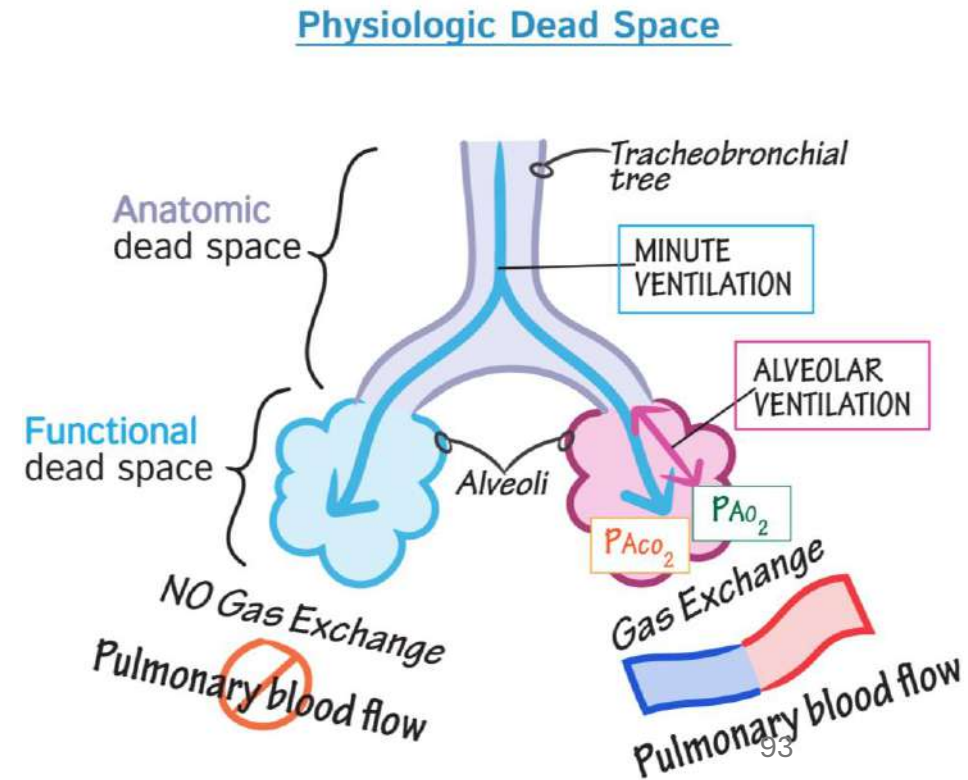
Ventilation (espace mort)

3. Espace mort physiologique

- Il correspond à la somme :
- **Espace mort physiologique = espace mort anatomique + espace mort alvéolaire**

- Chez un sujet sain (espace mort alvéolaire est faible) :

espace mort physiologique $\approx$ espace mort anatomique



III. Mécanique de la respiration

Mécanique respiratoire

Comment le mouvement crée-t-il l'entrée et la sortie de l'air?

Mécanique de la respiration : principe général

Mécanique de la respiration : étude des forces et des mouvements qui permettent de faire entrer et sortir l'air des poumons.

Résulte de l'interaction entre :

- **muscles respiratoires ;**
- **pressions thoraciques et pulmonaires ;**
- **propriétés élastiques du poumon et de la cage thoracique ;**
- **résistance des voies aériennes.**

Contraction musculaire → modification du volume thoracique → variation de pression → déplacement de l'air

Muscles de la respiration

- Inspiration calme : diaphragme + intercostaux externes
- Inspiration forcée : muscles accessoires
- Expiration calme : passive, recul élastique
- Expiration forcée : abdominaux + intercostaux internes

Intérêt kiné : observer l'utilisation excessive des muscles accessoires peut renseigner sur l'augmentation du travail respiratoire.

Loi de Boyle-Mariotte

➤ À température constante : pression et volume d'un gaz varient en sens inverse.

- $V \uparrow \rightarrow P \downarrow$

- $V \downarrow \rightarrow P \uparrow$

➤ Volume thoracique $\uparrow \rightarrow P_{alv} \downarrow \rightarrow$ air entre

➤ Volume thoracique $\downarrow \rightarrow P_{alv} \uparrow \rightarrow$ air sort

Ventilation : processus mécanique qui repose sur des Δ de volumes dans la cage thoracique.

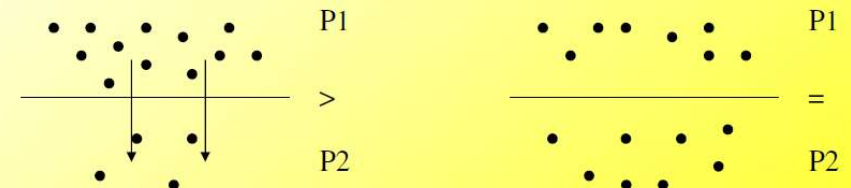
$$- \Delta V \Rightarrow \Delta P^\circ$$



- Loi de Boyle Mariotte : à T cste $PV = \text{cste}$

Le Vol d'un gaz varie inversement proportionnel avec la P° qui lui est appliquée

Les Δ de P° provoquent l'écoulement des gaz qui s'écoulent de la P° la + forte vers la + faible jusqu'à égalité des P° .



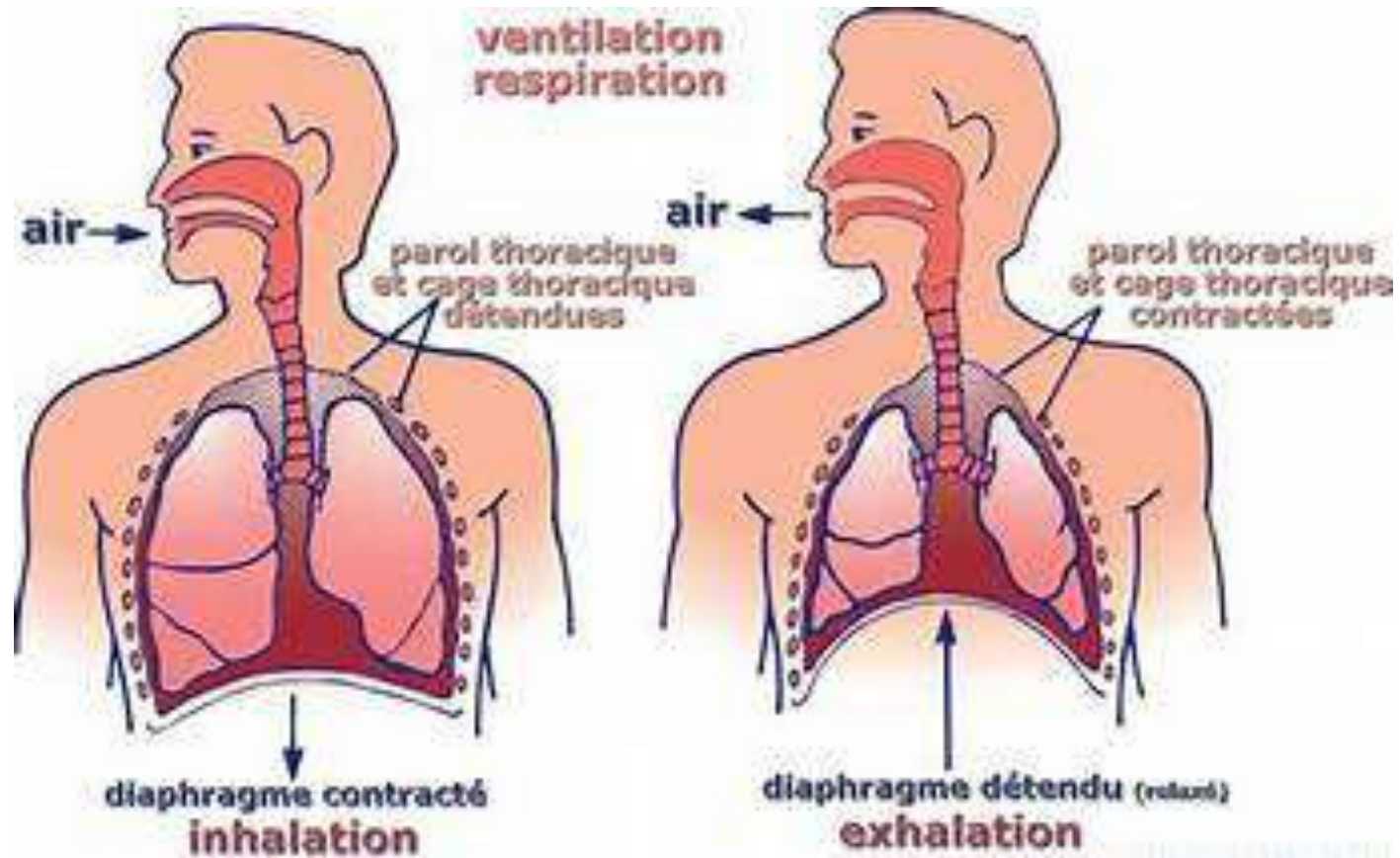
Loi de Boyle-Mariotte

➤ Inspiration

- volume thoracique $\uparrow$
- pression alvéolaire $\downarrow$
- air entre.

➤ Expiration

- volume thoracique $\downarrow$
- pression alvéolaire $\uparrow$
- air sort.



L'air se déplace toujours d'une zone de pression élevée vers une zone de pression plus faible.

Les pressions respiratoires

Trois pressions principales :

➤ **Patm : pression atmosphérique**

→ pression de l'air extérieur.

➤ **Palv : pression alvéolaire**

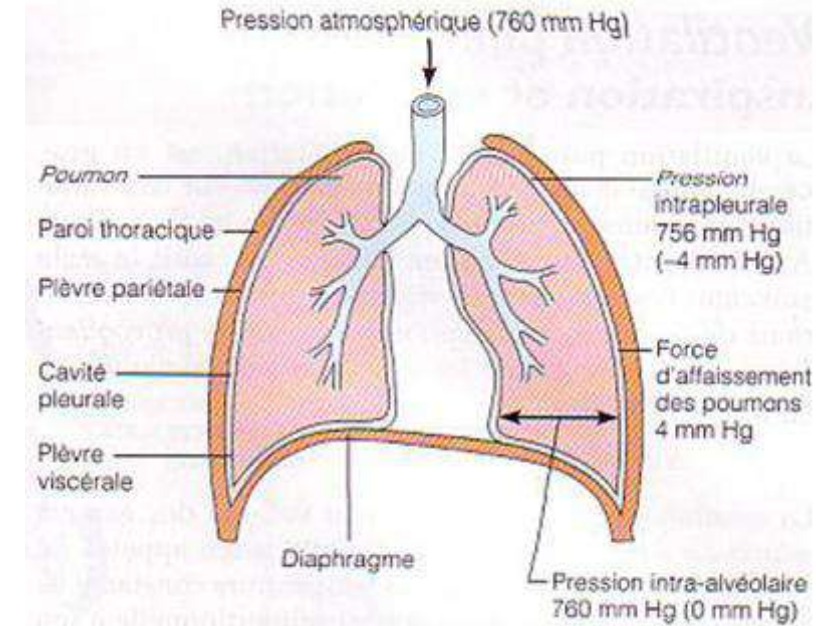
→ pression de l'air à l'intérieur des alvéoles.

➤ **Ppl : pression intrapleurale**

→ pression dans l'espace pleural.

➤ À la fin d'une inspiration ou d'une expiration calme, lorsque l'air ne circule plus :

➤ **Palv = Patm → débit = 0.**



Relations entre la pression intra-alvéolaire et la pression intrapleurale. Pression intra-alvéolaire et pression intrapleurale en position de repos. Les différences par rapport à la pression atmosphérique sont indiquées entre parenthèses.

Les pressions respiratoires

Pressions respiratoires : inspiration et expiration

Variations des pressions alvéolaire et intrapleurale

Inspiration

L'air entre dans les poumons



Air entrant

Pression atmosphérique (P_{atm})
 $= 0 \text{ cmH}_2\text{O}$

Pression alvéolaire (P_{alv})
 $\approx -1 \text{ cmH}_2\text{O}$

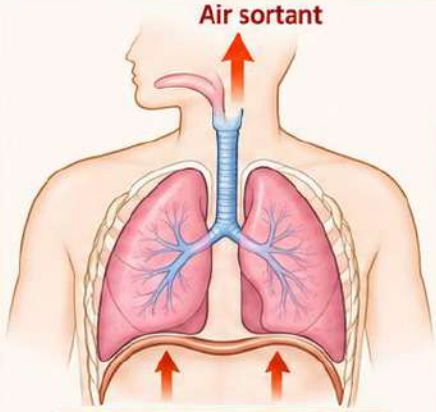
Pression intrapleurale (P_{pl})
 $\approx -5 \text{ cmH}_2\text{O}$ (début inspiration)
 $\rightarrow \approx -7,5 \text{ cmH}_2\text{O}$ (fin inspiration)

- $P_{alv} < P_{atm} \rightarrow$ l'air entre
- La P_{pl} devient **plus négative** et favorise la **distension pulmonaire**

Diaphragme qui se contracte et s'abaisse

Expiration

L'air sort des poumons



Air sortant

Pression atmosphérique (P_{atm})
 $= 0 \text{ cmH}_2\text{O}$

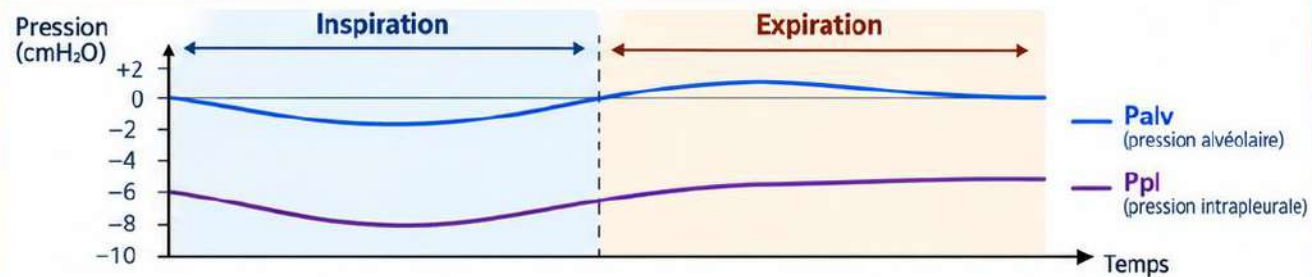
Pression alvéolaire (P_{alv})
 $\approx +1 \text{ cmH}_2\text{O}$

Pression intrapleurale (P_{pl})
remonte vers $\approx -5 \text{ cmH}_2\text{O}$

- $P_{alv} > P_{atm} \rightarrow$ l'air sort
- La P_{pl} devient **moins négative**

Diaphragme qui se relâche et remonte

Évolution des pressions au cours d'un cycle respiratoire



À retenir

- 1 Au repos : $P_{atm} = P_{alv} \rightarrow$ pas de débit
- 2 Inspiration : P_{alv} devient légèrement **négative**
- 3 Expiration : P_{alv} devient légèrement **positive**

Pression transpulmonaire

Pression qui maintient le poumon ouvert, correspond à la différence entre :

➤ **$P_{\text{transpulmonaire}} = P_{\text{alv}} - P_{\text{pl}}$**

- Plus cette différence augmente :
- → plus le poumon est distendu.

➤ **Exemple**

$$P_{\text{alv}} = 0 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$P_{\text{pl}} = -5 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$P_{\text{transpulmonaire}} = +5 \text{ cmH}_2\text{O}$$

Les pressions respiratoires

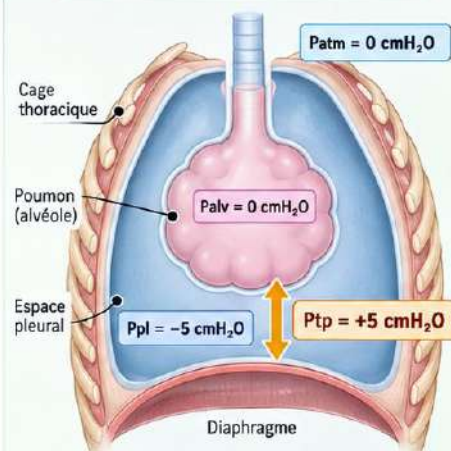
Comprendre les mouvements de l'air et la distension du poumon



1. AU REPOS (fin d'expiration calme)

Pas de débit d'air

Palv = Patm → pas de mouvement d'air



Bilan

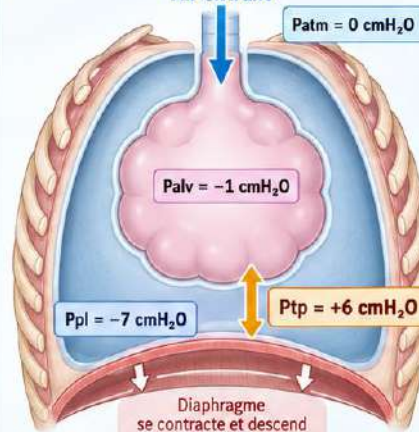
Patm = 0 cmH₂O Palv = 0 cmH₂O
Ppl = -5 cmH₂O Ptp = +5 cmH₂O

2. INSPIRATION (contraction du diaphragme)

Air entre

Palv < Patm → l'air entre dans les poumons

Air entrant



Bilan

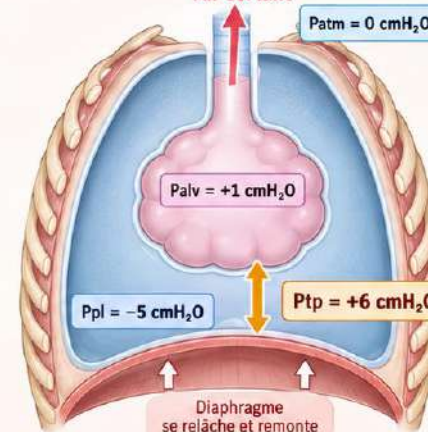
Patm = 0 cmH₂O Palv = -1 cmH₂O
Ppl = -7 cmH₂O Ptp = +6 cmH₂O

3. EXPIRATION (relâchement du diaphragme)

Air sort

Palv > Patm → l'air sort des poumons

Air sortant



Bilan

Patm = 0 cmH₂O Palv = +1 cmH₂O
Ppl = -5 cmH₂O Ptp = +6 cmH₂O

Deux rôles, deux pressions à bien distinguer

- 1 → La pression qui déplace l'air
Gradient de pression entre l'atmosphère et l'alvéole
(Patm ↔ Palv)
- 2 ↑ La pression qui distend le poumon
Pression transpulmonaire (Ptp = Palv - Ppl)

$$Ptp = Palv - Ppl$$

Pression qui distend le poumon
et maintient les alvéoles ouvertes

À retenir

- Pressions exprimées en valeurs relatives.
- Patm = 0 cmH₂O sert de référence.
- Le débit d'air dépend du gradient Patm ↔ Palv
(air entre si Palv < Patm, air sort si Palv > Patm).
- La Ptp maintient la distension pulmonaire,
même pendant l'expiration.

Mieux
respirer
pour mieux
bouger

Pression transpulmonaire

Pneumothorax sous tension

- Lorsque de l'air pénètre dans l'espace pleural mais ne peut plu sortir :
- Ppl se rapproche de la pression atmosphérique
 - perte de la pression transpulmonaire
 - tendance du poumon à s'affaisser.

par exemple :

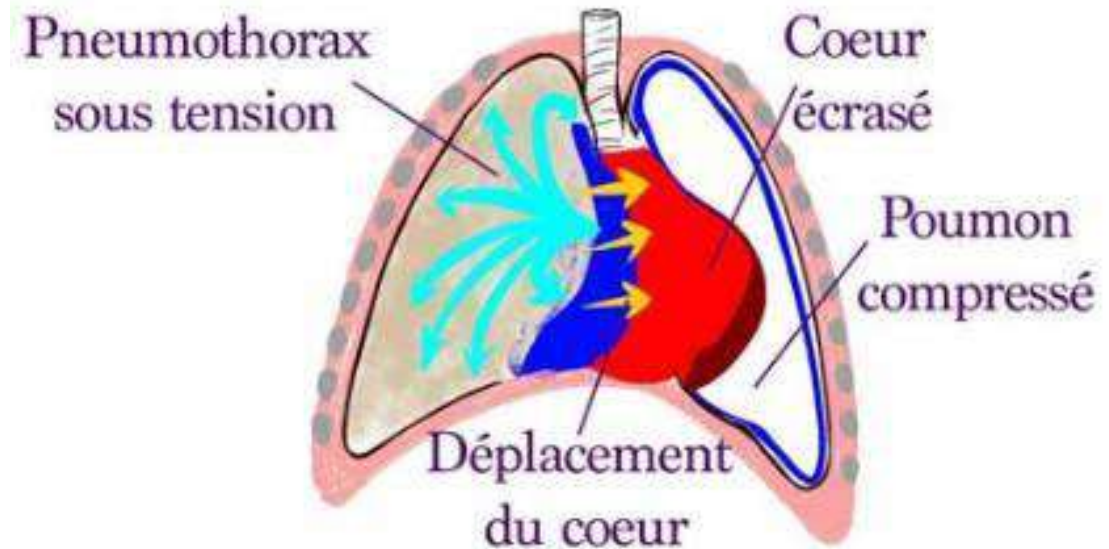
$$P_{pl} = +5 \text{ cmH}_2\text{O}$$

Si à ce moment :

$$P_{alv} = 0$$

alors :

$$P_{tp} = 0 - (+5) = -5 \text{ cmH}_2\text{O}$$



Application kinésithérapique : effet des manœuvres thoraciques sur les pressions respiratoires

Exemple : **compression thoracique expiratoire**

Lorsqu'une pression manuelle est exercée sur le thorax pendant l'expiration :

- le volume thoracique diminue ;
- la pression intrapleurale (Ppl) augmente ;
- la pression alvéolaire (Palv) augmente ;
- le gradient $Palv > Patm$ devient plus important ;
- le débit expiratoire augmente.

Conséquences fonctionnelles

- favorise la sortie de l'air ;
- aide à mobiliser les sécrétions vers les voies aériennes proximales ;
- peut améliorer le désencombrement bronchique.



Pourquoi le poumon se gonfle-t-il facilement ?

Compliance pulmonaire

➤ La **compliance** représente la facilité avec laquelle le poumon se laisse distendre.

➤ $C = \Delta V / \Delta P$

➤ **Compliance élevée**

- grande variation de volume pour une faible variation de pression
- poumon facilement distensible.

➤ **Compliance faible**

- poumon rigide
- davantage de pression nécessaire pour le gonfler.

Exemples :

Fibrose

- compliance ↓
- travail inspiratoire ↑.

Emphysème

- compliance ↑ mais recul élastique ↓
- difficulté expiratoire.

Recul élastique du poumon

➤ Recul élastique : tendance naturelle du poumon à **revenir vers un volume plus faible après avoir été distendu.**

➤ Il dépend

- des fibres élastiques du tissu pulmonaire ;
- de la tension superficielle alvéolaire.

➤ **inspiration** → vaincre les forces de recul

➤ **expiration calme** → le recul favorise la sortie de l'air.

Notion d'élastance

L'**élastance** traduit la tendance d'un organe à **reprendre sa forme initiale après distension.**

$$\textbf{Élastance (E)} = \Delta P / \Delta V$$

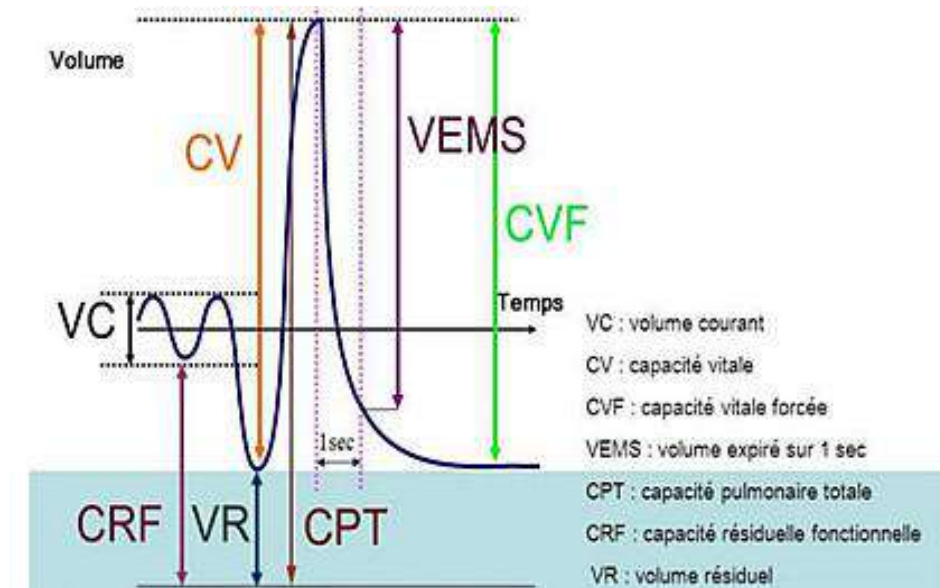
Poumon et cage thoracique

Au repos, deux forces s'opposent :

- **Poumon**
→ tendance à se rétracter vers l'intérieur.
- **Cage thoracique**
→ tendance à s'expandre vers l'extérieur.
- À la **CRF**, ces forces s'équilibrent.

Donc :

- **CRF = volume d'équilibre mécanique du système poumon–cage thoracique.**
- Cela aide aussi à comprendre pourquoi la pression pleurale est normalement négative.

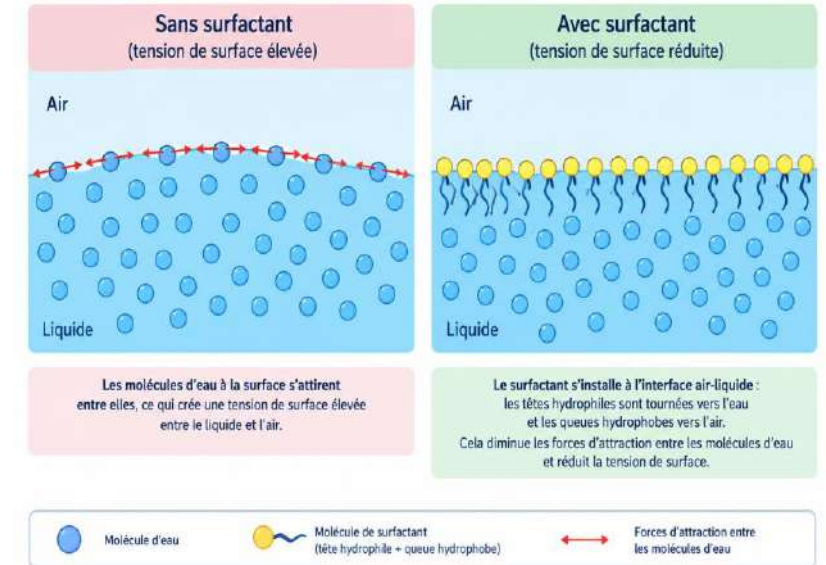


CRF : Capacité résiduelle fonctionnelle

Volume d'air restant dans les poumons à la fin d'une expiration normale.

Tension superficielle et surfactant

- Un film liquidien recouvre l'intérieur des alvéoles.
- À l'interface air–liquide apparaît une **tension superficielle** qui tend à favoriser la rétraction alvéolaire.
- Le surfactant :
 - **tension superficielle** ↓
 - compliance ↑
 - stabilité alvéolaire ↑
 - travail nécessaire pour gonfler le poumon ↓
 - risque d'affaissement alvéolaire ↓.



Pour une alvéole simplifiée :

$$P = 2T / r \text{ (loi de Laplace)}$$

avec :

P = pression nécessaire pour maintenir l'alvéole ouverte

T = tension de surface (force tend à **réduire la surface de l'alvéole**, donc à la faire se rétracter.)

r = rayon.

Sans mécanisme correcteur :

→ les petites alvéoles seraient particulièrement instables

Qu'est-ce qui s'oppose au passage de l'air ?

Résistance des voies aériennes

Le déplacement de l'air rencontre une résistance.

➤ $R = \Delta P / V$

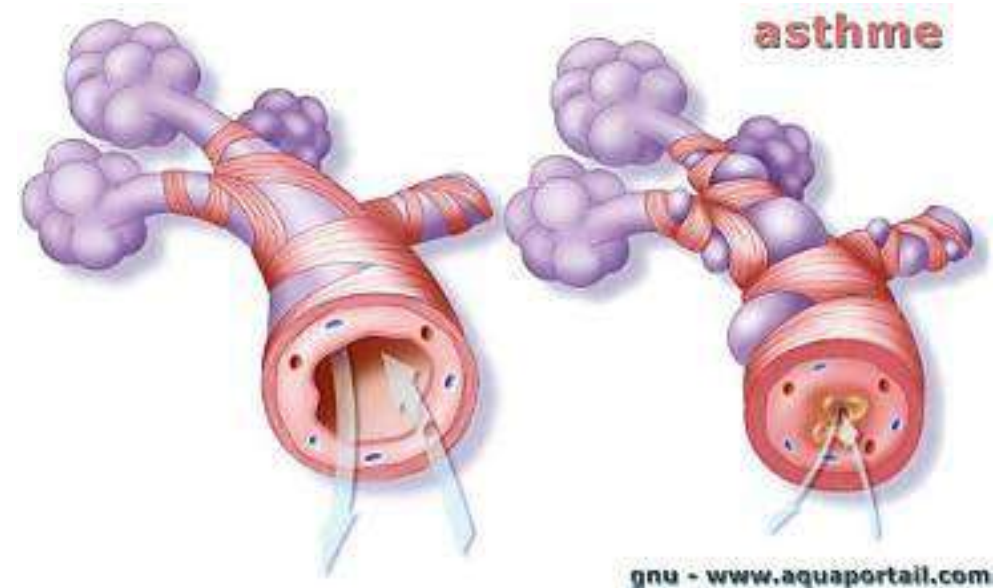
- R = résistance ;
- ΔP = différence de pression ;
- V = débit aérien.

Donc :

$R \uparrow \rightarrow$ il faut une plus grande différence de pression pour obtenir le même débit.

➤ Le rayon bronchique est particulièrement important :

- $R \propto 1 / r^4$
- bronchoconstriction ou mucus $\rightarrow$ rayon $\downarrow \rightarrow$ résistance $\uparrow$
 $\rightarrow$ travail respiratoire $\uparrow$.



Facteurs modifiant la résistance bronchique

➤ 1. Calibre des voies aériennes

→ petit rayon = résistance élevée.

➤ 2. Volume pulmonaire

Poumon gonflé

→ traction radiale ↑

→ voies aériennes plus ouvertes

→ résistance ↓.

➤ Faible volume pulmonaire

→ calibre ↓

→ résistance ↑

→ fermeture possible des petites voies.

➤ 3. Muscle lisse bronchique

Bronchodilatation → résistance ↓

Bronchoconstriction → résistance ↑.

Écoulement de l'air et nombre de Reynolds

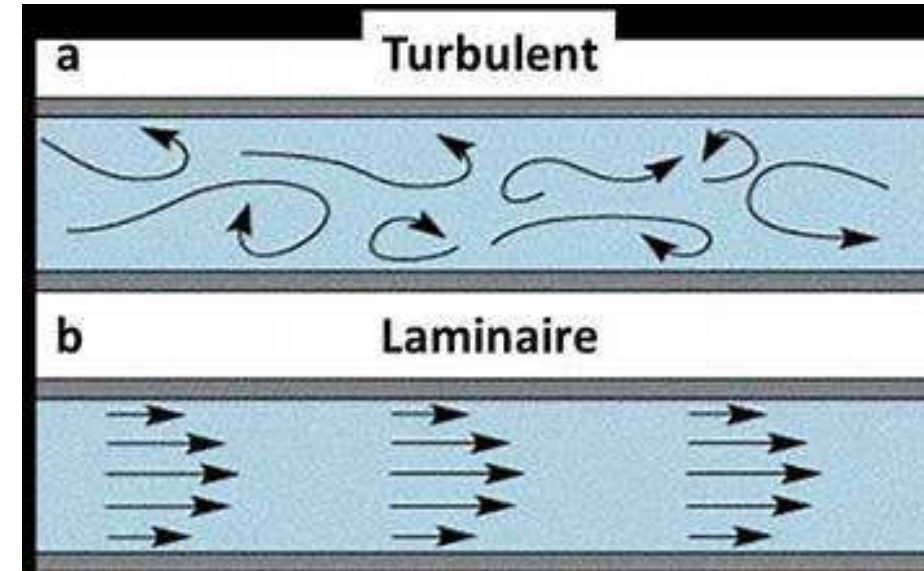
Deux grands types d'écoulement :

➤ Écoulement laminaire

- molécules d'air se déplacent en couches relativement parallèles ;
- favorisé par un débit faible ;
- demande relativement peu de pression pour déplacer l'air.

➤ Écoulement turbulent

- mouvement désordonné de l'air ;
- favorisé lorsque le débit et la vitesse augmentent ;
- nécessite une différence de pression plus importante ;
- augmente donc le **travail respiratoire**.



Écoulement de l'air et nombre de Reynolds

Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds permet d'estimer la tendance d'un écoulement à devenir turbulent :

$$\mathbf{Re} = (2 \times \mathbf{r} \times \mathbf{v} \times \boldsymbol{\rho}) / \boldsymbol{\eta}$$

avec :

- $\boldsymbol{\rho}$ = densité du gaz ;
- $\mathbf{v}$ = vitesse de l'air ;
- $\mathbf{r}$ = rayon ;
- $\boldsymbol{\eta}$ = viscosité du gaz.

Grosses voies aériennes : écoulement turbulent

Petites voies aériennes : écoulement laminaire (grande surface totale)

Effort / respiration rapide

- débit ↑
- vitesse ↑
- Reynolds ↑
- turbulence ↑
- différence de pression nécessaire ↑
- **travail respiratoire** ↑

$$\mathbf{VE} = \mathbf{VT} \times \mathbf{f}$$

au repos :

$$\mathbf{0,5\ L \times 12/min = 6\ L/min}$$

pendant l'effort, par exemple :

$$\mathbf{2\ L \times 30/min = 60\ L/min}$$

Où se situe la plus grande résistance des voies aérienne

Pourquoi ?

- les petites bronchioles sont extrêmement nombreuses ;
- elles sont disposées en **parallèle** ;
- leur **surface de section totale** devient très importante ;
- leur résistance globale reste donc relativement faible.

Au niveau des bronches de calibre intermédiaire :

- la surface de section totale est moins importante ;
- la vitesse de l'air reste relativement élevée ;
- l'écoulement peut être davantage turbulent.

→ **Résistance plus importante**

Résistance totale à l'écoulement de l'air

- 50% = voies aériennes supérieures
- 40% = voies aériennes centrales
- 10% = voies aériennes périphériques

Pathologie: lorsque les voies aériennes périphériques deviendront "parlantes" en terme de résistance, cela correspondra à une atteinte massive de ces voies. Il sera trop tard.

- Bronches = 25% des résistances des voies aériennes profondes (ou inférieures)
- Bronchioles = 25% des résistances des voies aériennes profondes (ou inférieures)

Voies aériennes : Classification

	Nom des ramifications	Nombre de conduits par ramification
Zone de conduction	Trachée	1
	Bronches	2
		4
	Bronchioles	8
		16
Zone respiratoire	Bronchioles terminales	32
	Bronchioles respiratoires	6×10^4
		5×10^5
	Conduits alvéolaires	
	Sacs alvéolaires	8×10^6

Constante de temps pulmonaire

Toutes les unités pulmonaires ne se remplissent et ne se vident pas à la même vitesse.

La vitesse dépend de :

- $\tau = R \times C$
- R = résistance ;
- C = compliance.
- $R \uparrow$
→ remplissage et vidange plus lents.
- **C modifiée**
→ comportement mécanique de l'unité pulmonaire modifié.
- Certaines régions peuvent donc se remplir ou se vider plus lentement que d'autres.

Travail respiratoire

Respirer nécessite de vaincre deux grandes catégories de forces :

➤ Travail élastique

- élasticité du poumon ;
- élasticité thoracique ;
- tension superficielle.

➤ Travail résistif

- résistance des voies aériennes ;
- résistance des tissus.

Donc :

Travail respiratoire = travail élastique + travail résistif.

Deux grands profils mécaniques

Syndrome restrictif

Compliance ↓

→ poumon difficile à distendre

→ travail élastique ↑

→ tendance à une respiration rapide et peu profonde.

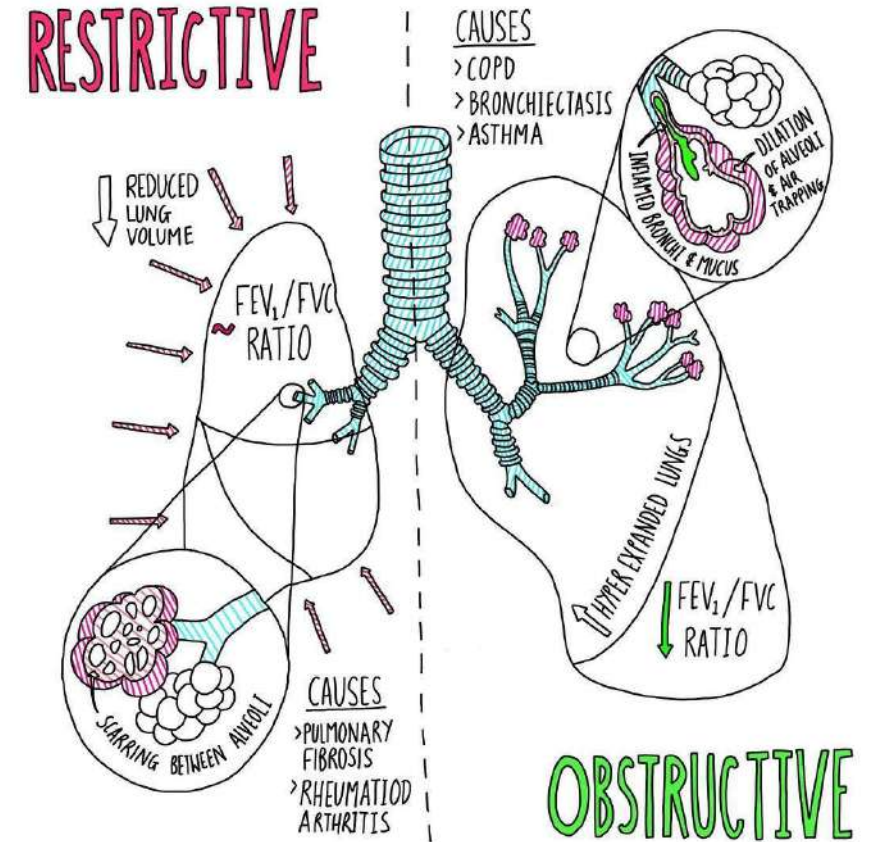
Syndrome obstructif

Résistance des voies aériennes ↑

→ travail résistif ↑

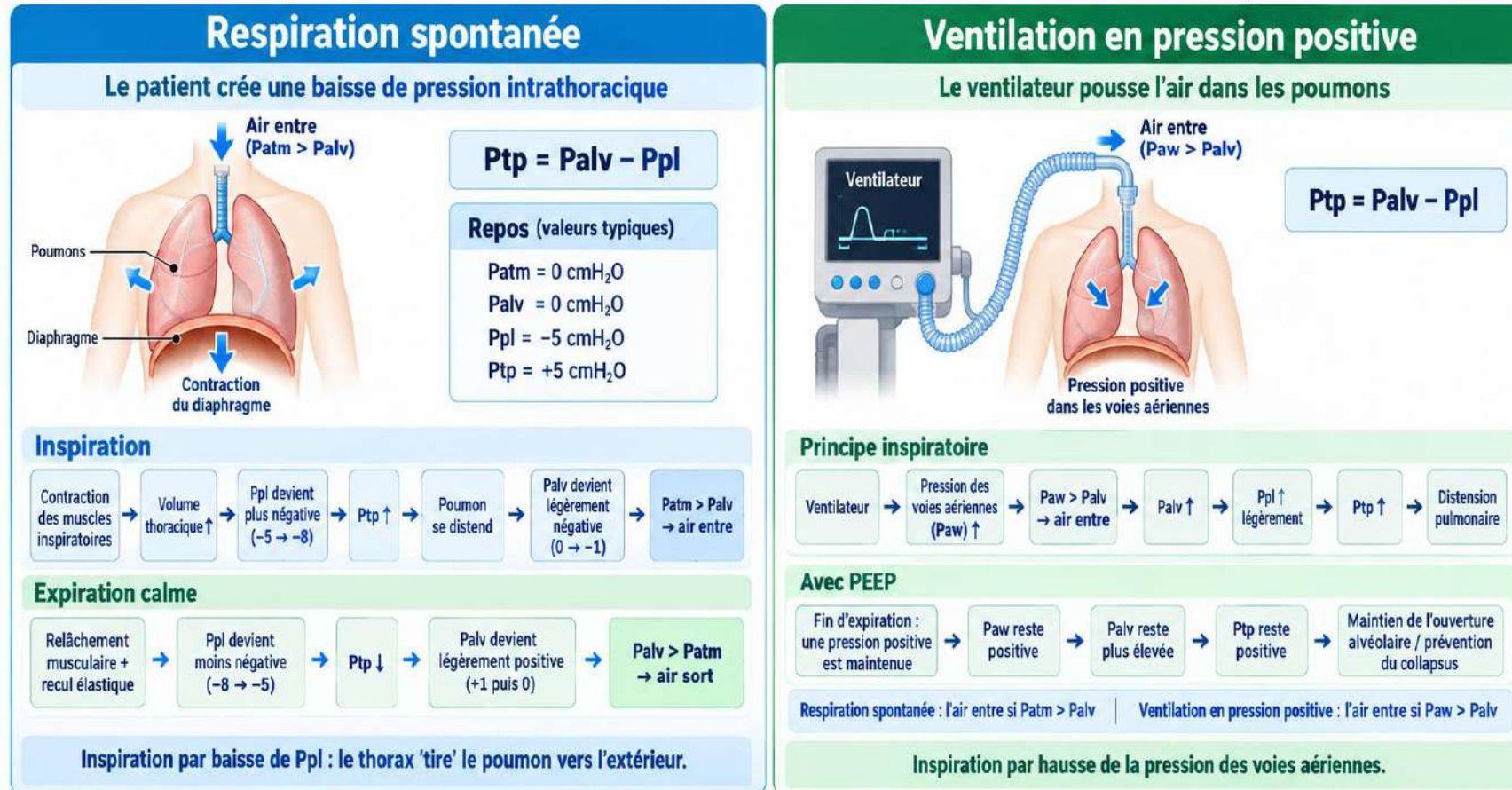
→ expiration plus lente et prolongée

→ risque de piégeage gazeux.



Respiration spontanée , ventilation en pression positive, PEP

Pressions pulmonaires : respiration spontanée vs ventilation en pression positive



Paramètre	Respiration spontanée	Ventilation en pression positive
Force initiatrice	Baisse de Ppl	Hausse de Paw
Entrée de l'air	Patm > Palv	Paw > Palv
Effet sur Ptp	Augmente surtout par baisse de Ppl	Augmente surtout par hausse de Palv
Fin d'expiration	Retour vers valeurs de repos	PEEP possible : pression positive maintenue

IV. Diffusion alveolo-capillaire

Définition de la diffusion alvéolo-capillaire

➤ La **diffusion alvéolo-capillaire** correspond au passage passif des gaz respiratoires à travers la membrane alvéolo-capillaire, selon leur **gradient de pression partielle**.

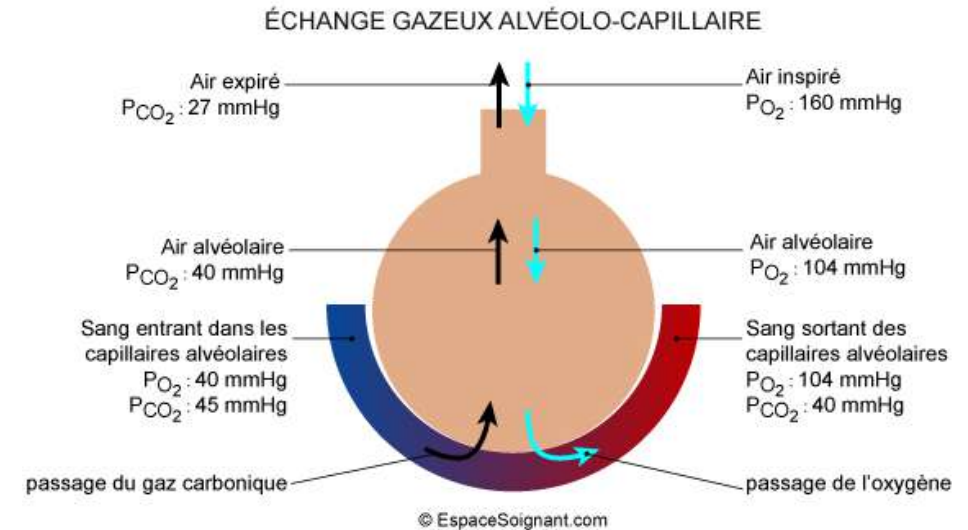
➤ Un gaz diffuse spontanément :

pression partielle élevée → pression partielle faible

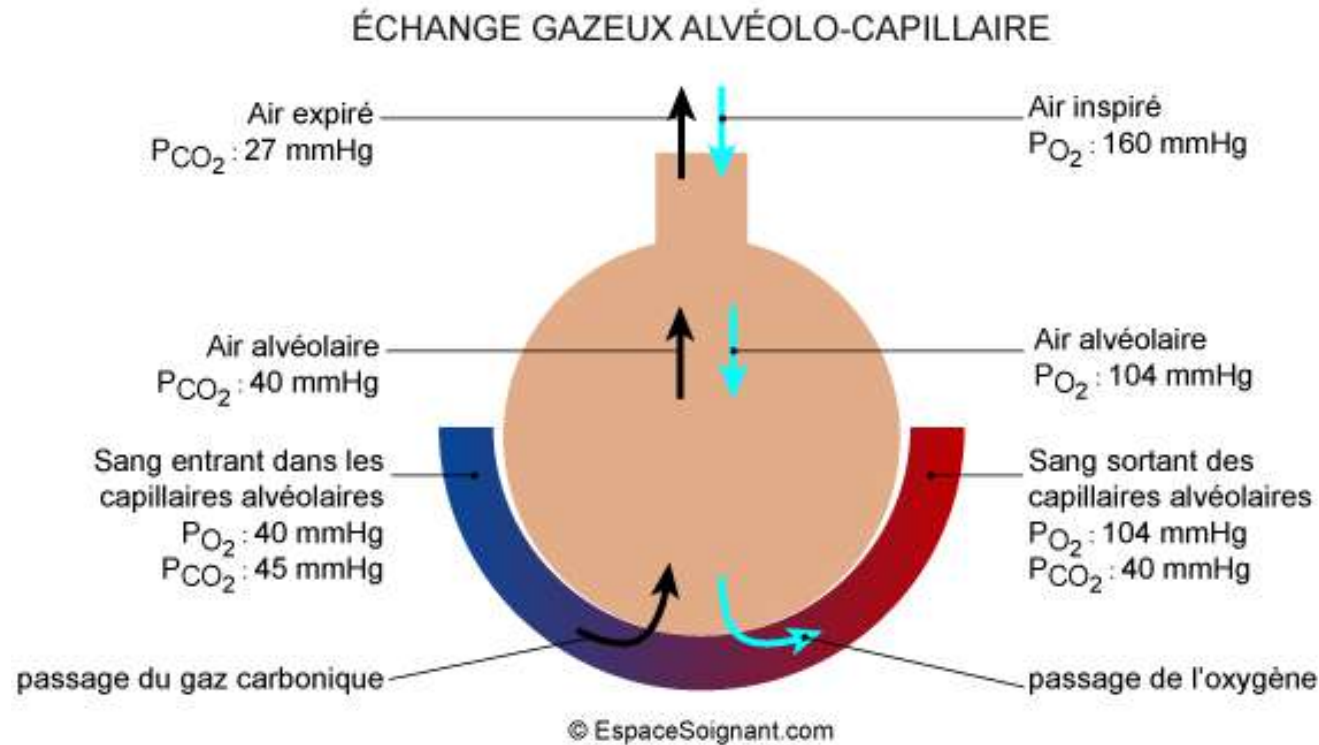
➤ Au niveau pulmonaire :

O₂ : alvéole → sang

CO₂ : sang → alvéole



Pourquoi l'O₂ passe-t-il de l'alvéole vers le sang ?

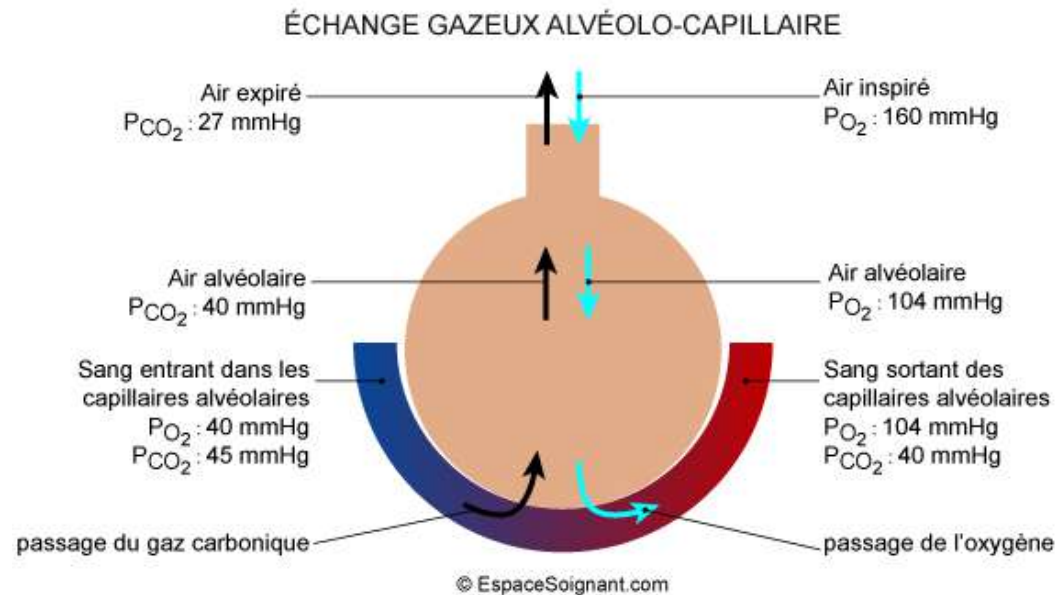


Et pourquoi le CO₂ passe des alvéoles vers le sang ?

Même si le gradient de pression du CO₂ est beaucoup plus faible que celui de l'O₂ :

- O₂ : environ 100 → 40 mmHg, gradient $\approx$ 60 mmHg
- CO₂ : environ 45 → 40 mmHg, gradient $\approx$ 5 mmHg

CO₂ diffuse tout de même très facilement, car sa **solubilité élevée compense son faible gradient**.



La barrière alvéolo-capillaire

air alvéolaire



film liquidien + surfactant



épithélium alvéolaire



membrane/interstitium très mince



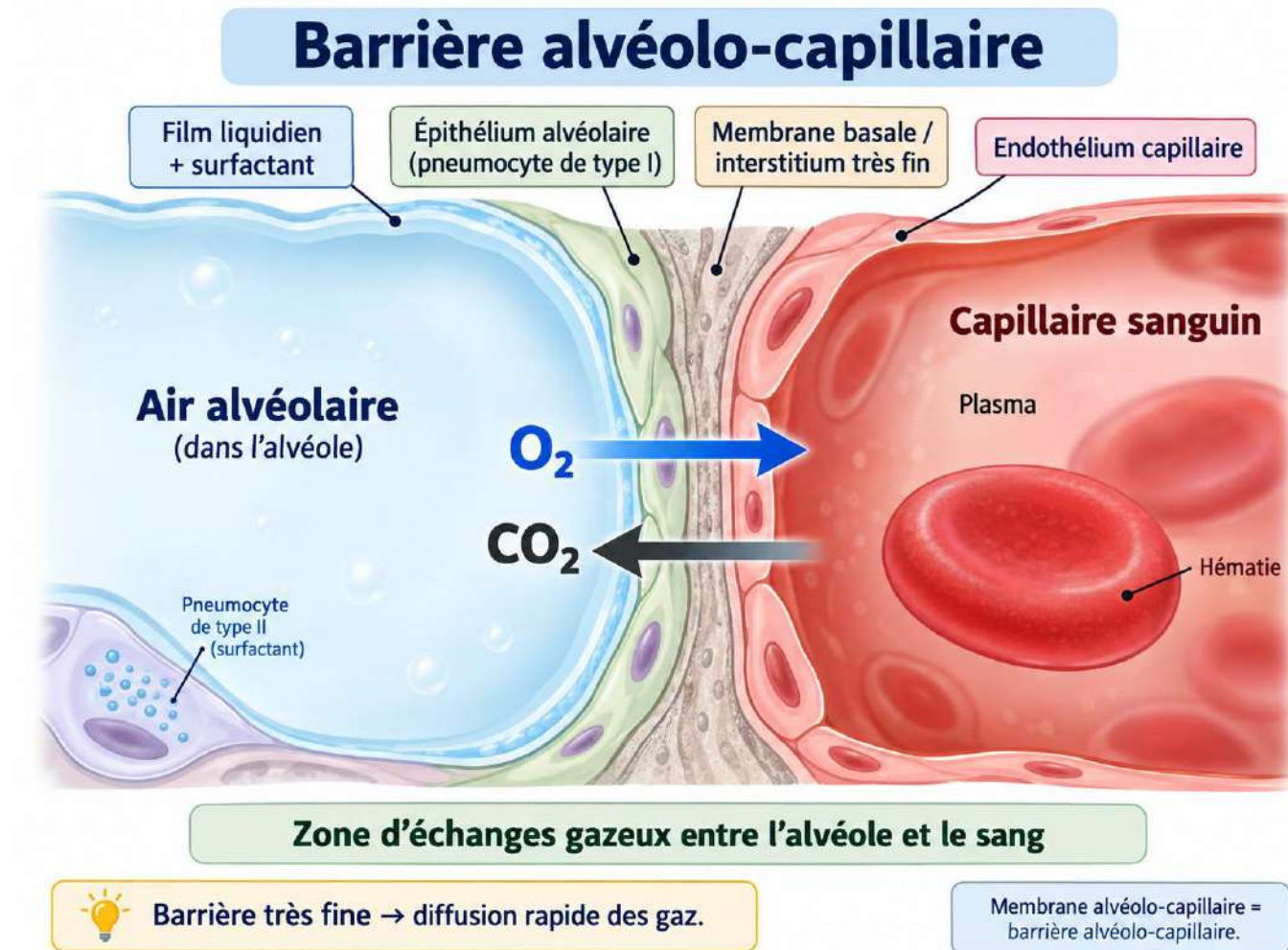
endothélium capillaire



plasma



globule rouge → hémoglobine



De quoi dépend la diffusion ? Loi de Fick

$$V_{\text{gaz}} = (S \times D \times \Delta P) / E$$

Avec :

- **V_{gaz}** = quantité de gaz diffusée par unité de temps ;
- **S** = surface d'échange ;
- **D** = coefficient de diffusion du gaz ;
- **ΔP** = différence de pression partielle ;
- **E** = épaisseur de la membrane.

Diffusion ↑ si :

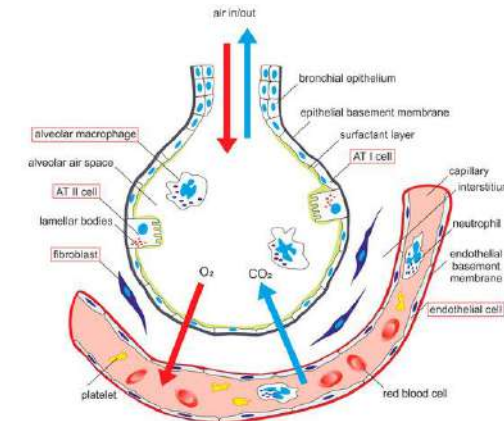
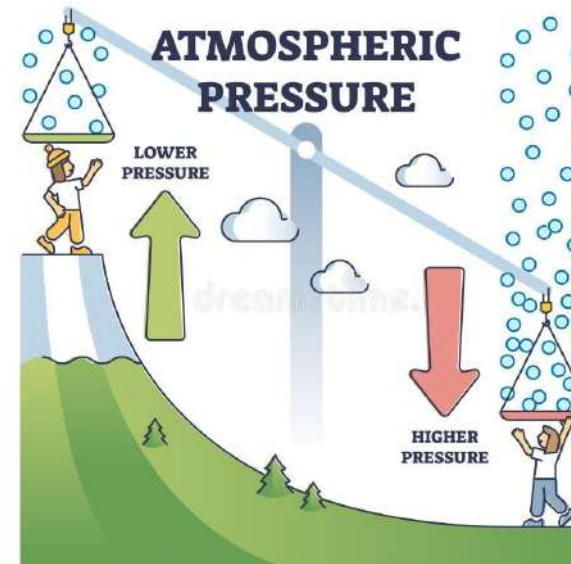
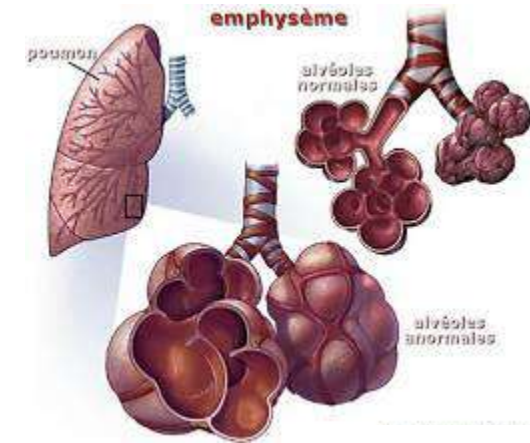
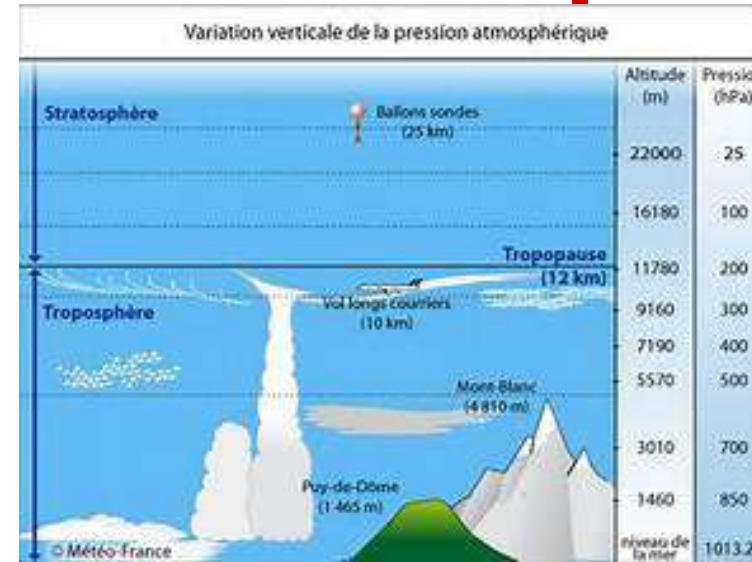
- surface ↑ ;
- gradient de pression ↑ ;
- coefficient de diffusion ↑.

Diffusion ↓ si :

- épaisseur ↑ ;
- surface ↓.

Comprendre la loi de Fick cliniquement

- **Surface d'échange ↓**
 - moins de membrane disponible
 - diffusion ↓
 - exemple : **emphysème**
- **Épaisseur de la membrane ↑**
 - distance à traverser ↑
 - diffusion ↓
 - exemples : **fibrose, œdème pulmonaire**
- **Gradient de PO_2 ↓**
 - force motrice de diffusion ↓
 - exemple : **altitude**



L'O₂ diffuse rapidement dans le capillaire pulmonaire

Au début du capillaire :

PO₂ sanguine ≈ 40 mmHg

Dans l'alvéole :

PO₂ ≈ 100 mmHg

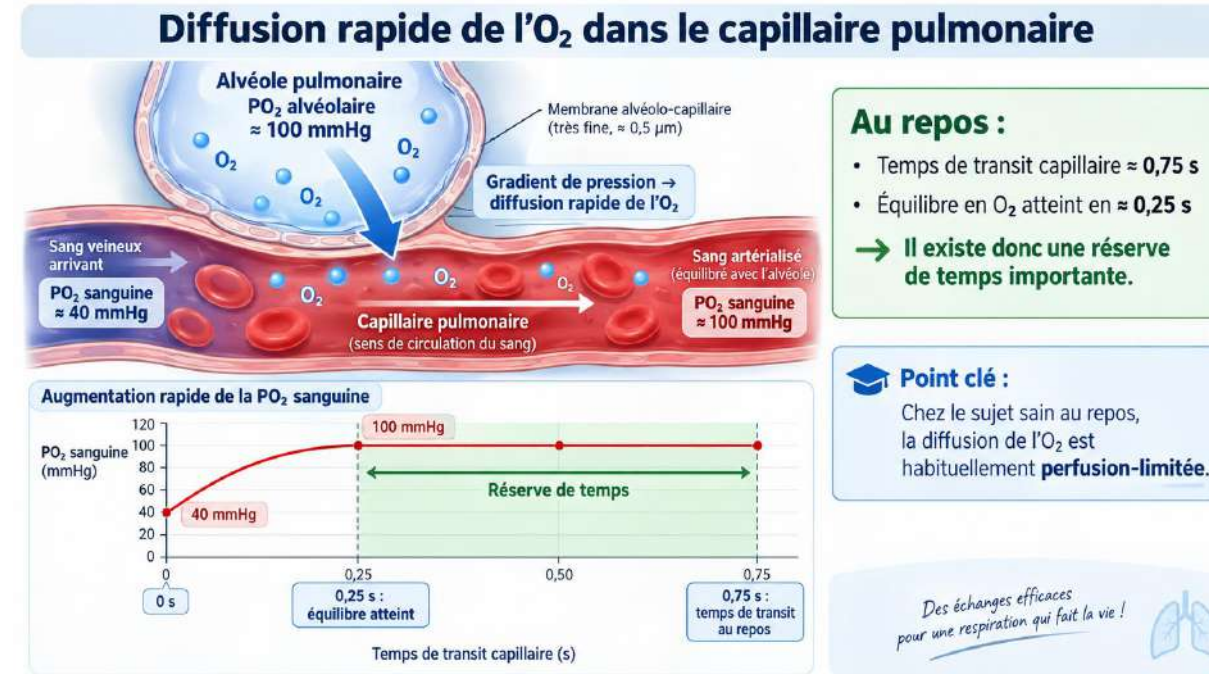
→ diffusion rapide de l'O₂ vers le sang.

Au repos :

temps de transit capillaire ≈ 0,75 s

alors que l'équilibre en O₂ est généralement atteint en environ **0,25 s**

Donc il existe une **réserve de temps importante**.



Effet de l'effort sur la diffusion de l'O₂

Pendant l'effort :

- débit cardiaque ↑ ;
- sang circule plus rapidement dans les capillaires pulmonaires ;
- temps de transit capillaire ↓.

Au repos :

- **Temps de transit $\approx 0,75$ s**
- À l'effort :
- **Temps de transit ↓**
- **Conséquence : l'O₂ dispose de moins de temps pour diffuser de l'alvéole vers le sang.**

Chez le sujet sain

Chez le sujet sain, la diffusion de l'O₂ est très rapide.

- Au repos :
- **Équilibre alvéole–sang atteint en $\approx 0,25$ s**
- Même si le temps de transit diminue à l'effort :
- l'O₂ atteint généralement encore l'équilibre ;
- l'oxygénation artérielle reste maintenue.

Adaptation de la circulation pulmonaire à l'effort

Pendant l'effort :

- recrutement de nouveaux capillaires pulmonaires ;
- distension des capillaires déjà ouverts ;
- surface d'échange disponible ↑.
- Ces mécanismes permettent de maintenir des échanges gazeux efficaces malgré l'augmentation du débit sanguin.

Chez le patient atteint d'une maladie pulmonaire

Si la diffusion est déjà altérée :

- membrane épaissie → fibrose, œdème ;
- surface d'échange diminuée → emphysème.

Pendant l'effort :

- **temps disponible ↓ + diffusion ralentie**
- → équilibre alvéole–sang parfois incomplet
 - PaO_2 ↓
 - SpO_2 ↓
 - désaturation possible.

Application kinésithérapique

- Un patient peut présenter :
 - **SpO₂ normale au repos**
 - mais
 - **SpO₂ diminuée pendant la marche ou l'exercice**
 - Pourquoi ?
 - **Effort → temps de transit capillaire ↓**
 - Si la diffusion est altérée :
 - **O₂ n'a pas assez de temps pour atteindre complètement l'équilibre**
- désaturation.

Intérêt kiné :

- surveiller la SpO₂ à l'effort ;
- observer la dyspnée ;
- adapter l'intensité de l'exercice ;
- prévoir des temps de récupération si nécessaire.

Merci de votre attention