

Anatomie respiratoire

Dominique DELPLANQUE

K1

L'appareil Respiratoire

- L'appareil thoracopulmonaire peut être assimilé à un soufflet déformable, constitué:
 - du thorax
 - du poumon
 - de la plèvre
 - des voies aériennespermettant l'entrée et la sortie de flux gazeux.

Rappels embryologiques

A quel âge le poumon est-il achevé ?

DEVELOPPEMENT PULMONAIRE

- **Développement anté et post natal**
- **Achèvement (structures et fonction) à la fin de l'adolescence**
- **Formation arbre aérien en anté-natal**
- **Multiplication alvéolaire jusqu'à 1 à 2 ans**
- **Après 2 ans, augmentation des structures jusqu'à la fin de la croissance du thorax**

DEVELOPPEMENT PULMONAIRE

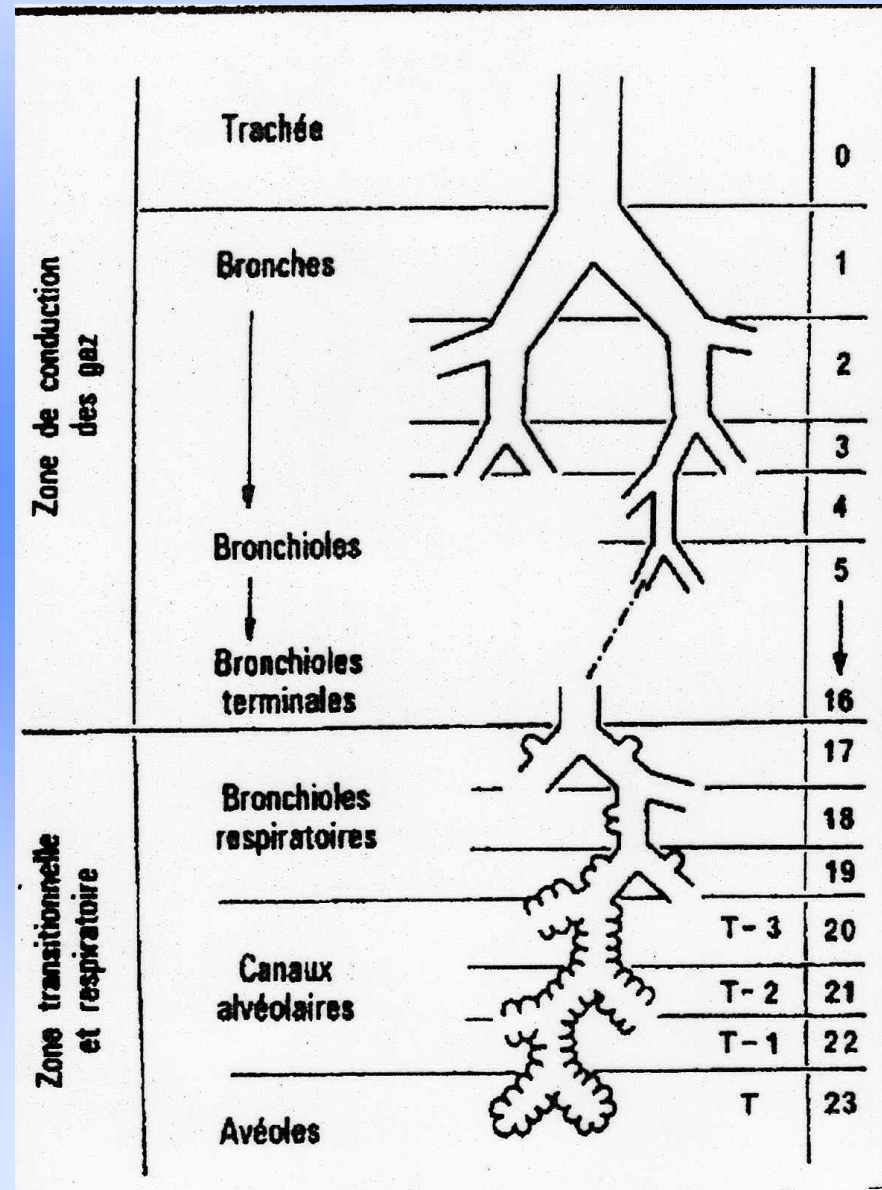
Stade	Période anténatale (en semaines)		Période postnatale
	embryon- naire	foétale	
Embryonnaire	1-7		jusqu'à 1-2 ans
Pseudoglandulaire		5-17	
Canalaire		16-26	
Sacculaire		24-38	
Alvéolaire		36	

Le développement pulmonaire est continu ce qui explique le chevauchement entre les différents stades.

DEVELOPPEMENT PULMONAIRE

- **PERIODE ANTE-NATAL: 5 stades**
- **PERIODE POST-NATAL**
 - **MULTIPLICATION ALVEOLAIRE**
 - 25 à 50 x 10⁶ à la naissance
 - 300 x 10⁶ à 8 ans
 - 400-800 x 10⁶ à l'âge adulte
 - **AUGMENTATION DE TAILLE DES BRONCHES ET DES ALVEOLES**

DEVELOPPEMENT PULMONAIRE



DEVELOPPEMENT PULMONAIRE

- **Progression du muscle lisse bronchique jusqu'à 8 mois de vie post-natal**
- **Parallèlement au développement des structures, la fonction progresse: PaO₂ à 70 mmHg à la naissance, 90 mmHg à 2 ans et proche des valeurs de l'adulte vers 8, 10 ans.**

ADAPTATION A LA VIE AERIENNE

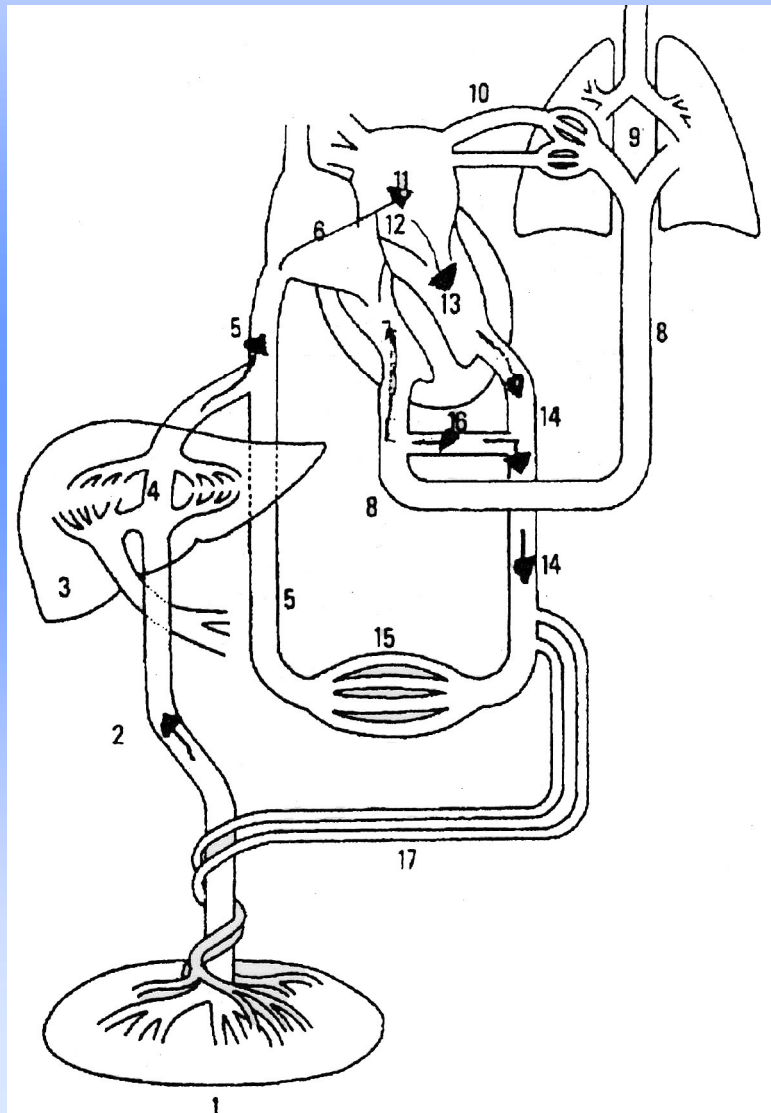
ADAPTATION CIRCULATOIRE

Comment se fait la circulation sanguine in utero ?

Que se passe t-il à la naissance ?

ADAPTATION A LA VIE AERIENNE

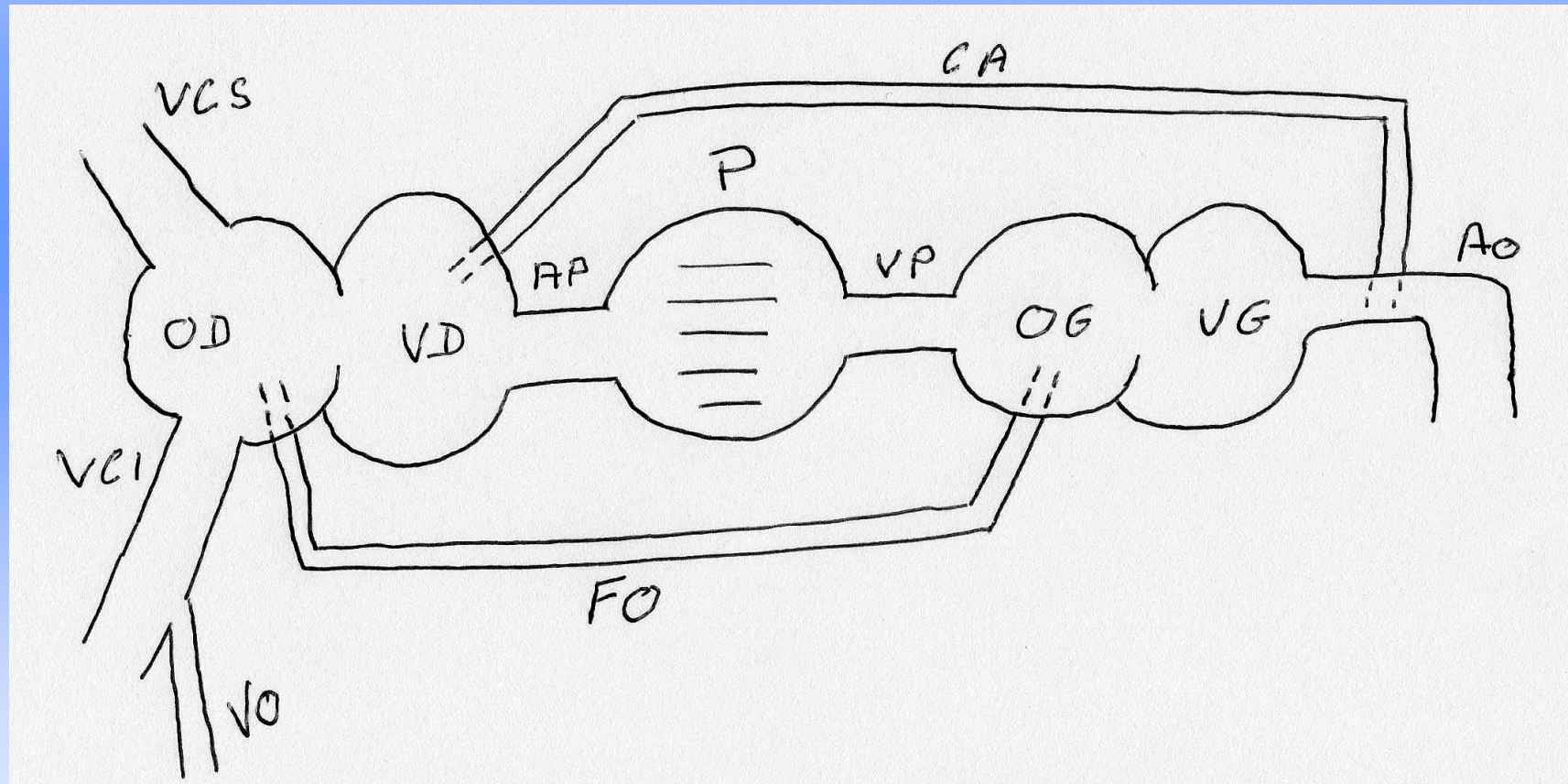
ADAPTATION CIRCULATOIRE



1. Placenta
2. Veine ombilicale
3. Foie
4. Canal d'Arantius
5. Veine cave inférieure
6. Oreillette droite
7. Ventricule droit
8. Artère pulmonaire
9. Pouxons
10. Veines pulmonaires
11. Oreillette gauche
12. Trou de Botol (CIA)
13. Ventricule gauche
14. Aorte
15. Circulation périphérique
16. Canal artériel (CA)
17. Artères ombilicales

ADAPTATION A LA VIE AERIENNE

ADAPTATION CIRCULATOIRE



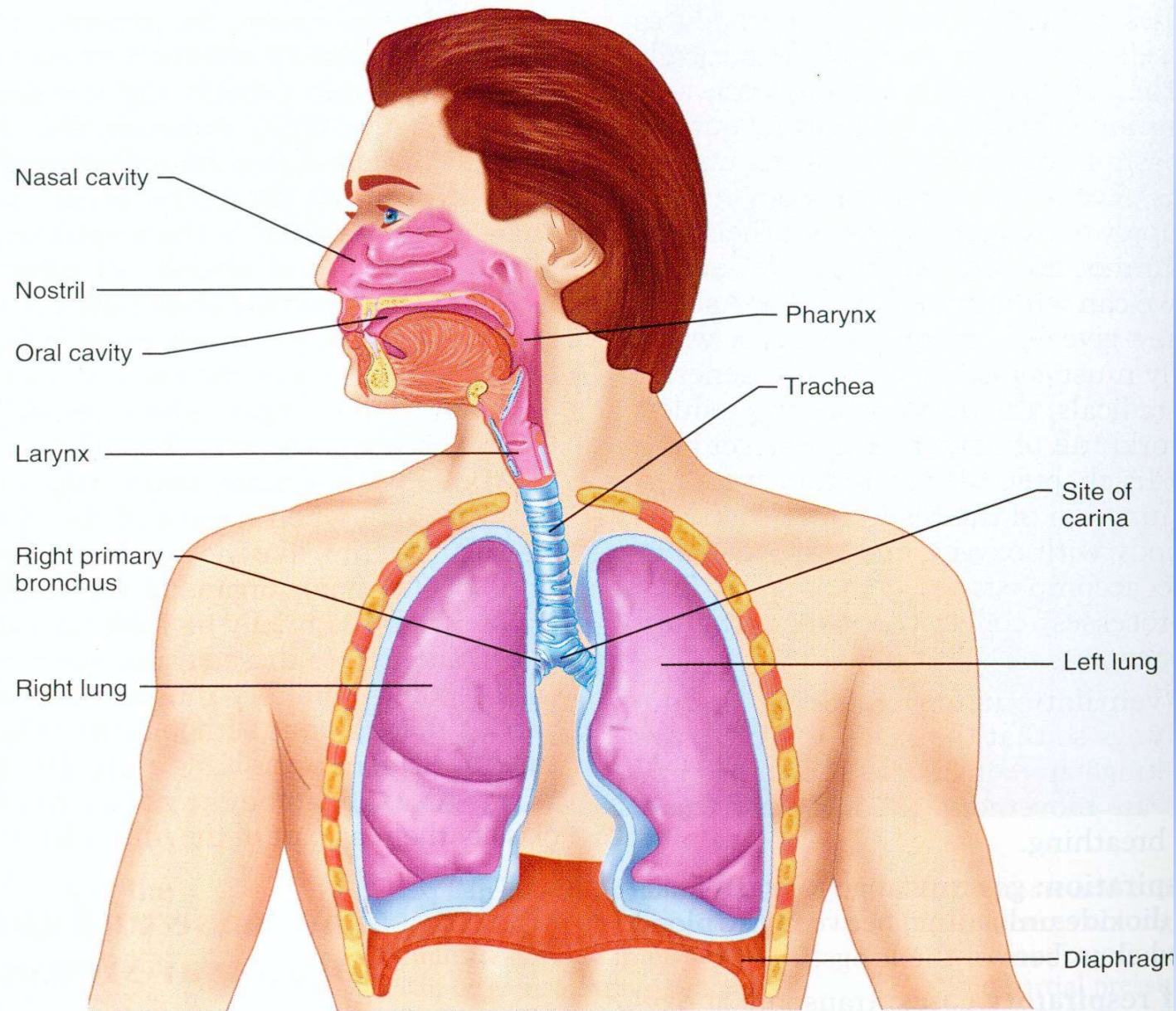
ADAPTATION A LA VIE AERIENNE

ADAPTATION RESPIRATOIRE

- **Maturation du surfactant**
- **Le liquide pulmonaire secrété pendant la gestation disparaît par**
 - **Arrêt de la sécrétion**
 - **Résorption pulmonaire**
 - **Expulsion bronchique par compression thoracique lors du passage dans la filière génitale**

HISTOLOGIE

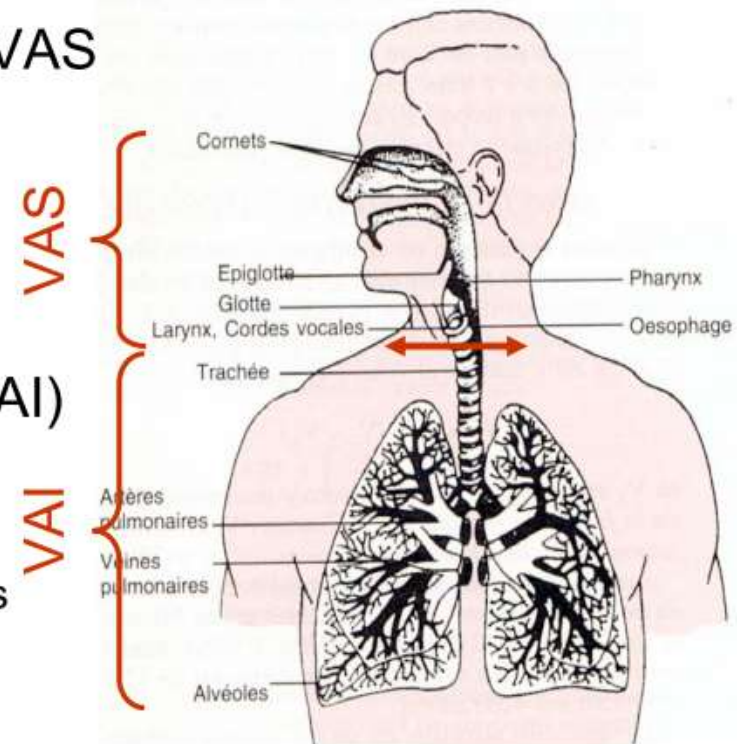
ANATOMIE FONCTIONNELLE



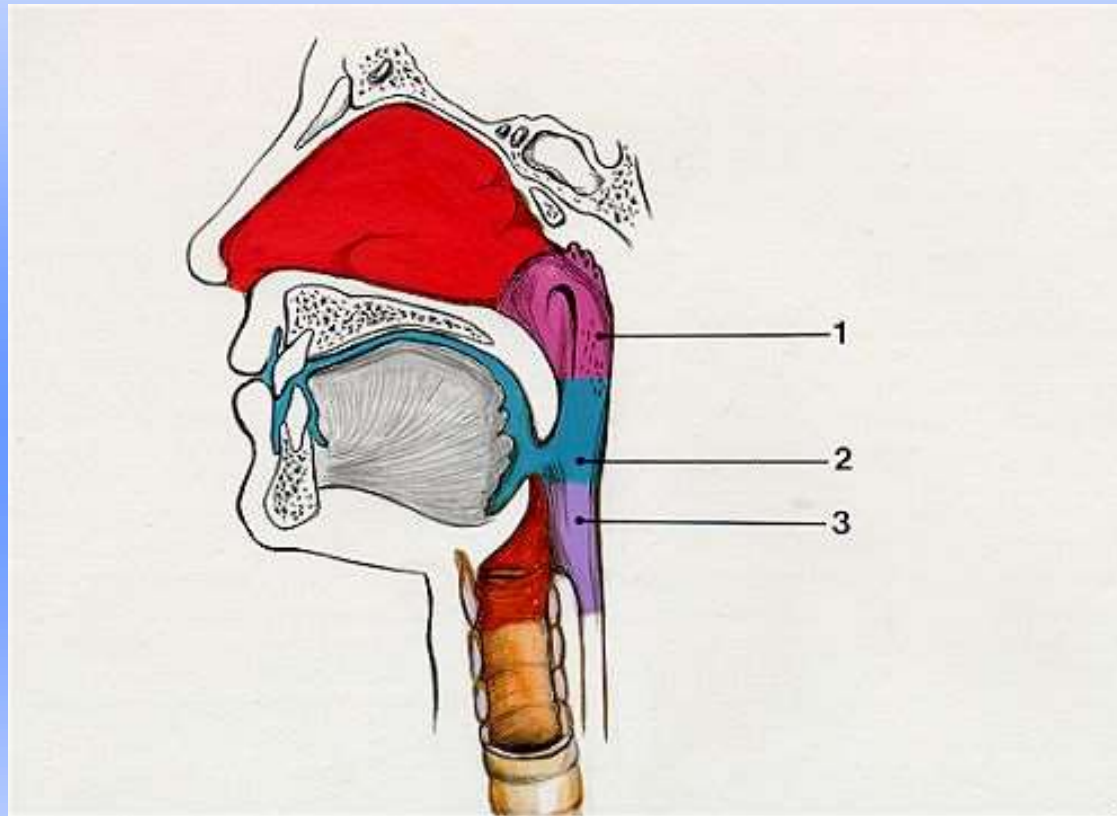
23.1 The major respiratory organs shown in relation to
cardinal structures

Voies aériennes

- Voies aériennes **supérieures** (VAS)
 - Fosses nasales
 - Pharynx
 - Larynx
- Voies aériennes **inférieures** (VAI)
 - Conduction et transition
 - Trachée
 - Bronches, bronchioles terminales
 - Bronchioles respiratoires
 - Zone respiratoire
 - Conduits et sacs alvéolaires

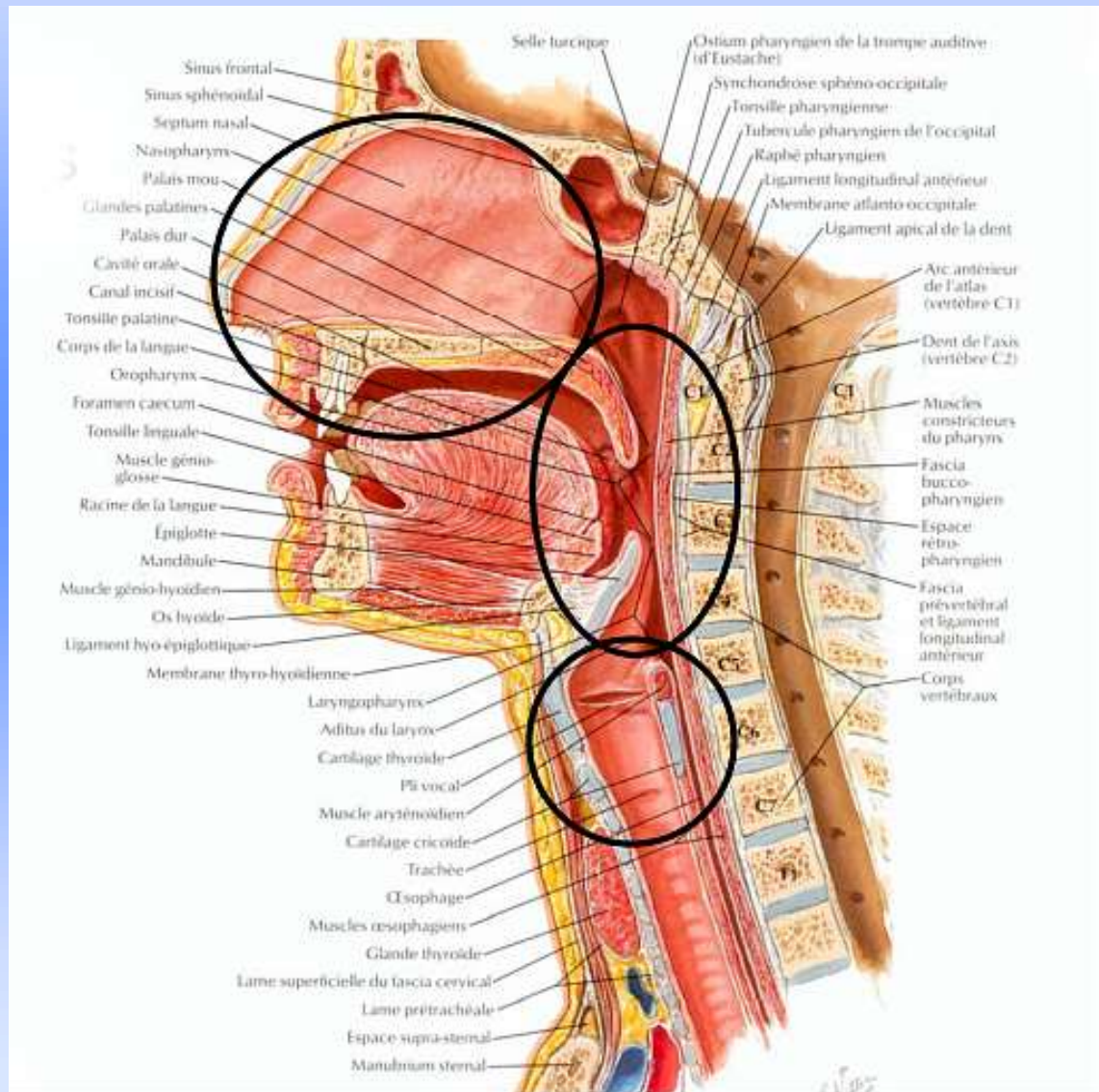


Voies aériennes supérieures



- 1 nasopharynx
- 2 Oro pharynx
- 3 Laryngo pharynx

Voies aériennes supérieures



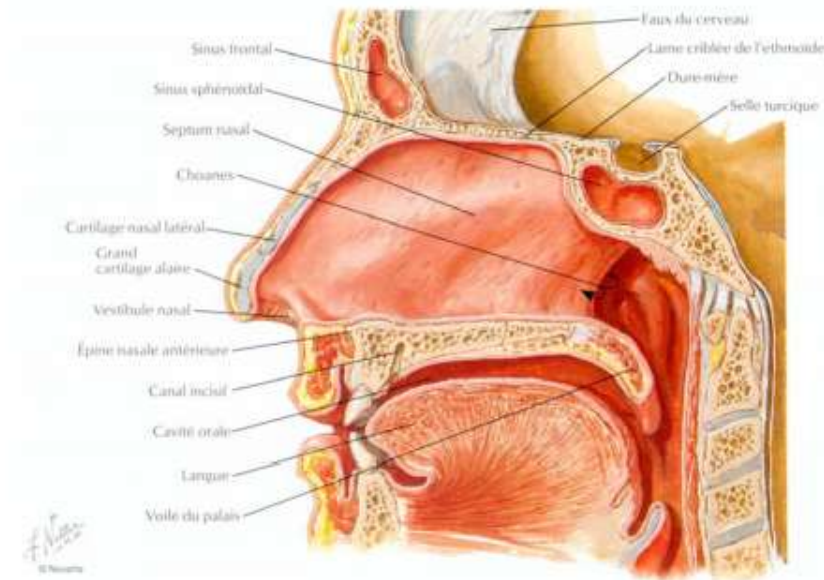
Fonctions:

- respiration
- défense
- déglutition
- phonation
- olfaction
- goût.

Référence 2

Fosses nasales

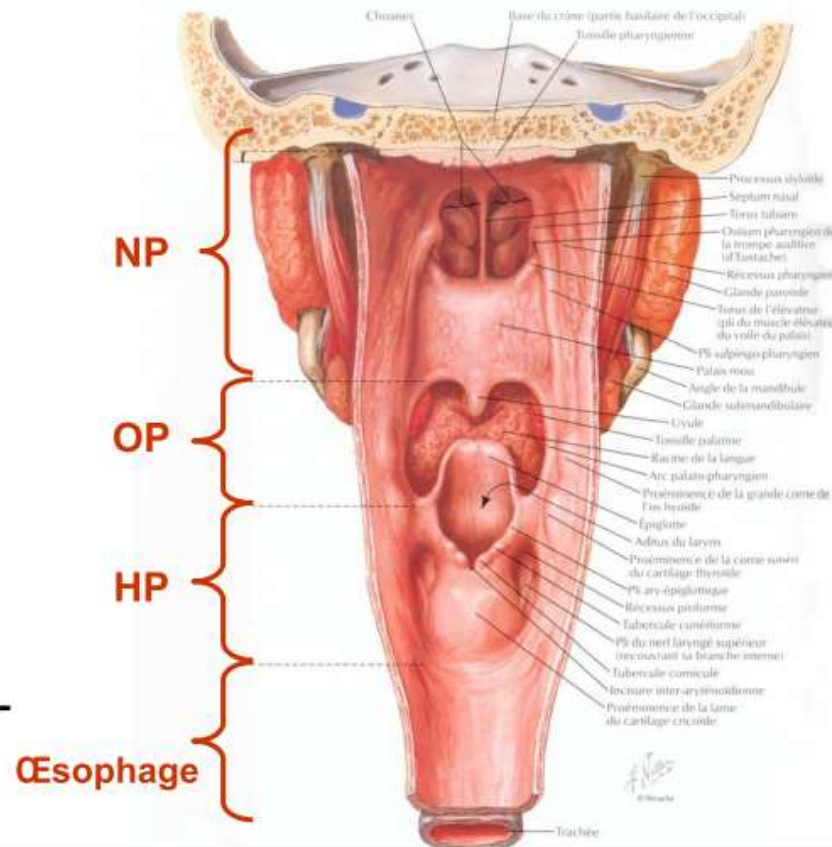
- Muqueuse **respiratoire**
 - très vascularisée
 - contient des cellules à mucus et ciliées
- Muqueuse **olfactive**
 - contient les cellules du nerf olfactif



Référence 2

Pharynx

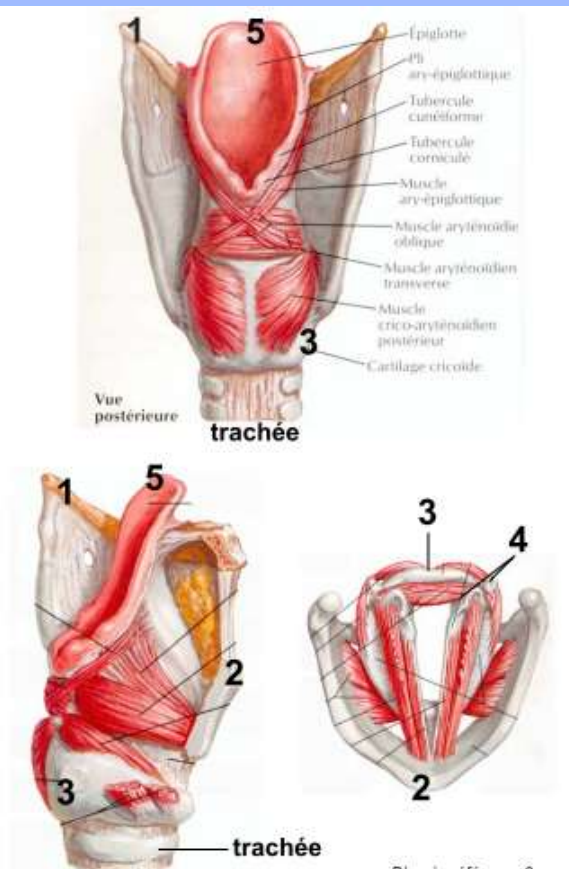
- Conduit musculo-membraneux collabable
- 3 segments:
 - Nasopharynx (NP)
 - Oropharynx (OP)
 - Hypopharynx (HP)
- Carrefour aéro-digestif
- Riche innervation sensitivo-motrice par nerfs crâniens:
 - V, IX, X, XII



Référence 2

Larynx

- Conduit ostéo-cartilagineux rigide
- Comprenant:
 - l'os hyoïde (1)
 - les cartilages
 - thyroïde (2)
 - cricoïde (3)
 - arythénoïdes (4)
 - épiglote (5)
 - reliés entre eux par des ligaments et des muscles

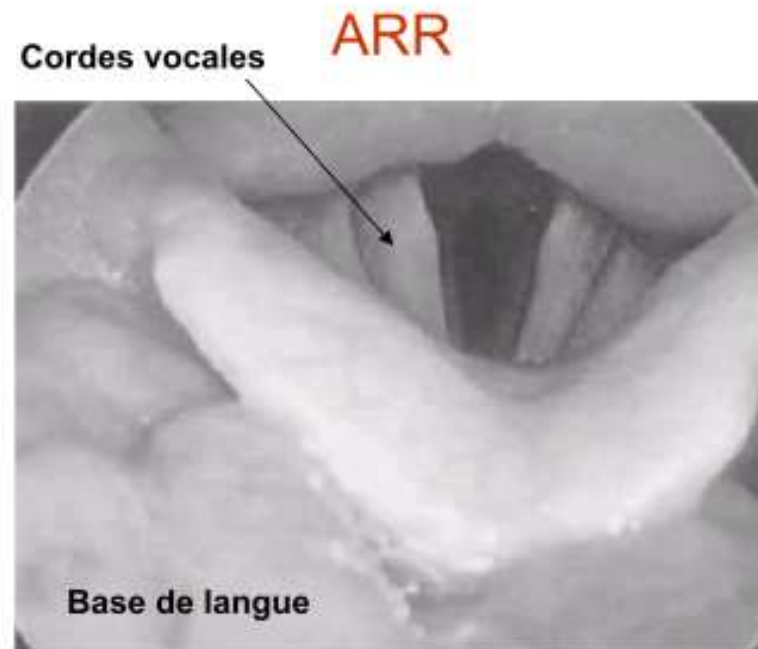


Référence 2

Larynx

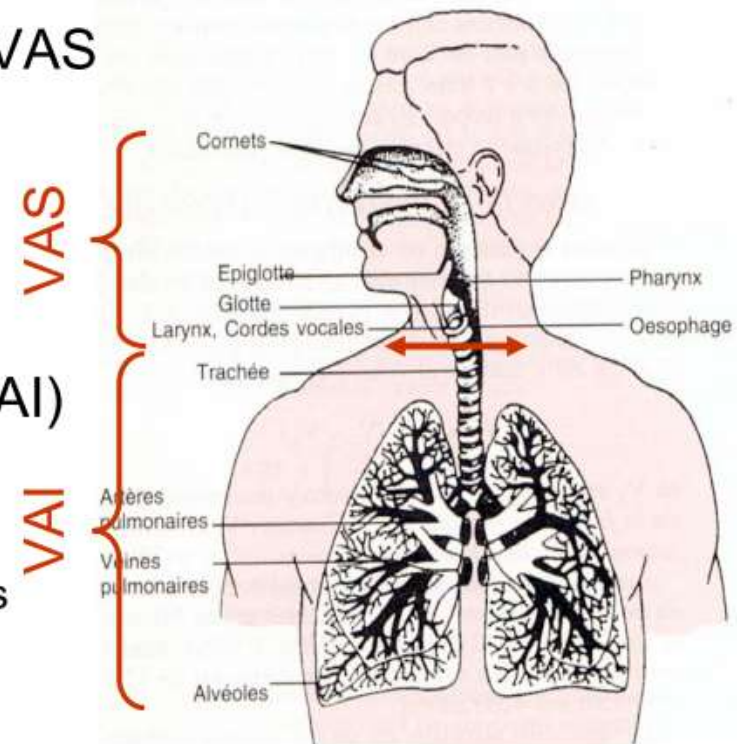
- L'épiglotte bascule en arrière au cours de la déglutition

↳ empêche le bol alimentaire de pénétrer dans les voies aériennes inférieures

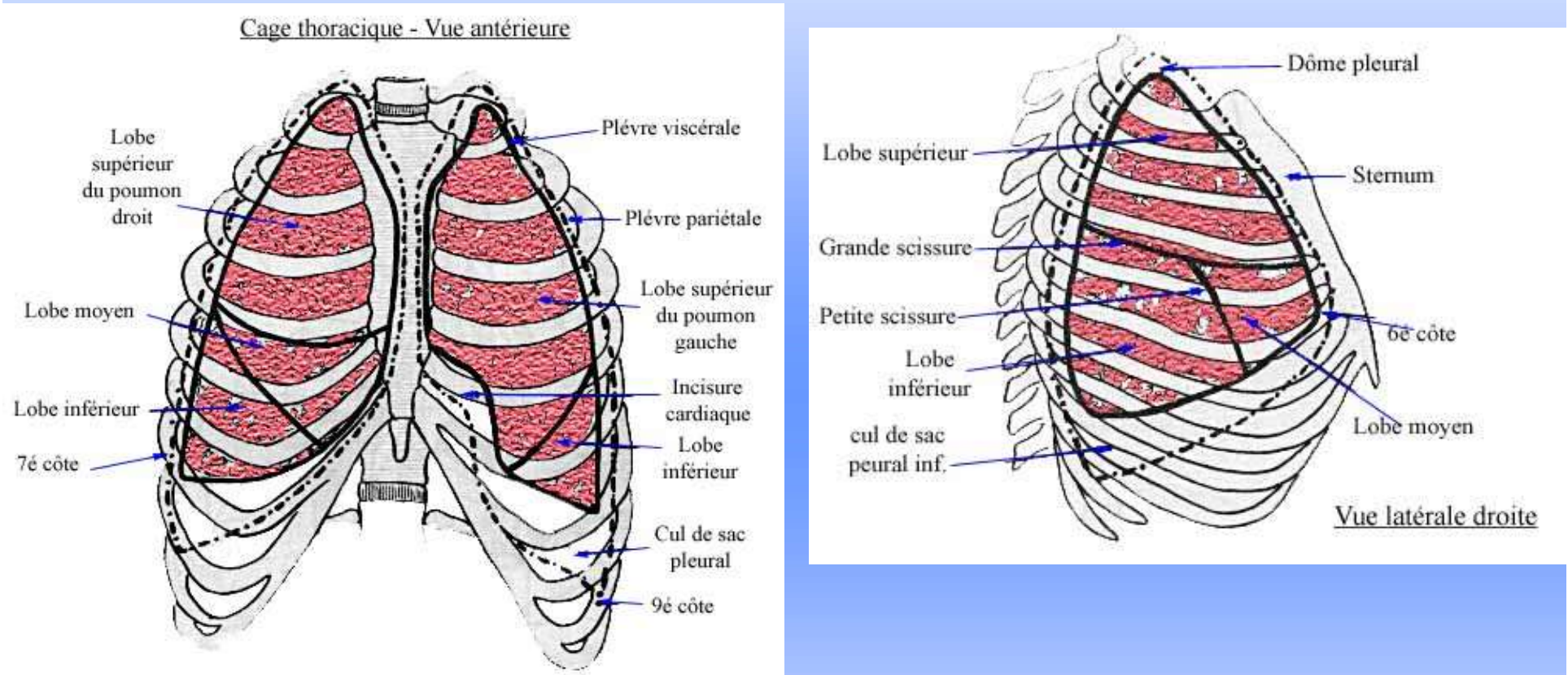


Voies aériennes inférieures

- Voies aériennes **supérieures** (VAS)
 - Fosses nasales
 - Pharynx
 - Larynx
- Voies aériennes **inférieures** (VAI)
 - Conduction et transition
 - Trachée
 - Bronches, bronchioles terminales
 - Bronchioles respiratoires
 - Zone respiratoire
 - Conduits et sacs alvéolaires

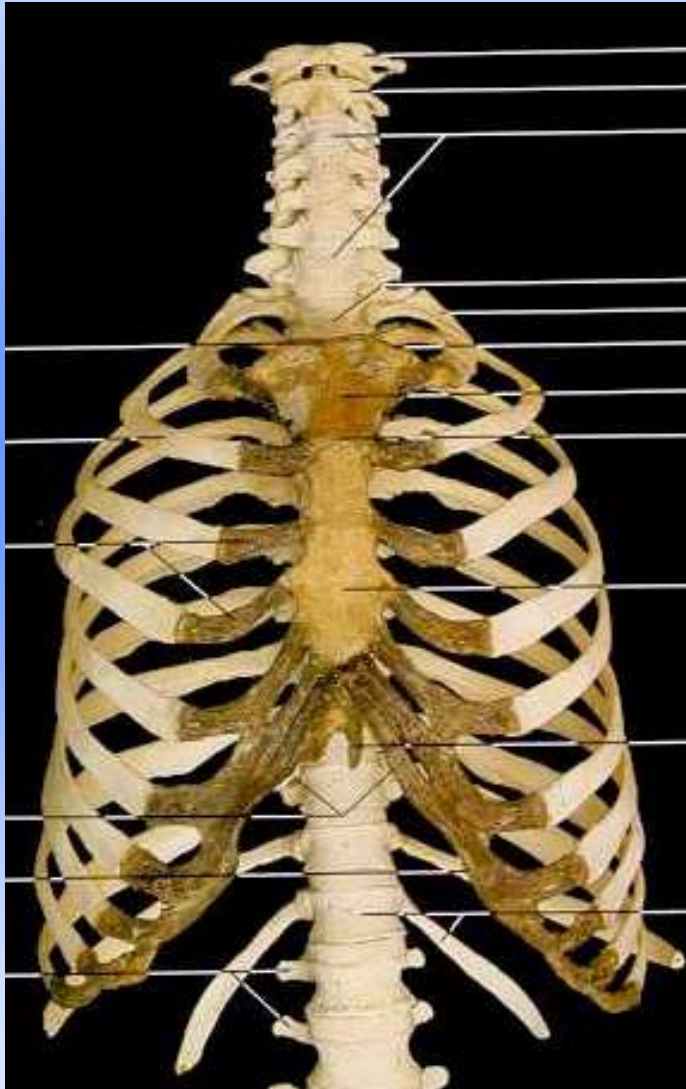


Vues d'ensemble



Subdivision du poumon en 3 lobes à droite et 2 à gauche. Les lobes sont individualisés par les scissures dans lesquelles s'insinuent le feuillet viscéral de la plèvre. Chaque lobe est divisé en segments, puis en lobules et acinus.

Le thorax



-Rachis dorsal

- Articulation costo-vertébrale
- Articulation costo-transversaire

-12 paires de cotes:

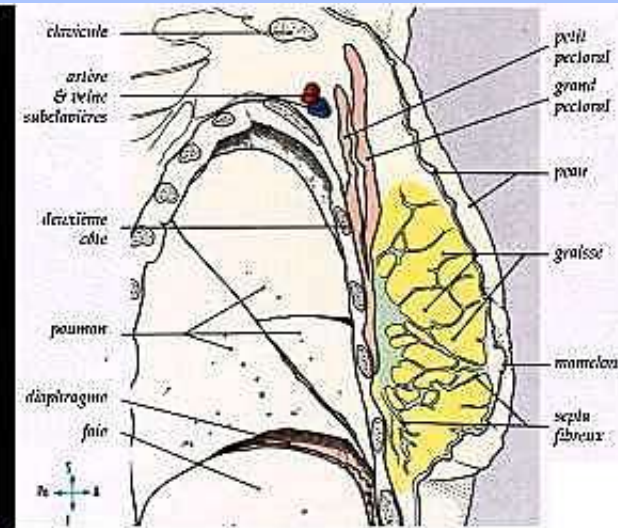
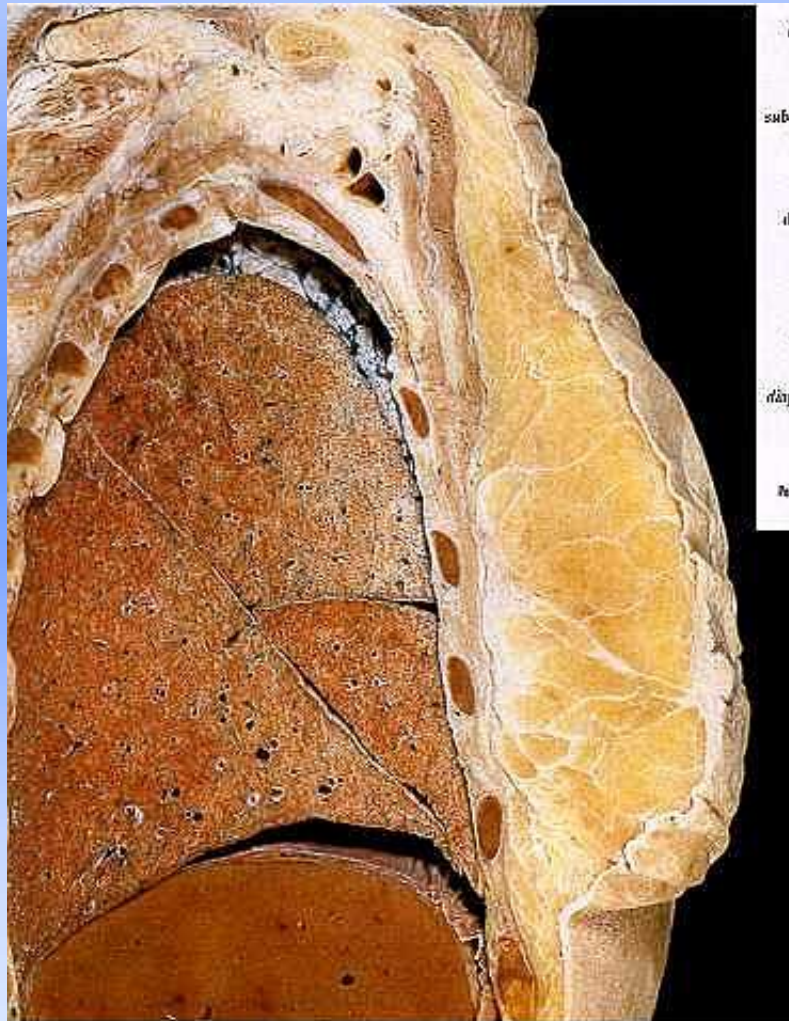
- 7 s'articulent directement avec le sternum
- 3 se relient entre elles avant de s'articuler avec le sternum
- 2 cotes flottantes (hoover)

- Cartilages costaux

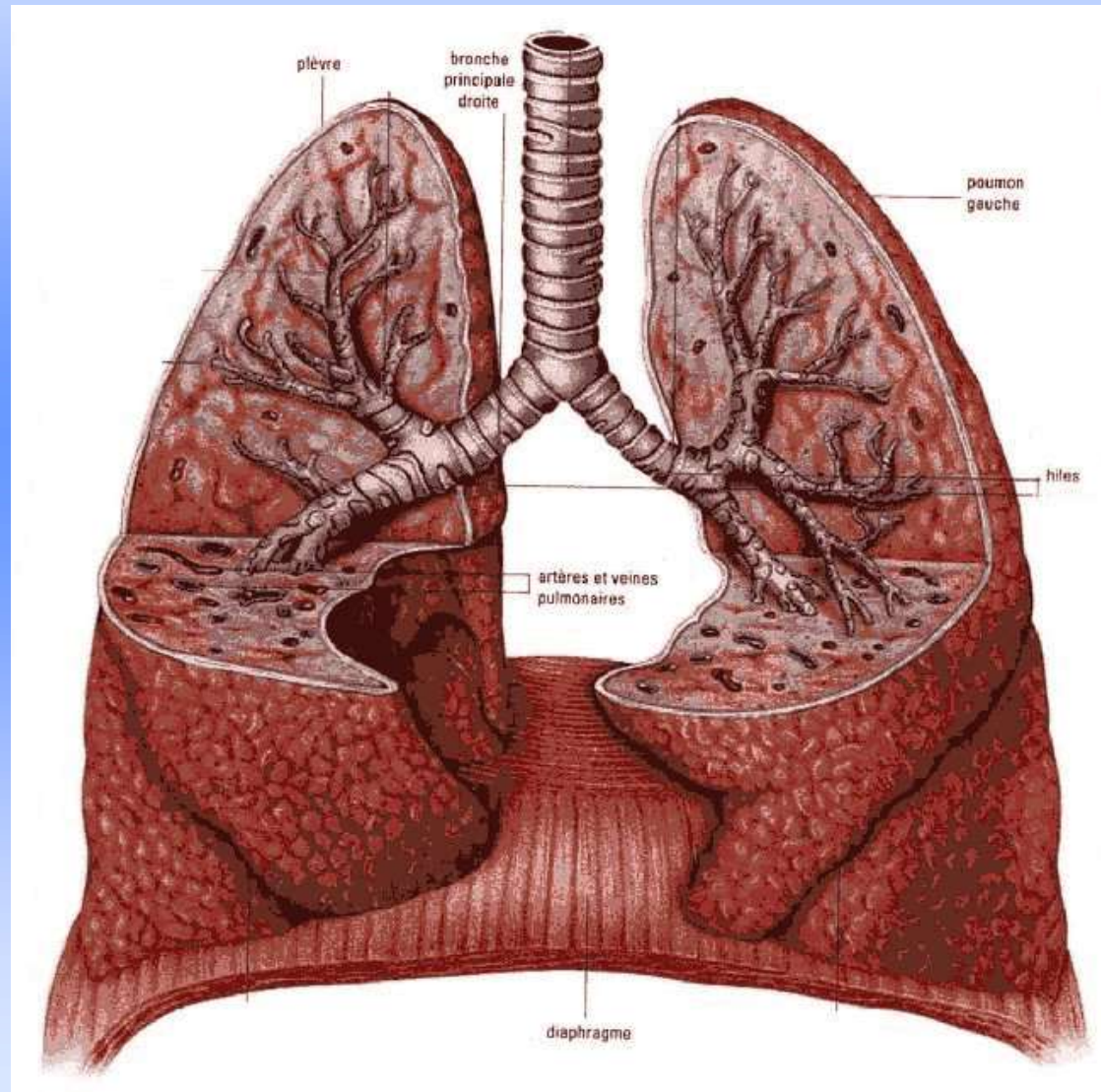
- Sternum

-3 diamètres

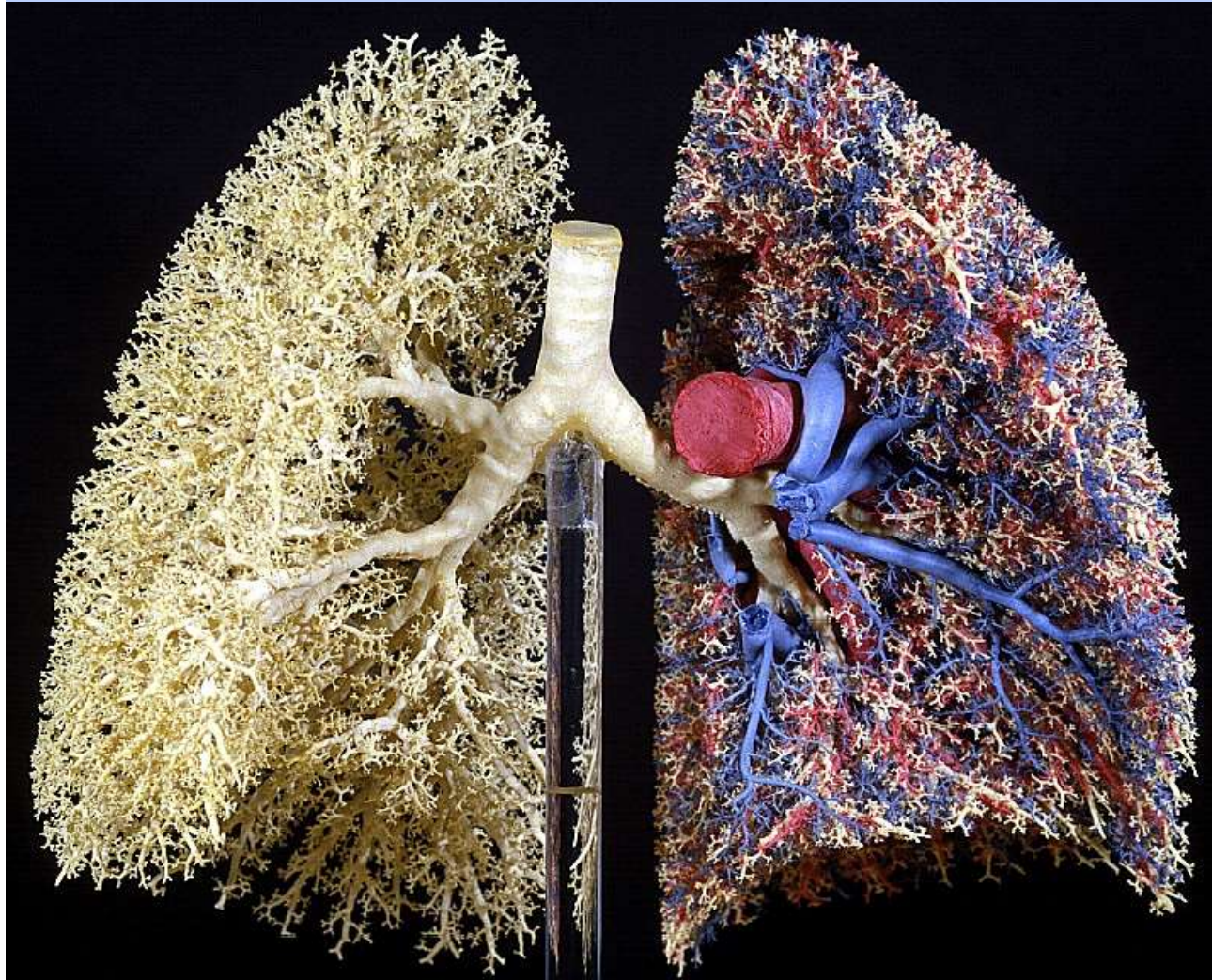
Vue latérale thorax-poumon



Bronches - Poumon



Bronches -Vaisseaux

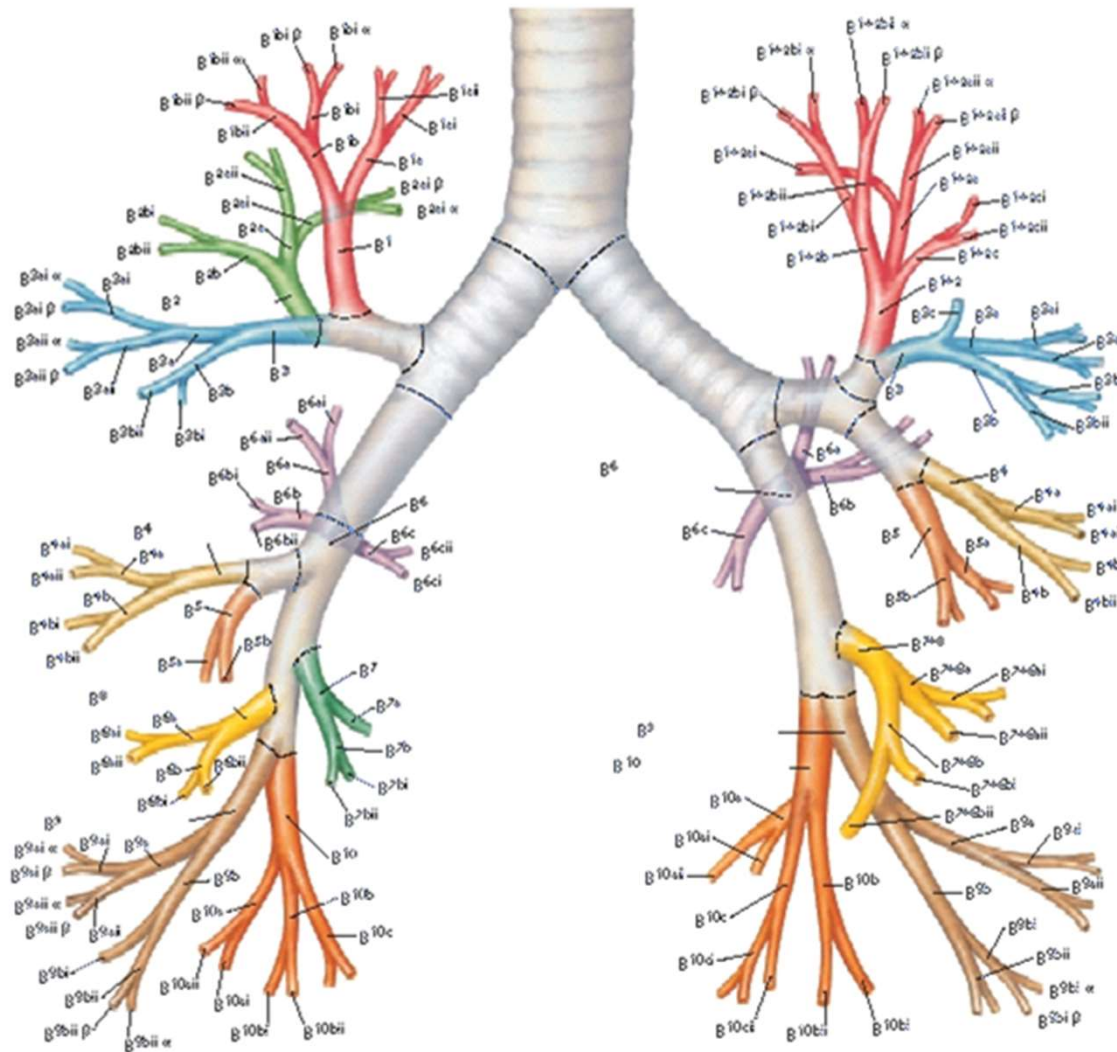


**2 types de
circulation sanguine**

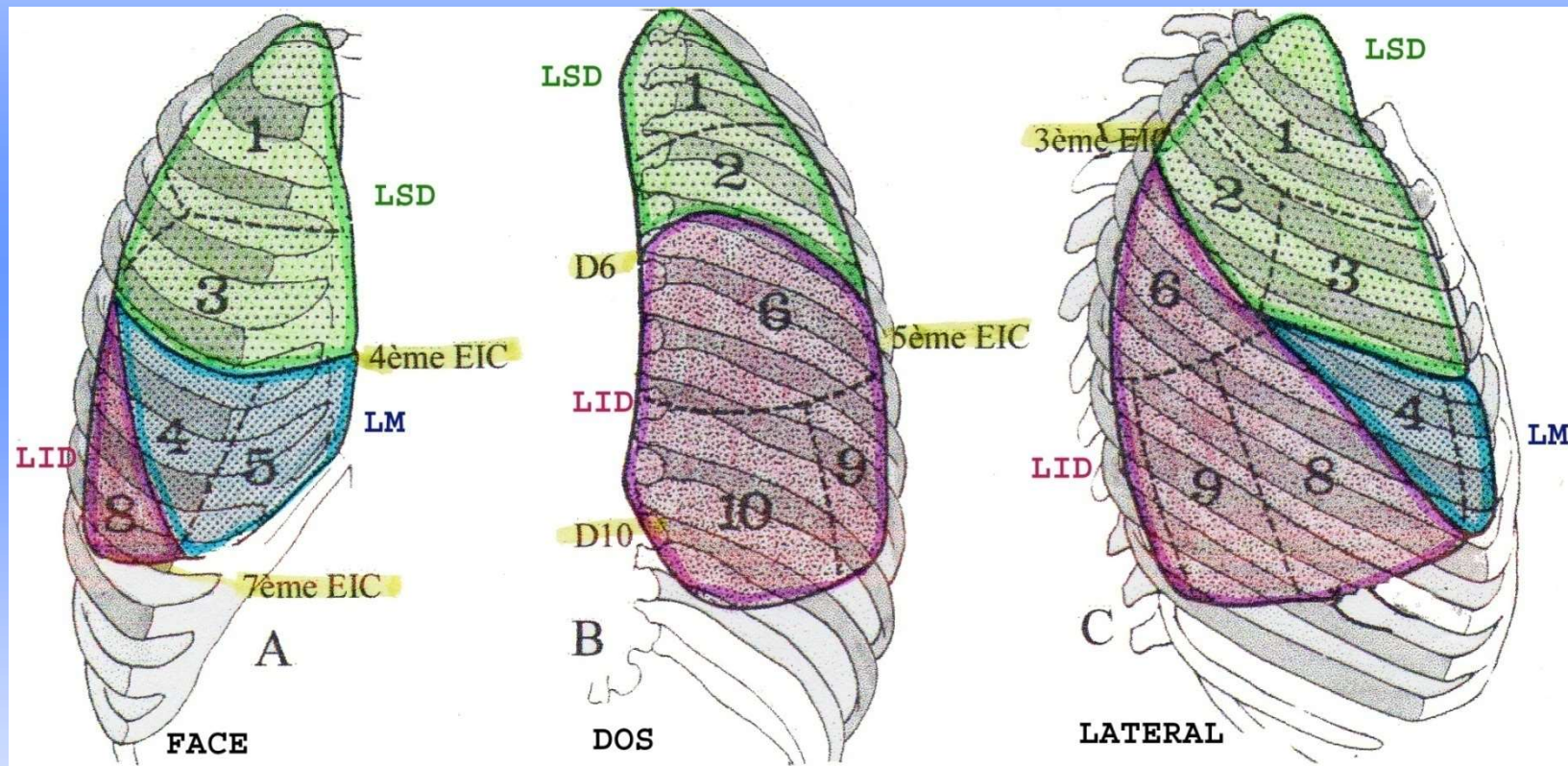
**- Circulation
nutritive**

**- Circulation
fonctionnelle**

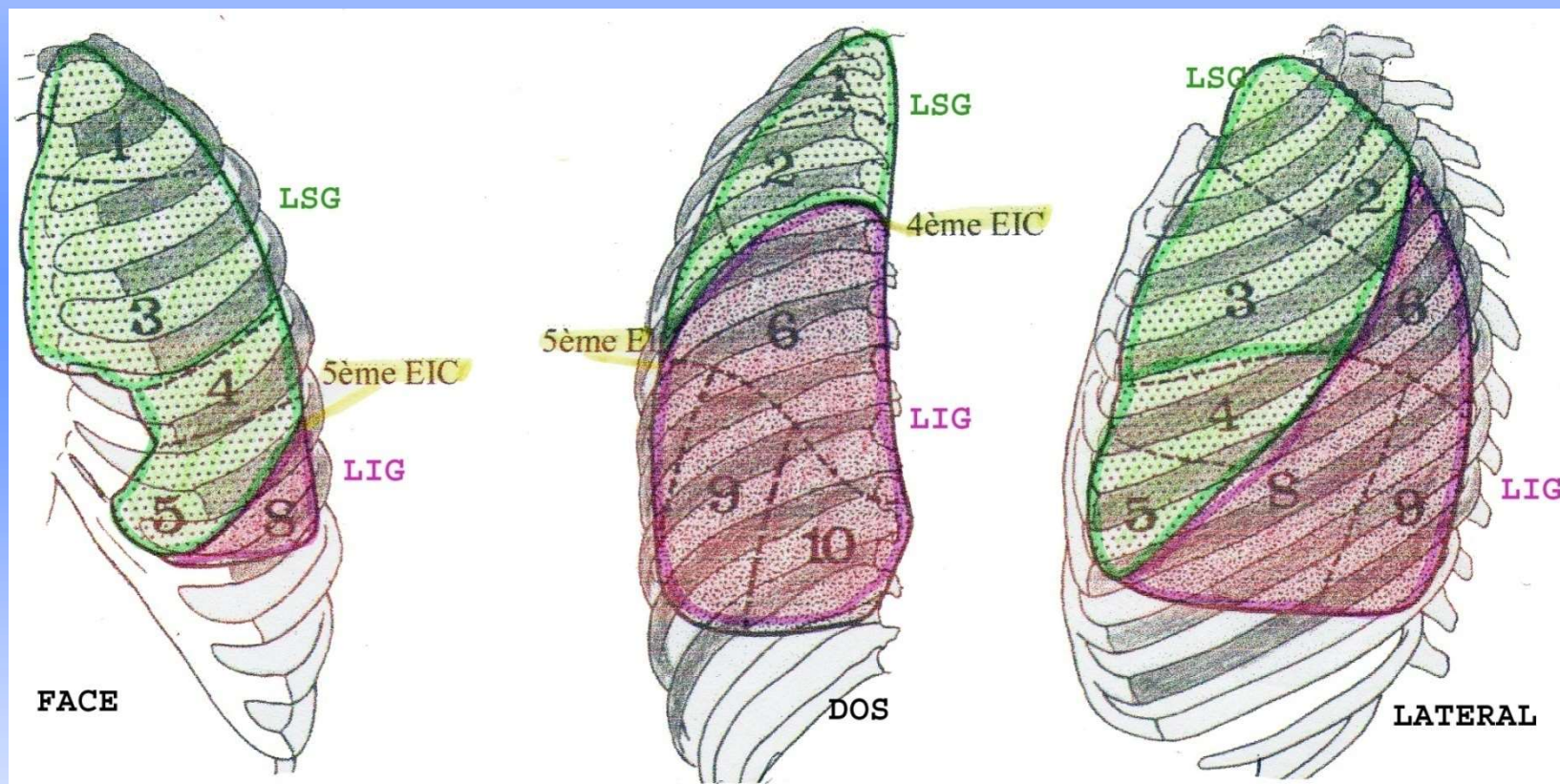
L'arbre bronchique



Systématisation de la segmentation du poumon droit

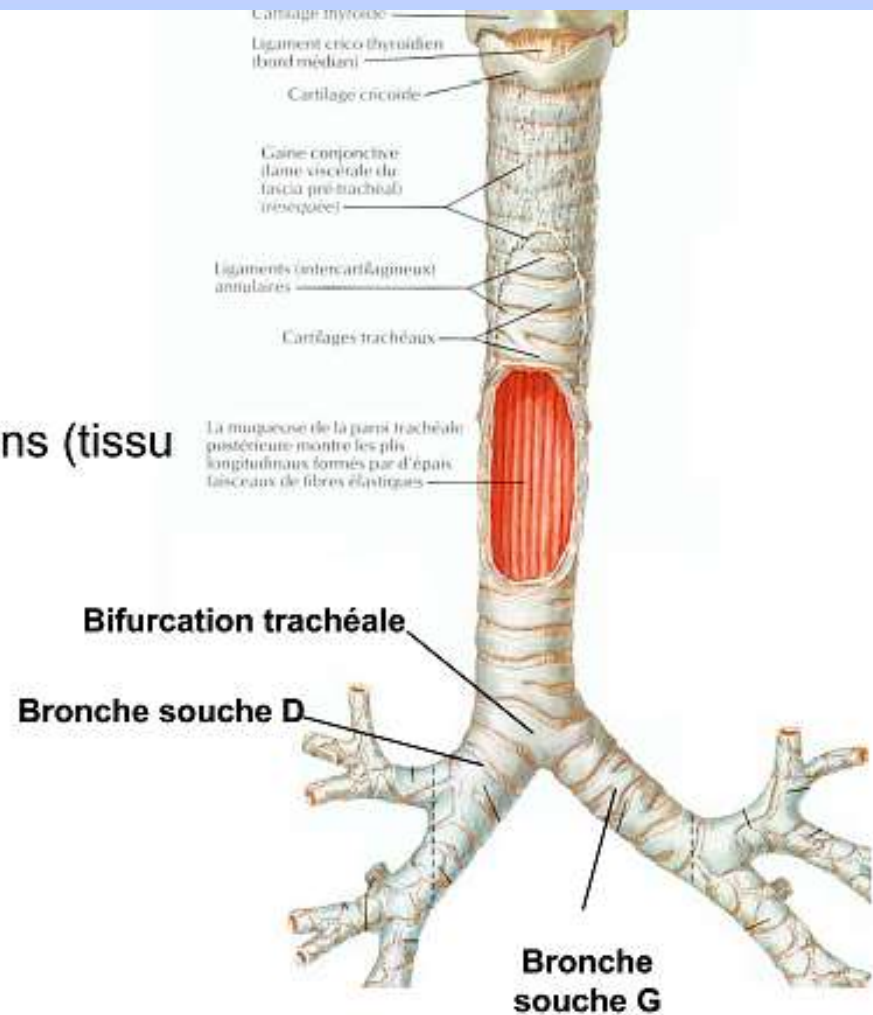


Systématisation de la segmentation du poumon gauche



La trachée

- ≈ 15 anneaux
 - cartilagineux
 - incomplets en fer à cheval
 - séparés par des dépressions (tissu fibro-élastique)
- ≈ 12 cm de long
- ≈ 2 cm de diamètre



Divisions bronchiques

ZONE DE CONDUCTION	Trachée		0
			1
	arbre bronchique		2
	bronchioles		3
	bronchioles terminales		4
TRANS.			↓
	bronchioles respiratoires		17
			18
			19
ZONE RESP.	conduits alvéolaires		20
			21
			22
	sacs alvéolaires		23



Voies aériennes inférieures

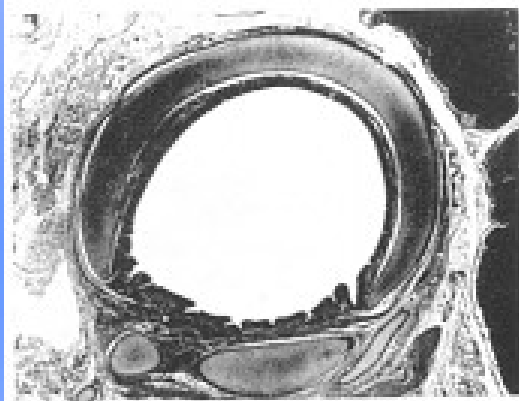
	génération	dénomination	diamètre (cm)	longueur (cm)	surface de section totale (cm ²)	nombre par génération
Zone de conduction	0	Trachée	1,8	12	2,5	1
	1	Grosses bronches				
	7	Petites bronches				
	10	Bronchioles	0,15	0,5	13,5	1 000
	14	bronchioles terminales	0,07	0,2	70	16 000
Zone de transition	15	Bronchioles respiratoires				
	18	bronchioles resp. terminales	0,05	0,1	530	260 000
	19	Canaux alvéolaires				
Zone respiratoire	23		0,04	0,05	12 000	8 000 000
	24	Alvéoles	244 µm	238 µm	≈ 80 m ²	

Référence 3

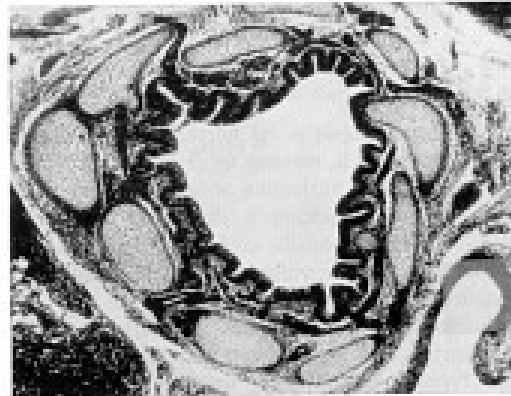
Les conduits aériens

- **Division dichotomique**
- **Somme des sections des 2 bronches filles supérieure à la section de la bronche mère**
- **23 générations de division**
- **Bronches: pourvues de cartilage. Elles vont jusqu'à la 7 – 8^{ème} génération**
- **Bronchioles: dépourvues de cartilages. Situées au-delà des bronches.**

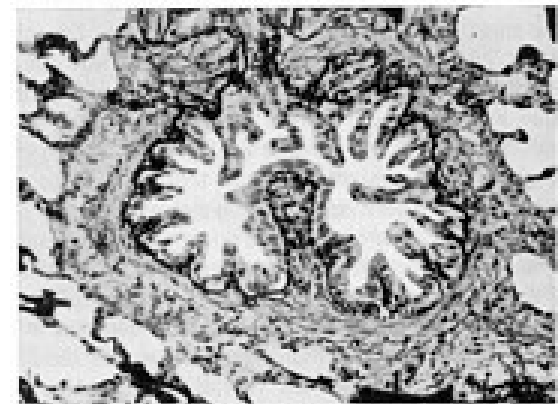
Conduits aériens



Bronche souche



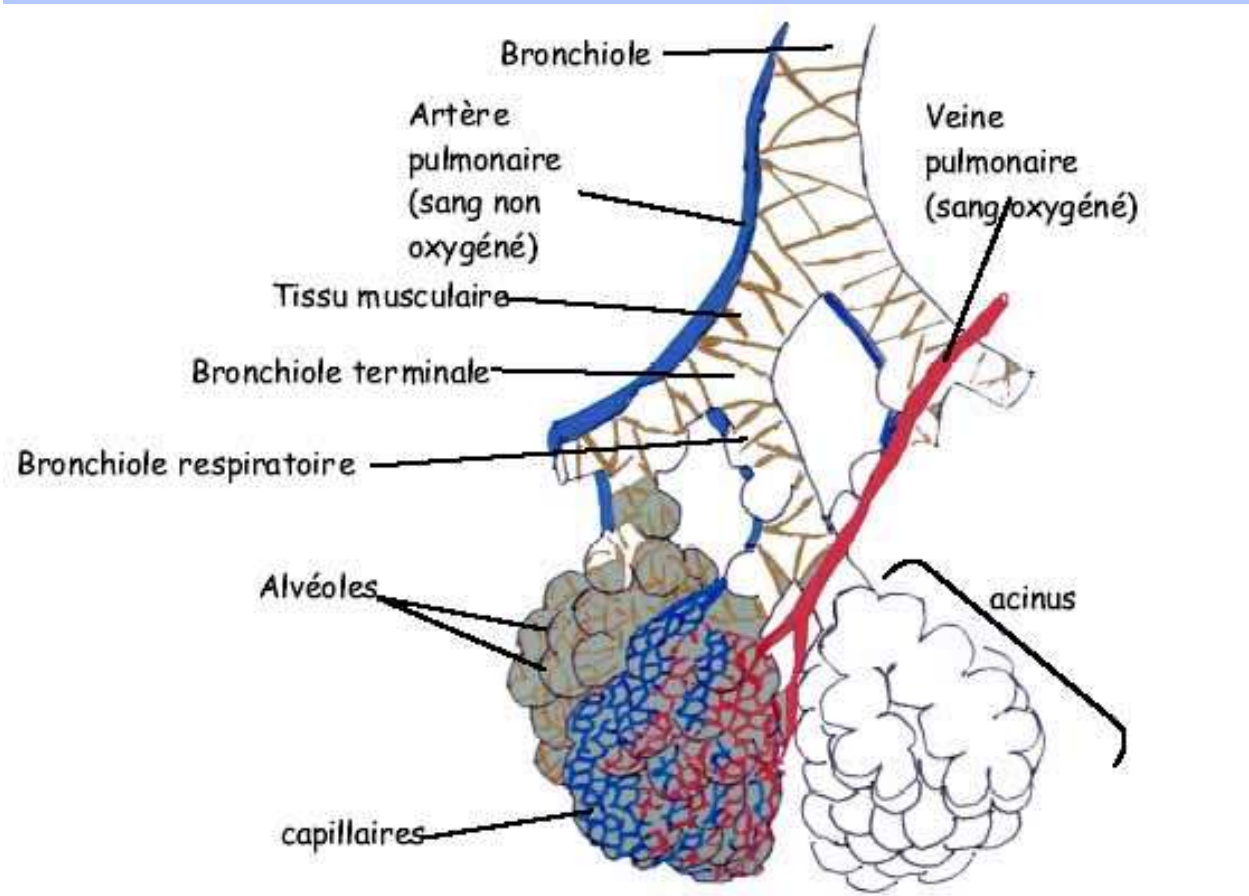
Grosse bronche



Bronchiole

Référence 7

Le lobule: unité anatomique

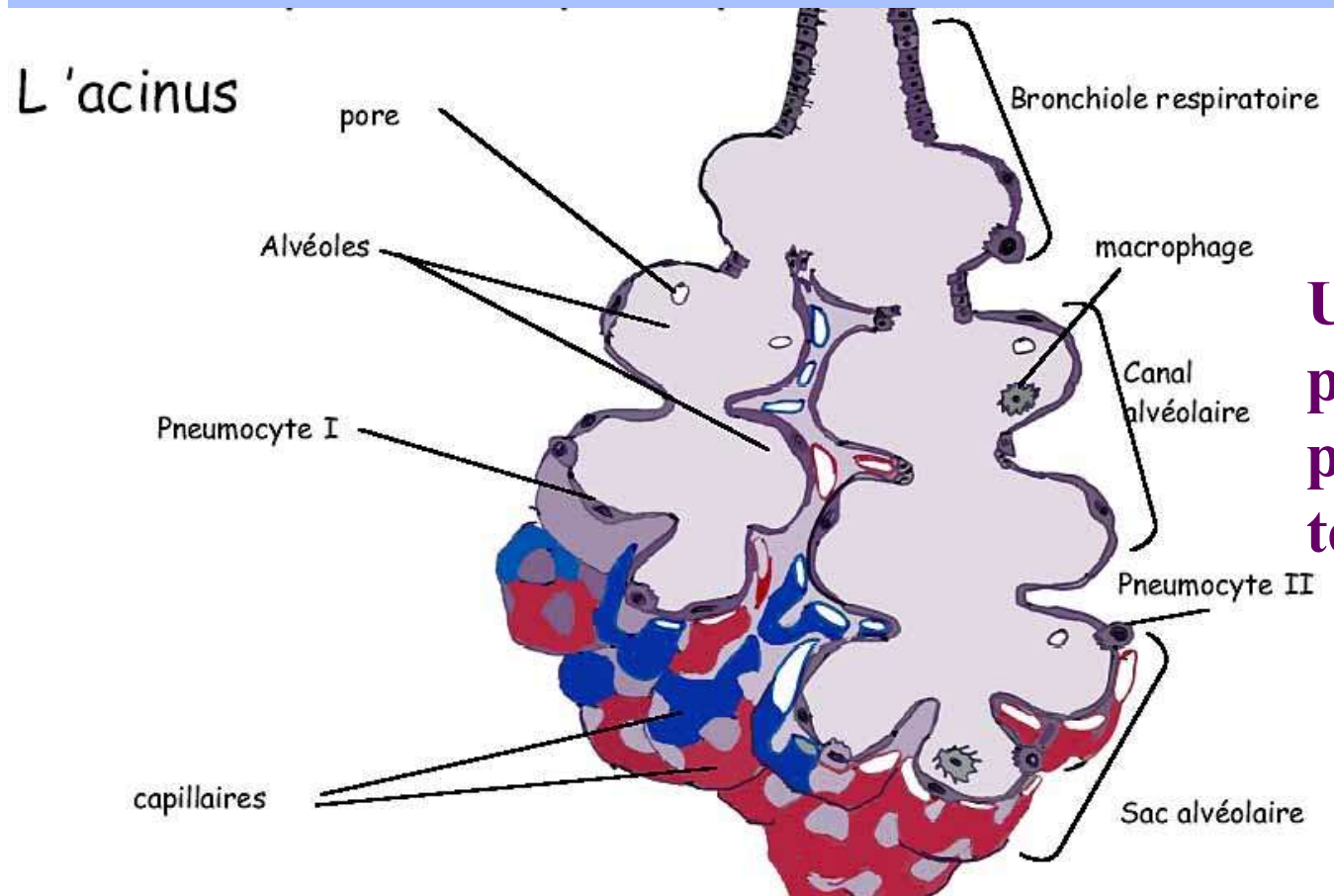


**Environ 3000 lobules
par poumon**

**Ventilé par une
bronchiole lobulaire**

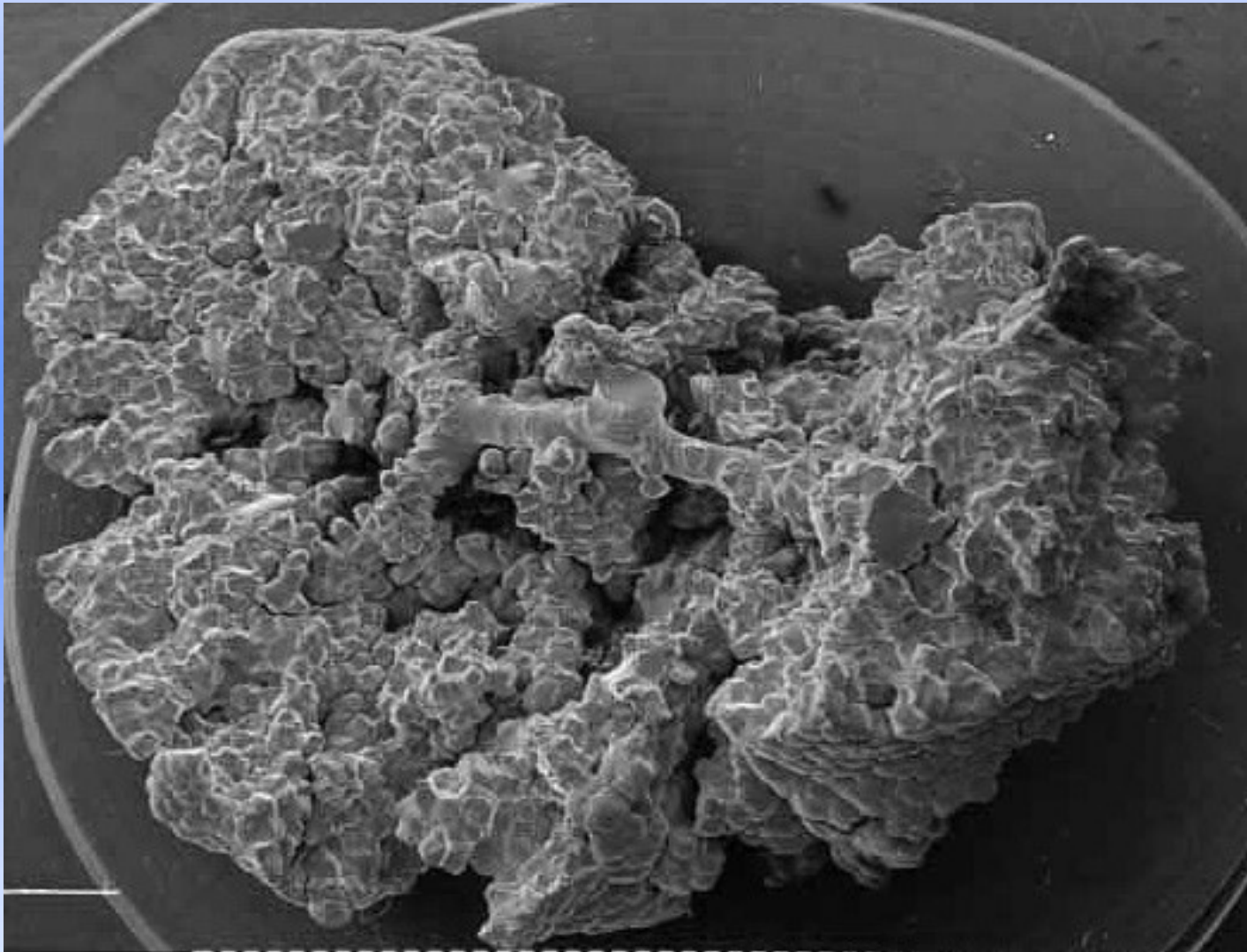
Une artère lobulaire

L'Acinus: unité fonctionnelle

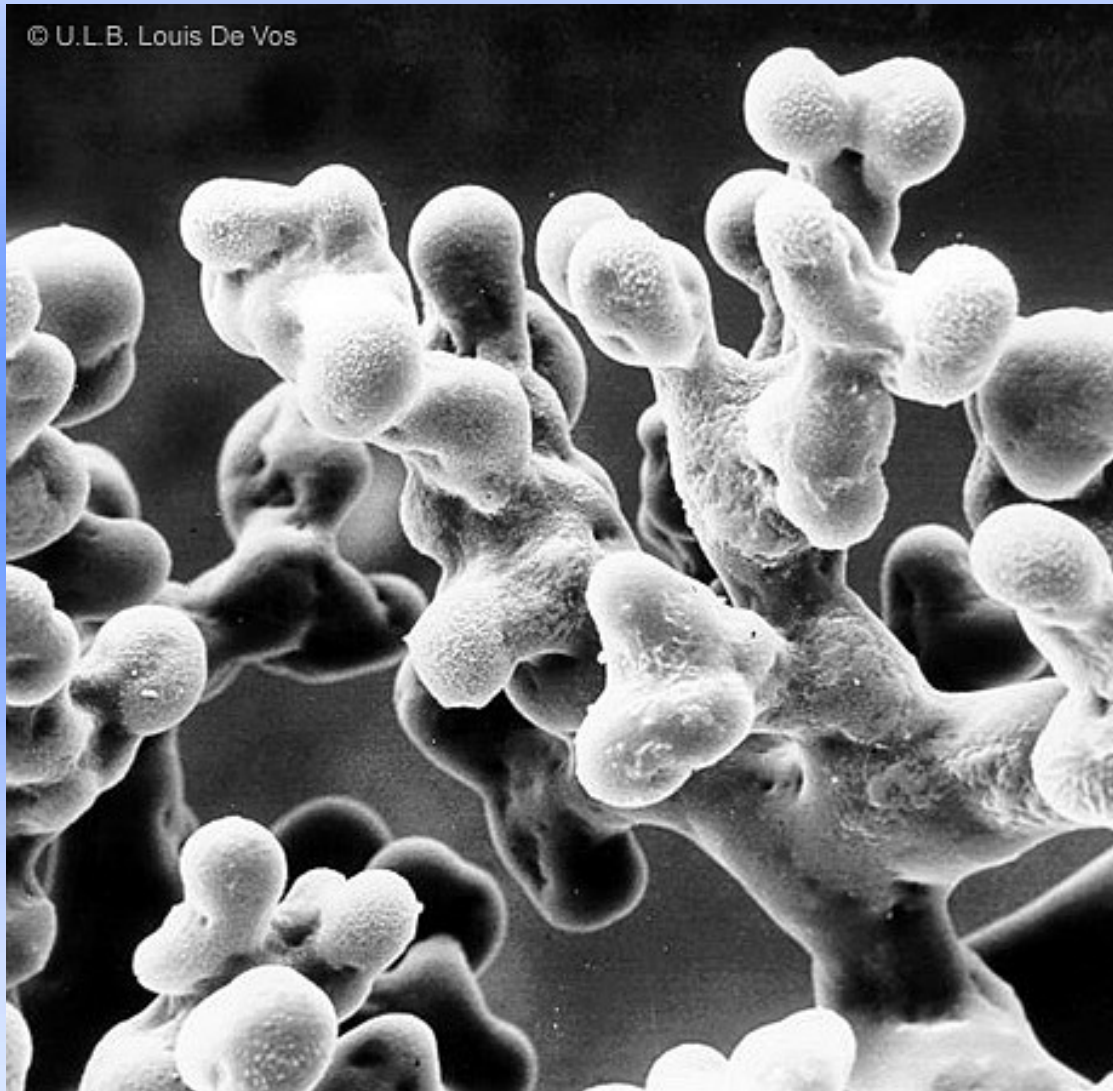


**Unité de parenchyme
pulmonaire ventilée
par une bronchiole
terminale**

ACINUS



Alvéoles



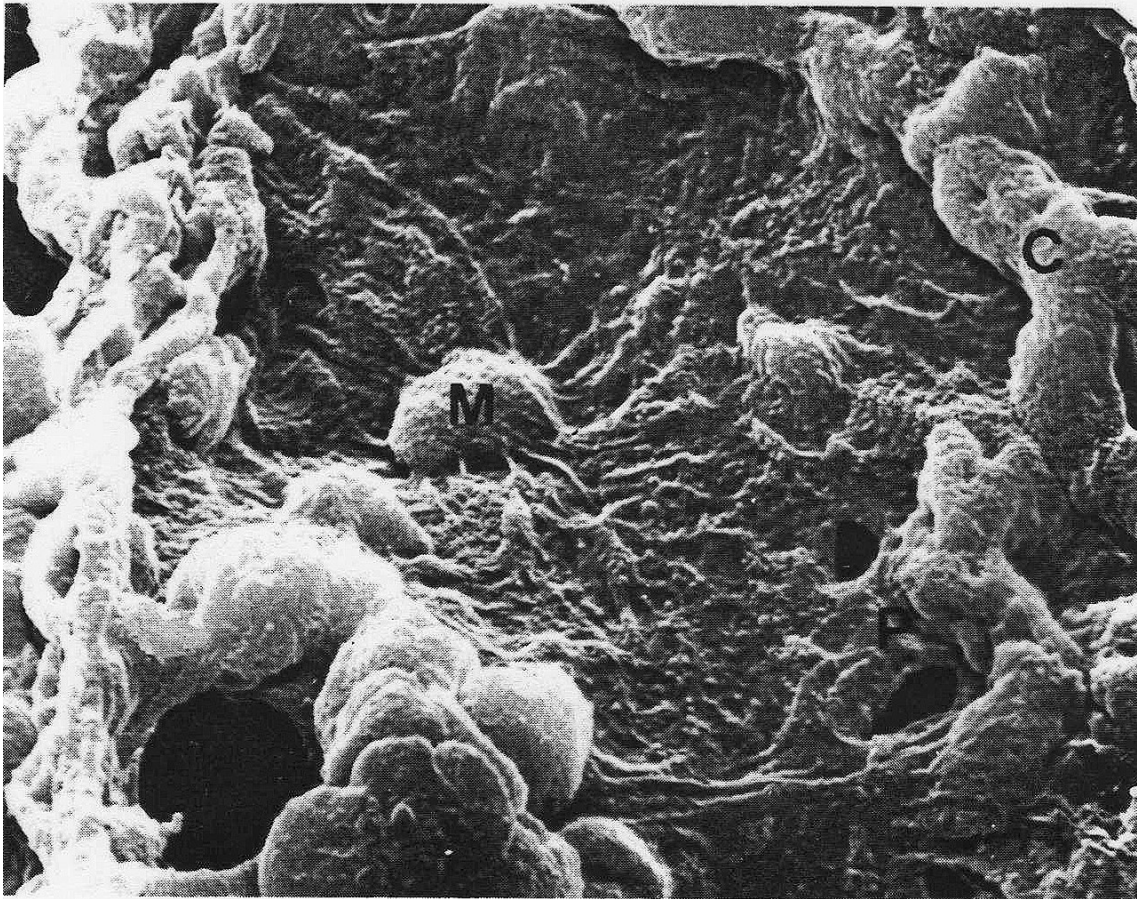
**280 à 300 millions
d'alvéoles chez l'adulte**

Surface alvéolaire: 80 m²

**Partie terminale de
l'arbre bronchique**

**Zone d'échanges entre
l'air (contenu dans
l'alvéole) et le sang
(capillaire)**

Surface interne de l'alvéole



Ventilation collatérale:

- Pore de Khon
- Canaux de Lambert

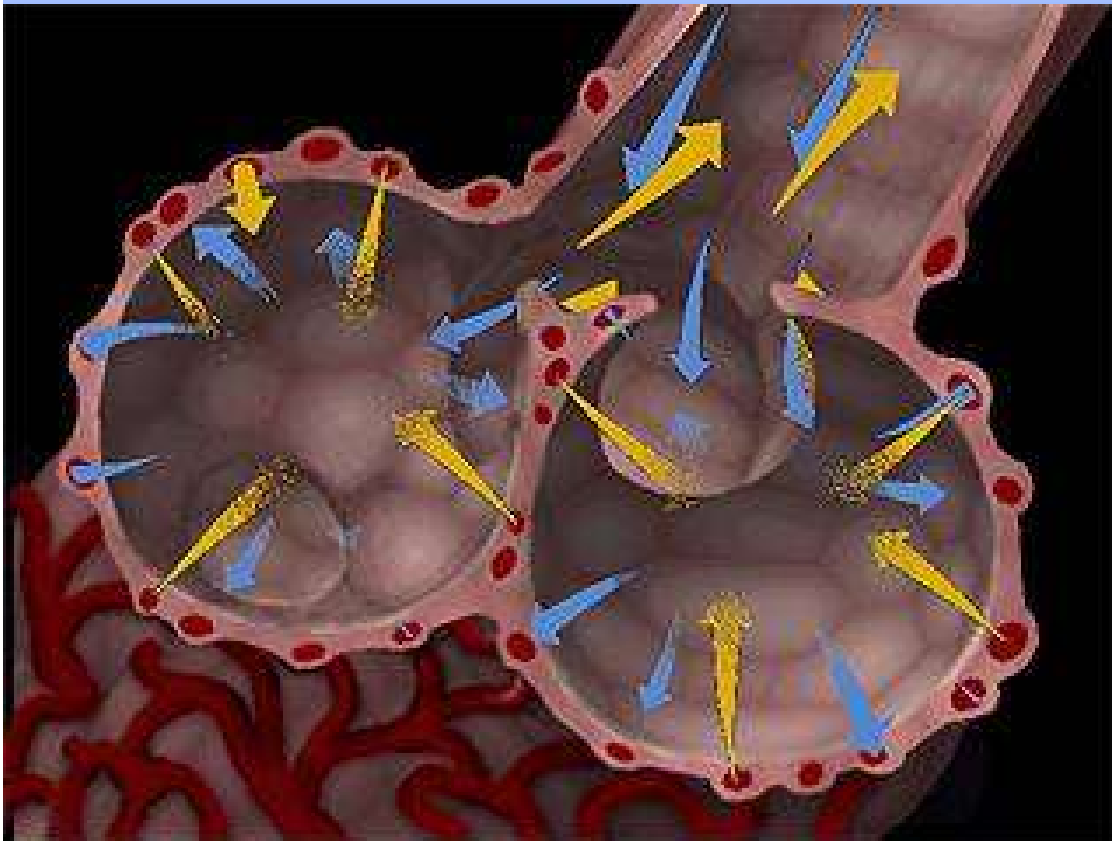
Sécrétion du surfactant:

- Pneumocytes de type II

Défense de l'épithélium

- Macrophages alvéolaires

Le surfactant



Surfactant: diminue la tension superficielle de la surface ==> empêche les alvéoles de s'affaisser.

- Stabilisation alvéolaire**
- Effet anti-oedémateux**

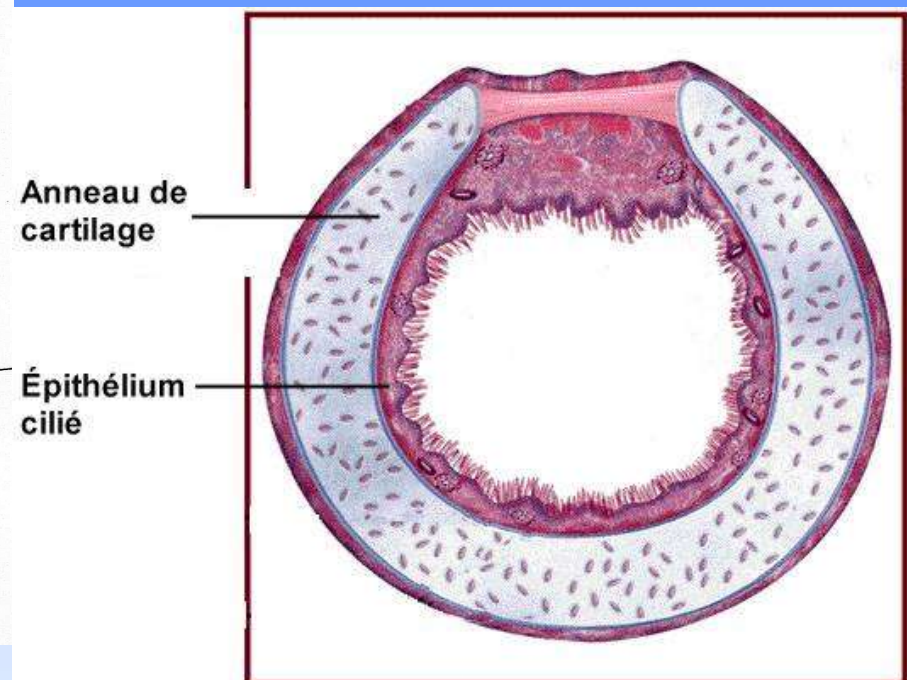
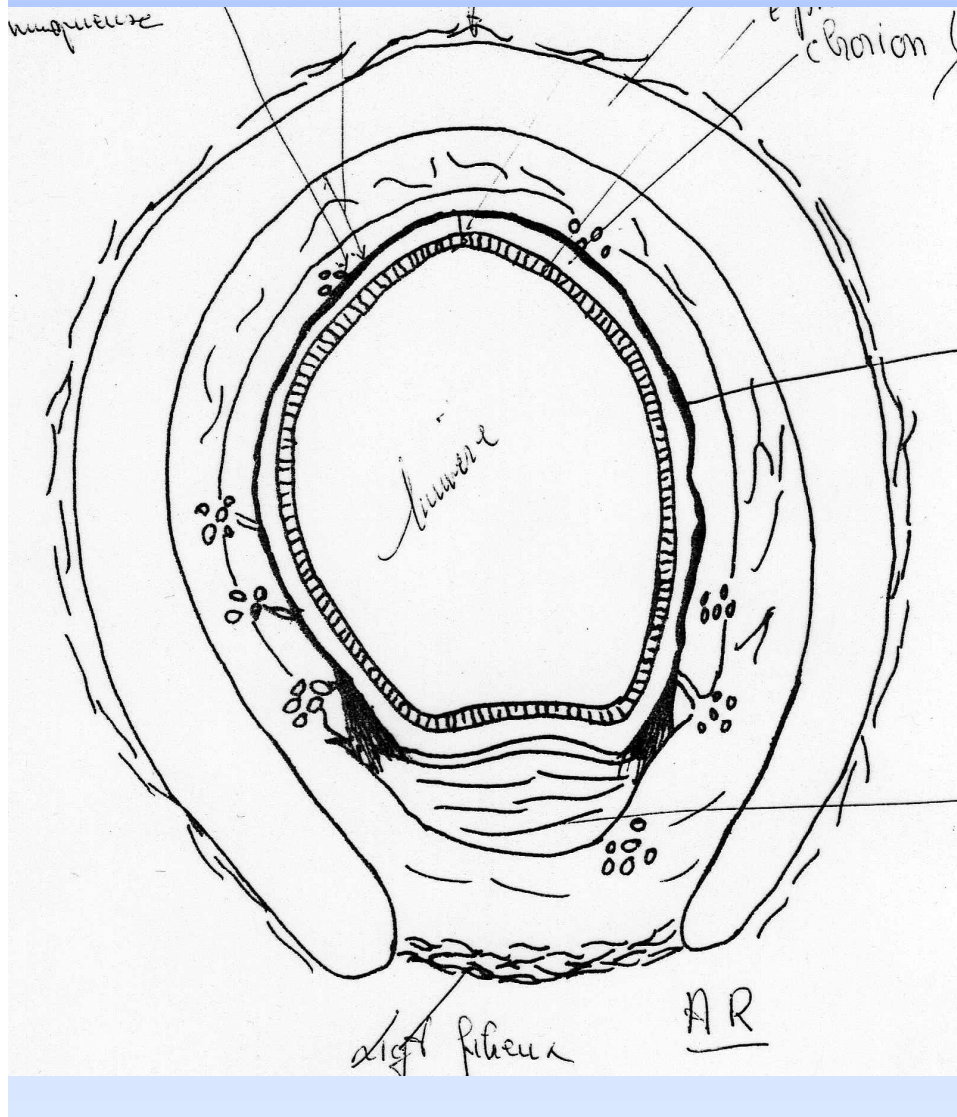
Coupe transversale Trachée

Armature cartilagineuse: 16 à 20 anneaux cartilagineux

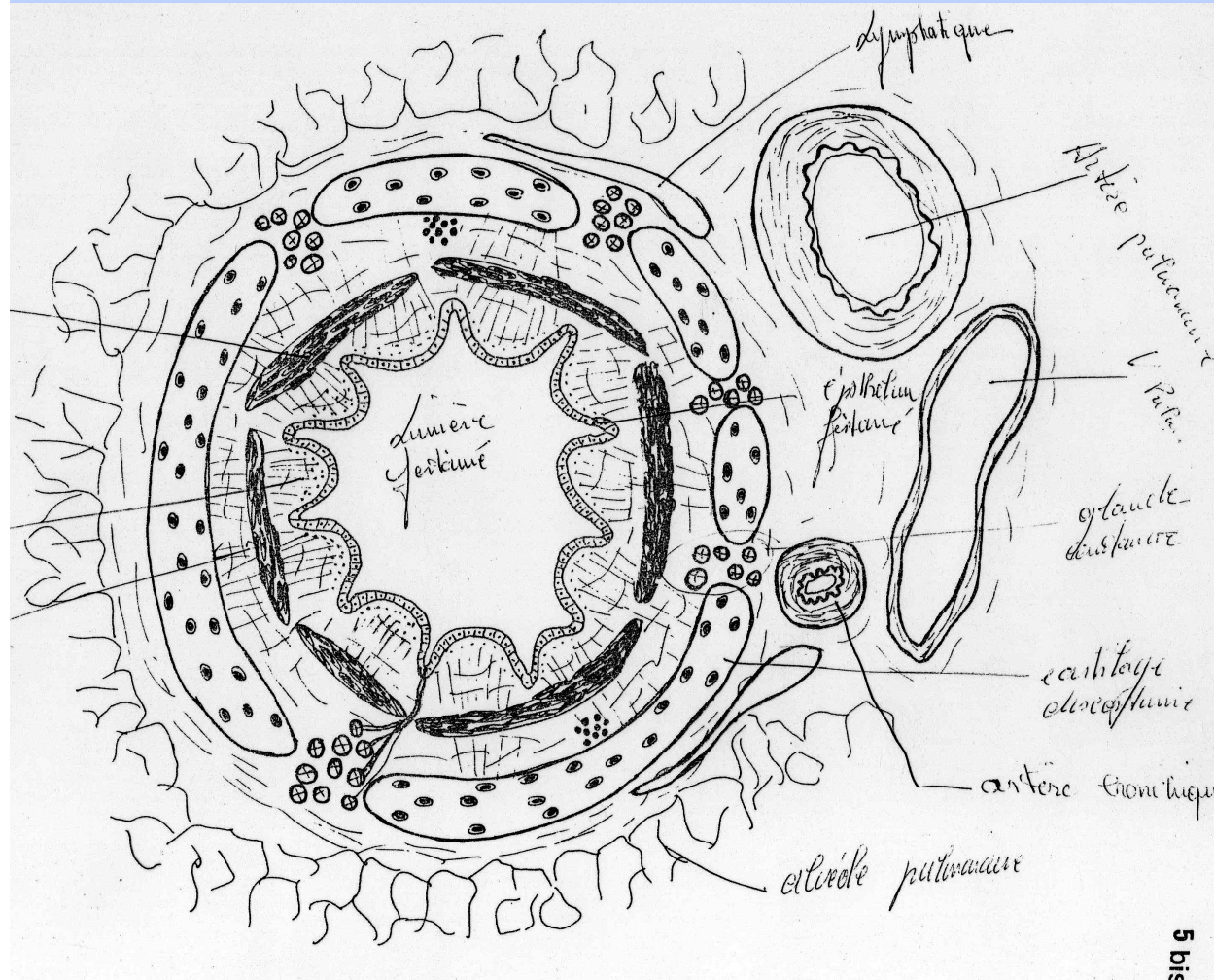
Béance du conduit

Ligament fibreux

Muscle trachéal



Coupe transversale bronches



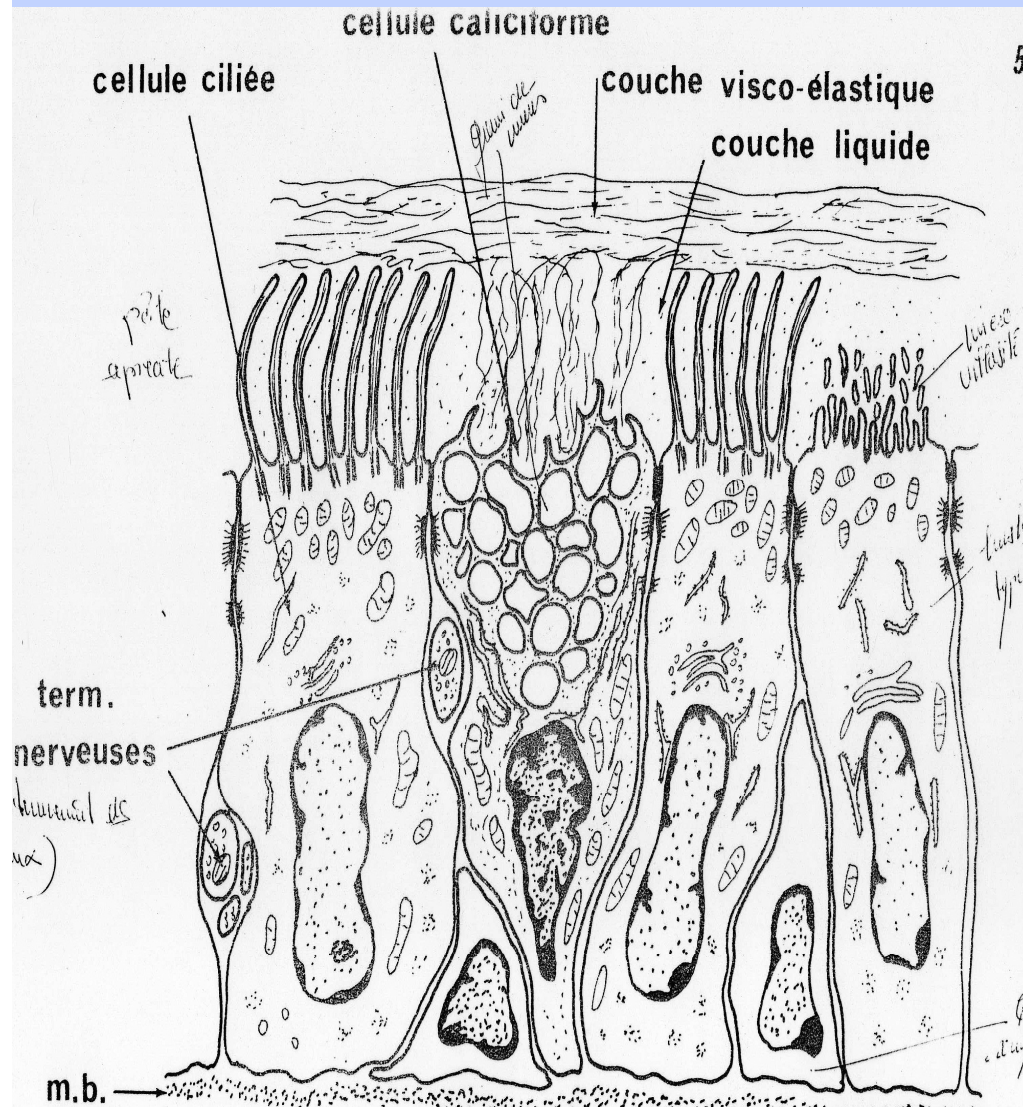
**Lumière festonnée:
variations de diamètre**

**Influence des forces de
rétraction élastiques
pulmonaire**

**Fragmentation puis
disparition du cartilage**

Muscle de Reissessen

Épithélium bronchique



Cellules ciliées, plus nombreuses que les cellules sécrétrices.

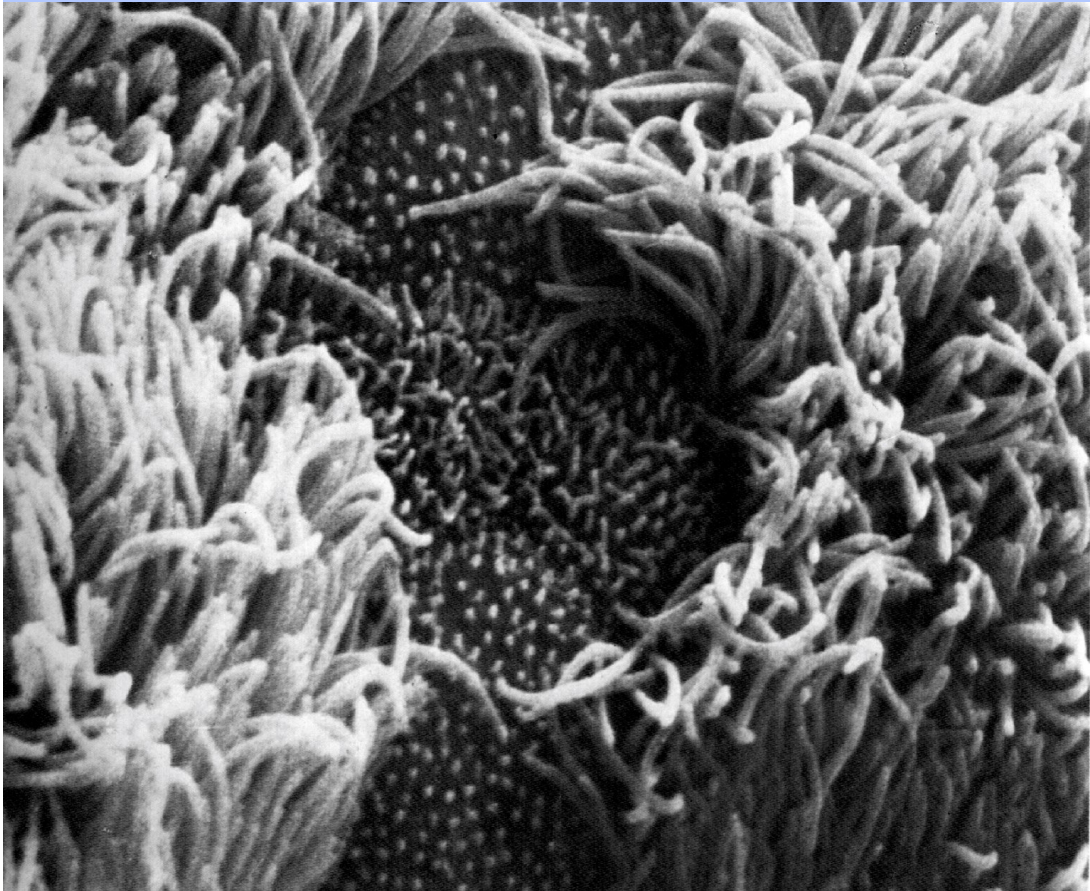
Cellule basale = remplacement cellule ciliée(+++) et cellule sécrétrice

Le mucus: phases SOL et GEL

Rôle du mucus:

- .piège à particules**
- .humidification**
- .Protection physique et bactérienne**

Les cils



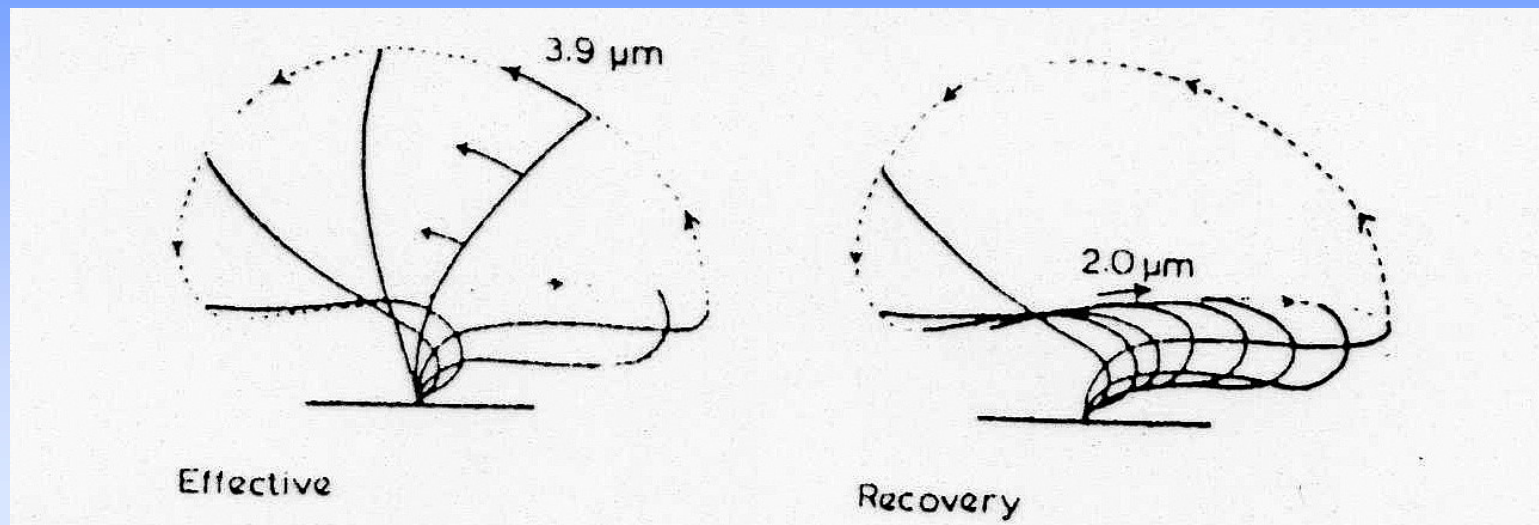
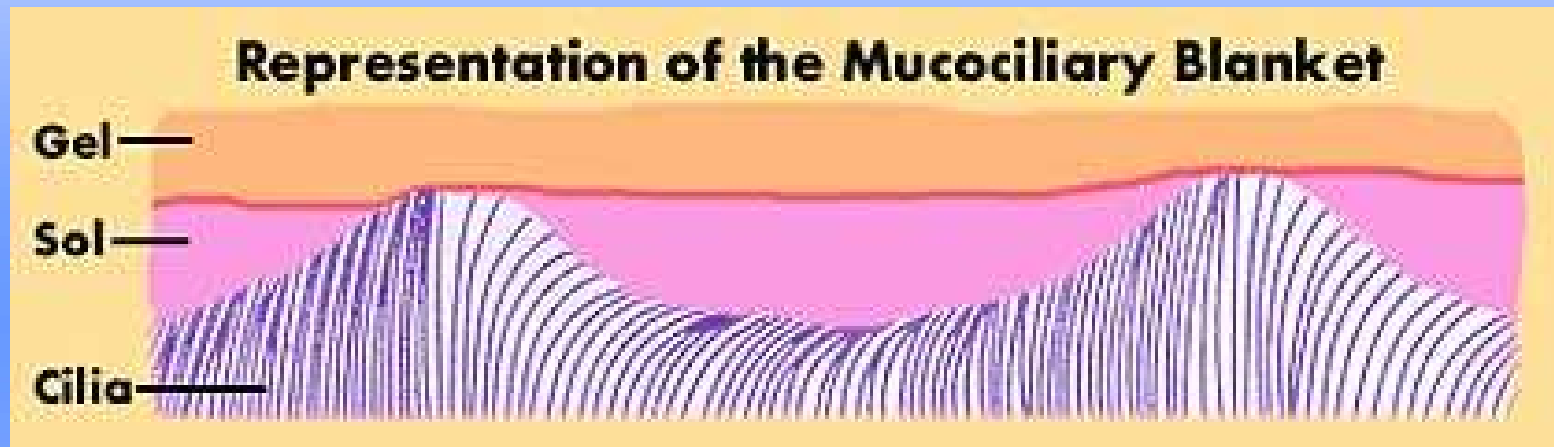
Assurent la progression de la phase gel vers l'oropharynx avec une vitesse croissante des petites voies aériennes vers la trachée.

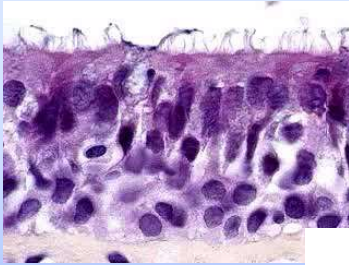
Fréquence de battement: 10 à 15 Hz.

Moindre efficacité si l'air inspiré est sec et froid

Diminution du mouvement ciliaire avec l'âge

Épithélium bronchique





LES CILS

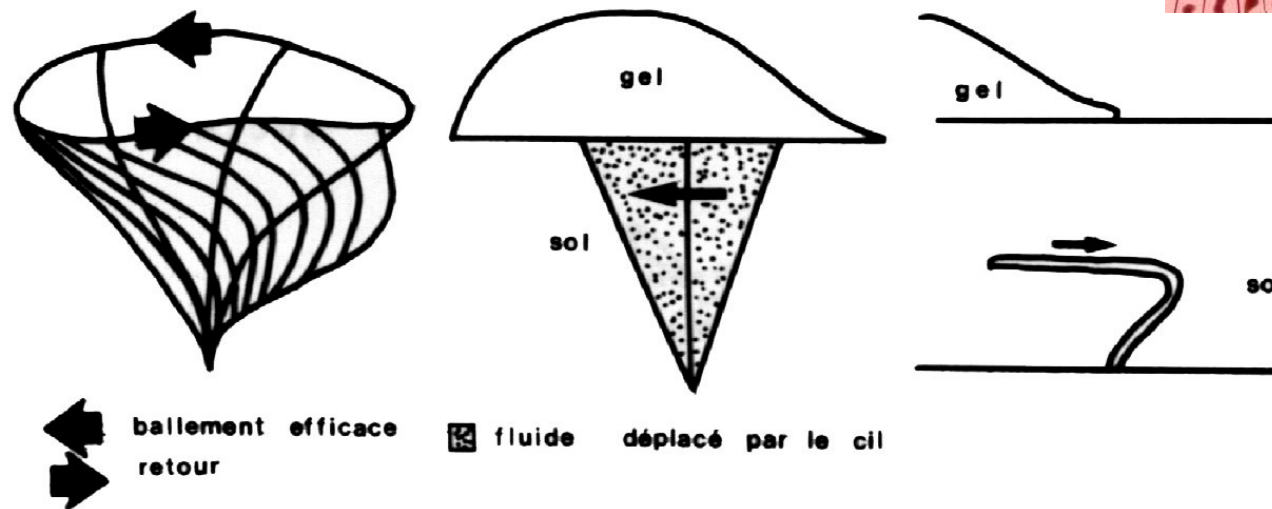
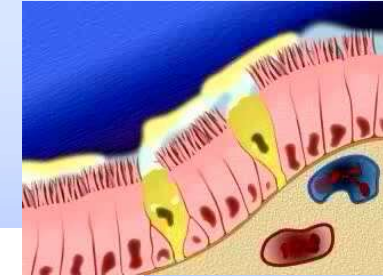


Fig. 55: Mouvement ciliaire
A: Diagramme du battement ciliaire
B: Mouvement aller efficace
C: Mouvement retour

Le battement ciliaire est polarisé, coordonné et autonome.

Son asymétrie apparaît sur le diaphragme du haut.

Chaque battement se décompose en deux mouvements :

- un mouvement aller, efficace où le cil se raidit, se met en extension à partir de sa base et se projette en avant.

L'extrémité du cil rentre en contact avec la phase gel.

- un mouvement retour où le cil en flexion revient à sa position première. Il se courbe sur toute sa longueur en effectuant un mouvement de rotation en direction opposée de l'oropharynx.

Les cils



Pathologies altérant la fonction d'épuration:

- **L'atteinte virale: la bronchiolite**
- **La bronchite chronique**
- **La mucoviscidose**
- **La broniectasie**
- **Les maladies ciliaires**

L'épuration pulmonaire

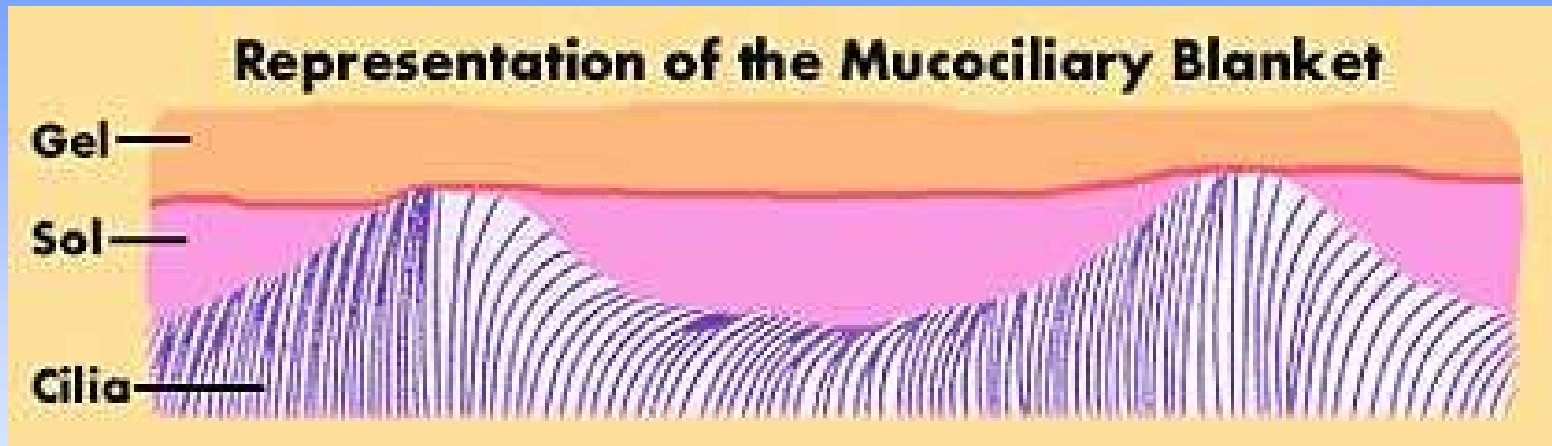
- La cavité nasale, le nasopharynx et le pharynx arrêtent les particules dont le diamètre est supérieur à $10\mu\text{m}$.
- L'éternuement et le mouchage complètent la déglutition des particules.
- Mais le mécanisme essentiel de l'épuration pulmonaire reste l'activité muco-cliliaire.

L'épuration muco-ciliaire

Fonctionnement

Le mucus (95% d'eau) est structuré en 2 parties:

- une couche profonde, fluide (viscosité faible)
- une couche superficielle discontinue dont la viscosité est importante, propulsée par les cils



L'épuration muco-ciliaire

Fonctionnement

- La vitesse de progression du tapis muqueux s'accroît des bronchioles vers les bronches centrales (éviter l'inondation)
- Quantité non connue de façon précise (de 50 à 150 ml/jour)
- Sous le contrôle du parasympathique et sympathique
 - Stimulation β adrénergique: augmente la viscosité
 - Stimulation des récepteurs α : hypersécrétion fluide

L'épuration muco-ciliaire

Fonctions du mucus bronchique

- **Protection de la muqueuse contre les modifications thermiques et hygrométriques de l'air inspiré**
- **Capture des particules inhalées et évacuation**
- **Protection des voies aériennes par ses propriétés anti-infectieuses et antiprotéases**

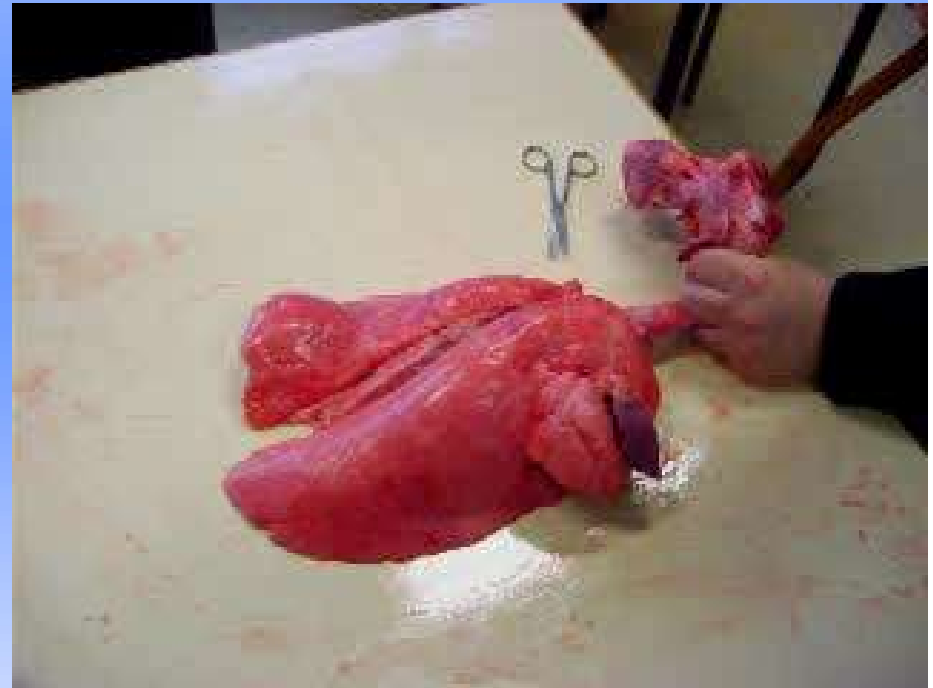
Structure histologique du poumon:

Deux types de structures

- **Le mésenchyme: tissu non fonctionnel, de soutien**
 - Mésenchyme axial: Structure l'arbre des conduits aériens, cloisons conjonctives des lobules, des segments.
 - Mésenchyme périphérique: conjonctif sous pleural et plèvre.
- **Le parenchyme: tissu fonctionnel, chargé d'assurer l'hématose**
 - Tous les espaces aériens situés au-delà de la bronchiole terminale
 - L'interstitium inter-alvéolaire
 - Le réseau vasculaire interstitiel (capillaires péri alvéolaires)

L'interstitium inter-alvéolaire

- Constitue la part la plus importante du parenchyme pulmonaire au contact des structures broncho alvéolaires
- Tissu conjonctif lâche, élastique, très richement vascularisé (le « mou » des bouchers)
- En physiologie, il est caractérisé par la notion de compliance et d'élastance

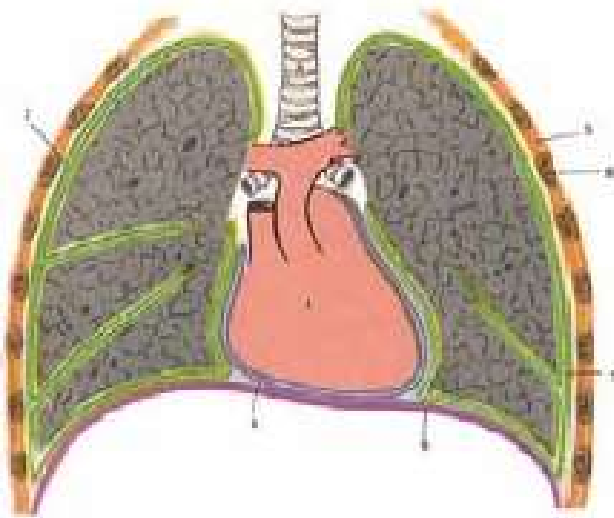


L'interstitium inter-alvéolaire

- **Fibres élastiques**
 - Très abondante: 1/3 de la masse sèche du poumon
 - Composées d'élastine (dégradées par des élastase normalement inhibées par des protéines: $\alpha 1$ anti protéase (anciennement anti trypsine))
- **Collagène**
 - Participe à la déformabilité du parenchyme (collagène III)
 - Rôle essentiellement mécanique: résistance mécanique au déchirement lorsqu'on atteint la limite d'élasticité du parenchyme (collagène I)

La plèvre

- Sèreuse enveloppant le poumon
- Constituée de 2 feuillets:
 - Un feuillet viscéral qui tapisse la face externe du poumon (invagination entre les lobes)
 - Un feuillet pariétal qui tapisse la face interne de la cage thoracique et le médiastin

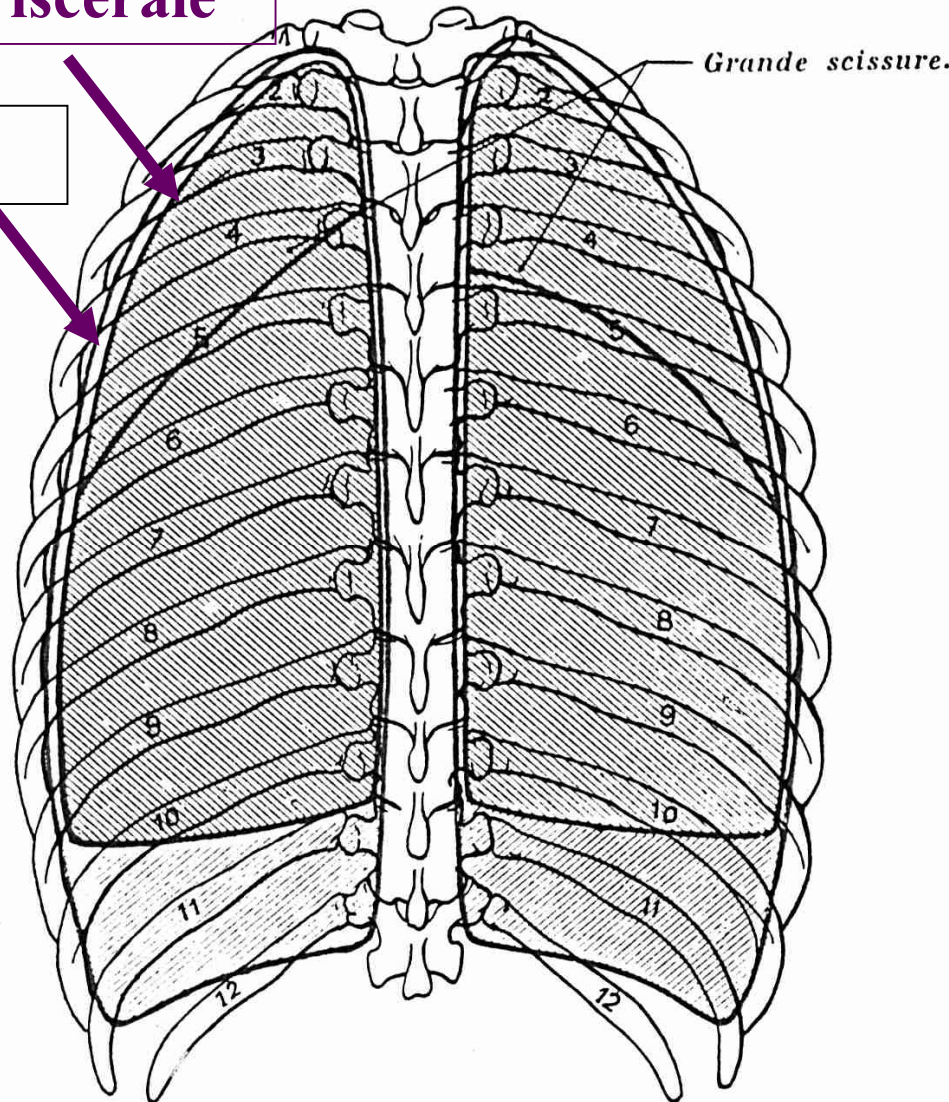


Les 2 feuillets se rejoignent
autour du hile pulmonaire

L'espace pleural

Pl Viscérale

Pl Pariétale



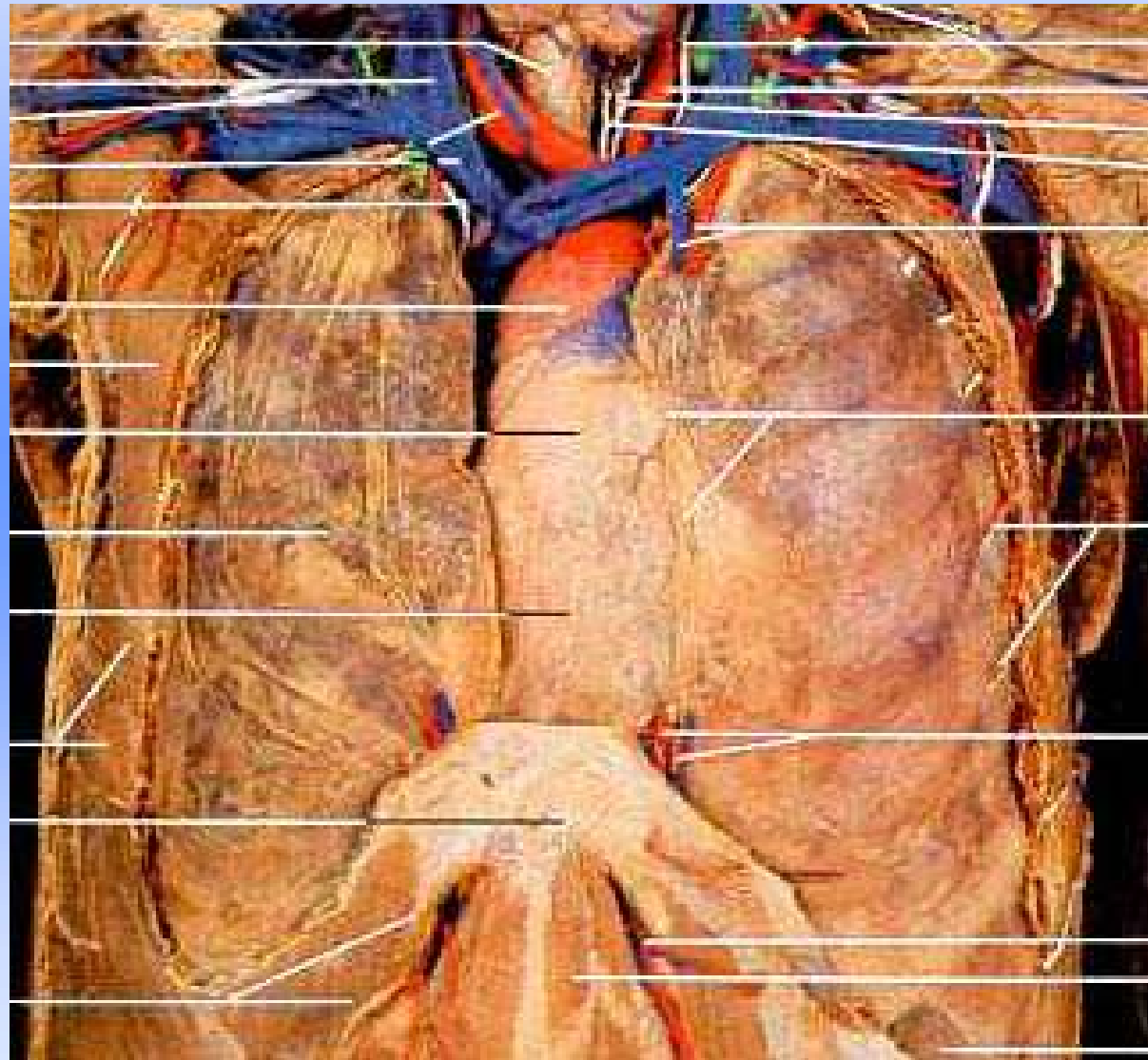
**Poumon et
thorax sont
solidarisés par
la plèvre**

L'espace pleural



Espace
pleural

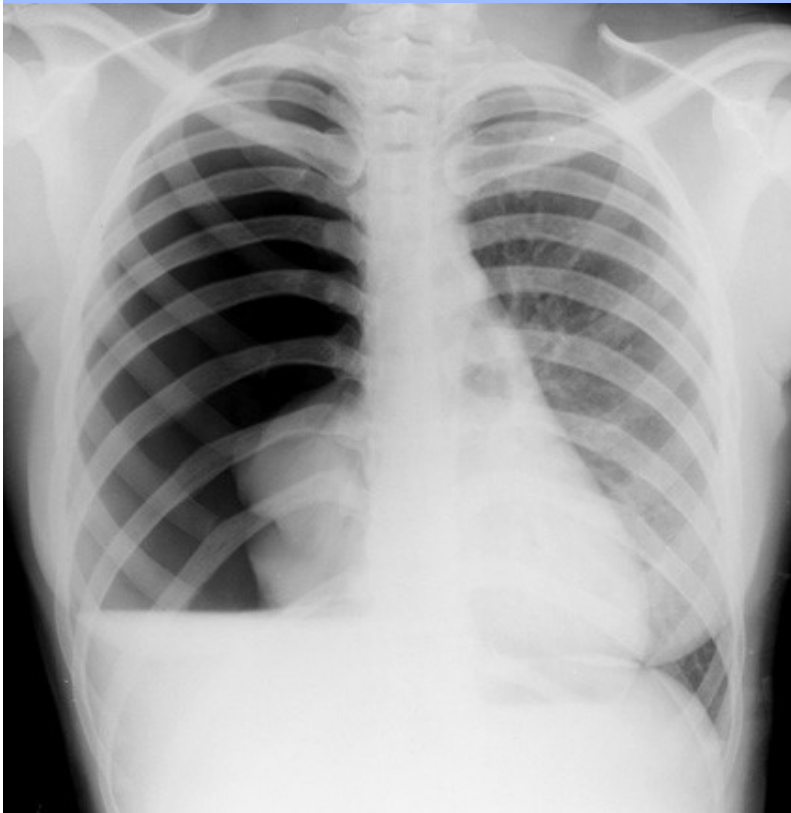
L'espace pleural



La plèvre

- **Présence de liquide** (environ 2 ml, sécrété essentiellement par la plèvre pariétale) dans l'espace pleural qui favorise le glissement entre les 2 feuillets.
- **Communication entre la cavité pleurale et le réseau lymphatique de la plèvre pariétale** (évacuation des fluides, de particules et de cellules de petits diamètre).

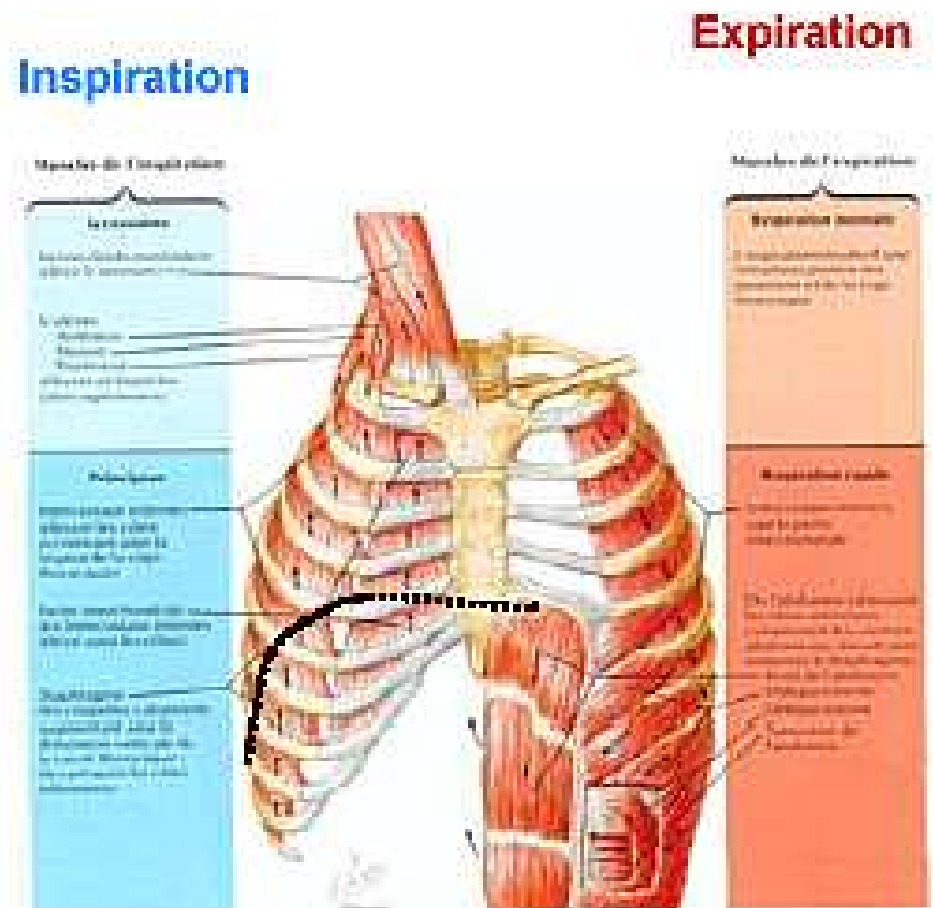
L'espace pleural



- Espace clos solidarissant poumon et cage thoracique (« articulation » thoracopulmonaire).
- Permet les mouvements ventilatoires.
- Si « ouverture » de cet espace: pneumothorax

Les muscles respiratoires

- Inspiration
 - normale
 - diaphragme
 - intercostaux externes
 - forcée
 - scalènes
 - sternocléïdomastoïdiens
 - pectoraux
 - sous clavier
 - grand dentelé
- Expiration
 - normale
 - phénomène passif
 - forcée
 - IC internes
 - transverse, obliques internes et externes, grand droit



Muscles respiratoires

Respiration calme

Muscle	Action
Diaphragme	Inspiration
Intercostaux Externes	Inspiration
	Expiration

L'expiration calme est un phénomène **passif**

Muscles respiratoires

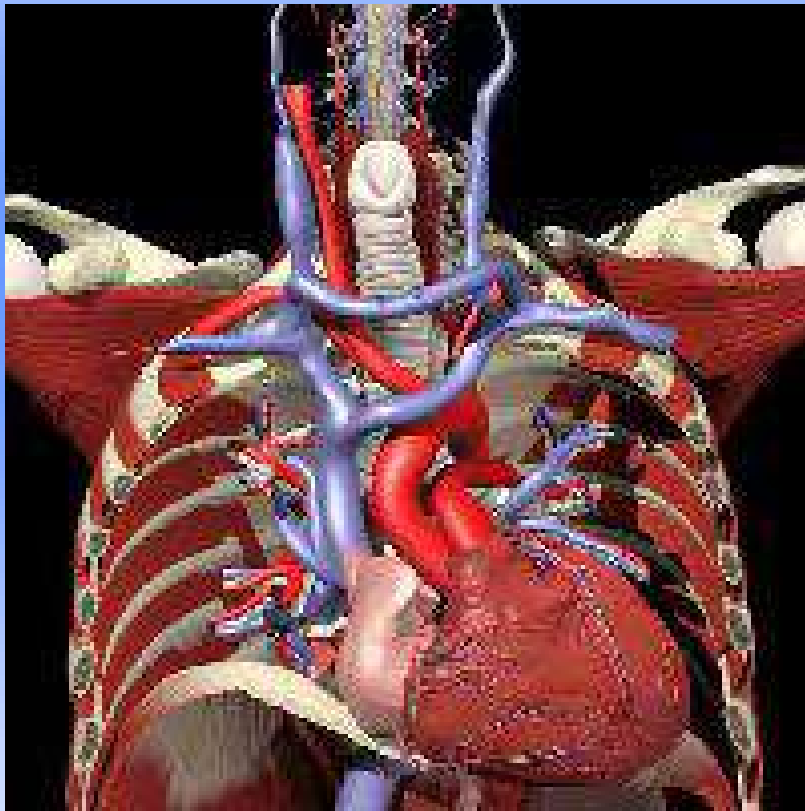
Respiration ample et/ou rapide

Muscle	Action
Diaphragme	Inspiration
Intercostaux Externes	Inspiration
Sterno-cléido-mastoïdiens	Inspiration
Scalènes	Inspiration
Intercostaux Internes	Expiration
Transverse de l'abdomen, obliques externes et internes, grands droits	Expiration

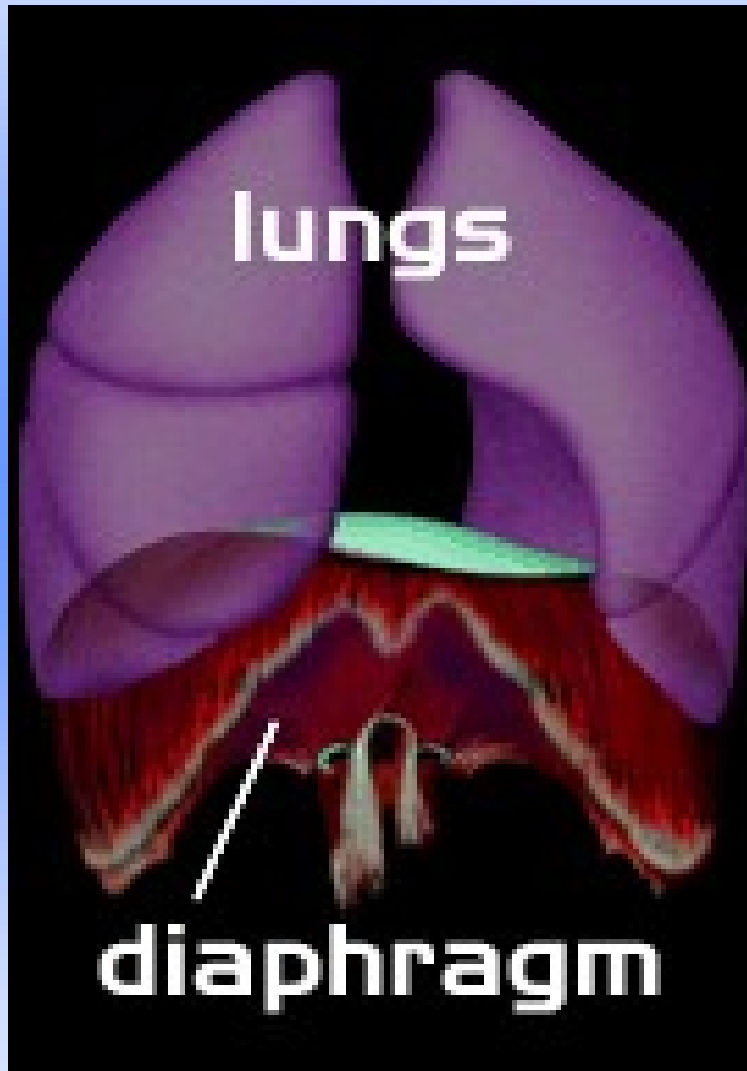
L'expiration forcée est un phénomène **actif**

Le diaphragme

Situation



- Muscle plat et rayonné
- Cloison musculo-aponévrotique séparant le thorax de l'abdomen
- S'implante au pourtour inférieur du thorax



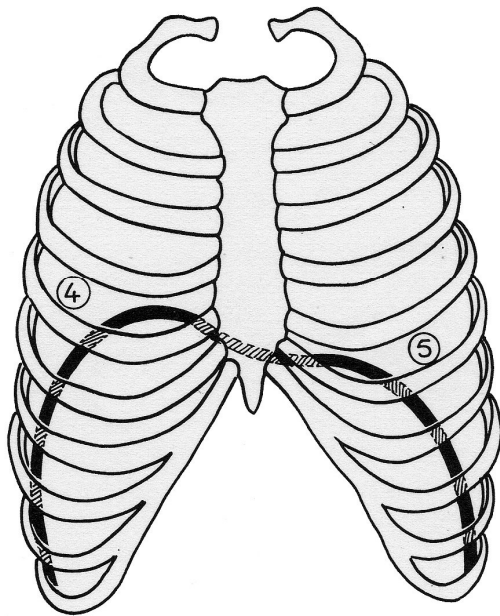
Rôle

**C'est le muscle
inspirateur principal.**

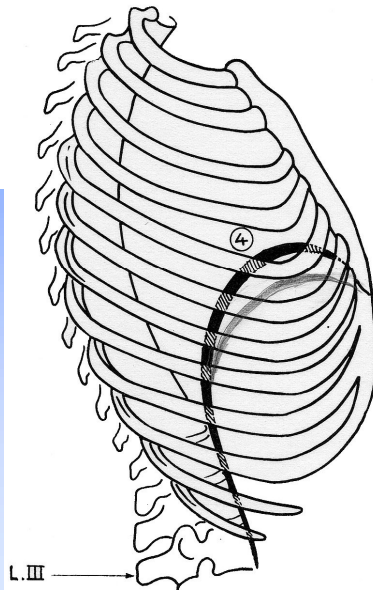
Il participe aussi au rire, au
hoquet, à la miction et la
défécation, au vomissement, à
l'accouchement

Morphologie

.PROJECTION ANTÉRIEURE.



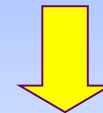
.PROJECTION LATÉRALE DROITE.



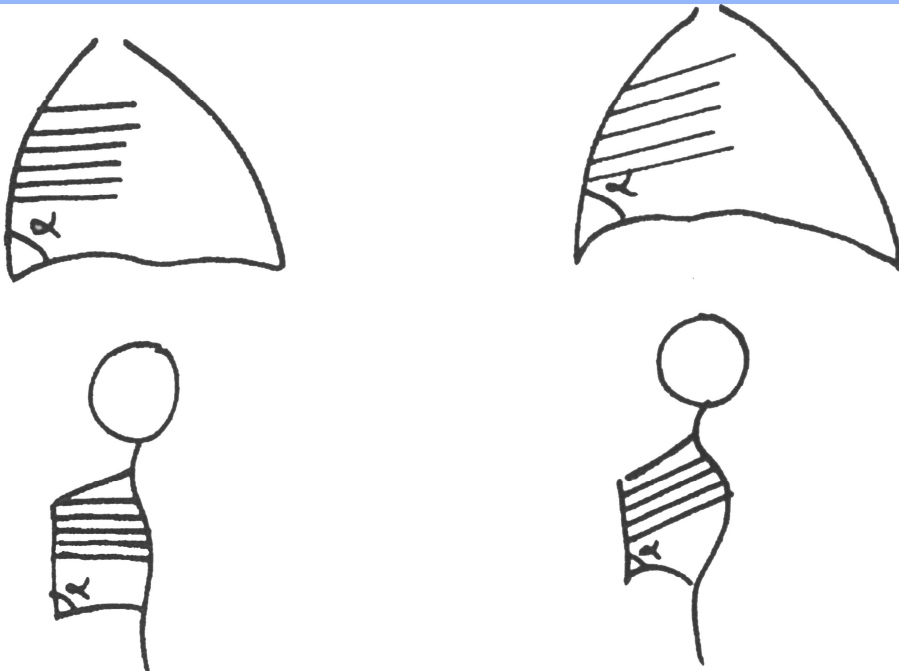
- Voûte concave en bas
- Deux parties:
 - L'une antérieure ou sterno-costale est horizontale: 2 coupoles sterno-chondro-sternales
 - L'autre postérieure, verticale: région des piliers lombaires.

Morphologie chez le nourrisson

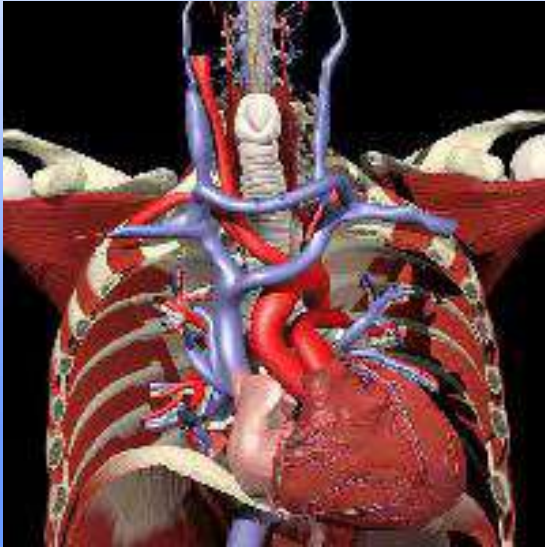
- Cotes horizontales
- Cage thoracique circulaire
- Diaphragme aplati
- Angle d'insertion costal ouvert: zone d'apposition faible



Incidences cliniques



Rapports

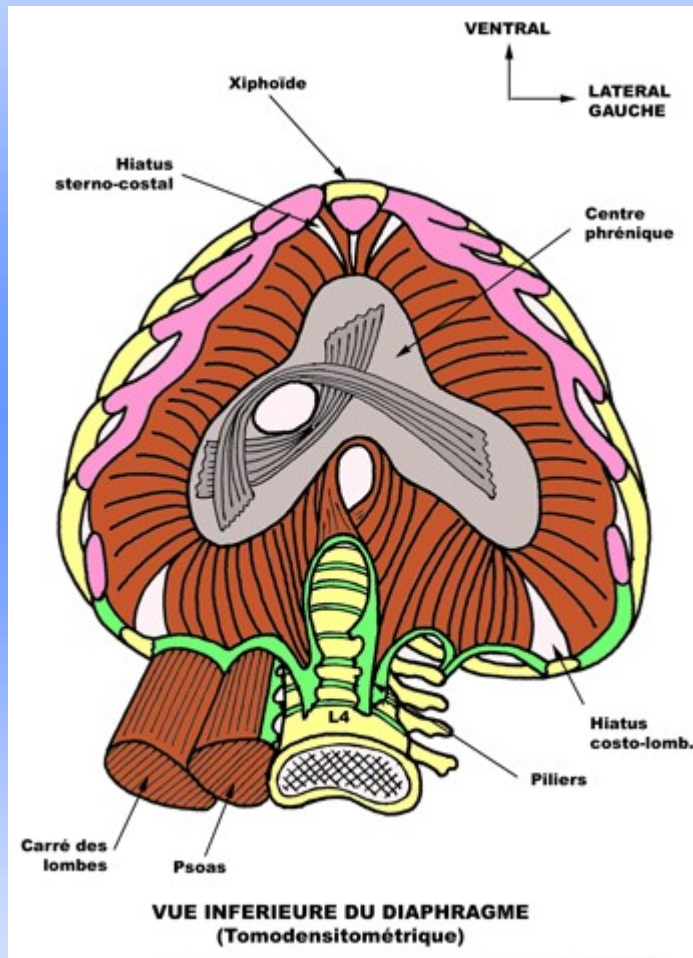


- Face supérieure
 - Le cœur: ligaments phréno-péricardiques
 - Feuilletés pariétaux de la plèvre (cul de sac costo-diaphragmatique)



- Face inférieure
 - Le péritoine
 - Le foie sous la coupole droite
 - L'estomac sous la coupole gauche

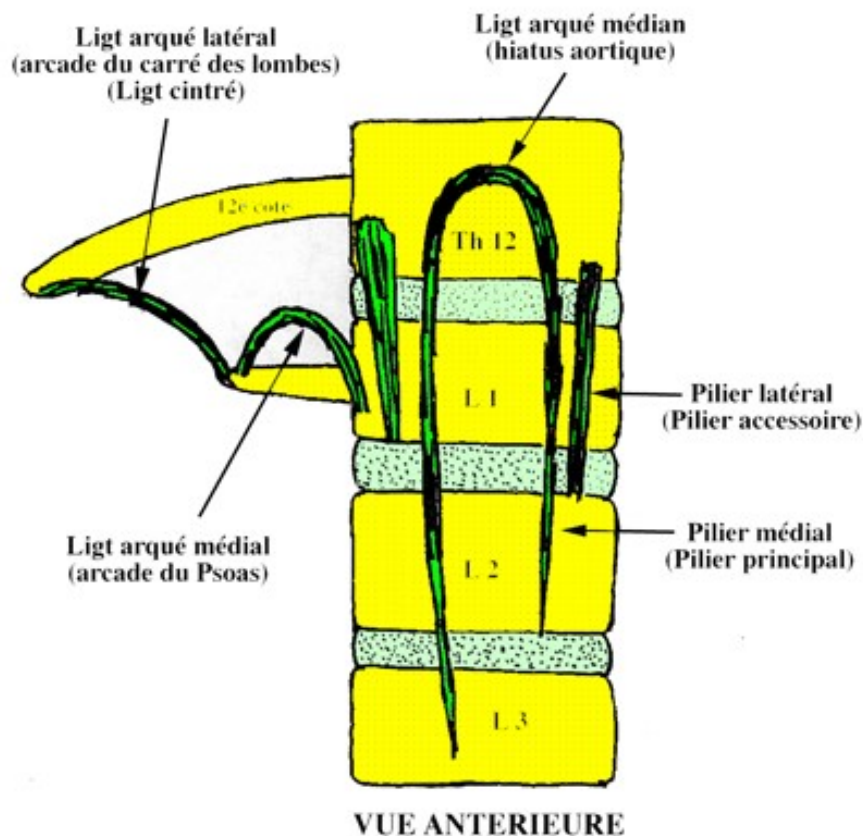
Constitution



- Série de petits muscles digastriques
- Tendons intermédiaires qui s'entrecroisent et constituent la portion centrale tendineuse: le centre phrénique
- A la périphérie: corps musculaire
- Nombreux orifices faisant communiquer thorax et abdomen

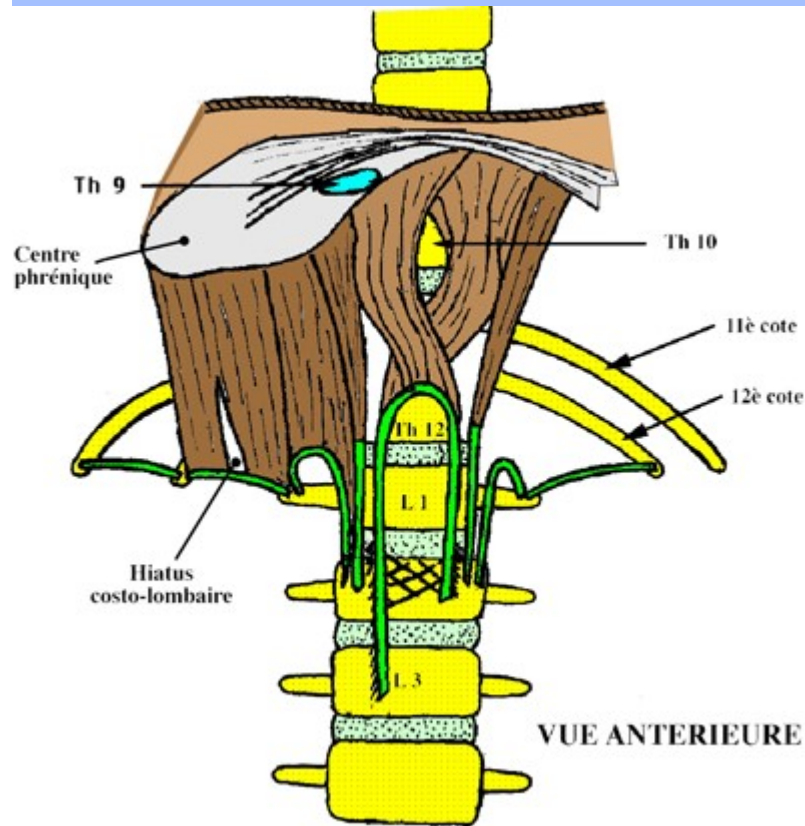
Les piliers tendineux

« les insertions lombaires »



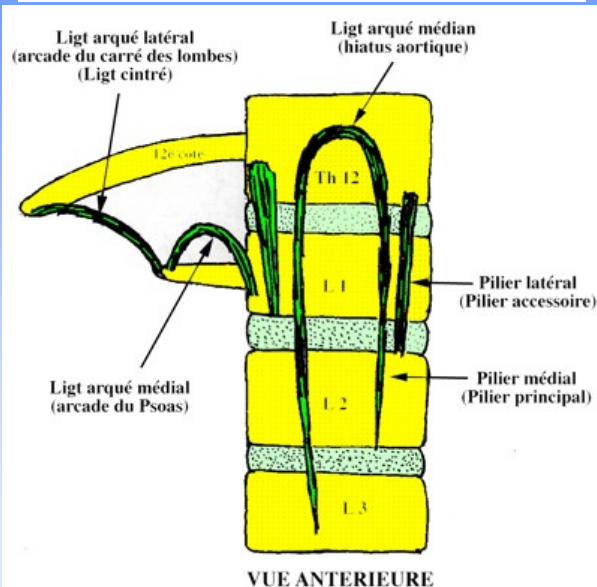
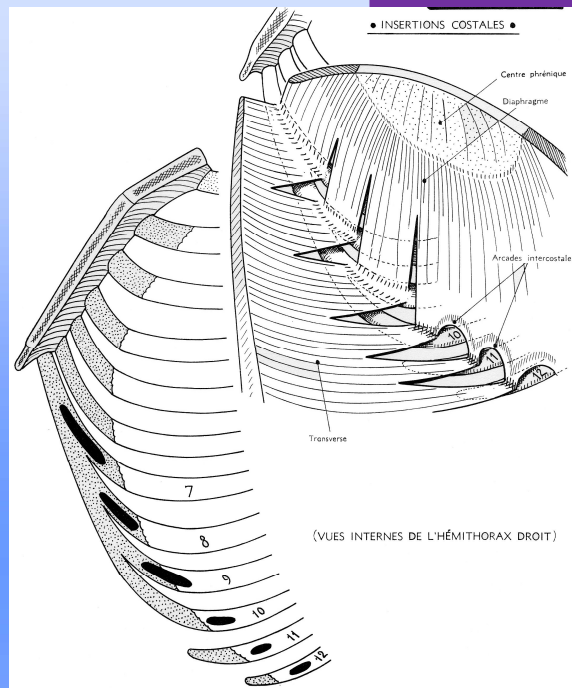
- Sur les corps vertébraux
 - Piliers principal et accessoire
- Sur une arcade fibreuse
 - L'arcade du psoas

Prolongement des piliers tendineux par les piliers musculaires



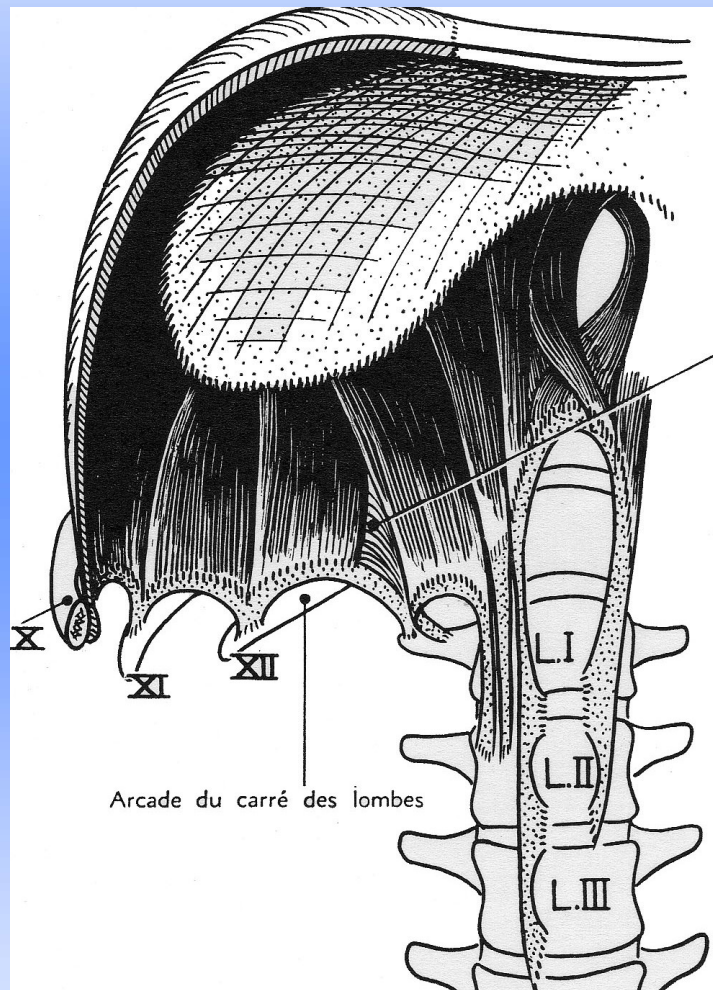
- Portion lombaire du diaphragme, à point fixe **vertébral** (abaissement du bord postérieur du centre phrénique)
- Le hiatus oesophagien musculaire en T10 joue un rôle de sphincter oesophagien

Insertions costales



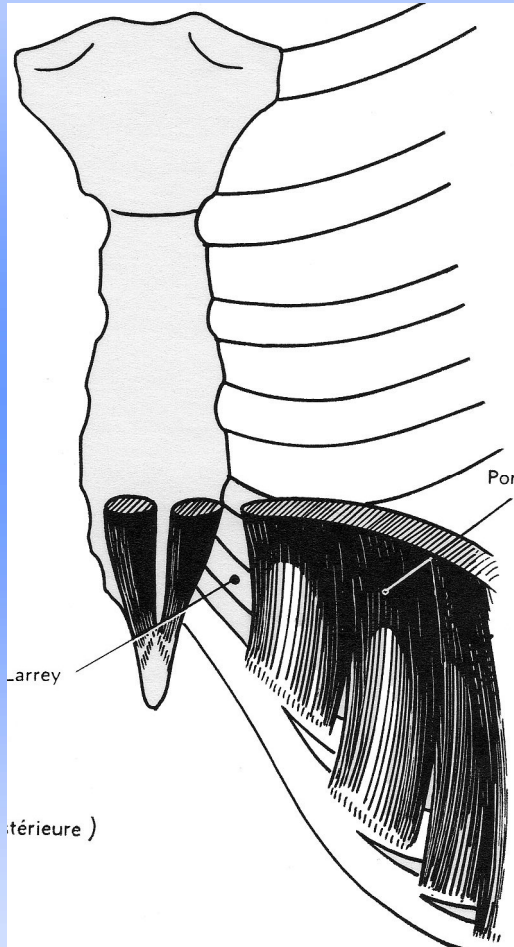
- Sur la face interne des 6 derniers arcs costaux
- Sur 3 arcades aponévrotiques intercostales
 - Arcades de Senac(10 et 11^{ème})
 - Arcade du carré des Lombes (L1 à 12^{ème} cote)

Insertions costales



- Les fibres forment une nappe musculaire qui se recourbe en dedans
- Elles se terminent sur les folioles latérales et antérieure du centre phrénique

Insertions sternales



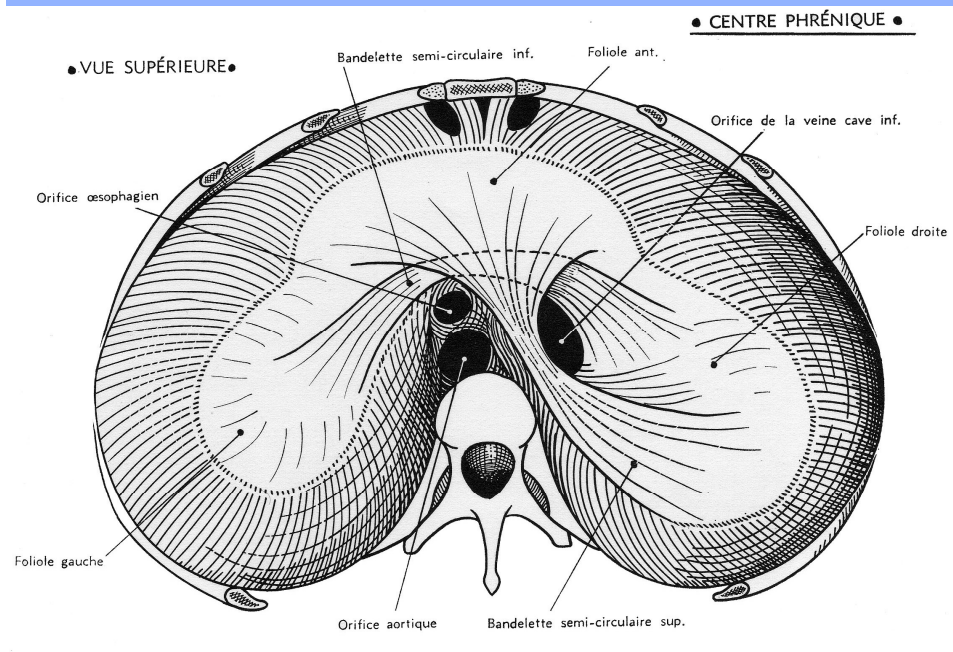
- Insertion à la face postérieure de l'appendice xiphoïde
- Les fibres se portent en haut et en arrière
- Aboutissent à la partie moyenne de la foliole antérieure du centre phrénique

« le centre tendineux »



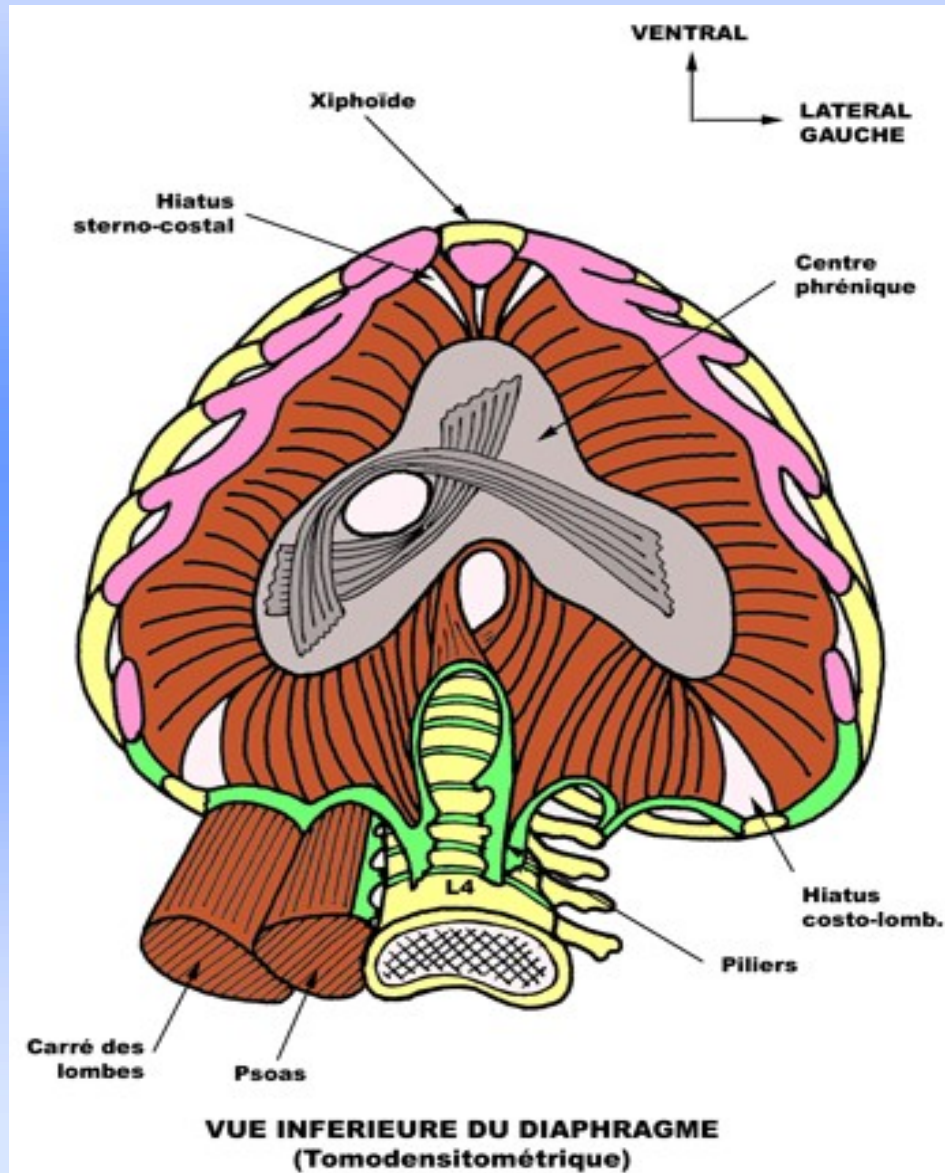
- Nappe tendineuse en forme de trèfle
- Une foliole antérieure
- Deux folioles latérales
- Folioles réunies par des bandelettes semi circulaires

Les orifices du diaphragme



- Orifice aortique
- Orifice oesophagien
- Orifice veine cave inférieure
- Autres:
 - Entre les piliers
 - Entre les digitations costales
 - Orifices des phréniques

Une vue inférieure globale



Innervation - Vascularisation

- Les nerfs phréniques, droit et gauche, seuls nerfs moteurs sont essentiellement issus de C4 (et aussi C3 et C5).
- Le sympathique (rôle vasomoteur) a une action sur le tonus musculaire
- La vascularisation est assurée par les artères phréniques inférieures et supérieures

Typologie des fibres musculaires

- Le diaphragme de l'adulte contient environ 60% de fibres de type 1* (fibres à contraction lente, à métabolisme aérobie, peu fatigables).
- Autres fibres: de type IIa et IIb (fibres à contraction rapide et de forte intensité, à métabolisme glycolytique, fatigables)

**Sanchez, 1985*

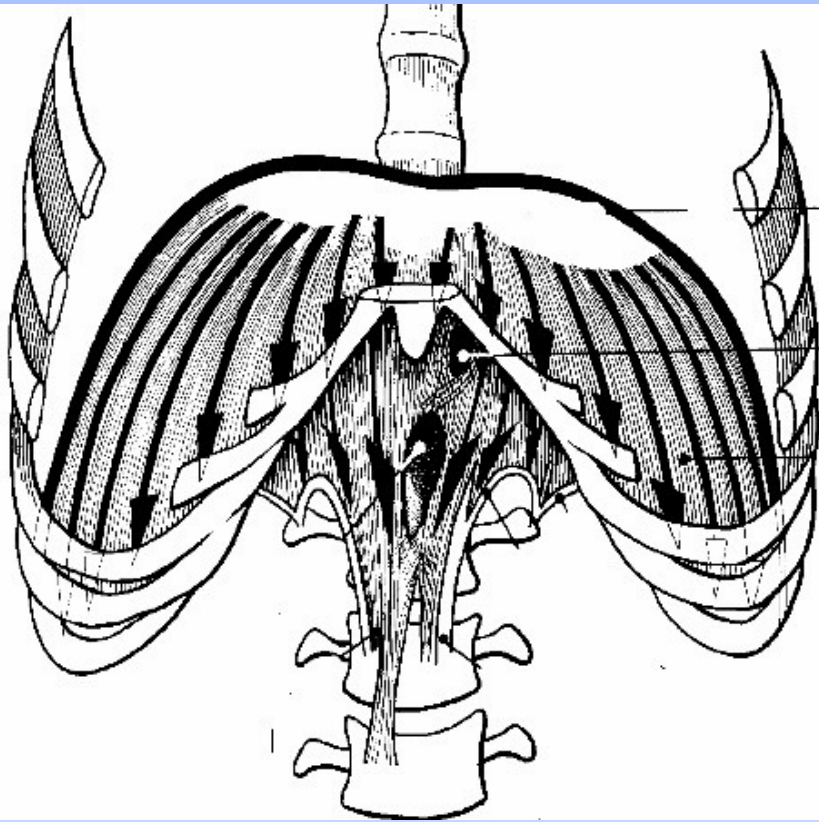
Typologie des fibres musculaires chez le nourrisson

- Faible proportion de fibres de type 1*
 - 10% chez prématurés
 - 25% à la naissance
 - 55% à l'âge de 2 ans
- Forte proportion de fibres de type 2

De part sa faible capacité oxydative le diaphragme du nouveau-né est relativement fatigable

*Keens, 1978

Mécanisme de la contraction diaphragmatique

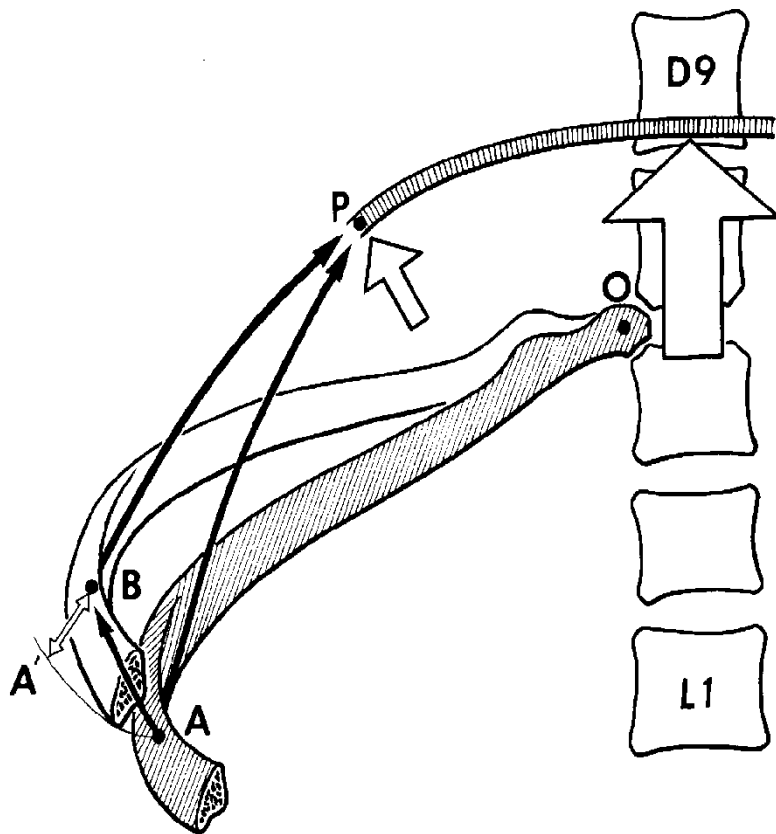


Abaissement du centre phrénique avec augmentation du diamètre vertical

- Mise en tension des éléments du médiastin
- Appui abdominal

Élévation des côtes inférieures et élévation du sternum avec augmentation des diamètres transversal et antéropostérieur

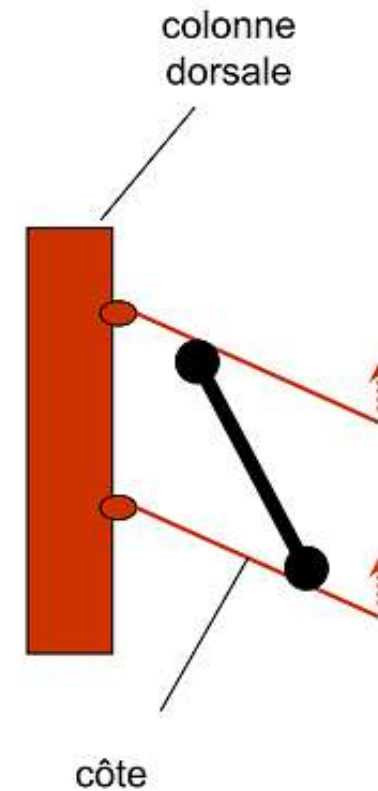
Comment le diaphragme élève les cotes ?



- A partir du moment où le centre phrénique devient point fixe (P), la cote tournant autour du centre O, la contraction du diaphragme entraîne un mouvement (AB) de l'extrémité de la cote.

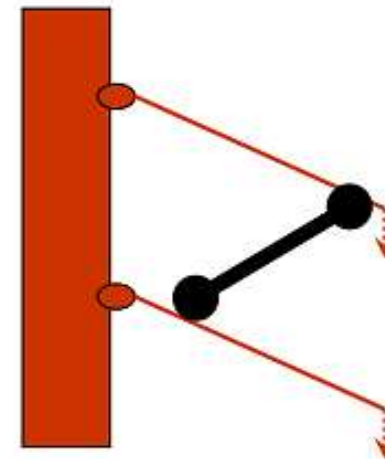
Muscles intercostaux

- Muscles intercostaux **externes**
 - Origine
 - face inférieure de la côte supérieure
 - Trajet
 - fibres obliques en bas et en avant
 - Insertion
 - face supérieure de la côte inférieure



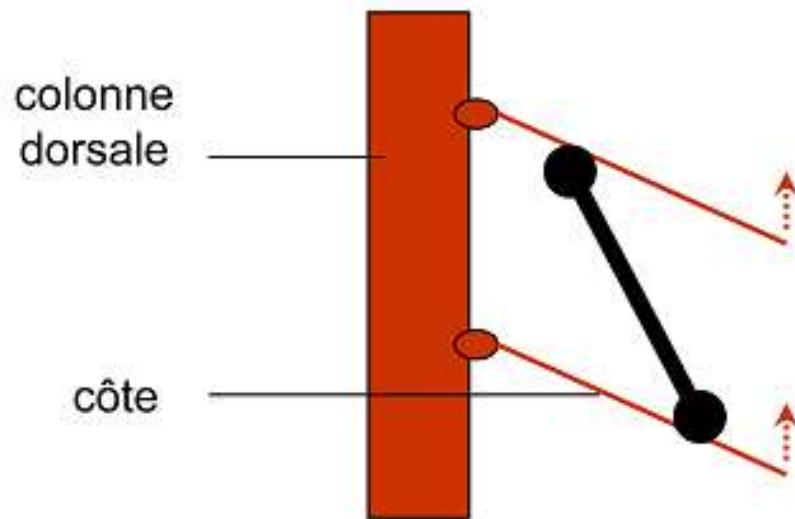
Muscles intercostaux

- Muscles intercostaux **internes**
 - Origine
 - face inférieure de la côte supérieure
 - Trajet
 - fibres obliques en arrière et en bas
 - Insertion
 - face supérieure de la côte inférieure

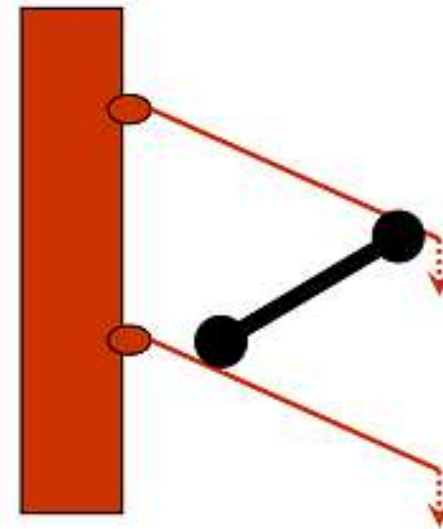


Muscles intercostaux internes
(expiratoires)

Muscles intercostaux



Muscles intercostaux externes
(inspiratoires)



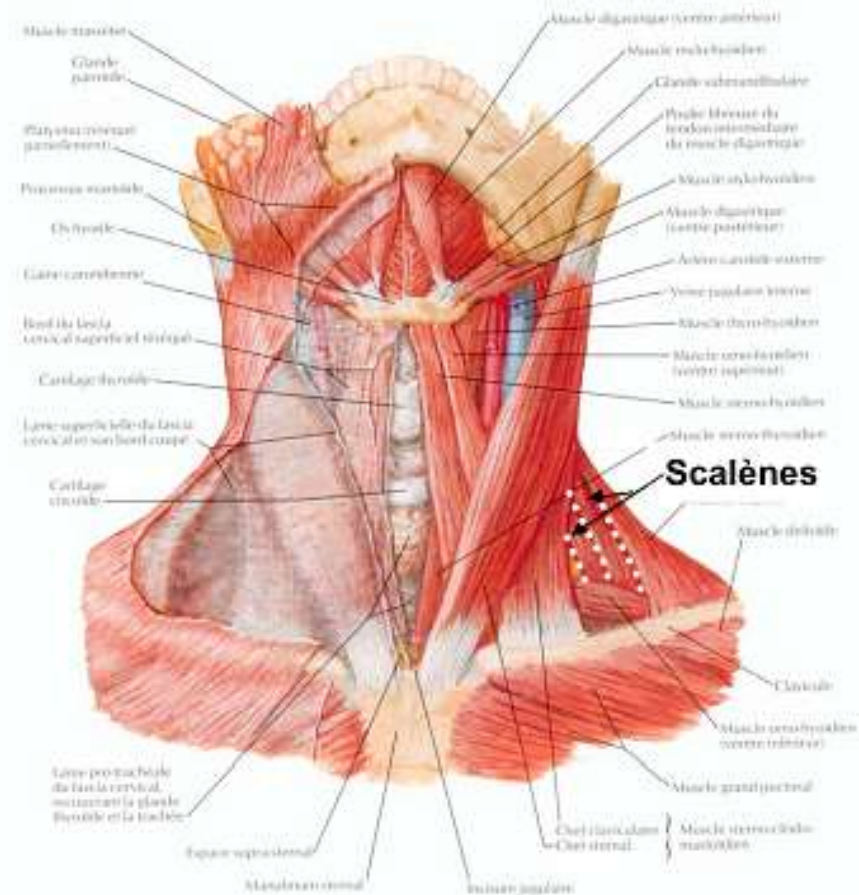
Muscles intercostaux internes
(expiratoires)

Muscles respiratoires accessoires

- **Scalènes**
- **Sternocleidomastoidiens**
- **Pectoraux, trapèzes**
- **Abdominaux**
- **Muscles des VAS**

Muscles scalènes

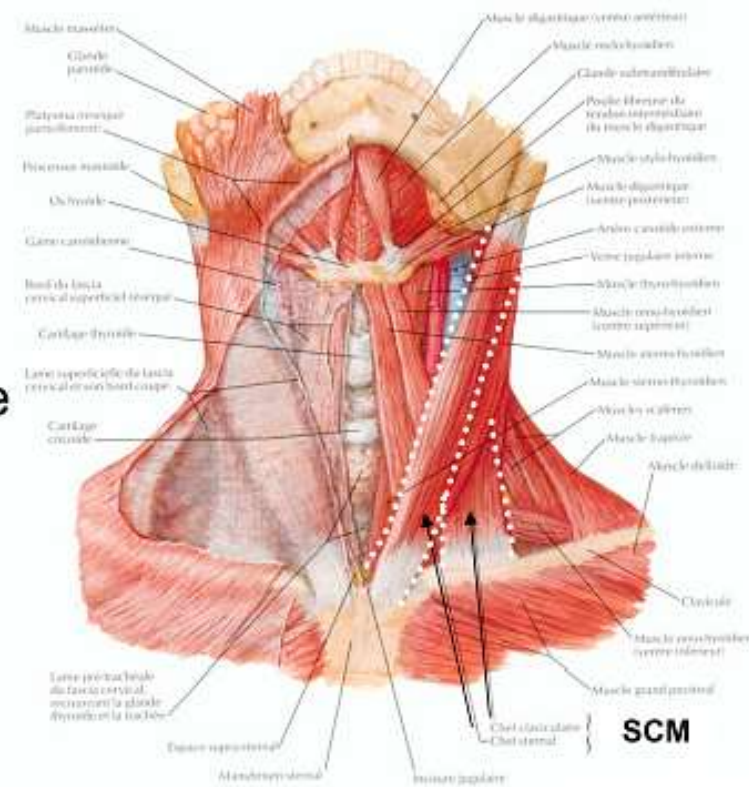
- Origine: 5 dernières vertèbres cervicales
- Insertion: 2 premières côtes
- Action: élèvent les deux premières côtes



Référence 2

Muscles sternocléïdomastoïdiens

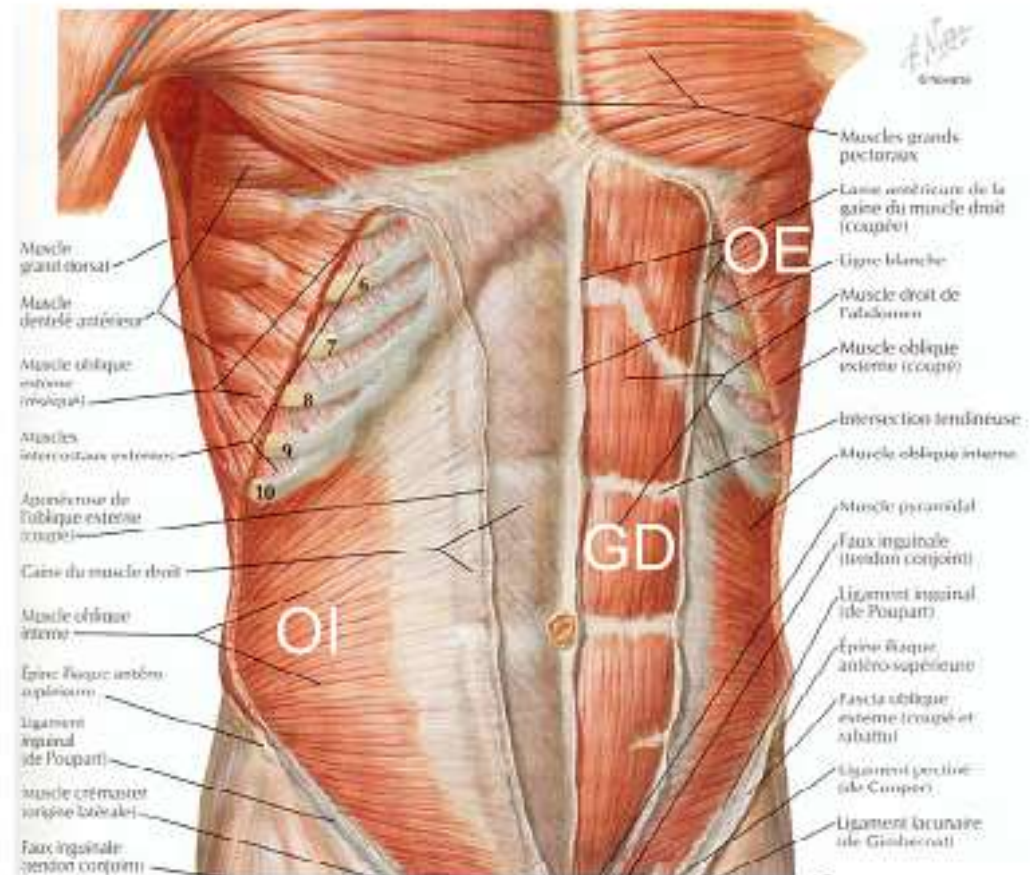
- Origine: mastoïde
- Insertion: clavicule, manubrium sternal
- Action: élèvent la première côte et le sternum
- Innervés par une racine provenant de C2 → ventilation minime en cas de section médullaire haute



Référence 2

Les abdominaux

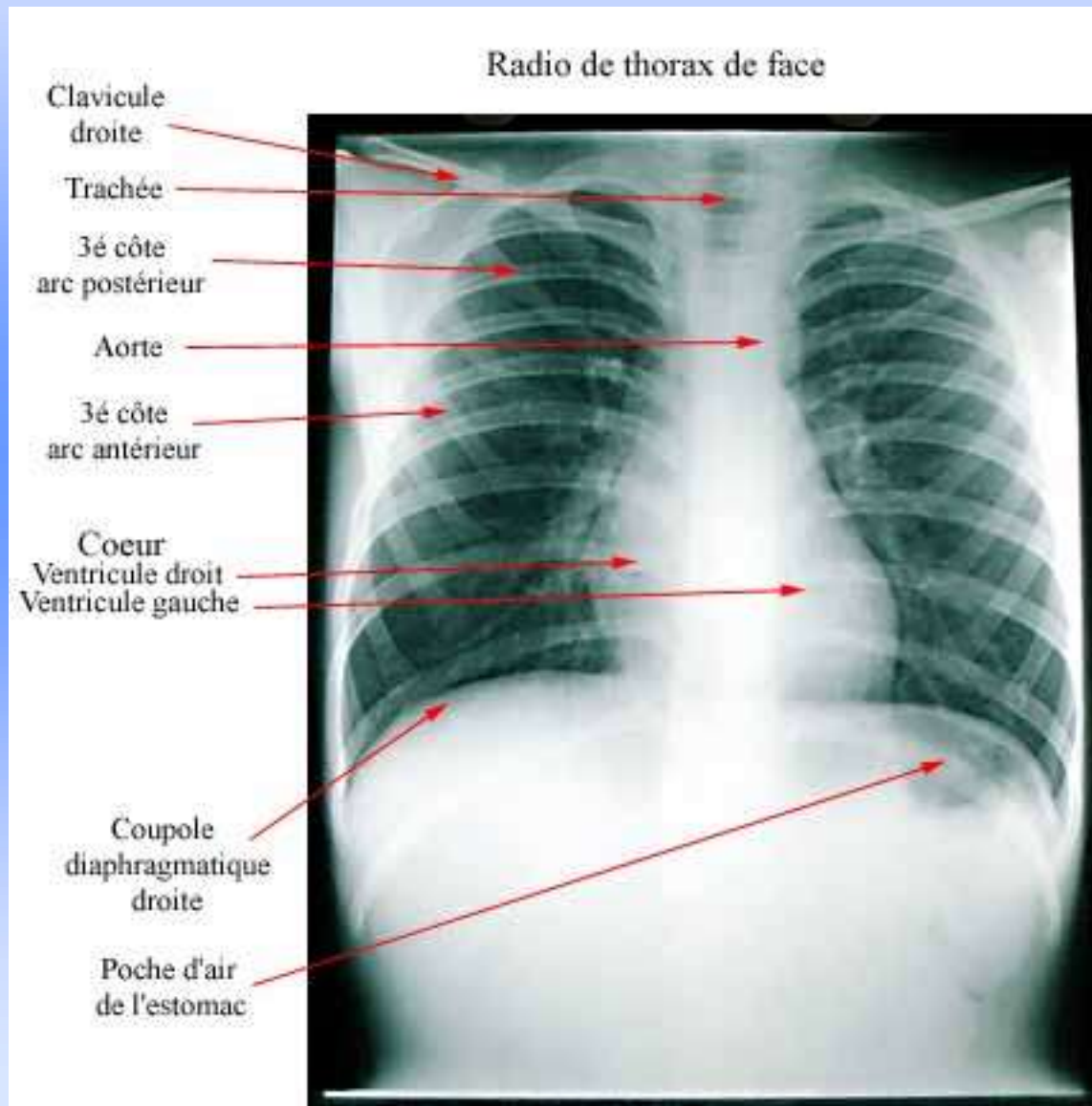
- Transverse de l'abdomen (T)
- Obliques externes (OE)
- Obliques internes (OI)
- Grands droits (GD)



Les abdominaux

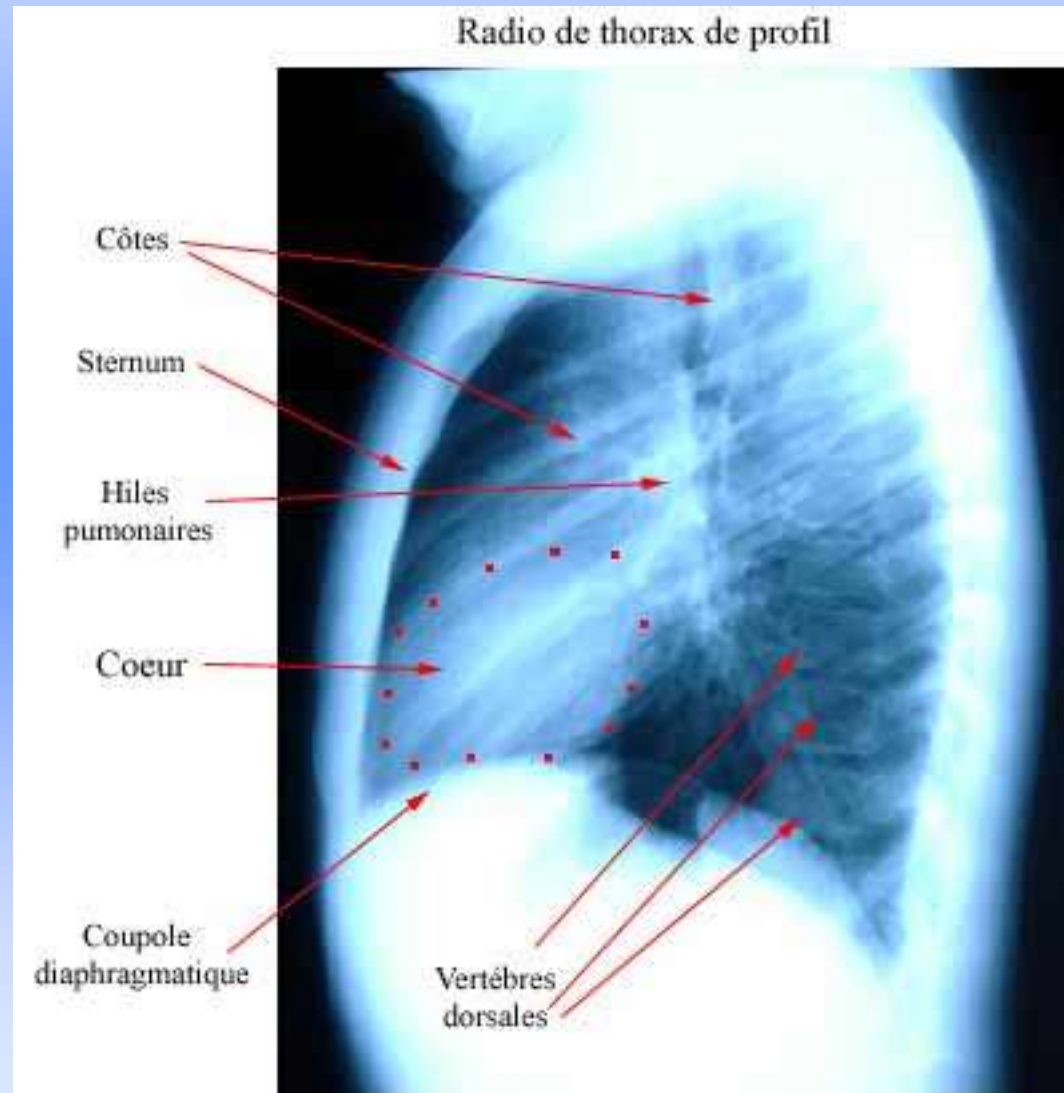
- **Muscles expiratoires mis en jeu lors d'expirations forcées**
- **Compriment les viscères qui refoulent le diaphragme vers le haut: diminution du diamètre vertical**
- **Abaissent les cotes inférieures: diminution du diamètre transversal**

Radiographie de face



**Nécessité de
connaître
l'anatomie pour
pouvoir
comprendre
l'imagerie**

Radiographie de profil



Références iconographiques

- 2 Netter FH. Atlas d'anatomie humaine, Maloine, 1997
- 3 Préfault Ch. L'essentiel en physiologie respiratoire, Sauramps médical, 1986
- 4 Guyton AC. Précis de physiologie médicale, Piccin, 1991
- 7 Comroe JH. Physiologie de la respiration, Masson, 1978