

**PHYSIOLOGIE
DE
L' APPAREIL RESPIRATOIRE**

RESPIRATION 1

1- Les constituants de l' appareil respiratoire

1-1- nez

1-2- pharynx

1-3- larynx

1-4- arbre bronchique

1-4-1- morphologie

1-4-2- épithélium trachéal et bronchique

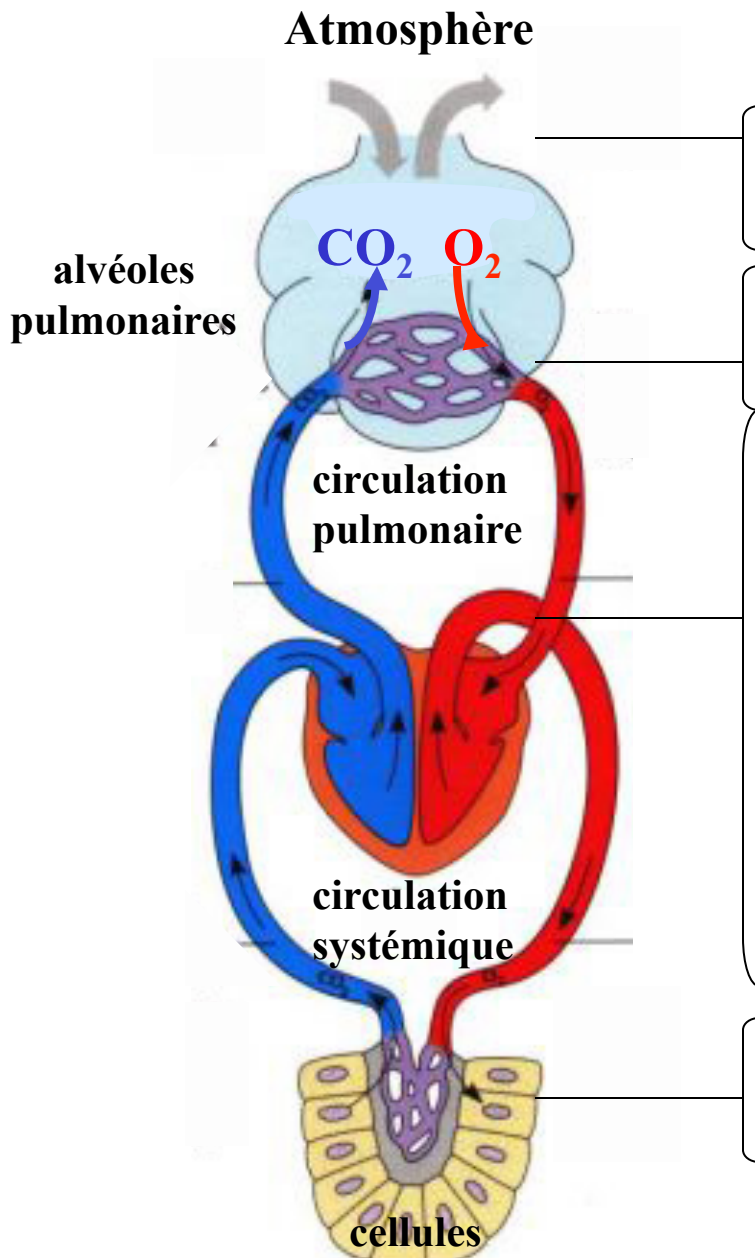
1-4-3- bronchomotricité

1-5- parenchyme pulmonaire

1-5-1- épithélium pulmonaire

1-6- circulation pulmonaire

ETAPES DE LA RESPIRATION EXTERNE



ventilation pulmonaire responsable de l'échange d' O₂ et de CO₂ entre l'atmosphère et les alvéoles pulmonaires (convection)

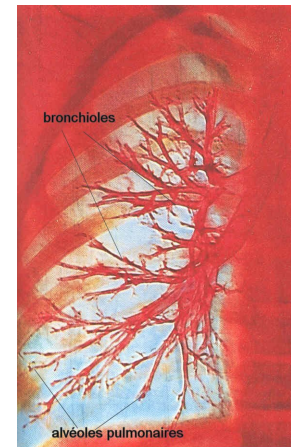
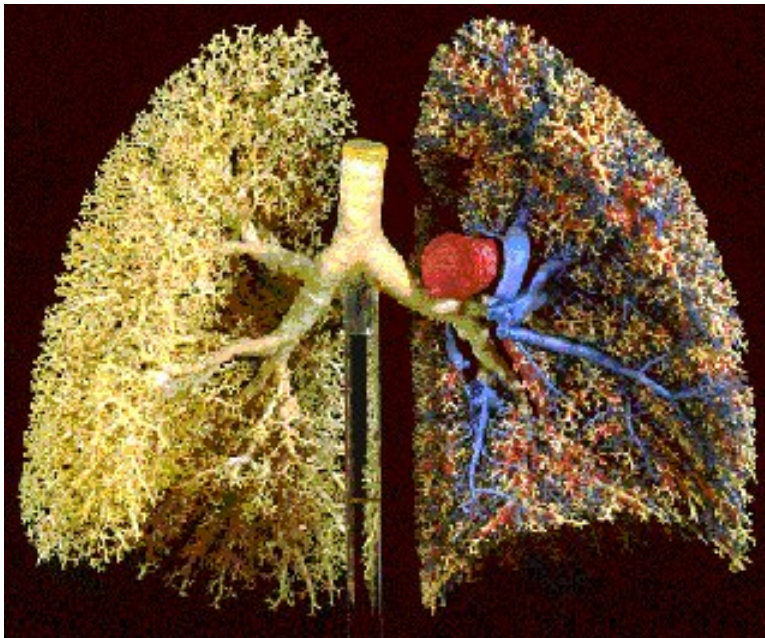
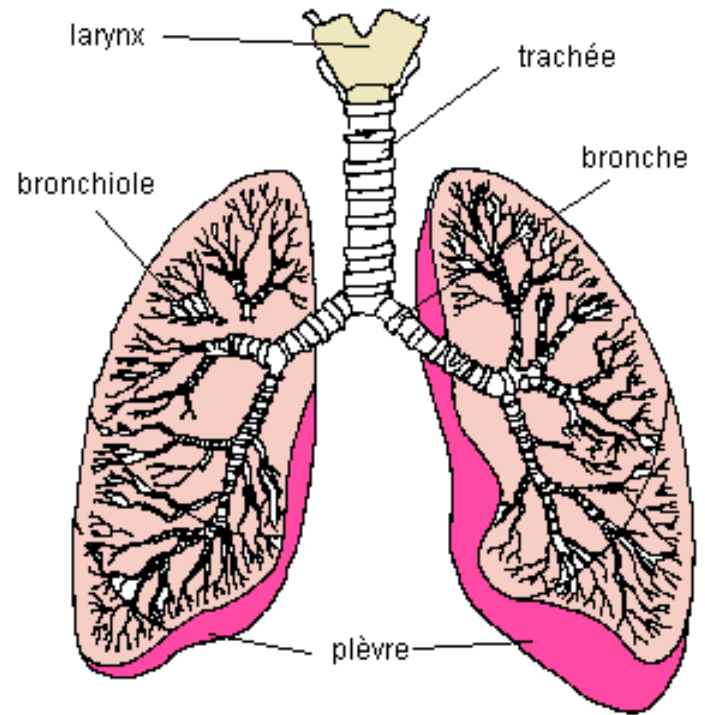
échanges d' O₂ et de CO₂ entre les alvéoles et le sang dans les poumons (diffusion)

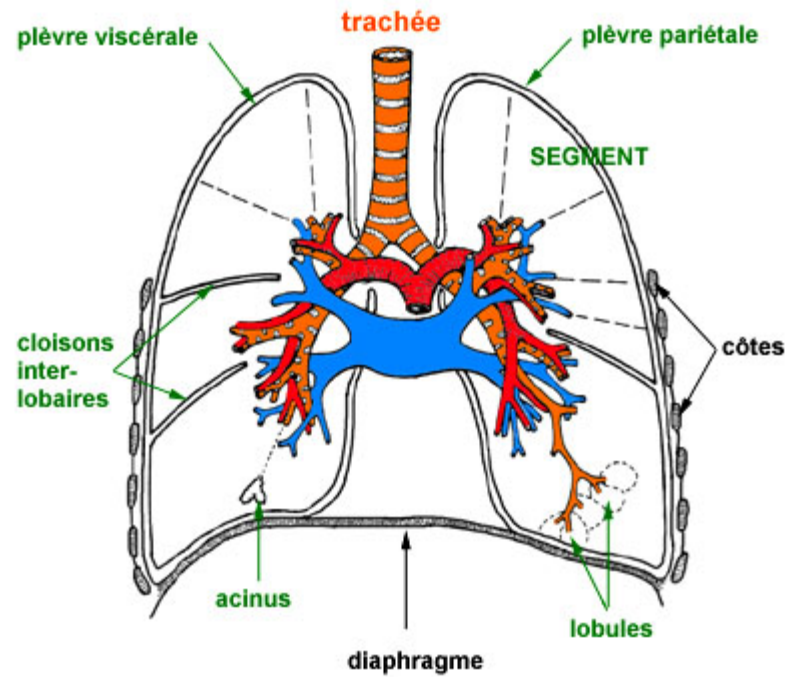
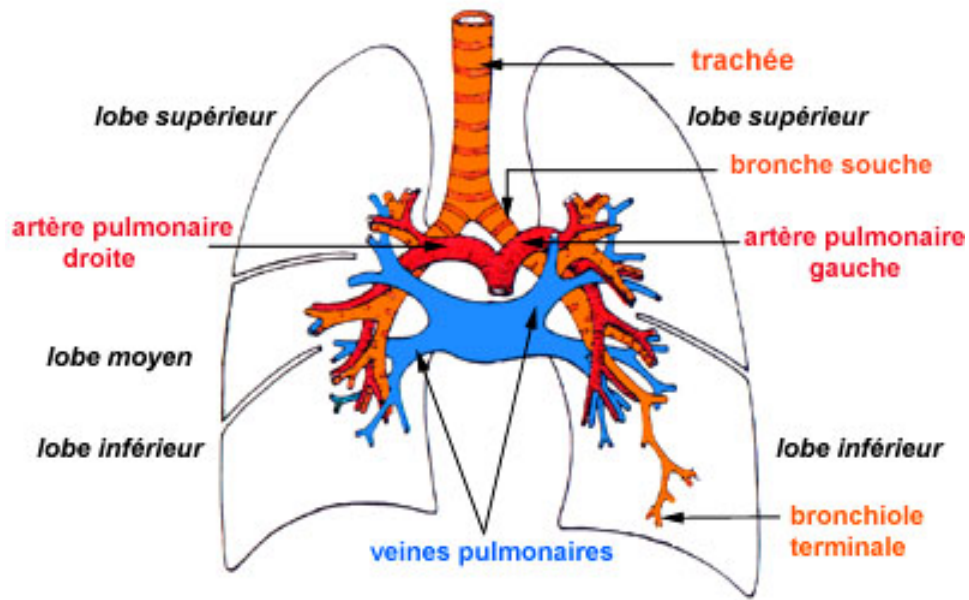
transport d' O₂ et de CO₂ entre le sang et les tissus (convection)

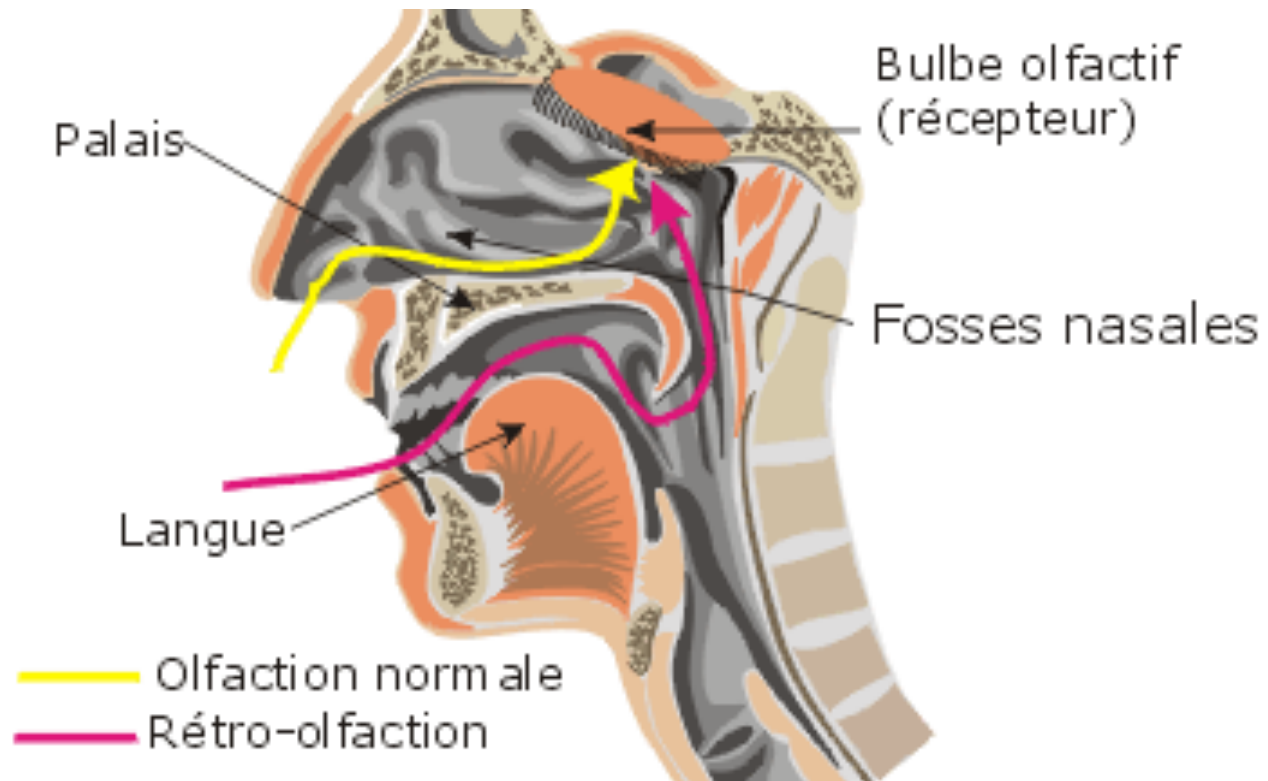
échange d' O₂ et de CO₂ entre le sang et les tissus (diffusion)



RESPIRATION INTERNE ₃







Au niveau du nez

Muqueuse : membrane tapissant les cavités qui s'ouvrent à l'extérieur

- glandes **muqueuses** qui sécrètent du mucus
- **glandes** séreuses qui sécrètent du lysozyme
- **muqueuse olfactive**

Elle est très vascularisée et assure le réchauffement de l'air inspiré

Importance du conditionnement de l'air chez l'athlète endurant :

Exercice intense : énorme quantité d'air à conditionner

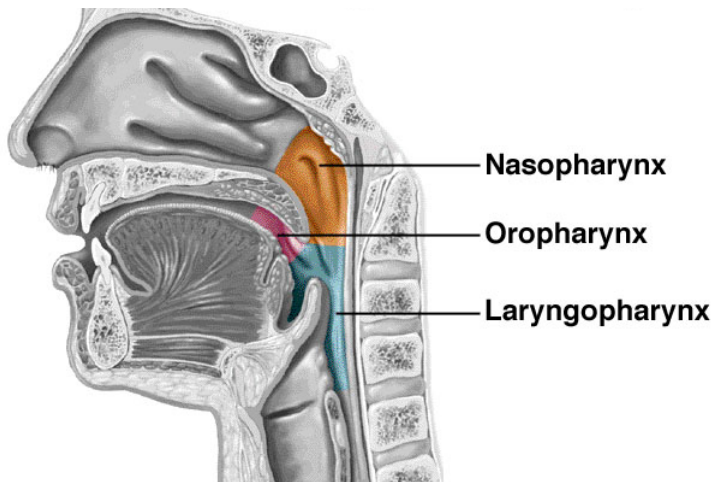


- **Dessiccation des voies aériennes**
- **Inflammation : muqueuse gonflée, bronches irritées**

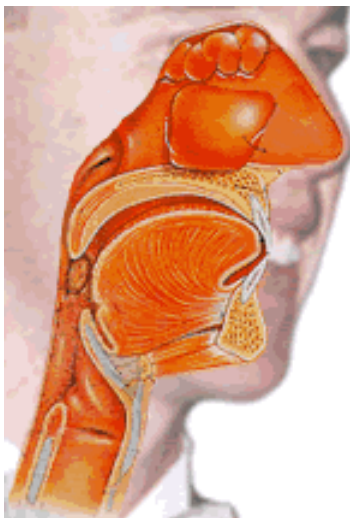


- **Toux**
- **Asthme d'exercice**

LE PHARYNX



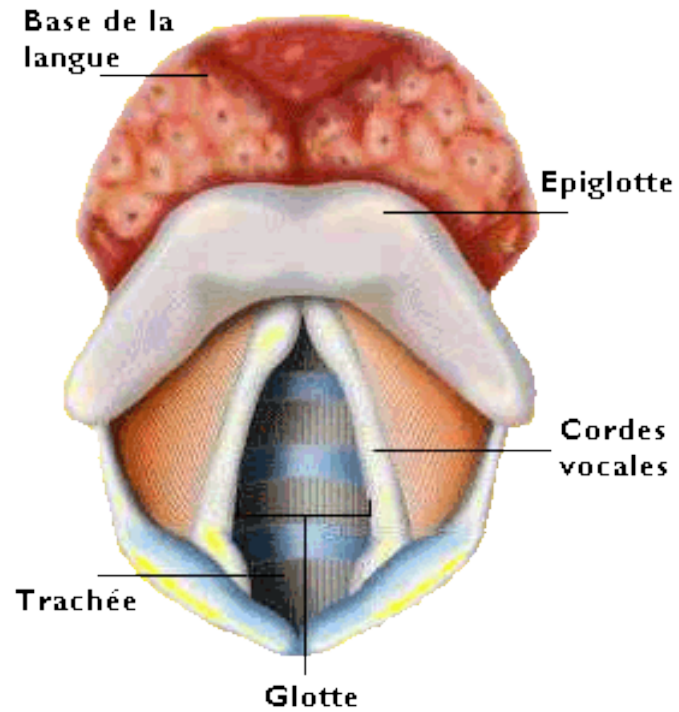
- Zone de passage commune aux aliments et à l'air
- plus de 20 muscles ≠
- Les centres de commande de ces muscles des voies aériennes supérieures sont les mêmes que ceux des muscles respiratoires.



The pharynx as a common pathway for food and air.

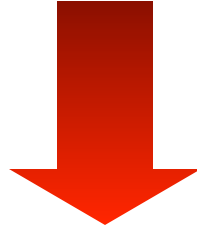
- Zone impliquée dans:
 - les fausses routes alimentaires
 - les apnées du sommeil

LE LARYNX – LES CORDES VOCALES



Larynx, pharynx et trachée

L'épithélium cilié : piège les particules



L'Arbre bronchique supérieur (générations 0-15) reçoit un air :

- ↪ réchauffé,
- ↪ débarrassé de la plupart des impuretés
- ↪ saturé en vapeur d'eau (vascularisation)

Le larynx agit comme une valve qui empêche les aliments de pénétrer dans la trachée.

C'est une zone de rétrécissement, donc de résistance à l'écoulement du gaz.

Le larynx participe au contrôle de la ventilation.

Le larynx est le point d'arrimage supérieur de la trachée : le cartilage cricoïde est le seul anneau cartilagineux complet autour de la trachée.

Le larynx est impliqué dans la phonation : l'intensité du son est liée à la pression du gaz sous-glottique:

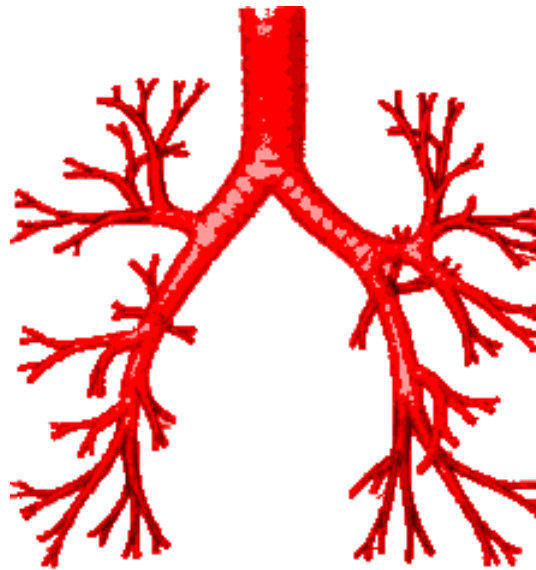
**< 10 cmH₂O pour la voix d'une conversation habituelle,
vers 50 cmH₂O pour un enseignant faisant son cours,**

atteignant 200 cmH₂O au cours d'un effort de chant à grande puissance.

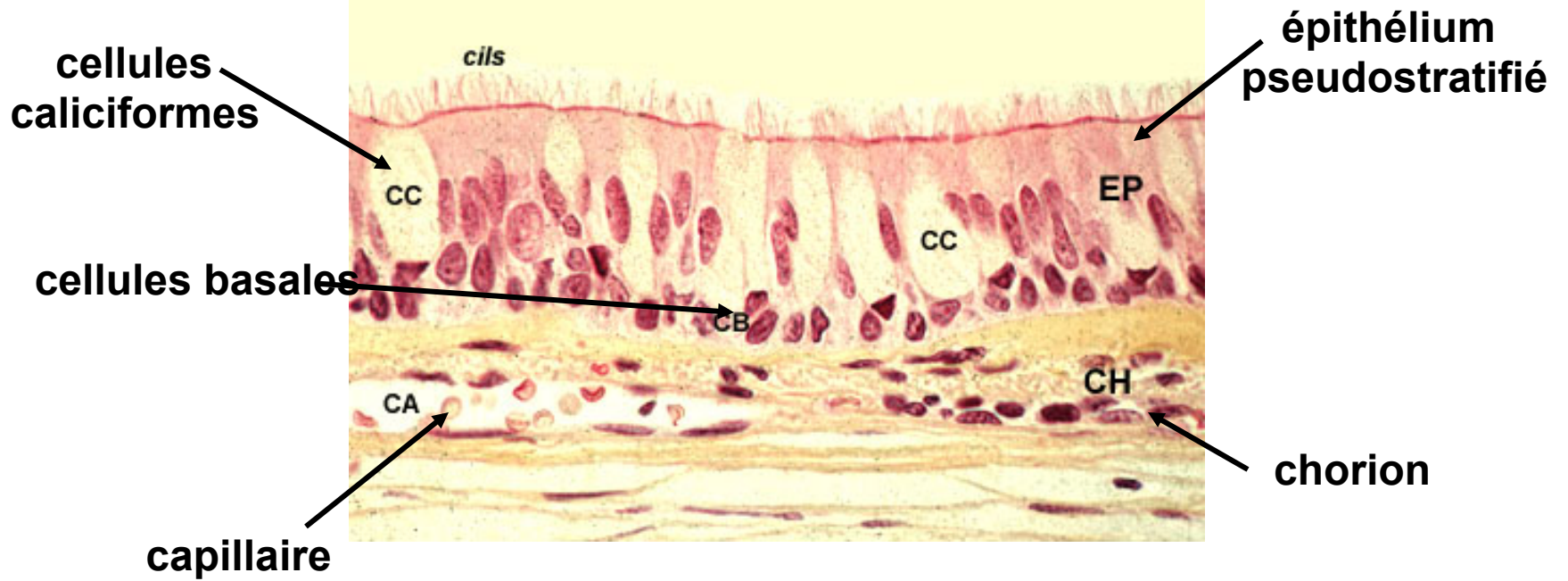


Architecture des voies aériennes de conduction -bronches souches, lobaires, segmentaires, sous-segmentaires, petites bronches- (jusqu' à \approx la 17^e division)

Trachée:
L= 12 cm
 \varnothing = 2 cm
S= 3 cm²



LA TRACHEE

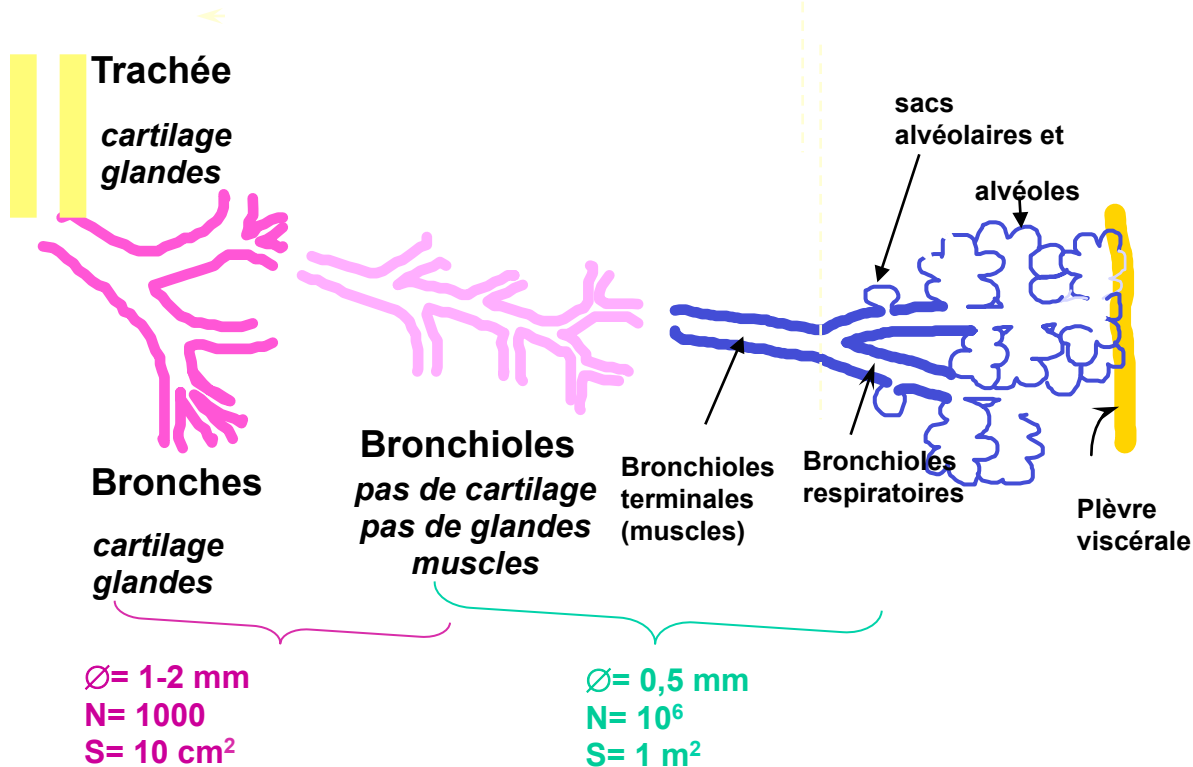


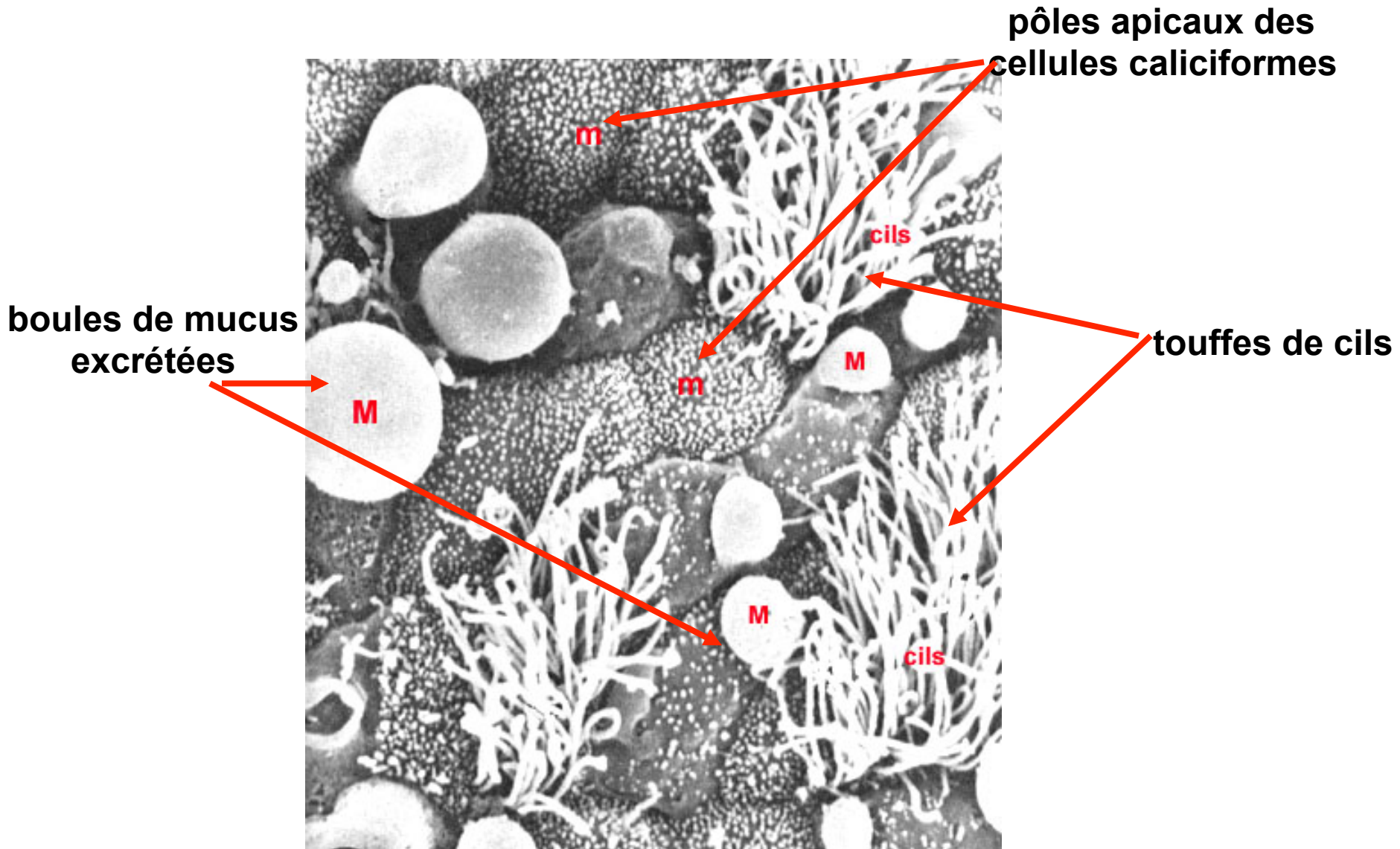
LA RESPIRATION

GENERALITES

Voies de conduction

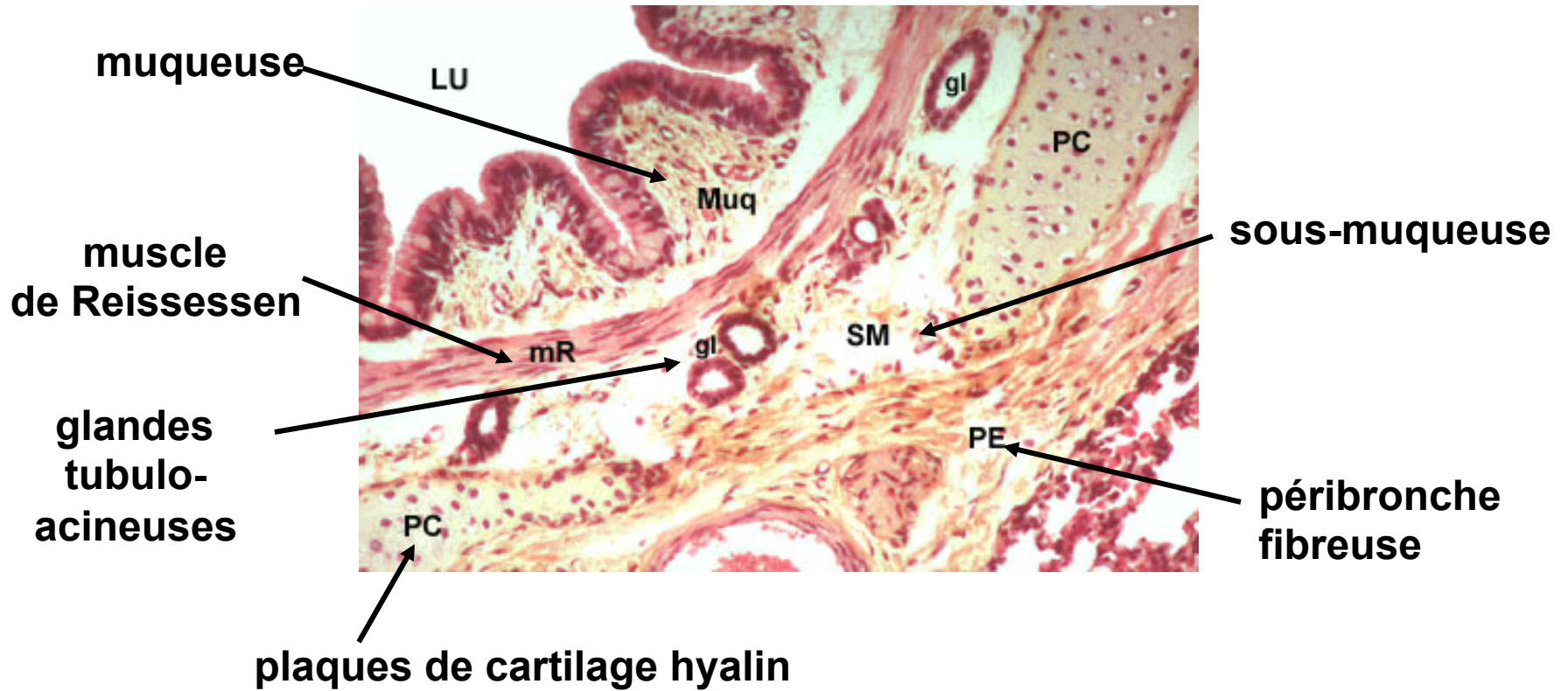
- Fonctions:**
- passage pour l'air
 - humidification et réchauffement
 - filtration, élimination des corps étrangers

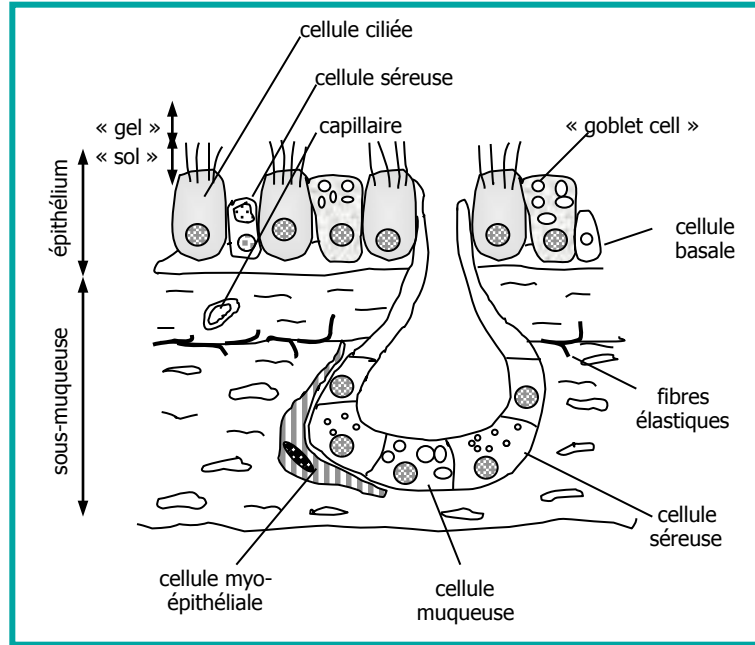




microscopie électronique à balayage

LES BRONCHES

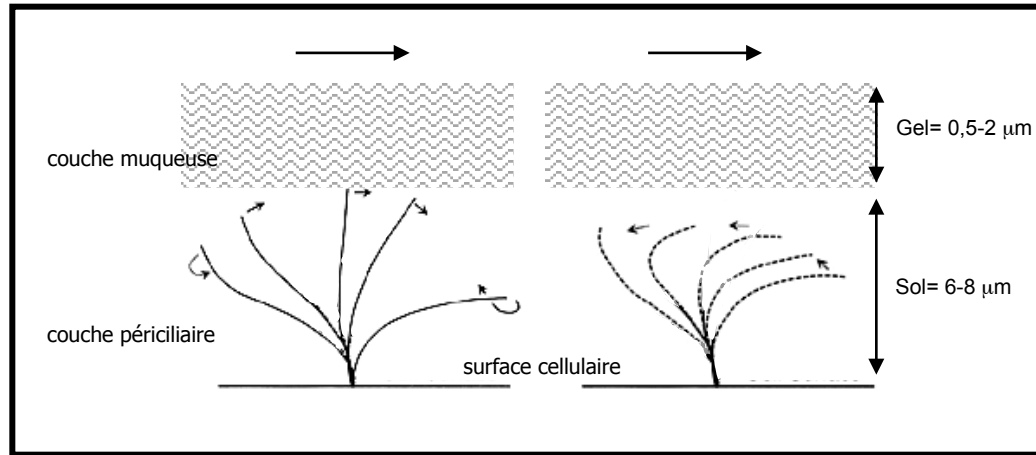




Le mucus respiratoire

- Production = 10 à 20 ml/j
- Chez l'homme, 90% du mucus provient des glandes sous-muqueuses, petite contribution des ζ caliciformes de surface et des ζ de Clara, au niveau des bronchioles
- 95% d'eau
- Contient des protéines de défenses (ex antiprotéinases) et des glycoprotéines (= mucines)

Le mucus respiratoire



nécessité d'un contrôle précis de l'épaisseur et de la viscosité de la phase sol pour un bon fonctionnement du mécanisme de clairance mucociliaire.

**≈ 200 cils/cellule ciliée;
 $L = 6-7 \mu\text{m}$;
freq. Batt. = 10-20 Hz;
Vitesse $\approx 5-10$ mm/min**

L'épithélium trachéal et bronchique est recouvert d'une couche de fluide qui assure un état d'hydratation convenable de la muqueuse et une fluidité suffisante du mucus, pour maintenir une clairance mucociliaire normale.

L'épithélium trachéal et bronchique a pour double rôle de sécréter le fluide périciliaire et d'en contrôler le volume.

Ex de drainage des sécrétions bronchiques au cours de la Bronchiolite du nourrisson



L'épaisseur de la couche de liquide tend à augmenter progressivement lorsque le mucus remonte des voies aériennes distales vers les voies proximales, dans la mesure où il y a diminution considérable de la section équivalente des voies aériennes → pour maintenir constante l'épaisseur de la phase sol, il doit y avoir absorption de liquide.

Epithélium bronchique

Lumière bronchique

[Na⁺]

Na⁺

Cl⁻, H₂O

CFTR
ORCC
Sensible au Ca²⁺_i

Mb. Apicale

[Na⁺]

*Mb. baso-
latérale*

pompe Na⁺-K⁺
ATPase

canal Na⁺

canal Cl⁻

2K⁺

cotransport

ATP

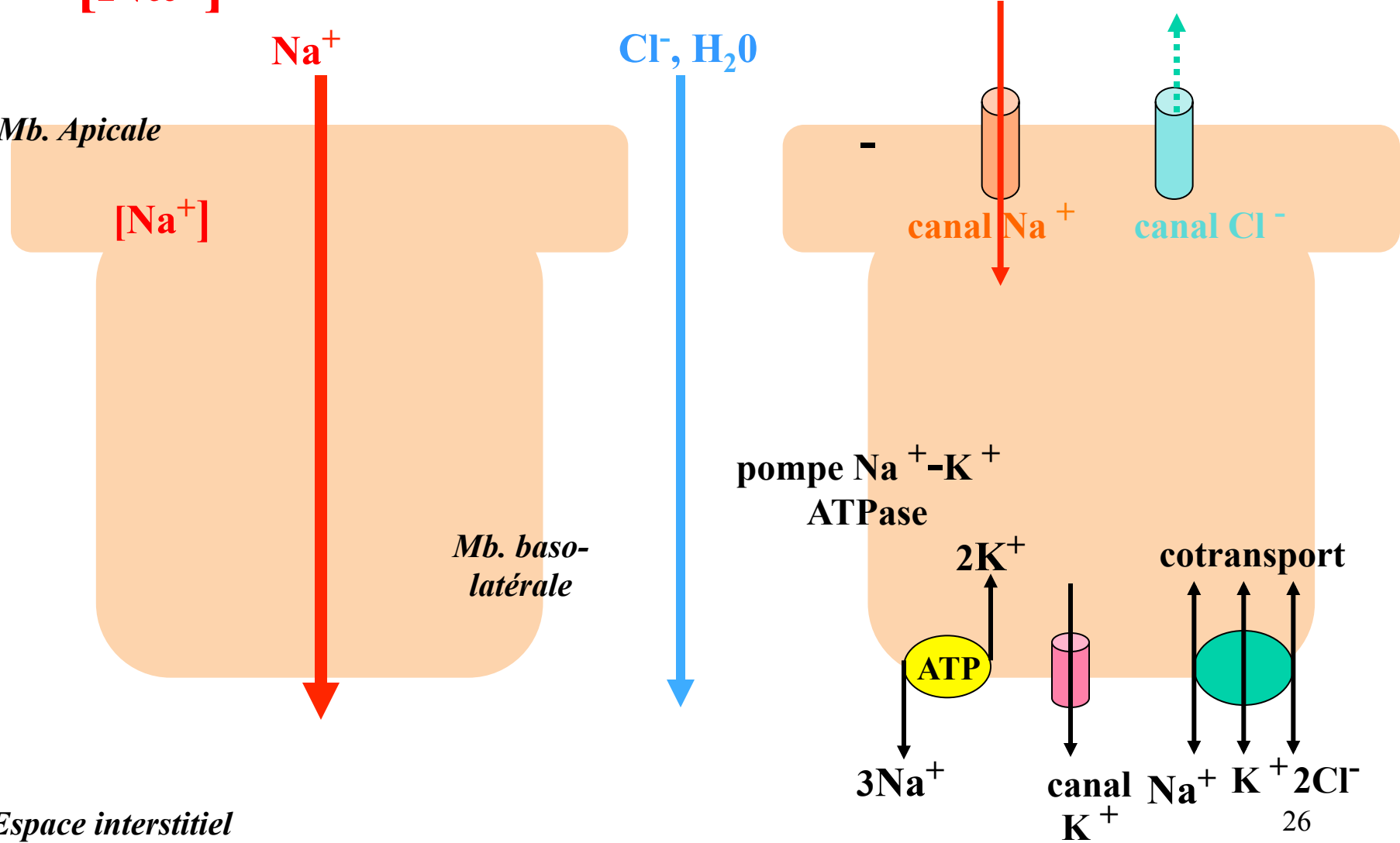
3Na⁺

canal K⁺

Na⁺ K⁺ 2Cl⁻

26

Espace interstitiel



Contrôle des transports de sodium et de chlore:

- Les médiateurs agissant par l'intermédiaire de la phospholipase C (comme la bradykinine) augmentent le transport de Na^+
- l'ATP augmente le transport de Na^+
- Un pH intracellulaire abaissé inhibe le transport de Na^+

La sécrétion de Cl^- est stimulée par les agents qui augmentent l'AMPc intracellulaire:

β 2-mimétiques

ATP

UDP

bradykinine

histamine

prostaglandines....

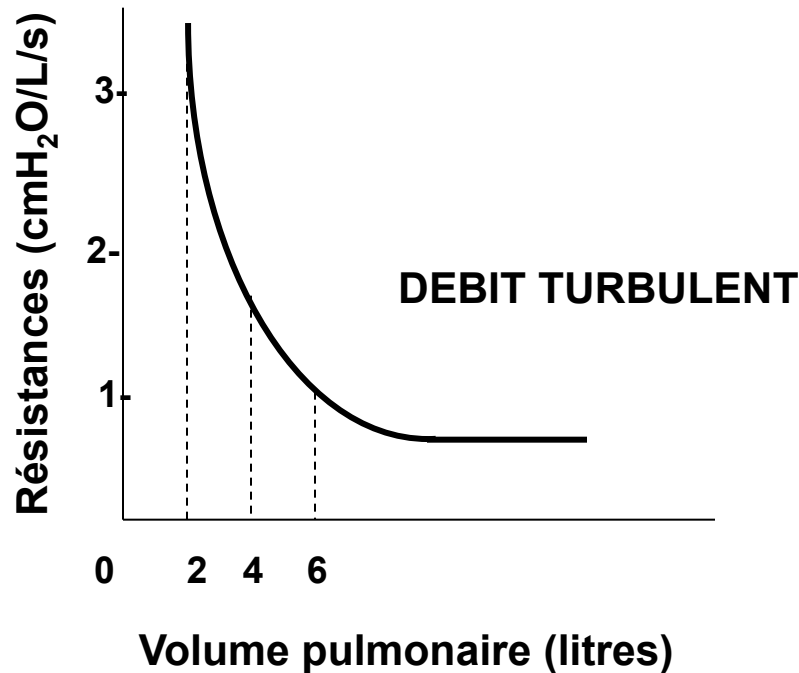
La broncho-motricité passive

-variations de pression à l'intérieur et à l'extérieur de la lumière bronchique

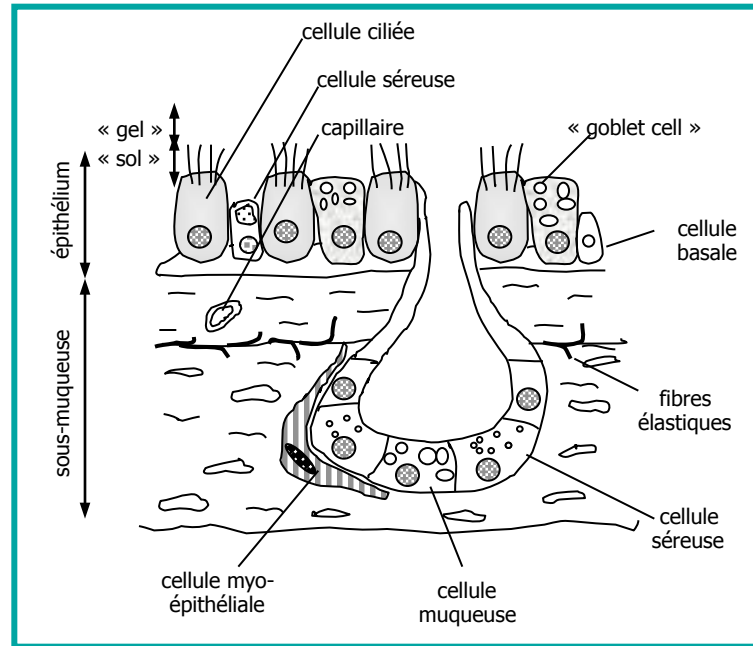
-armature bronchique cartilagineuse

-Parenchyme pulmonaire: plus faible est le volume pulmonaire, plus grande est la résistance des voies aériennes

(les fibres élastiques du tissu pulmonaire réduisent le diamètre des bronches au cours de l'expiration)



La broncho-motricité



-Innervation assurée par le X et les fibres des 4 ou 5 premiers gg sympathiques thoraciques

-Deux réseaux nerveux: périfonchique et périvasculaire

-Se distribue aux: muscle lisse bronchique, glandes sous-muqueuses, vaisseaux bronchiques

VOIES AFFERENTES SENSITIVES

BULBE RACHIDIEN



X

Muqueuse

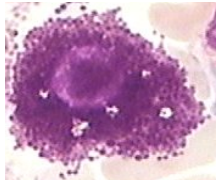
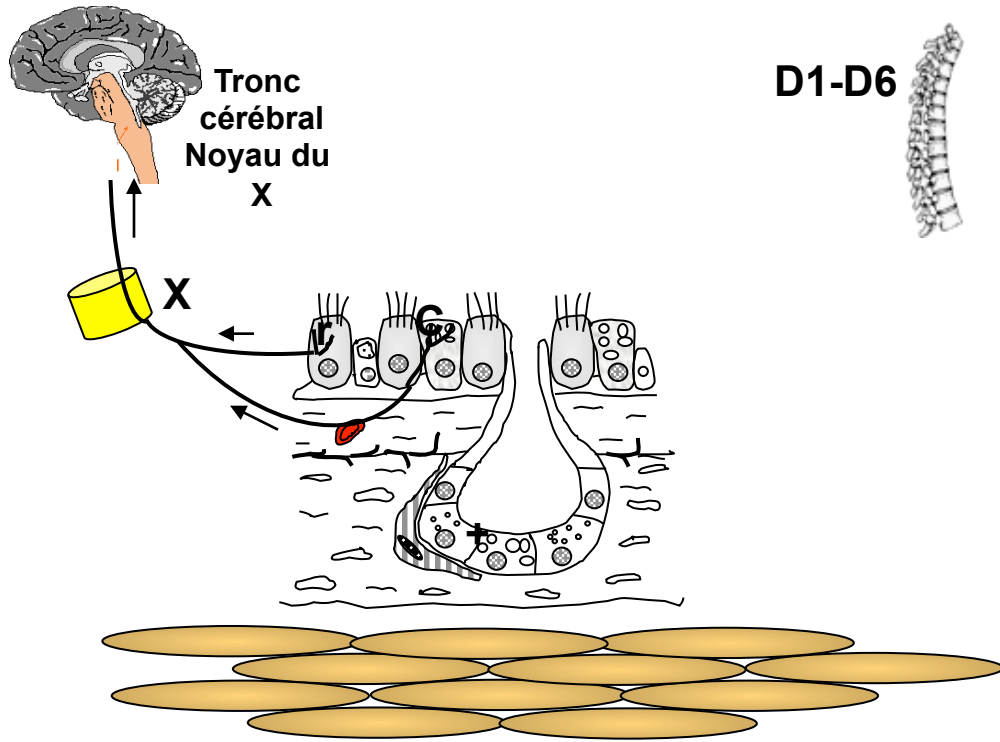
Les SAR (= Slow Adapty stretch Receptor): Mécanorécepteurs (trachée et grosses bronches) sensibles à l'étirement et à l'irritation

Les RAR (= Rapid Adapty stretch Receptor): Récepteurs polymodaux (tout l'arbre bronchique), sensibles à l'irritation:

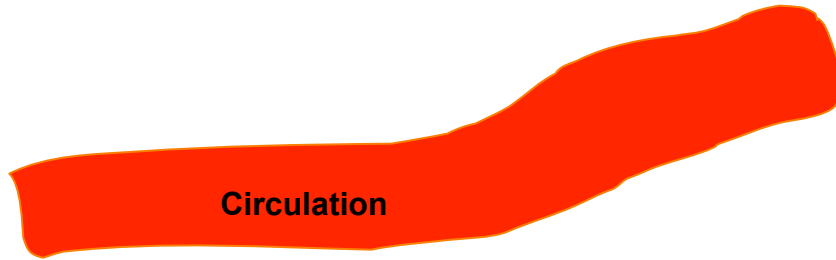
Fibres B (récepteurs à l'irritation)

Fibres C (thermorécepteurs au niveau du larynx, sensibles au CO₂ dans les bronches)

Récepteurs J

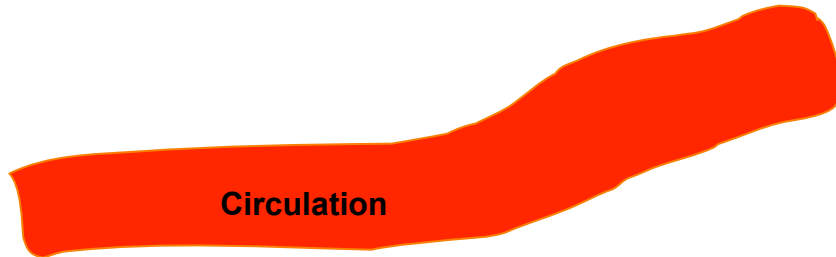
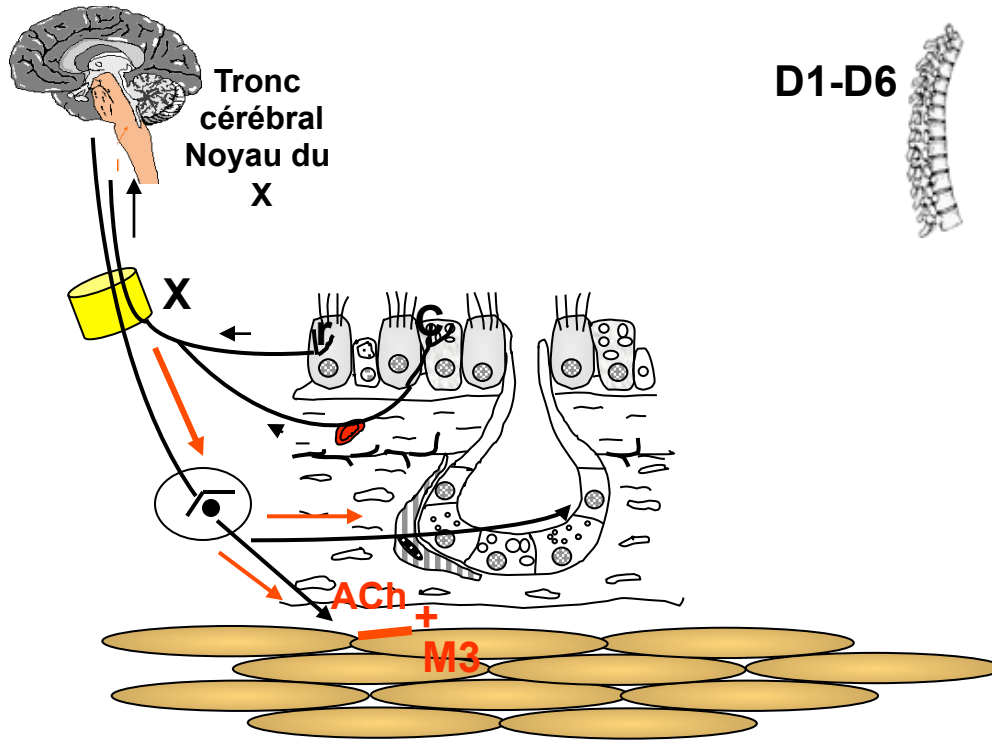


Mastocyte



Médullo-
surrénale

Se distribue surtout au niveau des voies aériennes centrales



Action du para Σ : bronchoconstriction

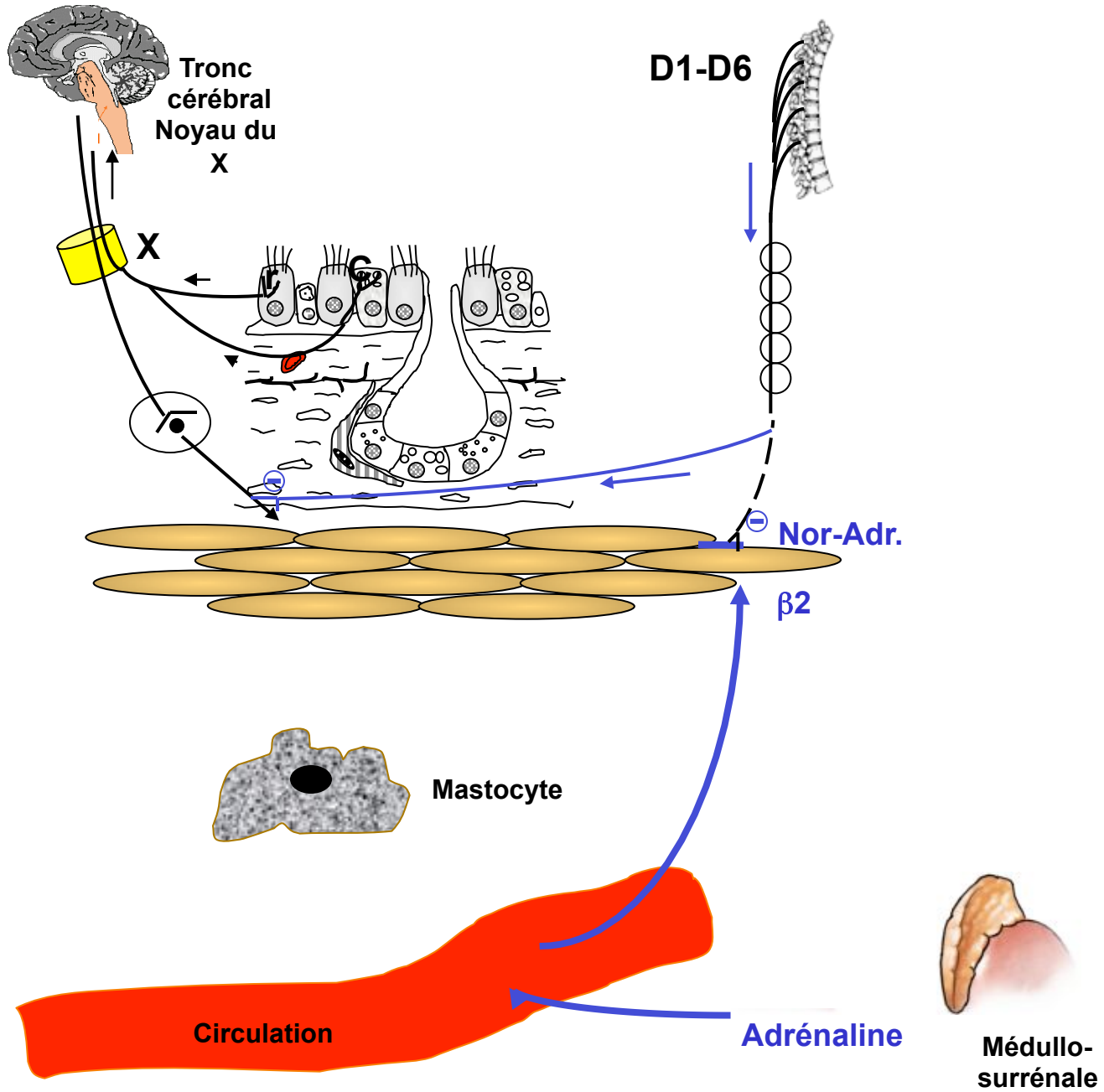
De nombreux stimuli sensitifs peuvent influencer le tonus bronchomoteur:

- stimulations des voies aériennes supérieures, de l'oesophage**

Ces réflexes interviennent fréquemment dans des situations pathologiques. Il existe par exemple des asthmes secondaires à des reflux gastro-oesophagiens.

La stimulation para Σ , en complément de son action sur le muscle lisse bronchique, augmente la sécrétion de mucus par les glandes de la sous-muqueuse.

Cet effet est important dans l'obstruction bronchique de type asthmatique.

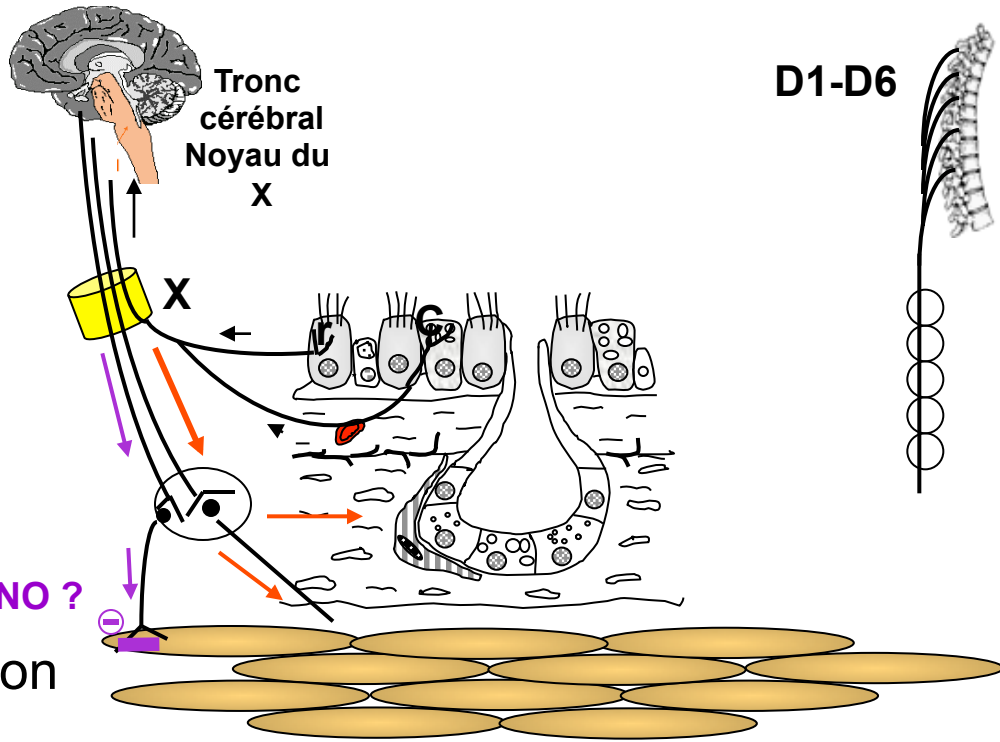


Actions du Σ

Action du Σ : bronchodilatation

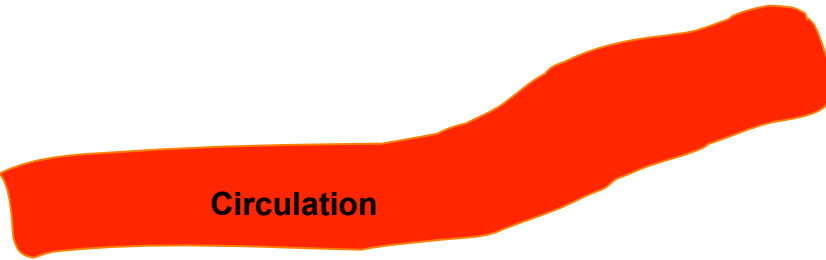
Les β_2 agonistes ont, en plus de l'effet relaxateur sur le muscle lisse, plusieurs effets qui s'opposent à l'obstruction bronchique :

- \searrow de la libération des médiateurs provenant du mastoc**
- \searrow du tonus parasympathique ;**
- \nearrow de la clairance mucociliaire ;**
- \searrow de l'oedème de la muqueuse et de l'extravasation plasmatisque.**



Bronchodilatation

Grosses bronches

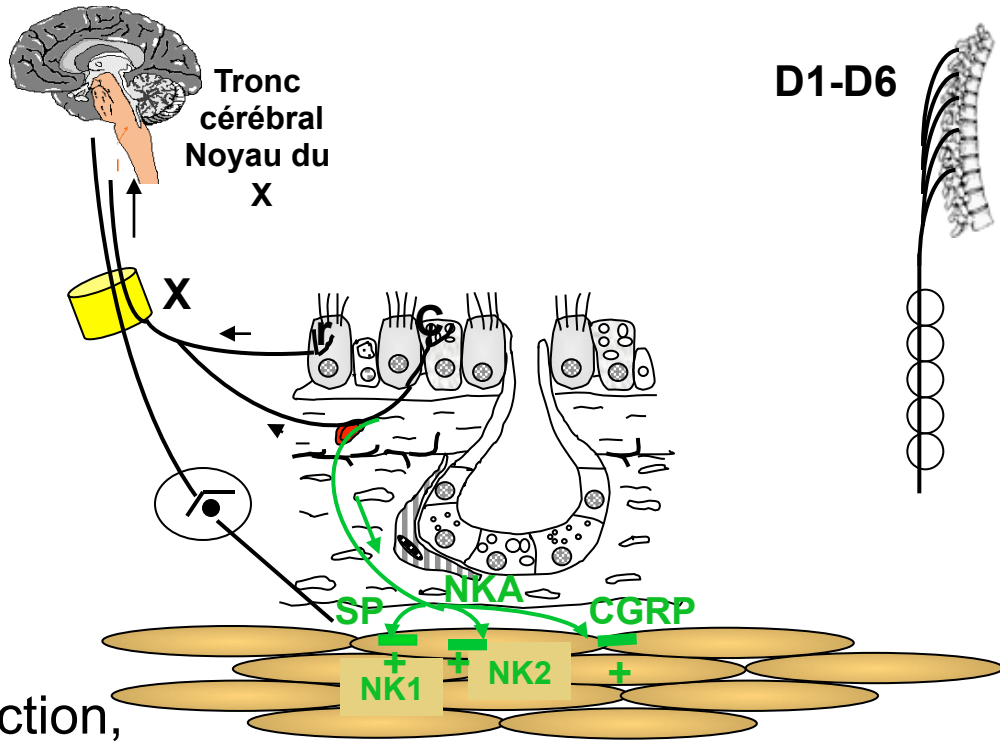


Actions du NANCi

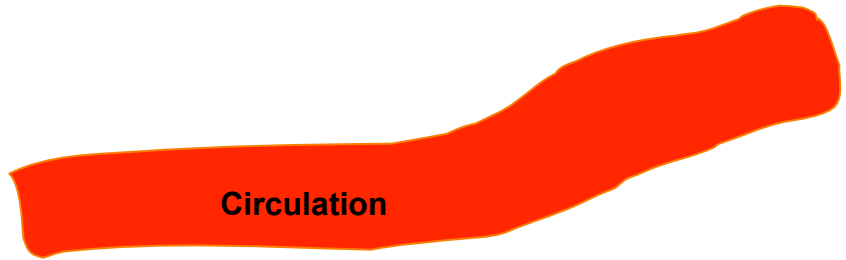
L'innervation NANCi contrôle la contraction du muscle lisse bronchique grâce à l'action de neuropeptides:

- le VIP (vasoactive intestinal peptide) et ses dérivés par action sur un récepteur membranaire musculaire spécifique ;**

- le monoxyde d'azote (NO) pourrait également intervenir dans la relaxation induite par l'activation du NANCi**



bronchoconstriction,
hypersécrétion de mucus
réaction inflammatoire.



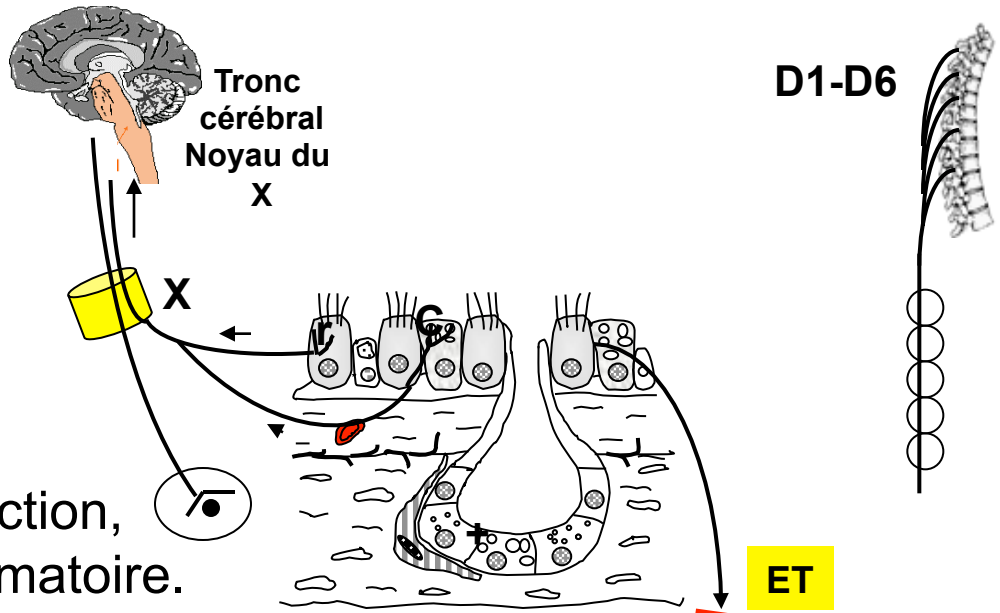
Actions du NANCe

L'innervation NANCe contrôle la contraction du muscle lisse trachéobronchique grâce à l'action de neuropeptides:

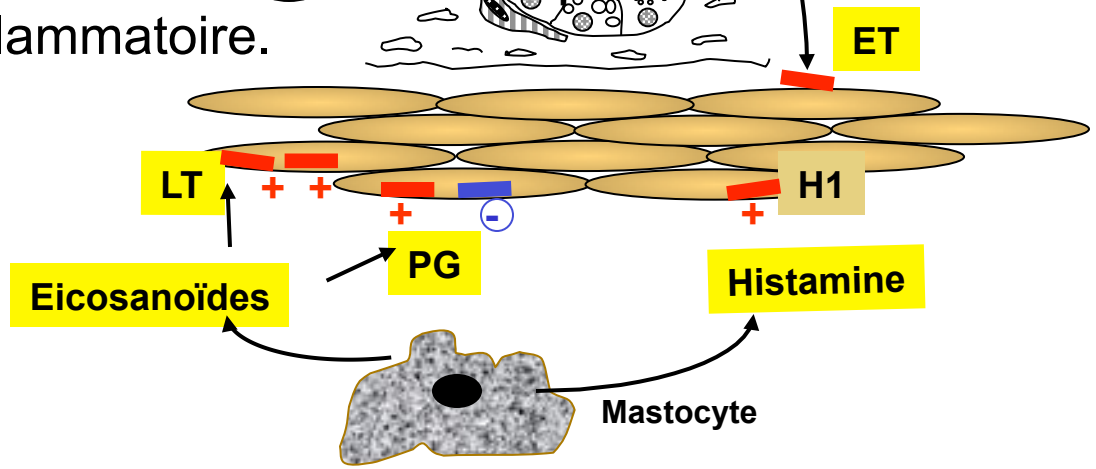
Les tachykinines et le CGRP (calcitonine gene related peptide), libérées par les terminaisons nerveuses sensibles des fibres C bronchiques.

↳ Deux des tachykinines : la substance P et la neurokinine A (NKA), contractent le muscle lisse bronchique humain par action sur les récepteurs dénommés respectivement NK1 et NK2.

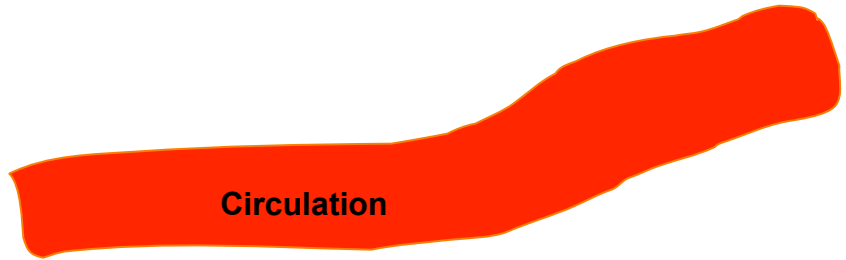
↳ Le CGRP est colocalisé avec les tachykinines dans les neurones sensitifs et contracte le muscle bronchique humain par action sur deux récepteurs.



bronchoconstriction,
réaction inflammatoire.



*LT = leucotriènes
PG = prostaglandines
ET = endothéline*



Médullo-surrénale

Actions des médiateurs

Les **MASTOCYTES** des bronches renferment des granules qui contiennent des médiateurs de l'inflammation:
histamine, chimiokines

L'activation du mastocyte aboutit à l'exocytose des granules

Le mastocyte a une action broncho-constrictrice et entraîne une importante réaction inflammatoire

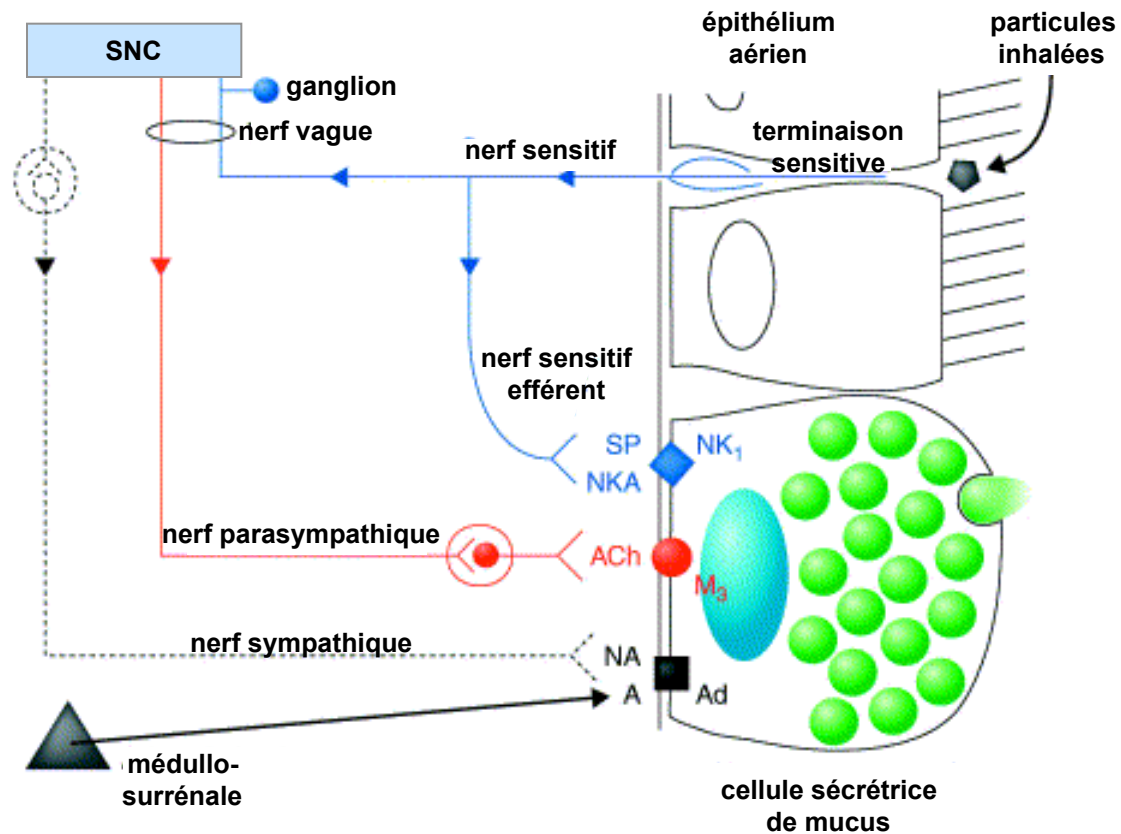
Le système **b2-adrénergique** est un puissant **inhibiteur** de la dégranulation mastocytaire

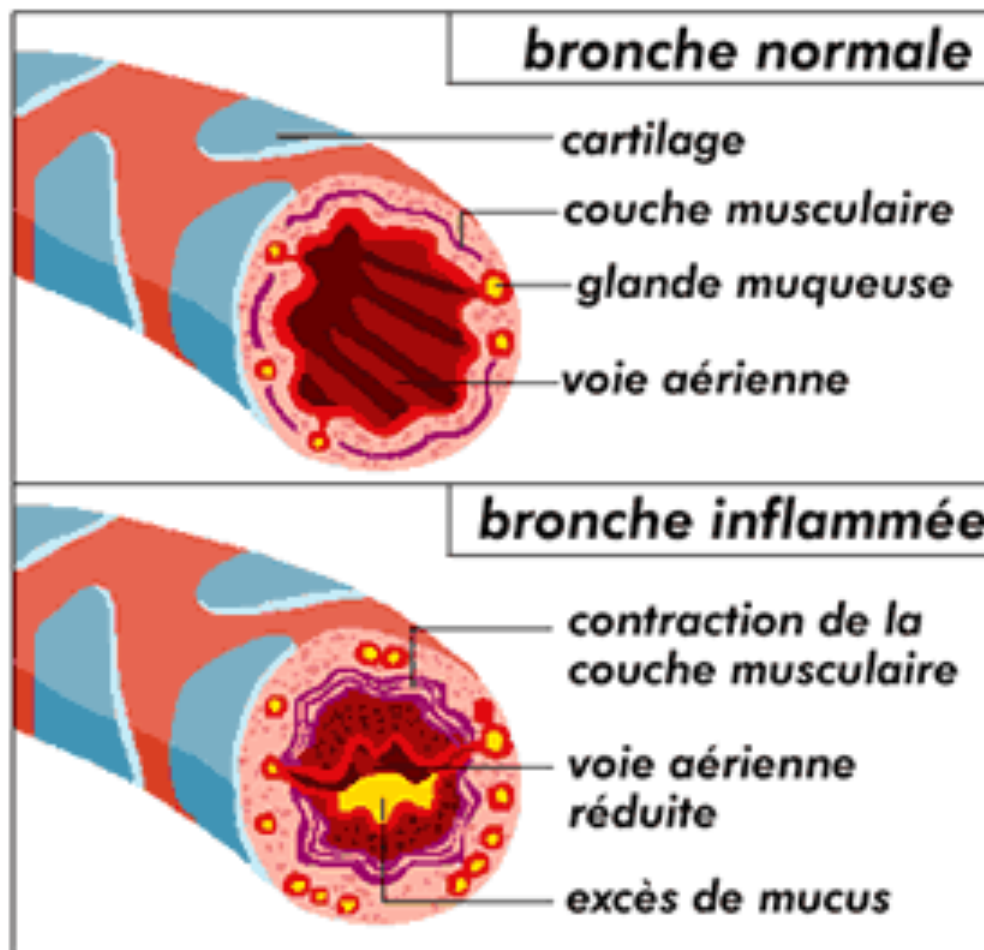
L'activation de la **phospholipase** membranaire déclenche l'oxydation de l'**ac. arachidonique** en **thromboxane** et **leucotriènes**

D'autres cellules interviennent également dans les phénomènes d'obstruction bronchique:

- **macrophages alvéolaires**
- **polynucléaires éosinophiles**
- **polynucléaires neutrophiles**
- **plaquettes**
- **cellules épithéliales de la muqueuse bronchique**

Schéma récapitulatif





Changements de structure de la zone de conduction :

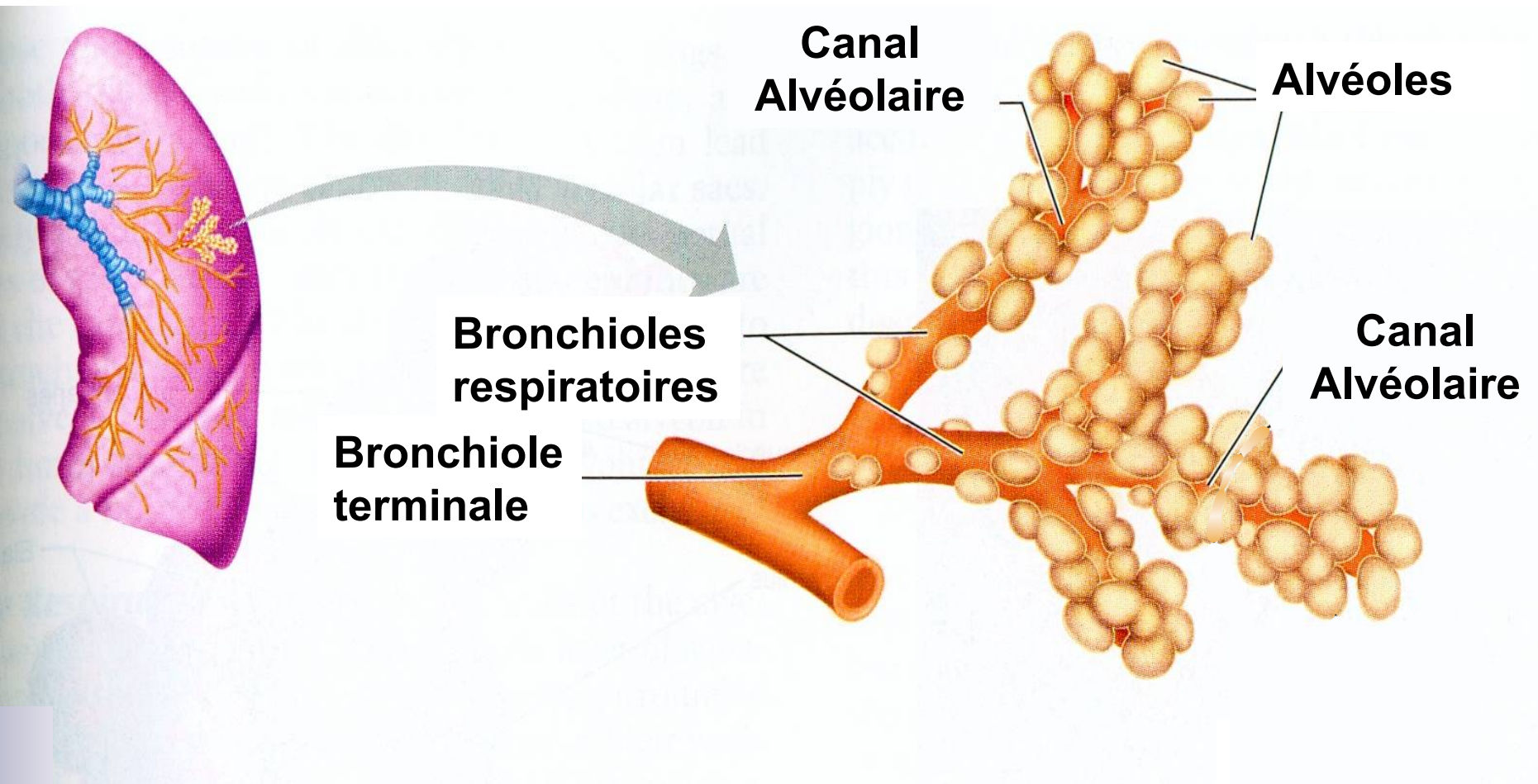
Progressivement les anneaux cartilagineux disparaissent

Epithélium s'amincit

La proportion de muscle lisse dans la paroi augmente.

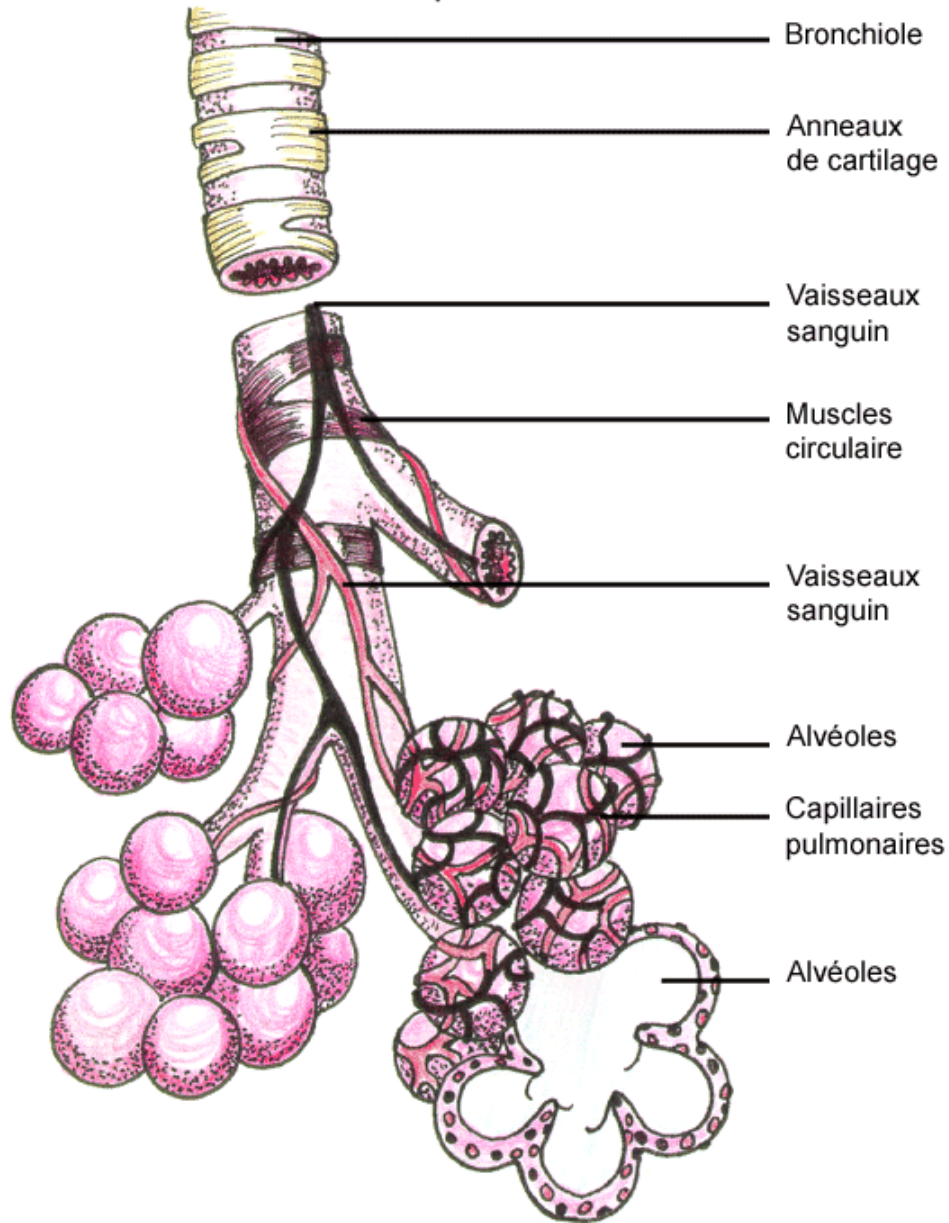


Zone respiratoire
(échanges gazeux)



300 millions d' alvéoles
Surface alvéolaire \approx 70-80 m²

Schéma d'une alvéole pulmonaire



- la zone respiratoire :

bronchioles avec des **alvéoles**.

au niveau des alvéoles : **échanges gazeux**



barrière alvéolo-capillaire

- Épithélium alvéolaire**
- Endothélium capillaire**
- Interstitium**

Epithélium alvéolaire :

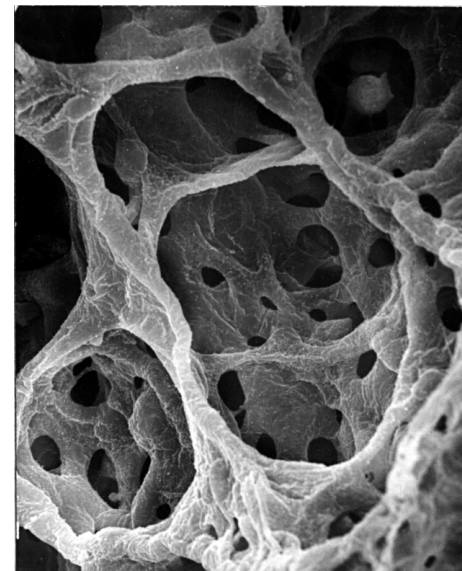
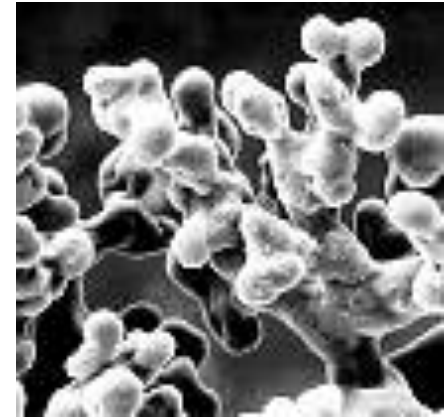
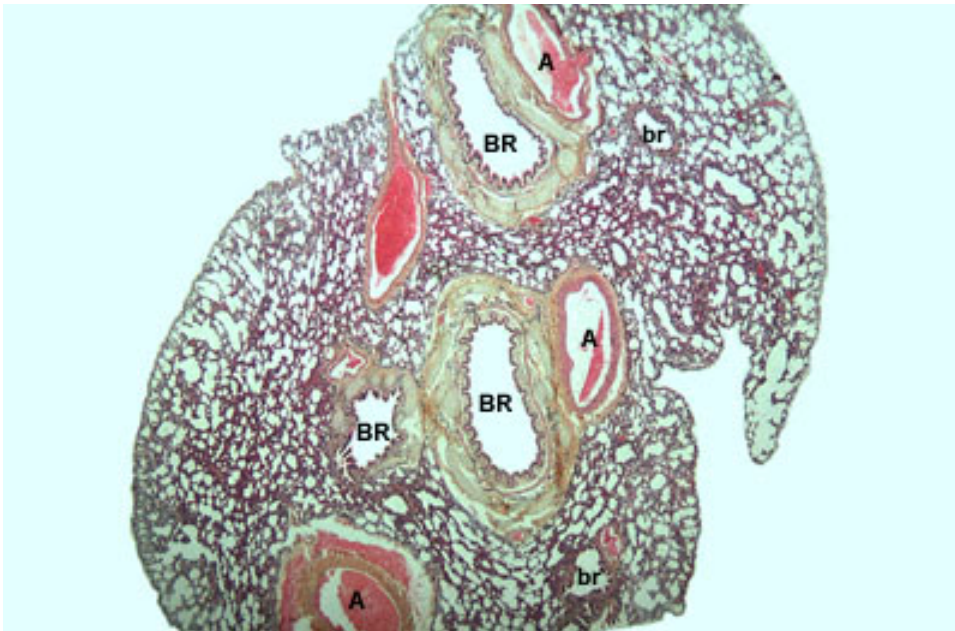
pneumocytes de type I

couvrent 95% de la surface alvéolaire, faible activité métabolique, transportent activement le sodium

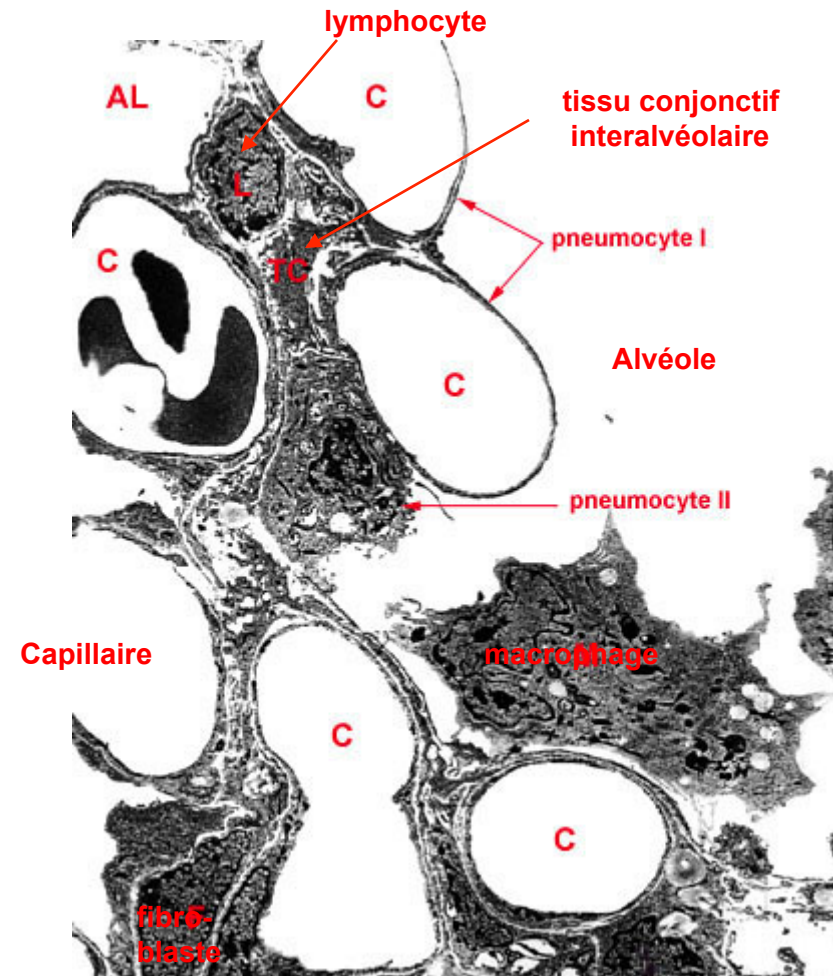
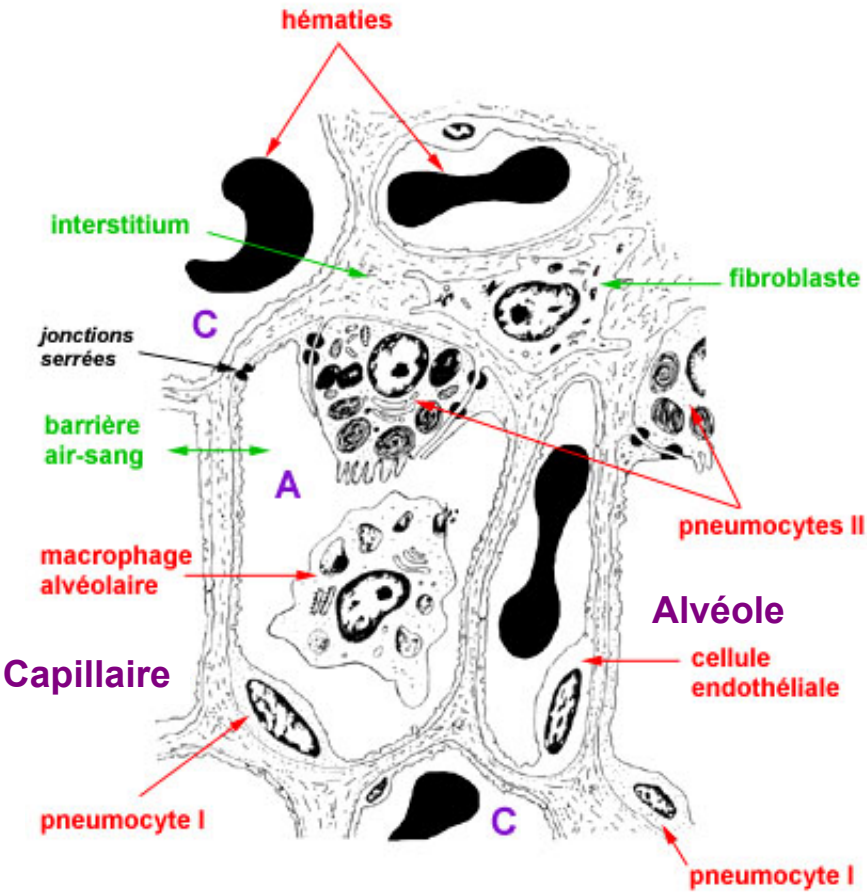
pneumocytes de type II :

précurseurs des pneumocytes I, synthétisent et sécrètent le surfactant, participent à la régulation de l'hypophase alvéolaire en transportant activement du Na du pôle apical vers le pôle basolatéral.

LE PARENCHYME PULMONAIRE



LE PARENCHYME PULMONAIRE



Epithélium de type absorptif

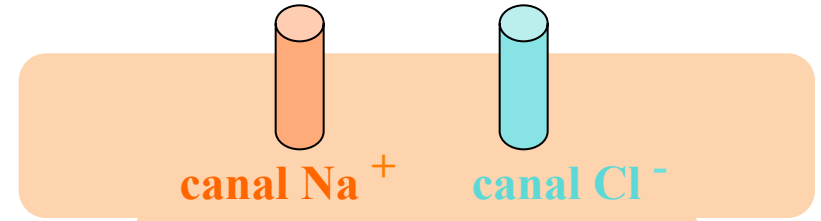
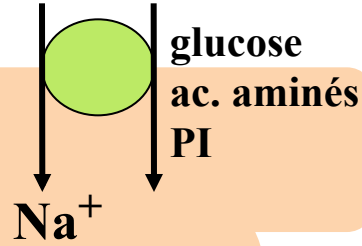
-les canaux épithéliaux sodiques, participent pour 50% à l'absorption du sodium. Leur nombre est modulé par les concentrations intra et extra de Na

Lumière alvéolaire

Na⁺

Cl⁻, H₂O

Mb. Apicale



Mb. baso-latérale

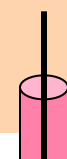
pompe Na⁺-K⁺
ATPase

2K⁺

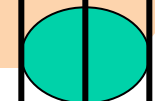
cotransport

ATP

3Na⁺



canal K⁺



Na⁺ K⁺ 2Cl⁻

Espace interstitiel

L'entrée de sodium est couplée à l'entrée ou à la sortie de substrats ou d'ions.

L'entrée du sodium est favorisée par son gradient électrochimique, alors que le substrat transporté entre dans la cellule:

- contre son gradient chimique pour le glucose et les acides aminés,**
- contre son gradient électrique pour le phosphate.**

Le transport de sodium et l'absorption d'eau ↗ lorsque la concentration cellulaire d'AMPc ↗ (exemple, sous l'effet des β 2-sympathomimétiques).

L'↗ du transport est liée à une ↗ de l'activité des canaux sodiques.

Diminution du transport de Na^+ lorsque la concentration intracellulaire en Ca^{2+} augmente.

La vascularisation pulmonaire

deux circulations : systémique et pulmonaire.

Circulation pulmonaire :

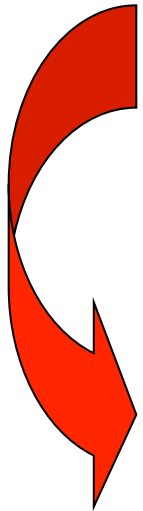
Part de l'artère pulmonaire

Petite circulation

Dans le poumon elle forme le **réseau des capillaires pulmonaires** qui entourent les alvéoles

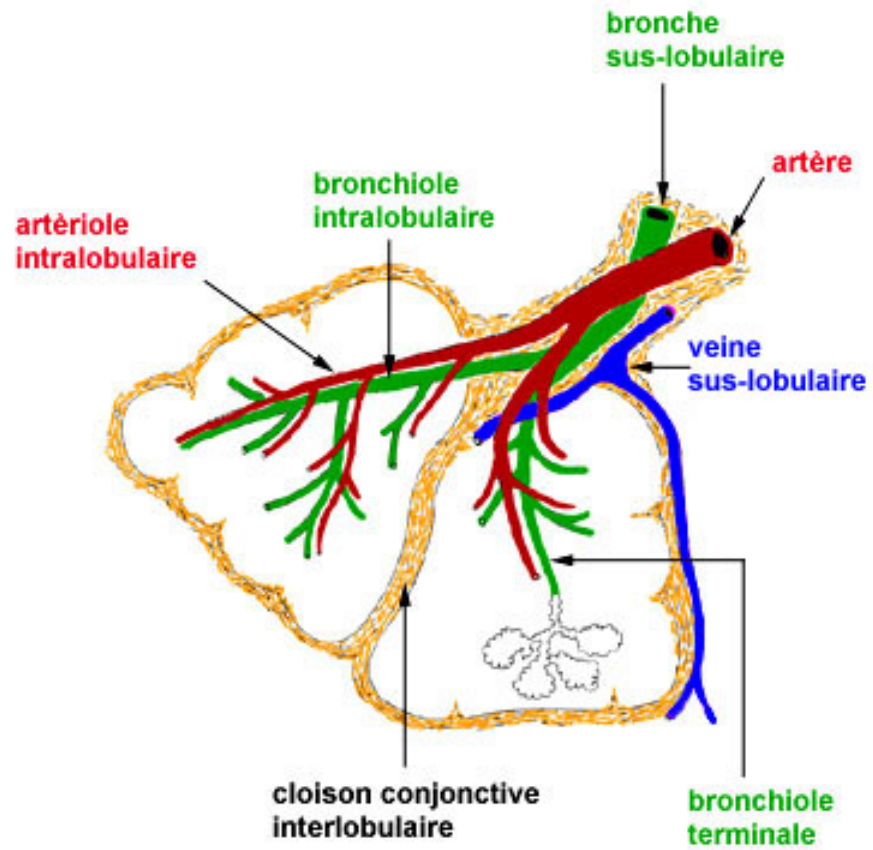
Amène le sang chargé en CO_2 au niveau des poumons et se charge d' O_2

**l'artère pulmonaire contient du sang
non hématosé
(pauvre en O_2 et chargé de CO_2)**

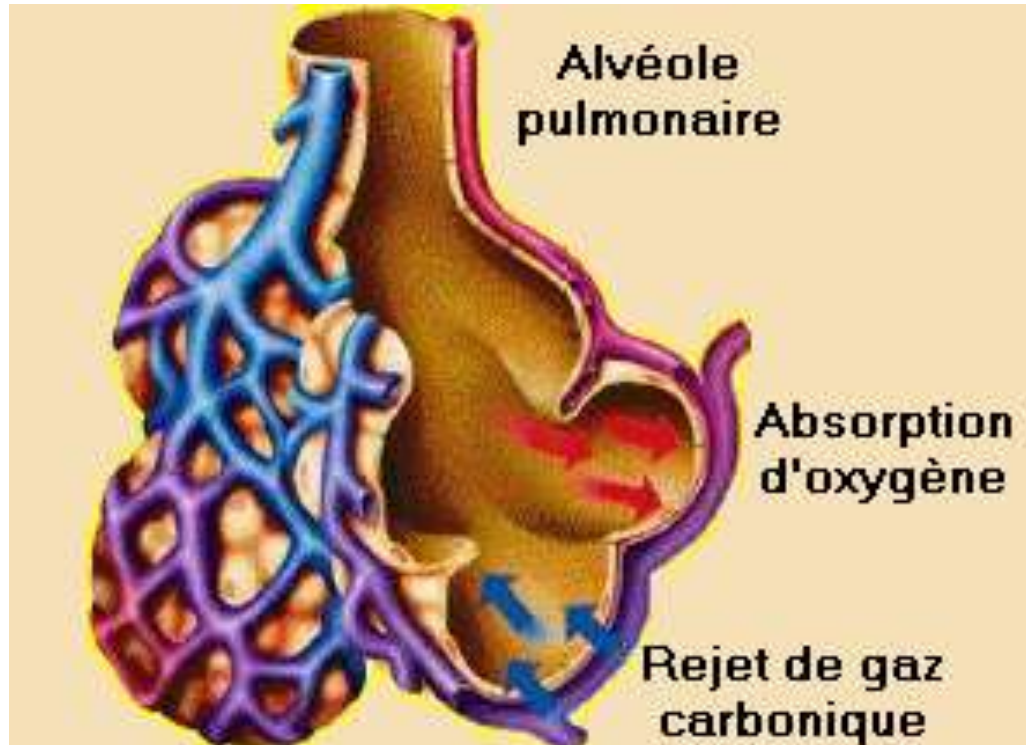


Le sang fraîchement oxygéné
repart par les veines pulmonaires.

**la veine pulmonaire contient du sang
hématosé (riche en O_2 , pauvre en CO_2)**



CIRCULATION PULMONAIRE



Pressions et Résistances

circulation	Pression entrée mm Hg	Pression sortie mm Hg	Débit l/min	Résistance mm Hg/l/ min
pulmonaire	15	5	5	≈ 2
systemique	100	2	5	≈ 20

Circulation pulmonaire = circulation à basse pression, la résistance ($\frac{P_{AP}-P_{OC}}{D}$) est faible → vx à paroi très fine

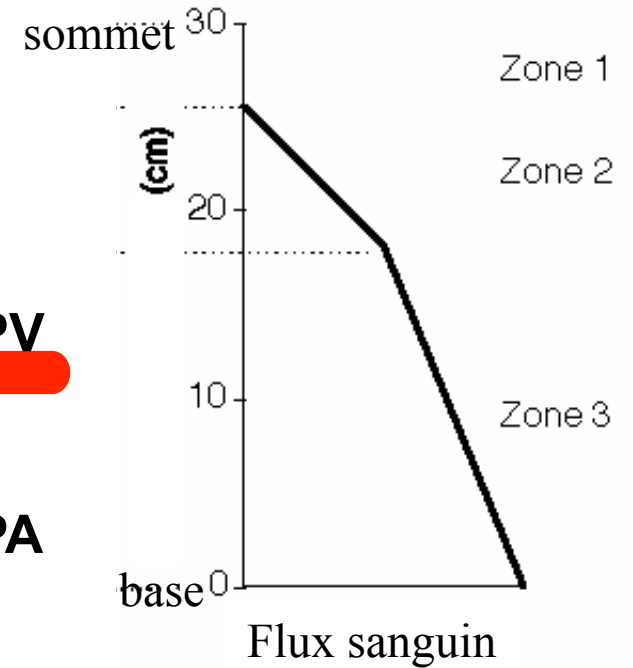
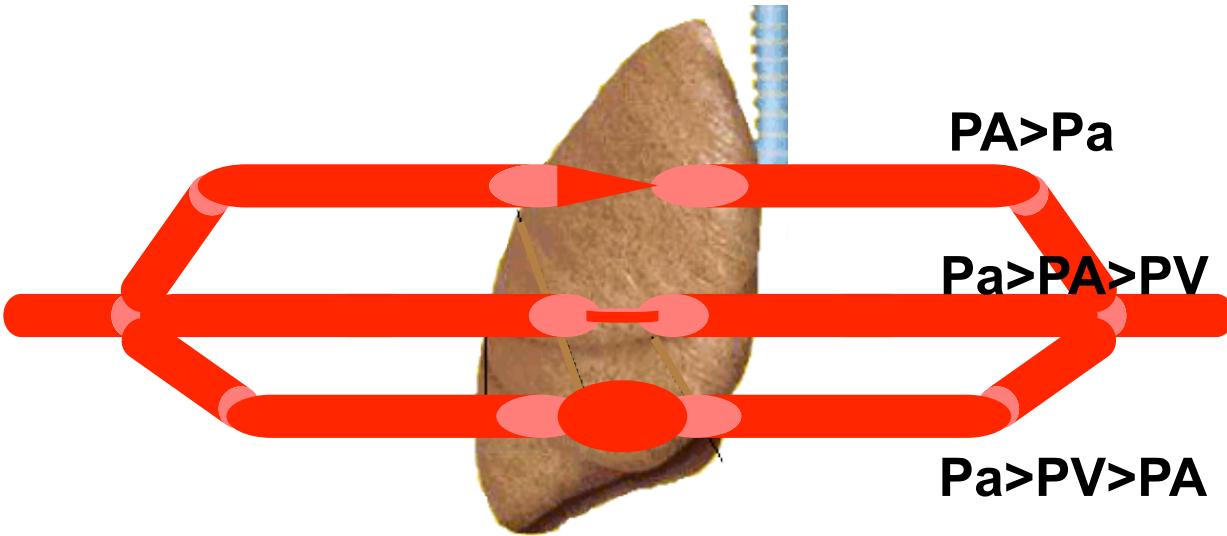
D

La résistance vasculaire \searrow à l'effort quand le débit cardiaque \nearrow ce qui maintient la pression artérielle

Facteurs régissant le niveau des résistances vasculaires pulmonaires:

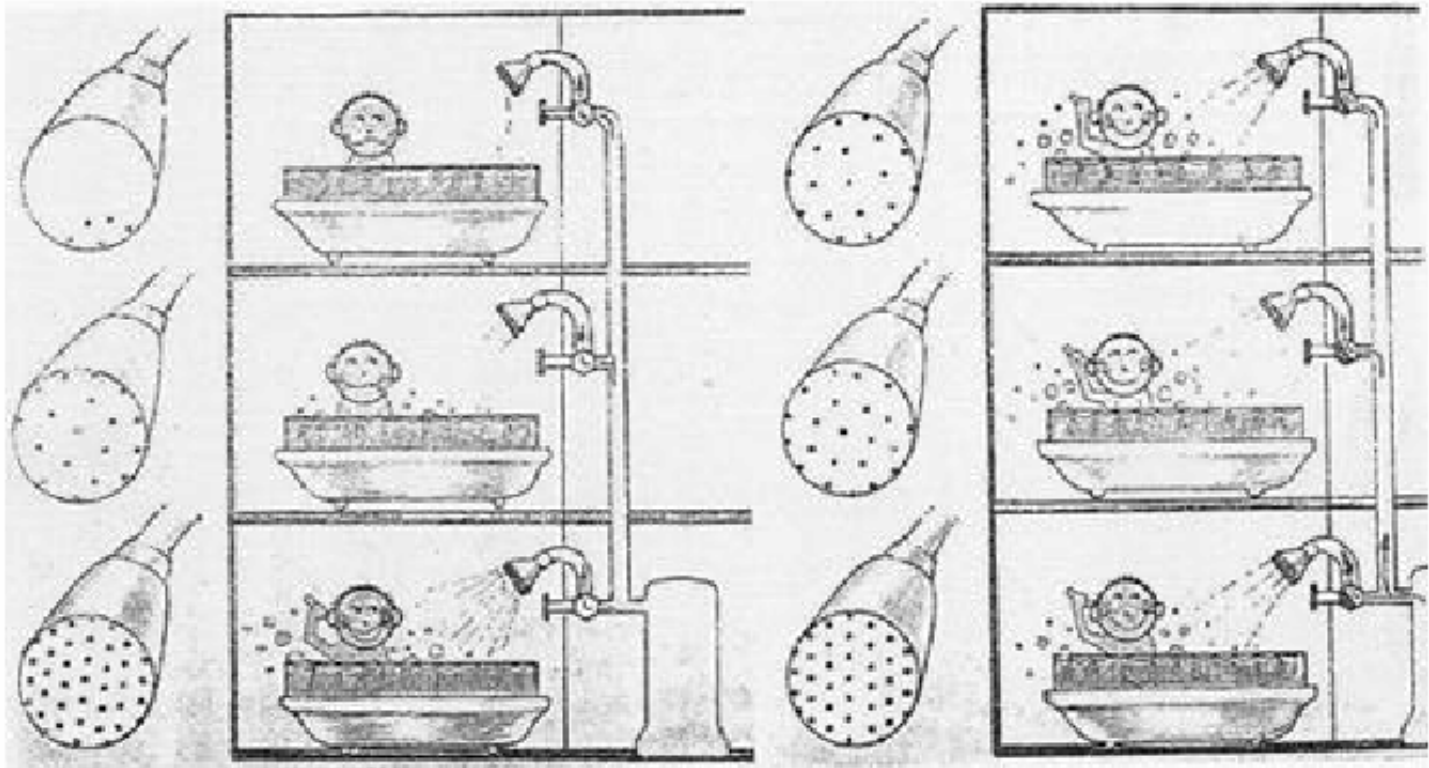
- **le recrutement : normalement, le débit sanguin \searrow de la base vers le sommet du poumon**
- **la distension (intervient après le recrutement)**

Les zones de perfusion pulmonaire



Pa = pression artérielle pulmonaire
PV = pression veineuse
PA = pression alvéolaire

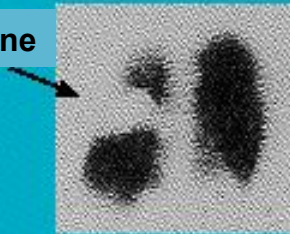
Lorsque la PA augmente (par ex. effort) la perfusion des sommets augmente



exemple

Scintigraphie de ventilation/perfusion montrant une embolie pulmonaire du lobe supérieur droit

lacune

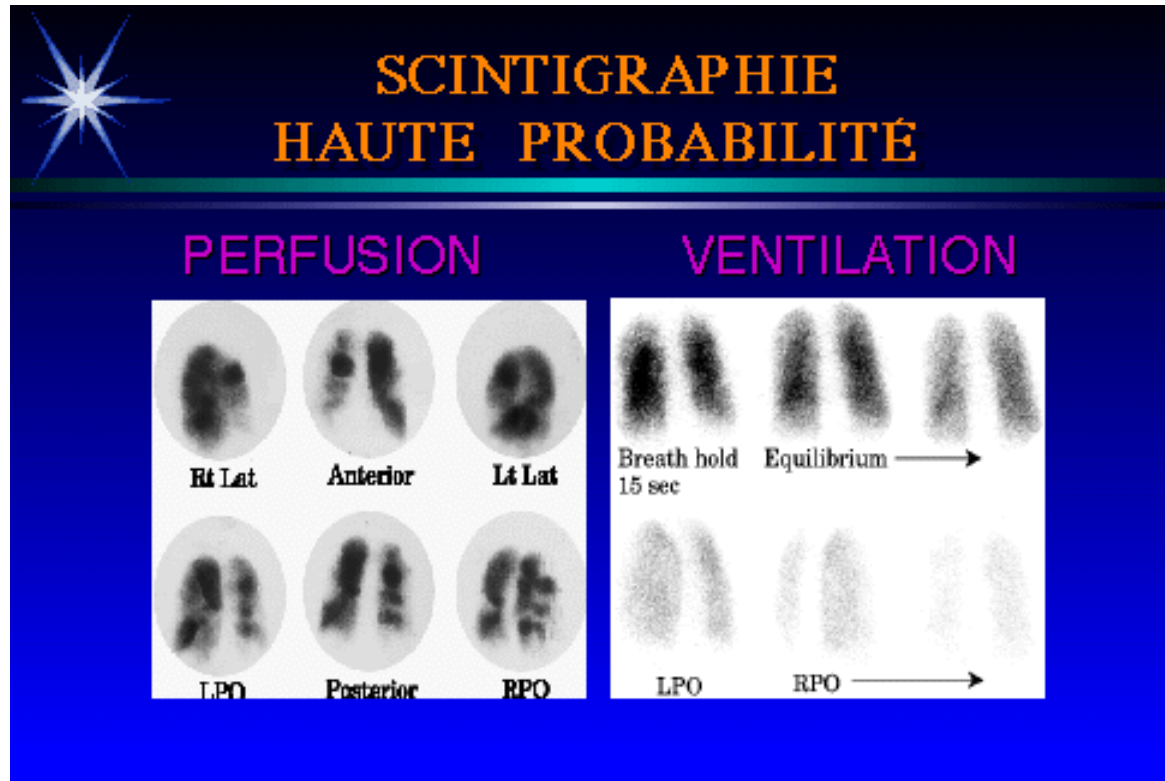


perfusion



ventilation

exemple



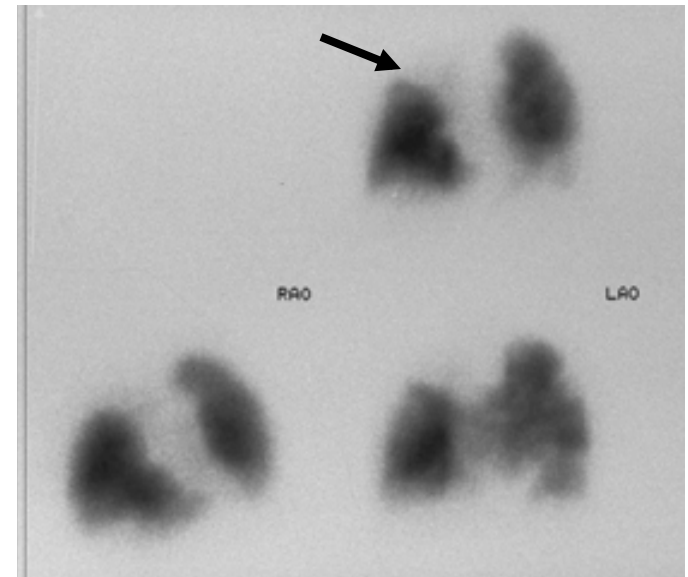
nombreuses lacunes bilatérales de la perfusion pulmonaire alors que la ventilation est homogène:
embolie pulmonaire

exemple

Un trouble de la perfusion peut ne pas se voir sur une Rx standard

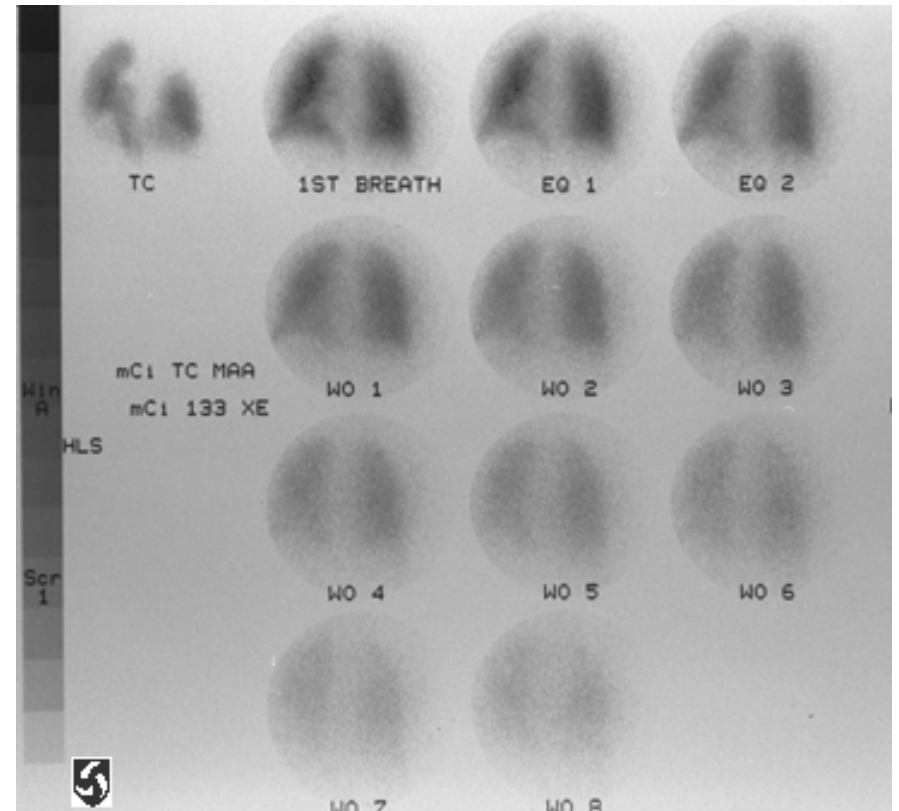


La scintigraphie de ventilation-perfusion (V/Q) montre des lacunes de perfusion dans les segments apicaux et postérieurs du lobe droit.



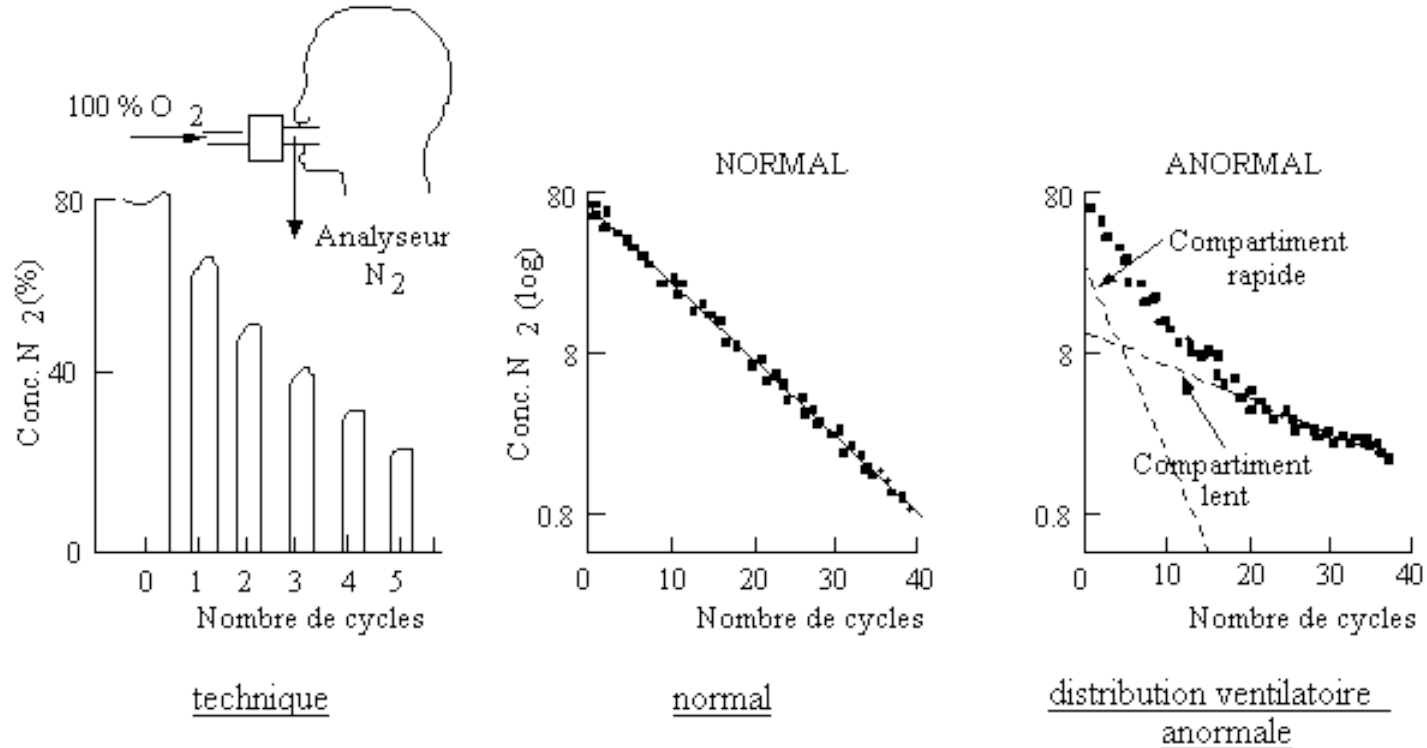
exemple

La scinti de ventilation est normale



L'angiographie pulmonaire montre un arrêt de la branche ascendante de l'artère pulmonaire droite

Technique de « rinçage de l'azote » pour mettre en évidence un trouble de la distribution de la ventilation



Exemple de deux compartiments de rinçage de l'azote chez un sujet présentant une mauvaise uniformité ventilatoire par rapport au sujet normal

Rôles métaboliques de la circulation pulmonaire

endothélium vasculaire systémique + surface alvéolaire =
endothélium vasculaire pulmonaire ~ **100 m²**

Plusieurs fonctions:

- **barrière** aux liquides, solides et macromolécules entre le sang, le parenchyme pulmonaire et les alvéoles

- **anti-thrombogénique** grâce aux propriétés de surface des cellules endothéliales et action anti-agrégante et anti-coagulante (par la synthèse de Prostaglandine I₂ et de facteurs endothéliaux)

- **capture** et **inactivation** spécifique de peptides endogènes (noradrénaline, sérotonine, bradykinine, facteur anti-natriurétique auriculaire),

- **activation** de l'angiotensine I en angiotensine II

Circulation systémique

La grande circulation

Circulation bronchique

Le sang part du cœur gauche, arrive aux poumons par **l'artère bronchique** (sang oxygéné) et revient au cœur par les **veines bronchiques** (sang qui a perdu une bonne partie de son O_2).

Données **indispensables** à savoir

**Diapos: 7-9, 11
23
30-42 (les mécanismes)
61**

Le reste est à connaître aussi....!!