

Le POUMON DE L'ENFANT

*ML CHOUKROUN, Exploration Fonctionnelle Respiratoire
Hôpital Pellegrin, Laboratoire de Physiologie, Université
Bordeaux II. 33076 Bordeaux cedex. France*

- L ' appareil respiratoire de l 'enfant n 'est pas celui de l 'adulte en miniature!
- A la naissance, le poumon humain ne comporte qu'une fraction du nombre total d'alvéoles du poumon adulte!
 - # 50 millions à la naissance
 - # 300 millions à l'âge adulte

Rappel: Anatomie Fonctionnelle

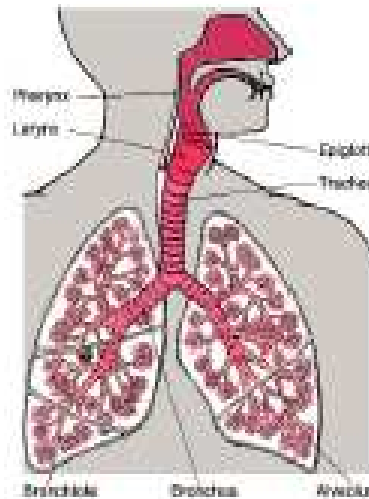
➤ Le système passif

- La paroi thoraco abdominale
- Les plèvres
- Les voies aériennes
- Le parenchyme pulmonaire

➤ Le système actif

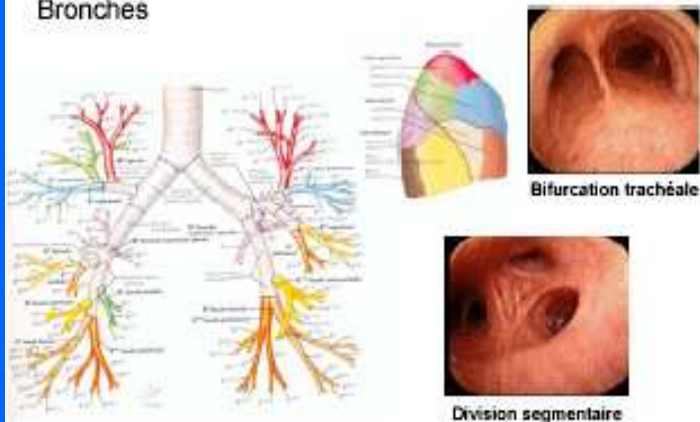
- Les muscles respiratoires Inspirateurs
- Les muscles respiratoires Expirateurs

- Voies aériennes supérieures
 - Fosses nasales
 - Pharynx
 - Larynx
- Voies aériennes inférieures
 - Conduction et transition
 - Trachée
 - Bronches, bronchioles terminales
 - Bronchioles respiratoires
 - Zone respiratoire
 - Sacs et conduits alvéolaires



Le poumon adulte

Voies Aériennes Inférieures: Bronches

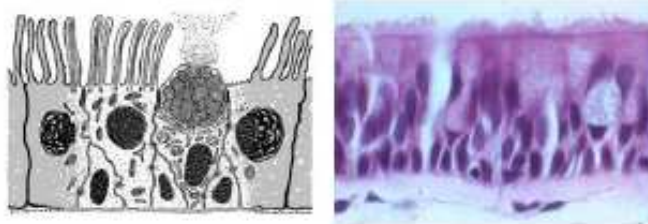


Voies Aériennes Inférieures

		Longueur (cm)	Rayon (cm)	Volume (ml)	Surface (cm ²)
Zone de conduction	Trachée	1,8	1,2	2,5	1
	Grosses bronches				
	Petites bronches				
Zone de transition	Bronchioles	0,15	0,5	13,5	1 000
	Bronchioles terminales	0,07	0,2	70	15 000
Zone respiratoire	Bronchioles respiratoires				
	Bronchioles resp. terminales	0,05	0,1	500	250 000
	Sacs alvéolaires				
	Alvéoles	0,04	0,05	10 000	10 000 000
		244 μm	238 μm		≈ 80 m ²

Le poumon adulte

Voies Aériennes Inférieures: Bronches

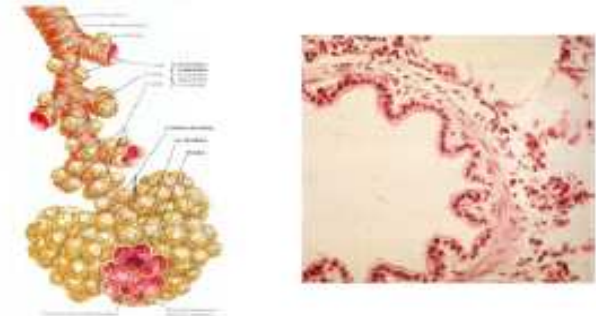


Epithélium bronchique

Voies Aériennes Inférieures: Arbre bronchique

- Epithélium respiratoire
 - Cellules à mucus
 - Cellules ciliées
- Cellules musculaires lisses
- Fibres élastiques
- Cartilage
- Tissu lymphoïde

Voies Aériennes Inférieures: Arbre bronchique



Fibres musculaires lisses abondantes dans les bronchioles, persistent au niveau des bronchioles respiratoires

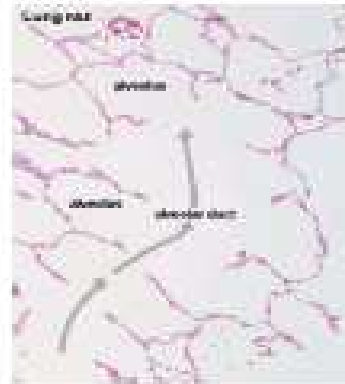
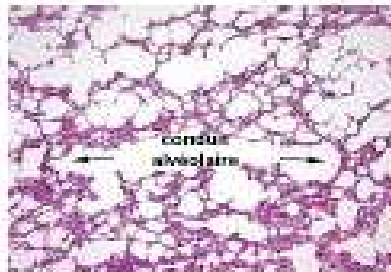
Voies Aériennes Inférieures: Arbre bronchique



Diminution progressive des plaques de cartilage qui sont absentes au niveau des bronchioles

Voies Aériennes Inférieures:
Zone respiratoire

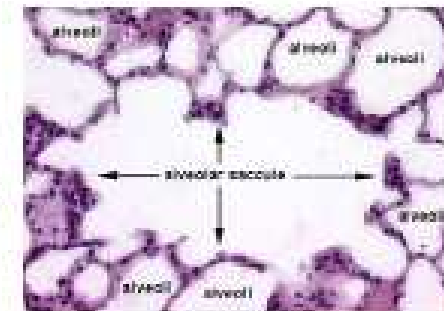
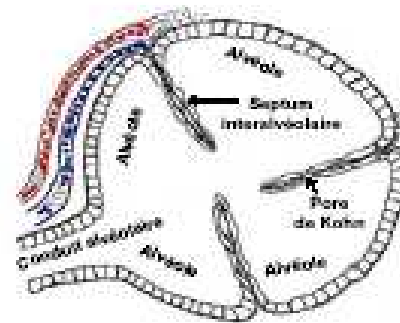
- Conduits alvéolaires
 - tapissés d'alvéoles
 - pas de fibres musculaires



Le poumon adulte

Voies Aériennes Inférieures:
Zone respiratoire

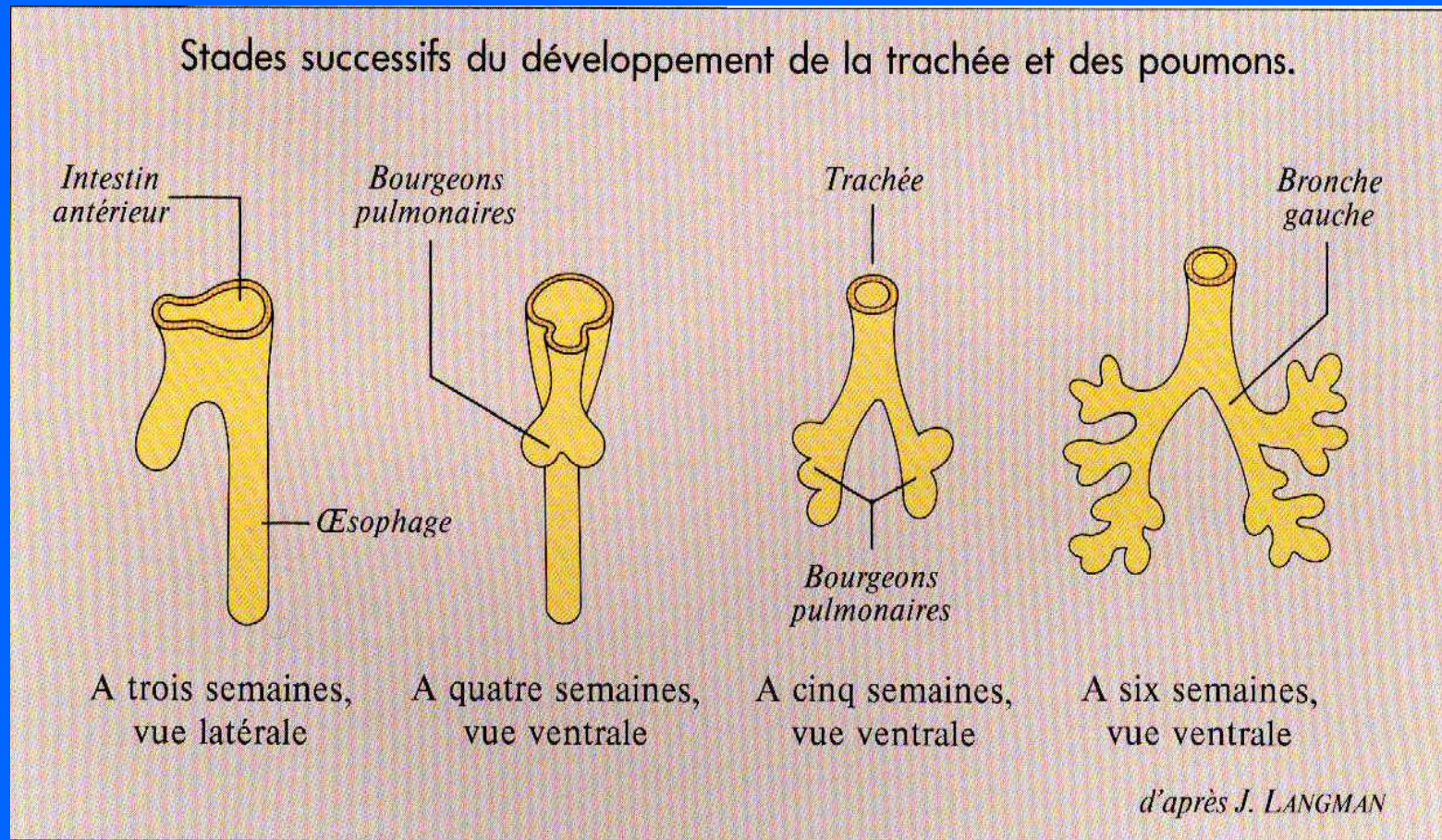
- Sacs alvéolaires: relie les conduits alvéolaires aux alvéoles



Age et structure respiratoire

- Morphogénèse de l'appareil broncho-pulmonaire

- Morphogénèse de l'appareil broncho-pulmonaire
 - période embryonnaire: 3ème - 6ème semaine



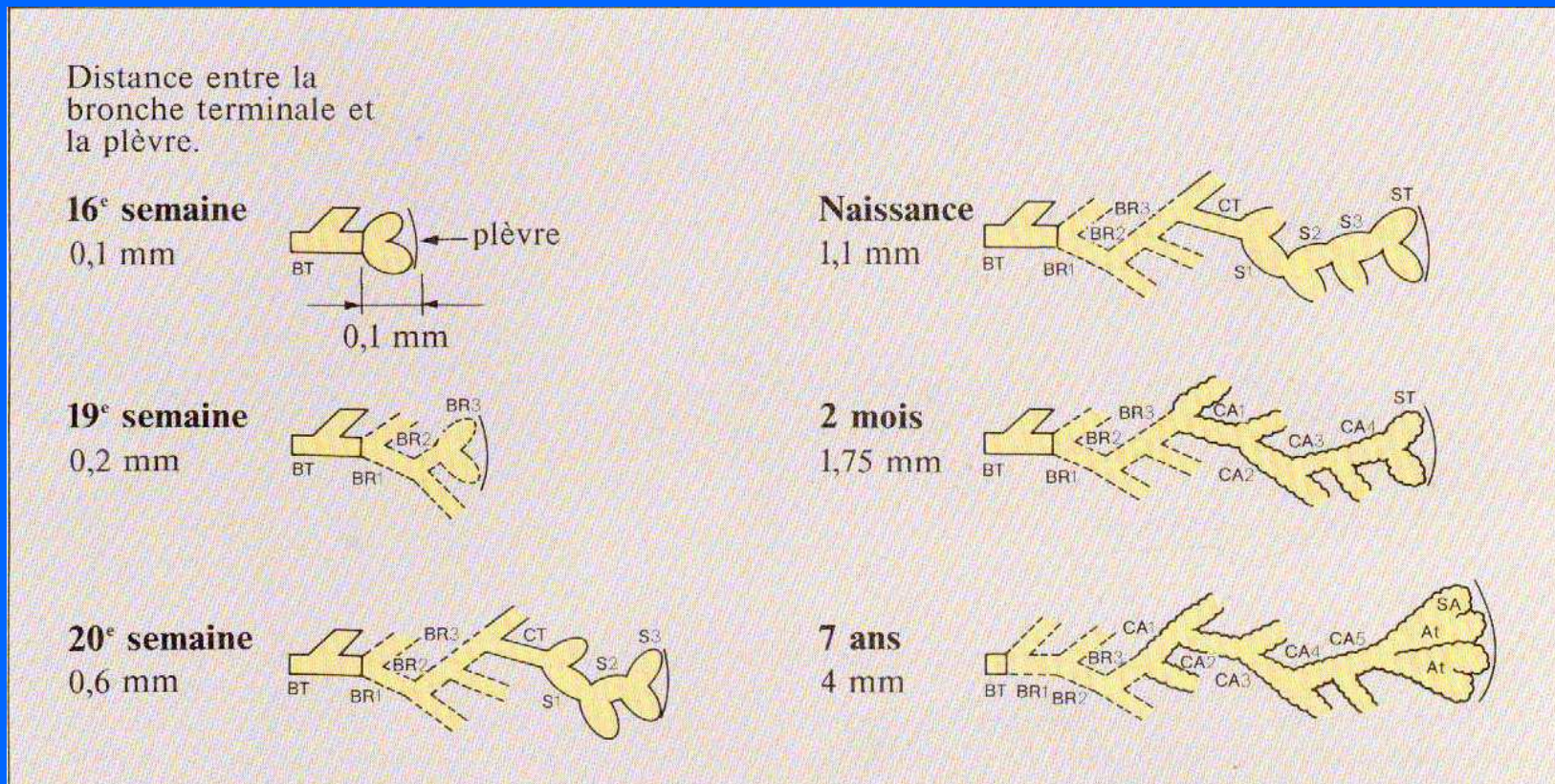
Morphogénèse du développement pulmonaire: d 'après JA Whitsett and SE Wert in Kendig 's Disorders of the respiratory tract by Chernick and Boat. 1998

Stade	Durée	Caractéristiques
Embryonnaire	3-6 semaines	Bourgeons pulmonaires : trachée, bronches souches, lobaires, segmentaires
Pseudoglandulaire	<u>6- 16 semaines</u>	<u>Bronches sous segmentaires, bronchioles terminales, tubules acinaires</u> <u>Glandes muqueuses, cartilage, muscle lisse</u>
Canaliculaire	17- 25 semaines	Acini, vascularisation Cel. type I , II. Début sécrétion du surfactant
Sacculaire	25-36 semaines	Dilatation et sous division des saccules alvéolaires- Augmentation de surface d'échange gazeux.
Alvéolaire	36 semaines - maturité	Alveolisation par septation et remodelage des septas. Restructuration du lit vasculaire Au delà de 2ans : croissance du poumon.

Age et structure respiratoire

- Croissance thoraco-pulmonaire

- Croissance pulmonaire



d'après A Hislop and L Reid. Thorax 1974; 29: 90.

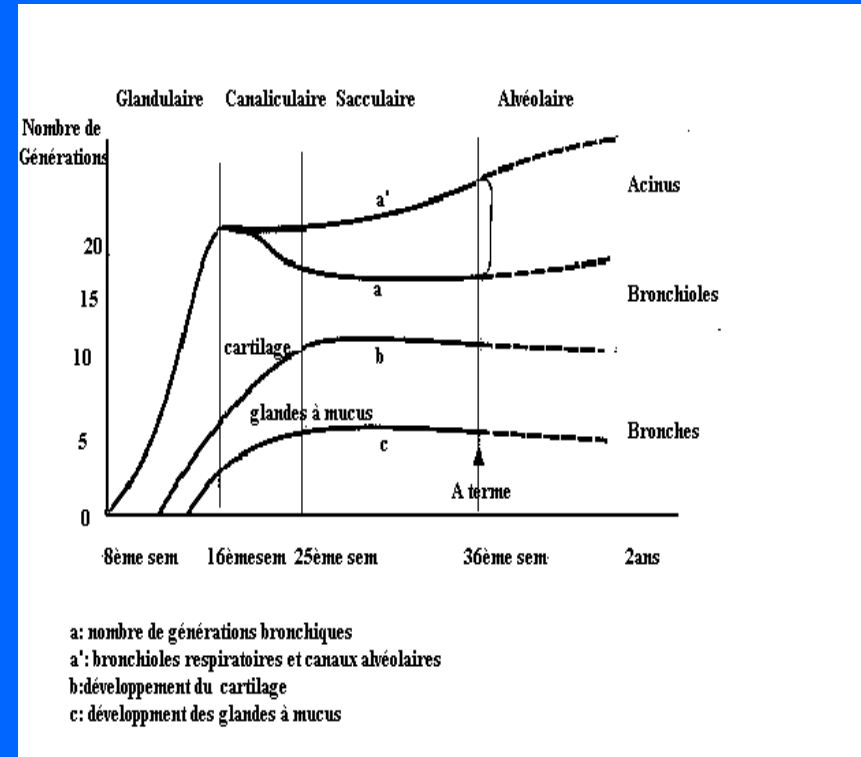
Croissance pulmonaire

- Voies aériennes
- cartilage trachéo-bronchique
 - même répartition que l'adulte
 - quantité faible

⇒ les voies aériennes du nourrisson sont très facilement collabables (risque de malacie)

- épithélium respiratoire
 - densité de glandes muqueuses plus élevée que dans le poumon adulte

⇒ hypersécrétion de mucus est l'élément dominant de l'obstruction bronchique chez le petit enfant

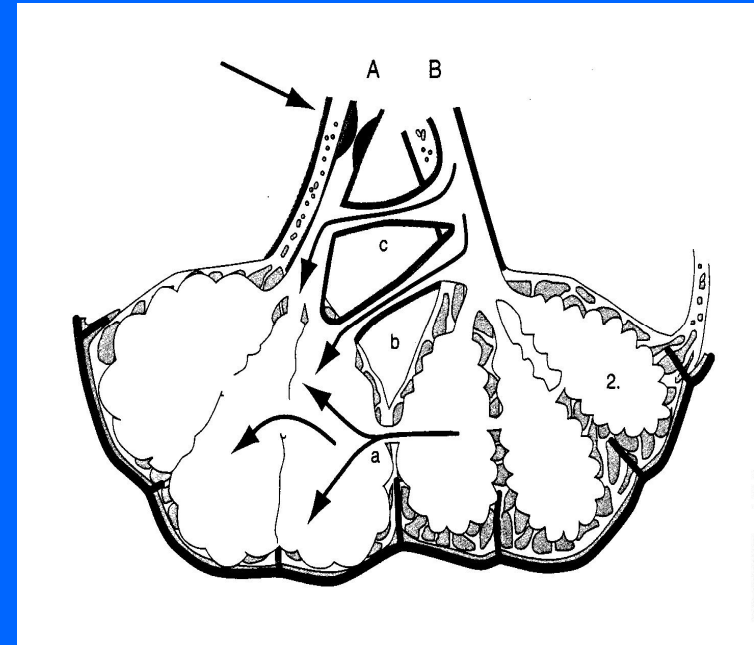


Croissance pulmonaire

- Voies aériennes
 - cartilage trachéo-bronchique
 - épithélium respiratoire
 - muscle lisse voies aériennes
 - dès la 16^{ème} semaine:
 - Cml innervées, répondent aux agents contractants et relaxants
 - au niveau trachée et grosses bronches: quantité comparable chez adulte et enfants, au niveau des petites voies aériennes: quantité plus faible
- ⇒ il est admis qu'un bronchospasme peut se produire chez un nourrisson, voire un prématuré dès les premiers jours de vie
- ⇒ il est légitime de traiter ce bronchospasme par un β_2 mimétique, un anticholinergique

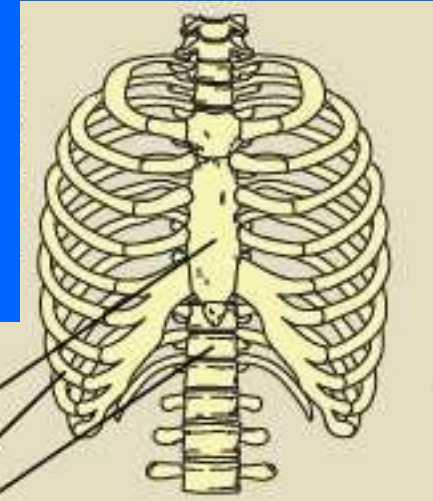
Croissance thoraco-pulmonaire

- Voies aériennes
- cartilage trachéo-bronchique
- épithélium respiratoire
- muscle lisse voies aériennes
- connexions interalvéolaires, bronchiolo-alvéolaires..
 - ⇒ Pas de ventilation collatérale
 - ⇒ Poumon à risque d'atélectasie
- parenchyme pulmonaire
- vaisseaux pulmonaires



Croissance thoraco-pulmonaire

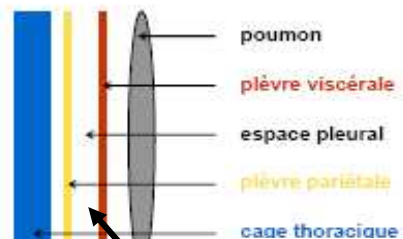
- La paroi thoraco abdominale



sternum
côte
colonne vertébrale

- Les plèvres

L'espace pleural



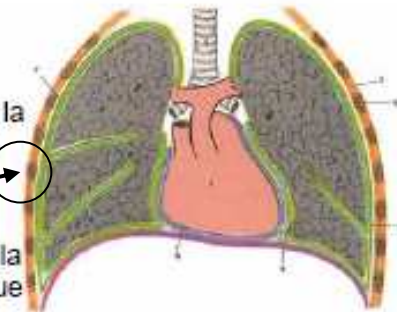
$$P_{IT} < P_B$$

La plèvre

- Le poumon est enveloppé dans une séreuse, la **plèvre**, constituée de:

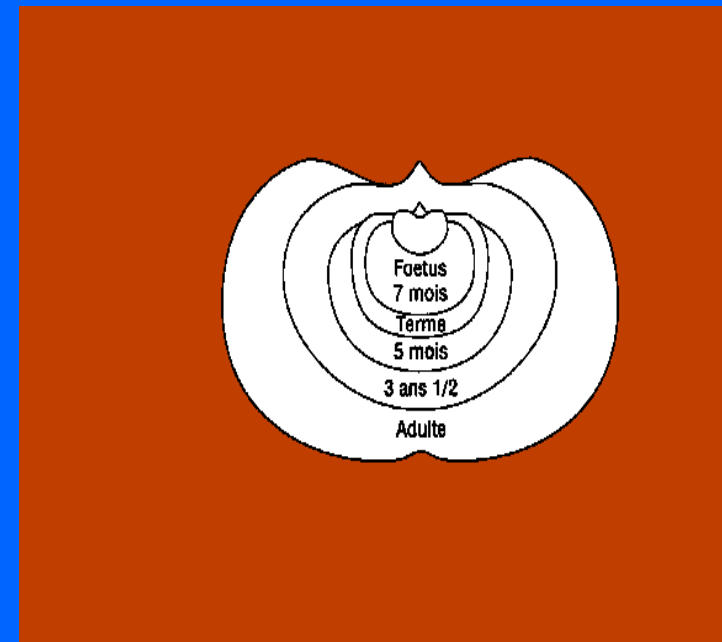
- la **plèvre viscérale**, qui recouvre la face externe du poumon et des grosses bronches.

- la **plèvre pariétale**, qui recouvre la face interne de la cage thoracique et le médiastin



Croissance thoraco-pulmonaire

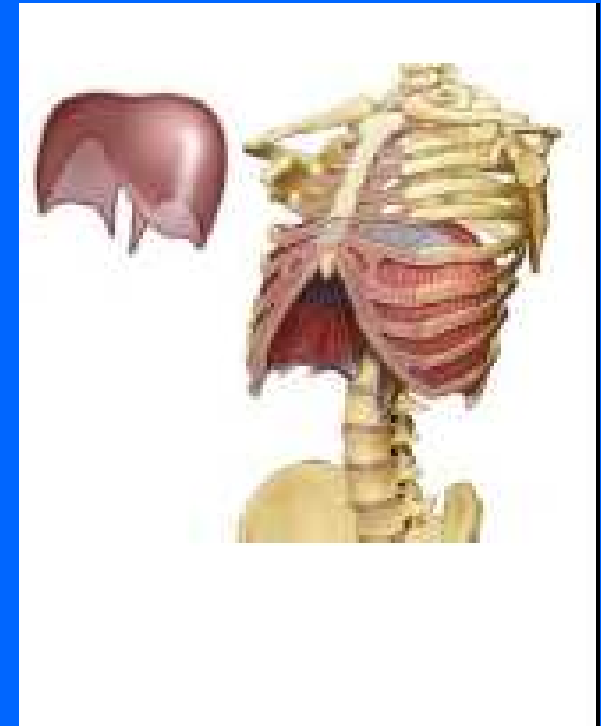
- La cage thoracique:
 - chez le nourrisson et le petit enfant
 - très compliante, très déformable
 - côtes horizontales
- ⇒ chez le nourrisson et le petit enfant, P recul élastique faible
- avec l'âge, rigidification et changement de forme



Croissance thoraco-pulmonaire

➤ Muscles respiratoires

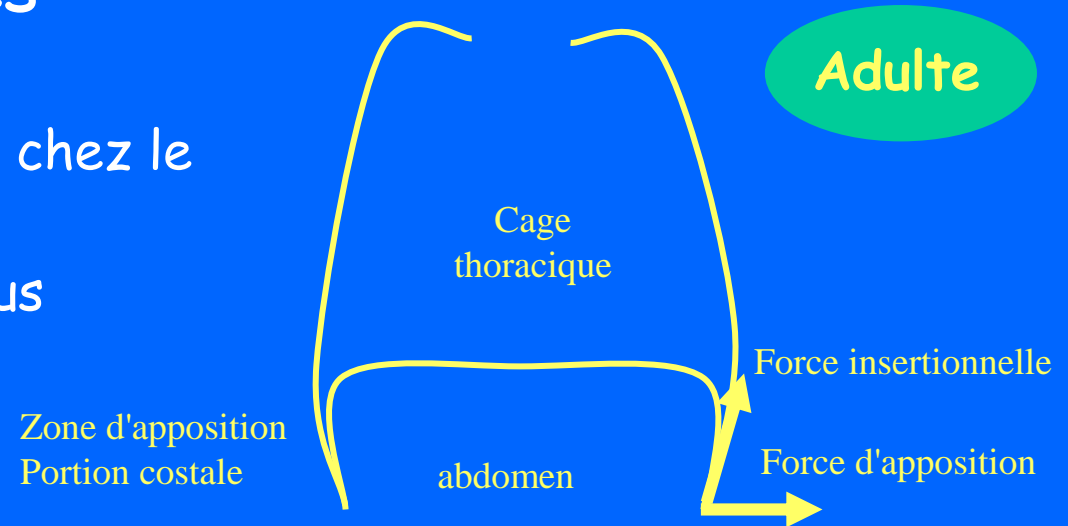
- ❖ les muscles Inspirateurs:
 - le diaphragme
 - les inspireurs accessoires:
intercostaux externes, scalènes,
sternocléidomastoidien, pectoraux, ...
- ❖ les muscles Expirateurs:
 - les muscles abdominaux,
 - les muscles intercostaux internes



Croissance thoraco-pulmonaire

- **Muscles respiratoires**

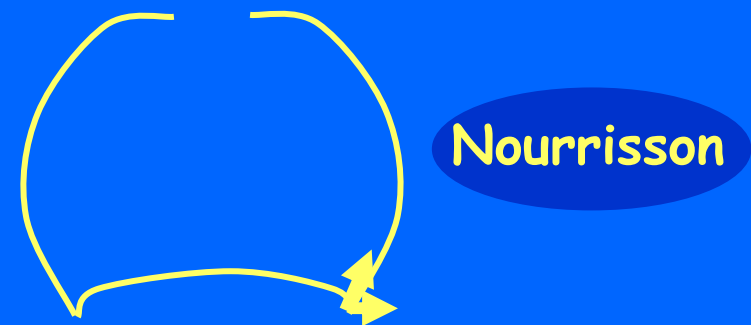
- masse musculaire faible
- fibres I oxydatives rares chez le nouveau né, ↑ 1ère année
- fibres II glycolytiques plus nombreuses



- **Diaphragme**

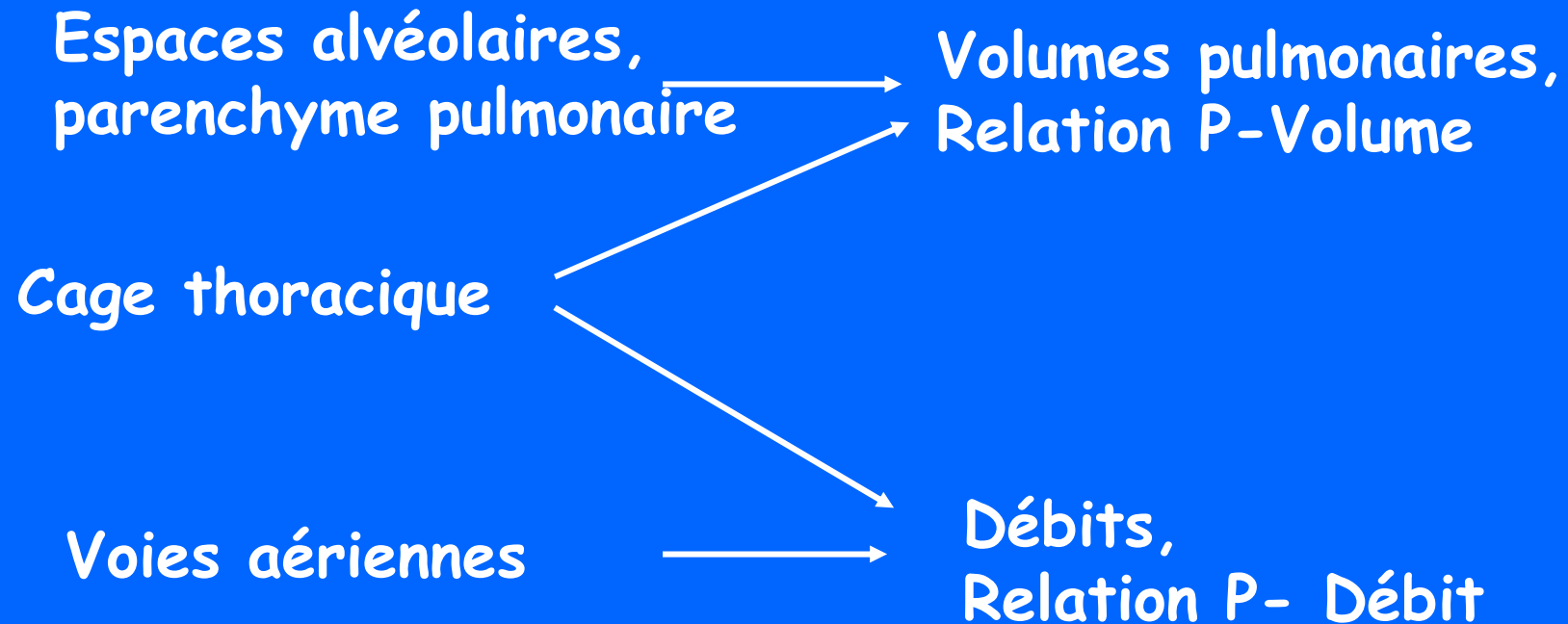
- couplage thorax- abdomen faible
- contraction peu efficace en position couchée

⇒ coût énergétique respiratoire élevé



Structure - Fonction

Développements structuraux \Rightarrow Modifications Fonctionnelles



Rappel mécanique ventilatoire

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{el}}(L, \text{th}) + P_{\text{res}}(L, \text{th}, \text{va}) \quad \text{+ } P_{\text{in}}$$

L: poumon; th: cage thoracique; va: voies aériennes

$$P_{\text{musc}} = 1/C_{\text{thoracopulm}} \cdot \Delta V + R \cdot V'$$

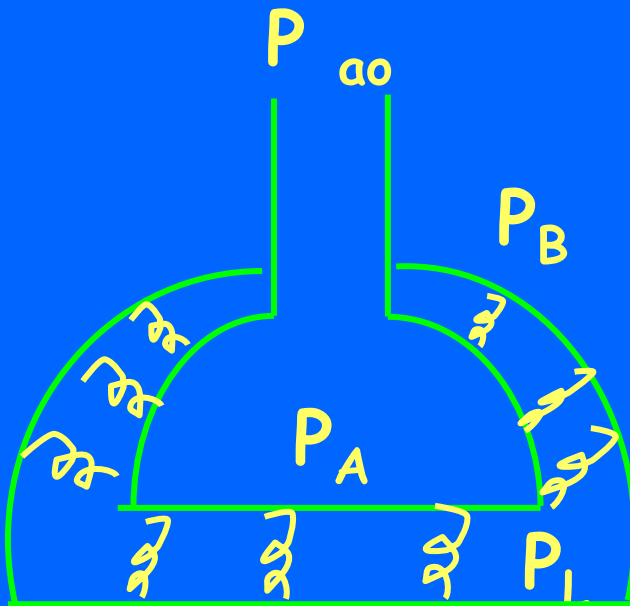
$$(P_{\text{ao}} - P_{\text{B}}) = (P_{\text{L}} - P_{\text{B}}) + (P_{\text{A}} - P_{\text{L}}) + (P_{\text{ao}} - P_{\text{A}})$$

$$= 1/C_{\text{W}} \Delta V + 1/C_{\text{L}} \Delta V + R V'$$

C_{th} : compliance thoracique

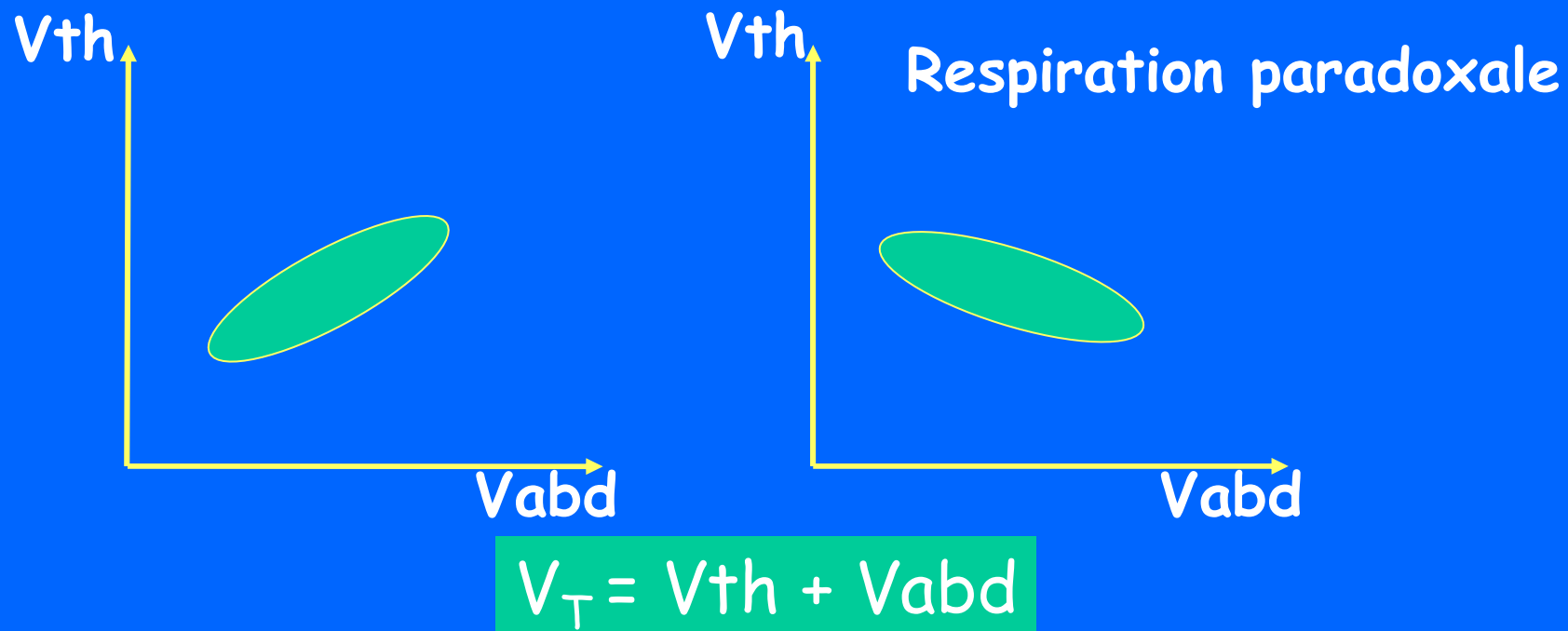
C_{L} : compliance pulmonaire

R: résistances des voies aériennes



Age et fonction respiratoire

- Configuration thoraco- abdominale:
 - C_{th} du nouveau né : augmentée ++++ (thorax se déforme facilement)
 - $C_{th} \gg C_L$ à la naissance; $C_{th} \# C_L$ à l'âge adulte
 - $C_{th} \searrow$ de 50 % pendant la 1ère année de vie



Age et fonction respiratoire

- La CRF: volume d'équilibre thorax- poumon

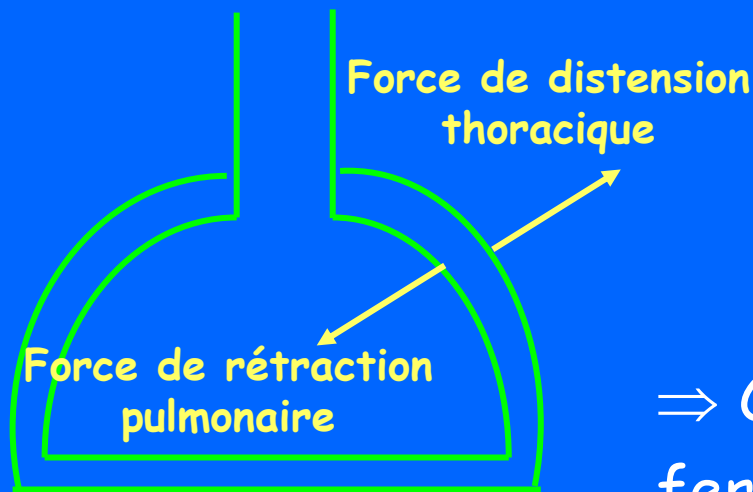
- chez l'adulte*:

CRF # 50% de la CPT

- chez le nourrisson *:

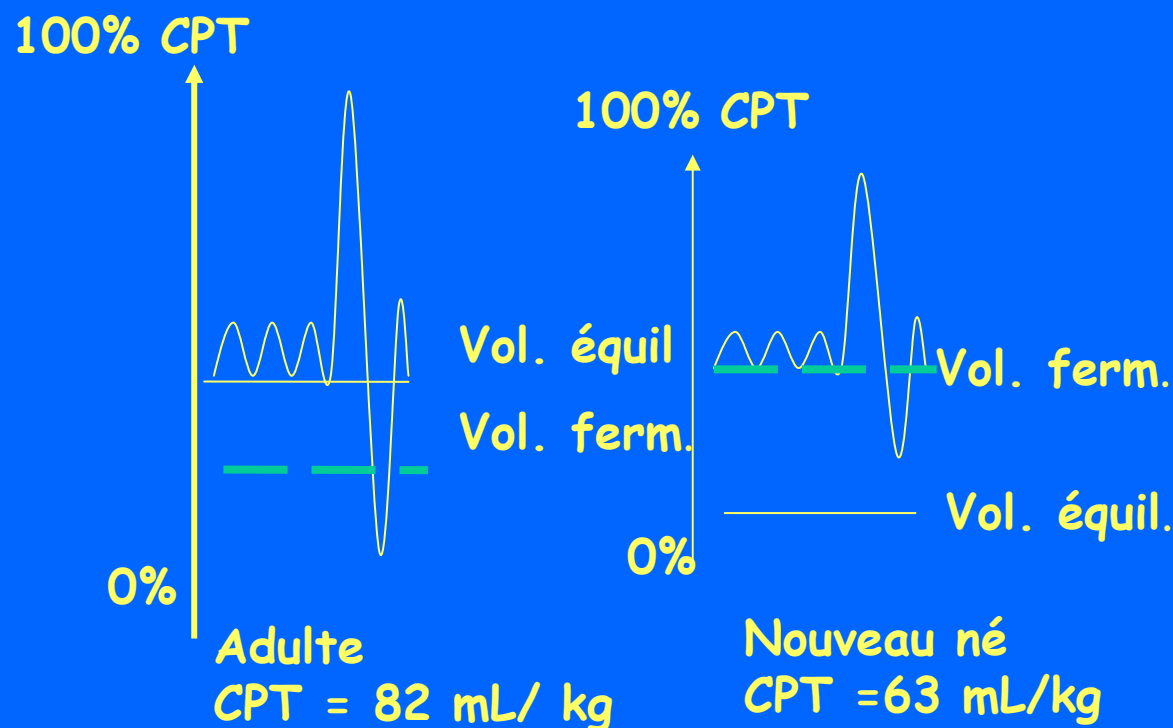
Ctx très augmentée, P_L faible

⇒ CRF très abaissée, #10% de la CPT
fermeture des petites voies aériennes



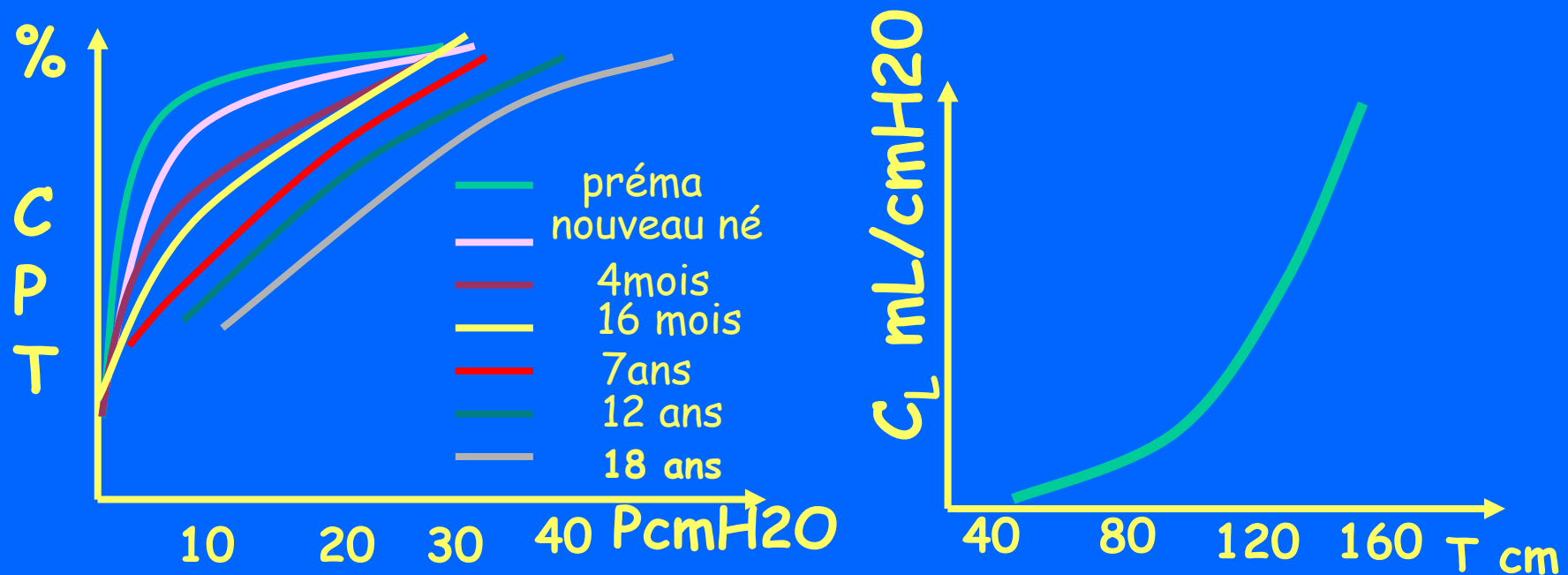
Age et fonction respiratoire

- Chez le nourrisson, le volume de fin d'expiration est maintenu élevé, au dessus de la valeur de la CRF passive, de façon dynamique:
 - activité post inspiratoire du diaphragme
 - frein expiratoire laryngé
 - augmentation de f_{Resp}



Age et fonction respiratoire

- La Relation Pression- Volume du poumon dépend de:
 - des forces de surface alvéolaires
 - de la composition du parenchyme pulmonaire
 - du volume pulmonaire



D'après Thorsteinsson et al. Am J Resp Crit Care Med. 1994; 130: 421- 430.

Age et fonction respiratoire

• La Relation Pression- Débit

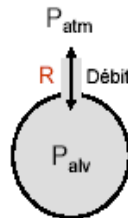
Production du débit aérien

- Débit d'un fluide

$$\text{Débit} = \frac{\Delta P}{\text{Résistance}}$$

- Dans le système respiratoire

$$\text{Débit} = \frac{(P_{\text{alv}} - P_{\text{atm}})}{R_{\text{pulm}}}$$



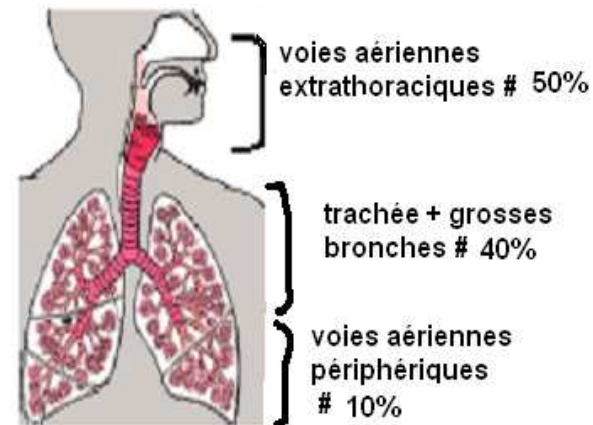
$$R = f(1/r^4, \eta),$$

r étant le rayon du tuyau, η la viscosité du fluide

Résistances des voies aériennes

en respiration nasale

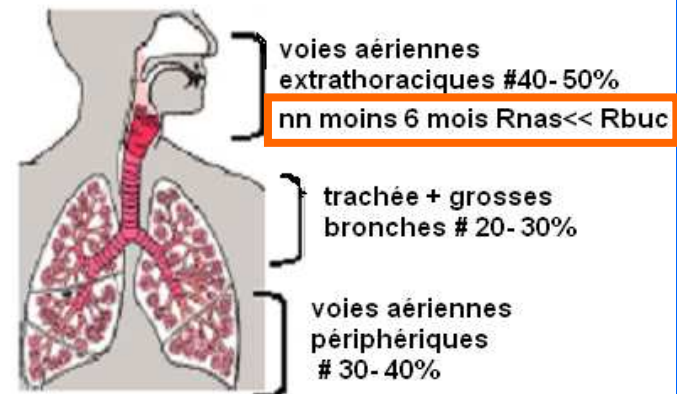
adulte



Résistances des voies aériennes

en respiration nasale

nourrisson



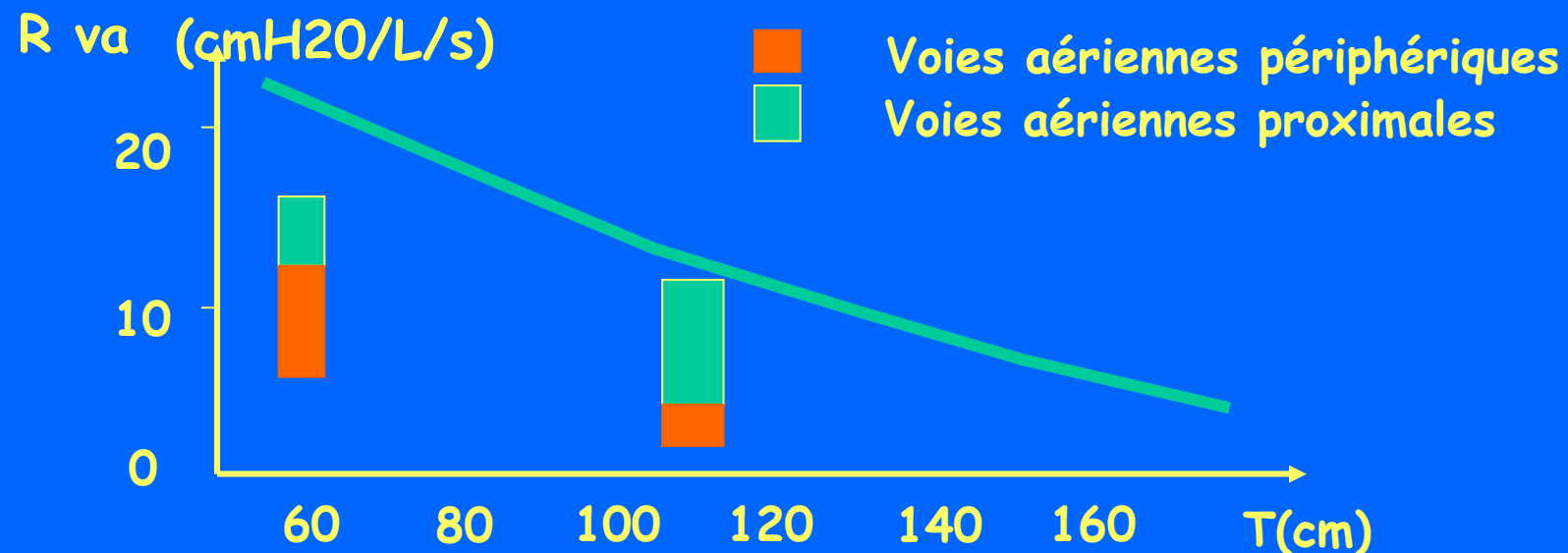
Age et fonction respiratoire

La Relation Pression- Débit

- Chez le nourrisson

R nasales # 40-50% R tot

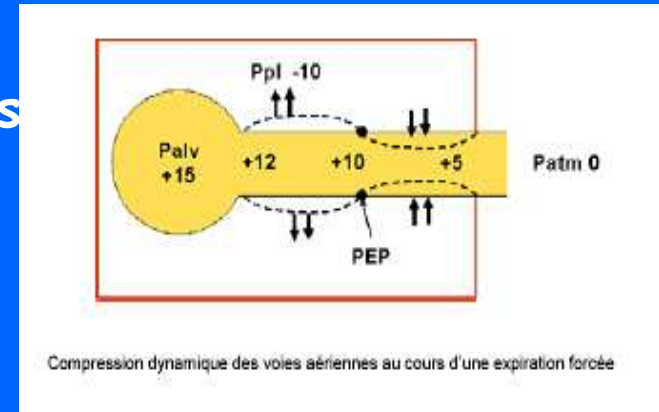
- Distribution des résistances intrathoraciques



D'après C Lanteri and P Sly. *J Appl Physiol.* 1993; 74(1): 369- 278.

Age et fonction respiratoire

- La Relation Débit-Volume dépend de:
 - du parenchyme pulmonaire
 - des voies aériennes intra-thoraciques

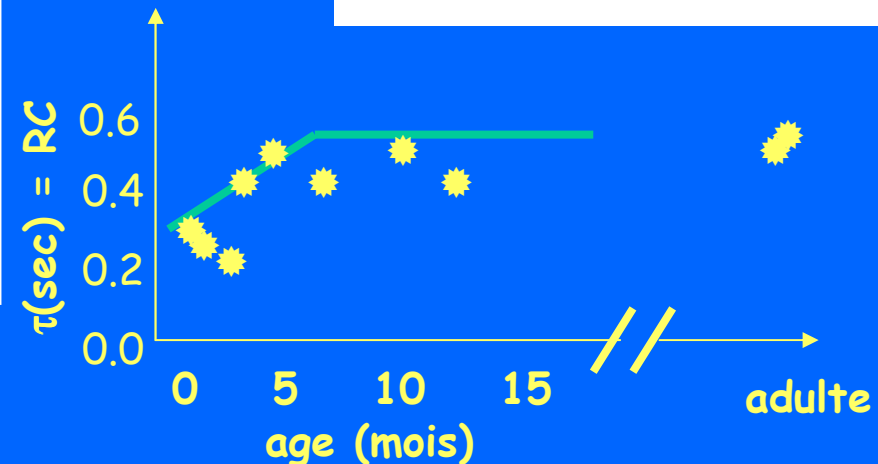


-Chez le nourrisson: R élevé, C faible

⇒ τ faible

⇒ le poumon du petit enfant se vide beaucoup plus facilement que celui de l'adulte

⇒ tendance aux atélectasies



D'après FA Ratjen et al. *J Appl Physiol.* 1989; 67(5): 2112- 2115.

Age et fonction respiratoire

- Les échanges gazeux

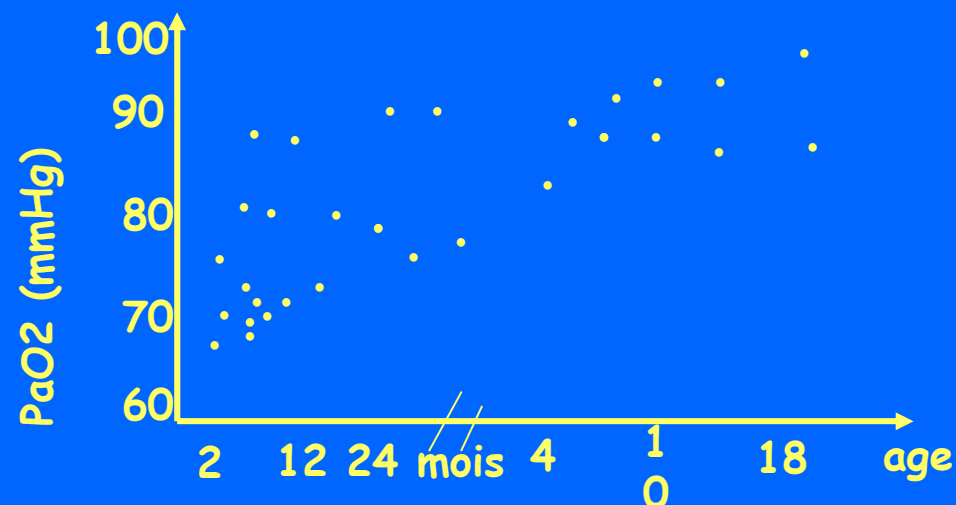
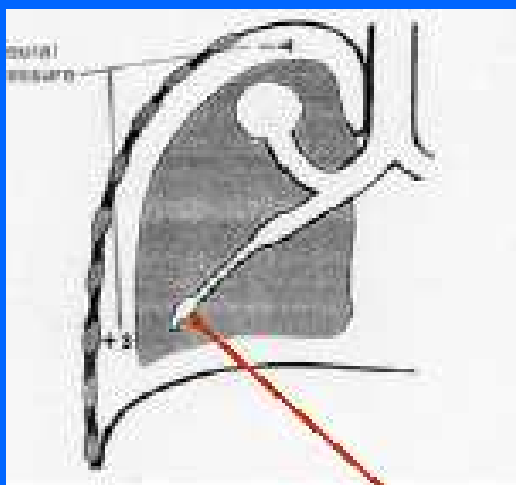
- chez le nourrisson et le jeune enfant:

fermeture des petites voies aériennes

⇒ ↓ ventilation au niveau des bases pulmonaires

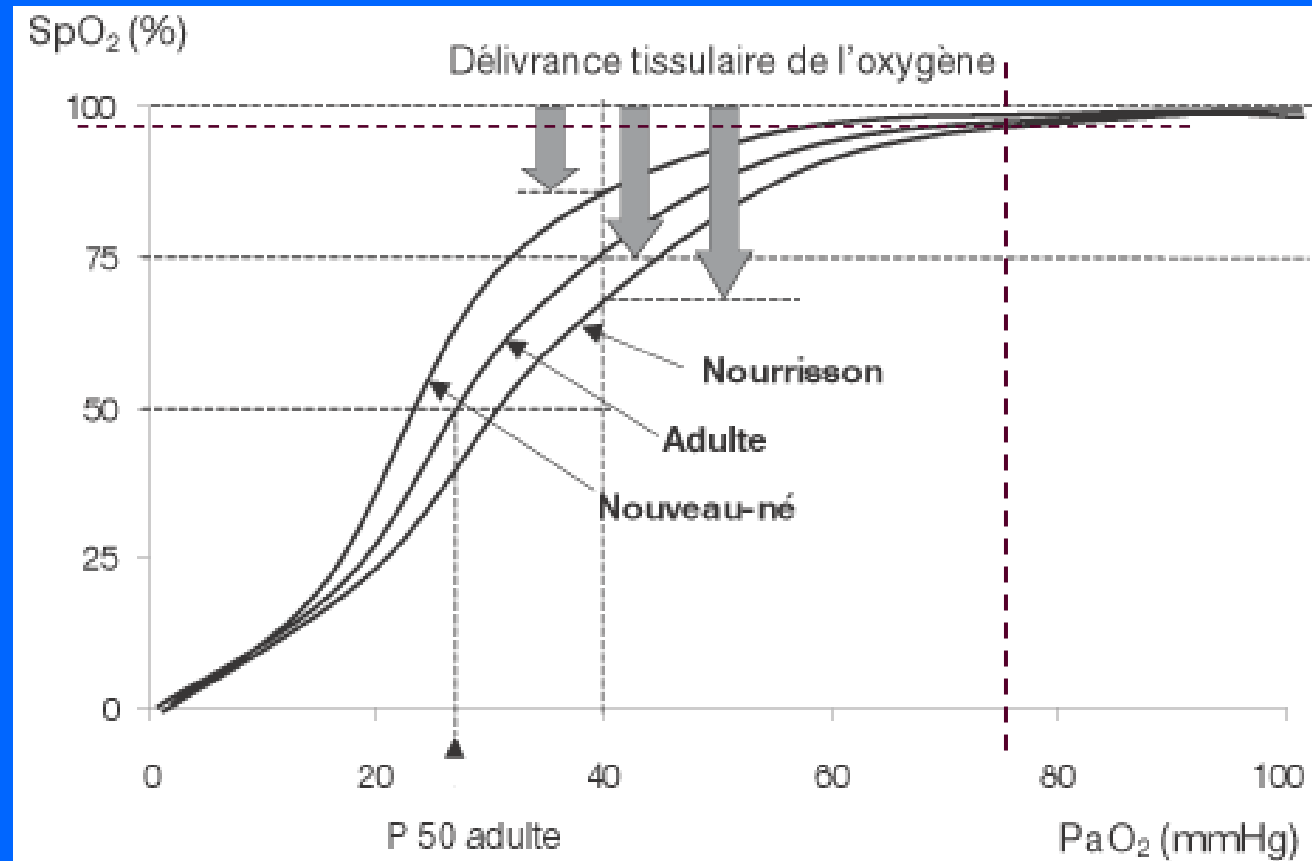
⇒ ↑ hétérogénéité de distribution du rapport V_A/Q

⇒ Hypoxémie « physiologique » du tout petit, ↑ $D_{A-a} O_2$



D'après C Gaultier et al. Bull Europ Physiopath Resp. 1978

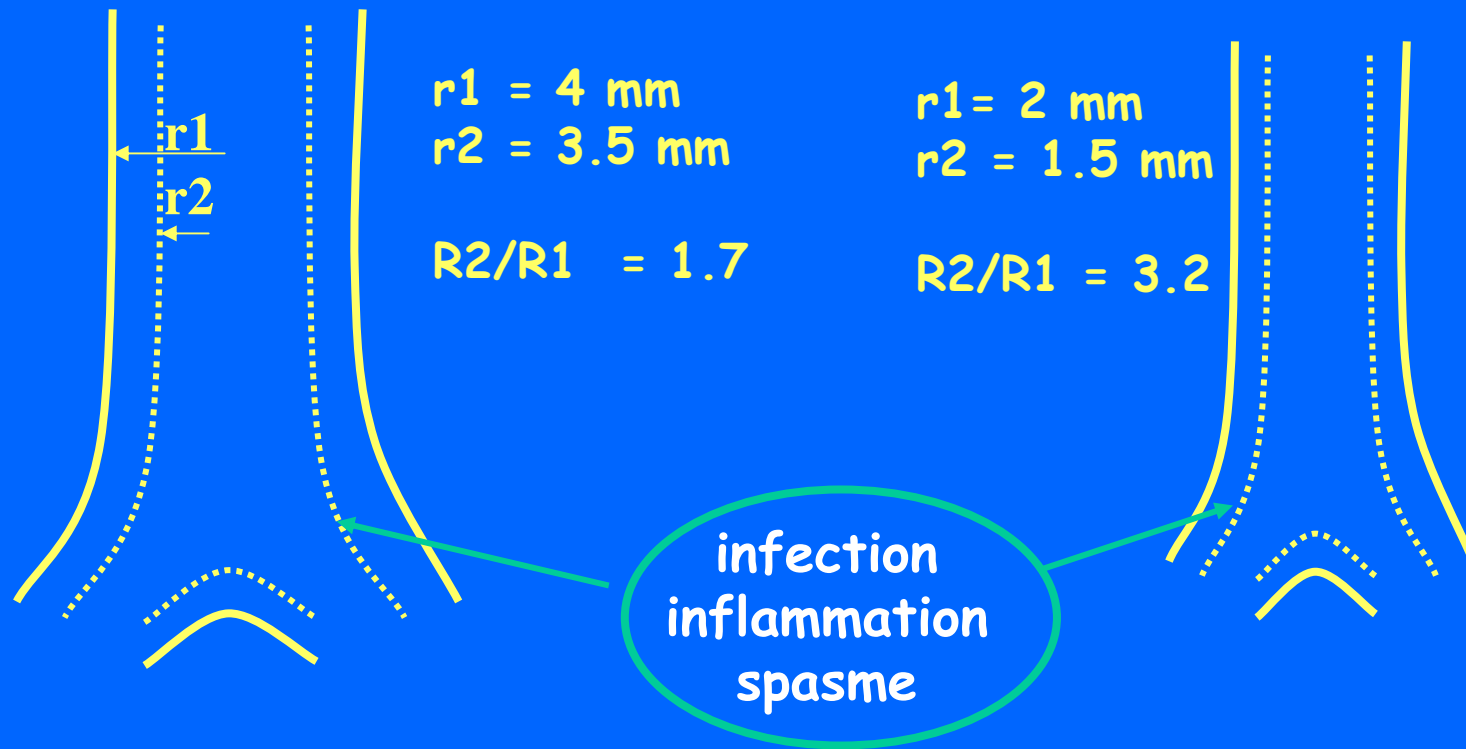
Age et courbe de saturation de l'hémoglobine



Age, fonction respiratoire et réactivité bronchique

- Facteurs influençant la réponse bronchique:
 - stimulus → concentration augmentée chez le jeune enfant?
 - Le muscle lisse bronchique:
 - localisé sur toute la longueur des voies aériennes dès la vie fœtale
 - réponse augmentée à l'acétylcholine chez le nouveau né.
 - forces d'opposition à la contraction
 - ↓ P recul élas. chez le jeune enfant
 - épaisseur pariétale des voies aériennes

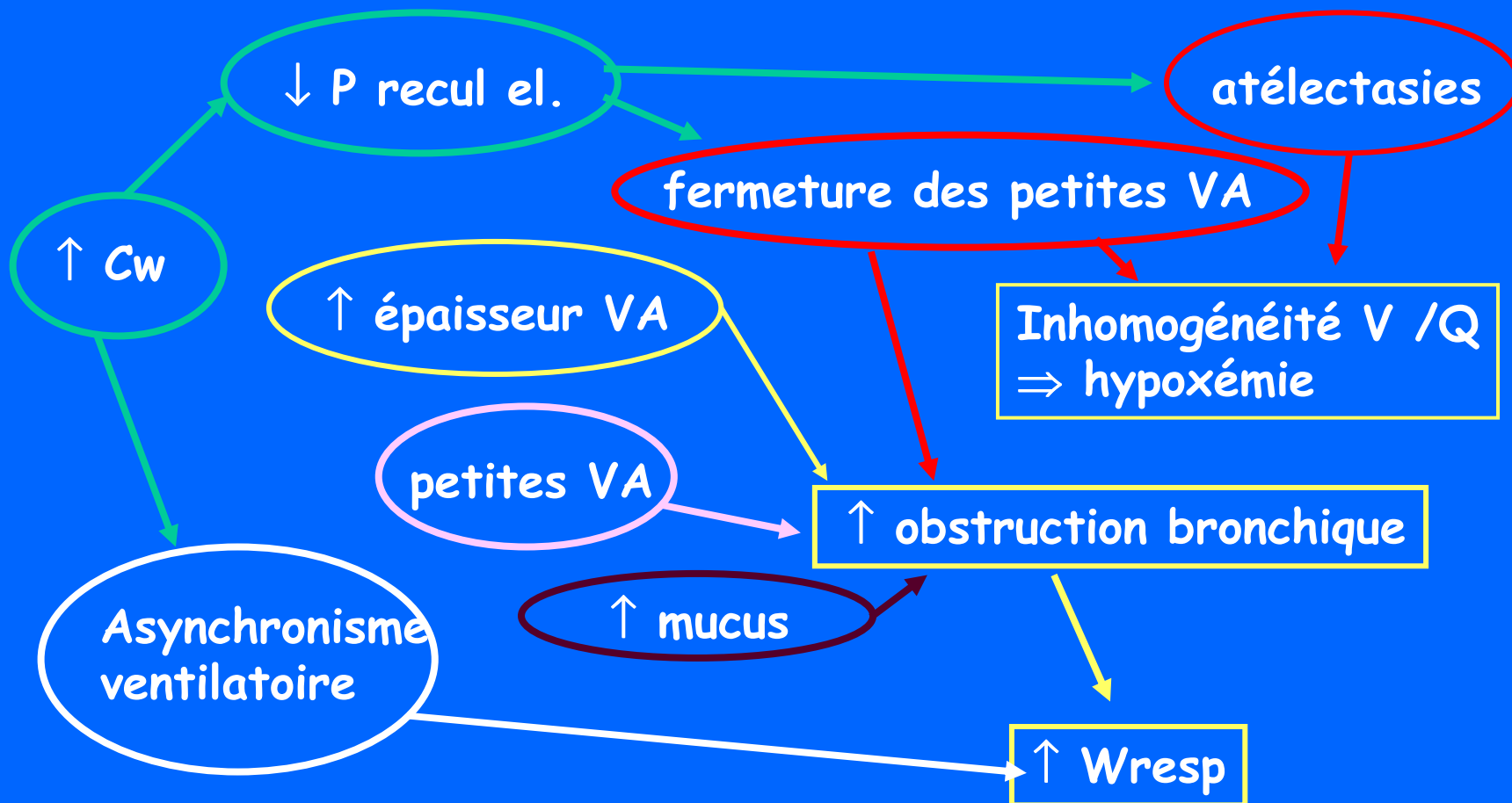
Age, fonction respiratoire et réactivité bronchique



- HRB augmentée chez le nourrisson et le jeune enfant ?

Conclusion

- Chez le nourrisson et le jeune enfant



Age et contrôle ventilatoire

- **Immaturité**

- Respiration périodique des prématurés
- Réponse ventilatoire au CO_2
 - comparable à celle de l'adulte
- Réponse paradoxale à l'hypoxie
 - hypoxie \Rightarrow augmentation transitoire puis une diminution de V'_E
- Pauses respiratoires, apnées
- Réponse réflexe modifiée:

<i>Age</i>	<i>Fréquence respiratoire (cycles/ min)</i>
<i>2 semaines</i>	50
<i>6 mois</i>	44
<i>1 an</i>	32

- irritation des voies aériennes
 - \rightarrow toux chez adulte
 - \rightarrow apnées chez le nouveau né

Physiologie de la toux

- La toux est une réaction physiologique réflexe pour protéger les voies aériennes de l'inhalation de substances étrangères, irritantes ou nocives, pour éliminer les sécrétions produites.
 - Stimulation: mécanique ou chimique
 - récepteurs: au niveau du larynx, de la carène, grosses voies aériennes, voies aériennes basses, bas œsophage, estomac, membrane tympanique, oreille externe
 - stimulation larynx \Rightarrow réflexe expiratoire
 - stimulation trachéo bronchique \Rightarrow réflexe inspiratoire + expiratoire
 - stimulation petites voies aériennes distales et alvéolaire \Rightarrow pas de toux :
- ◆ réflexe présent chez seulement 25% des nouveau nés,
- ◆ vers 1 mois, 90% des nourrissons peuvent tousser!

Reflux gastro-oesophagien

● Œsophage

⊗ SIO: sphincter inférieur de l'œsophage(cardia)

⊗ BARRIERE ANTI REFLUX

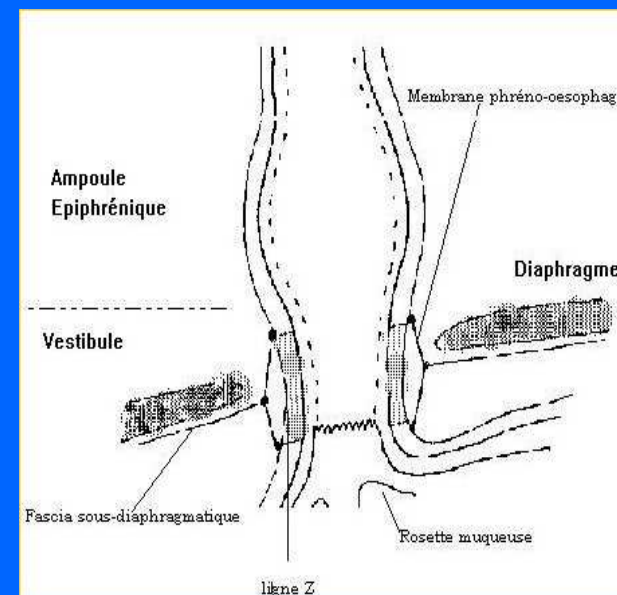
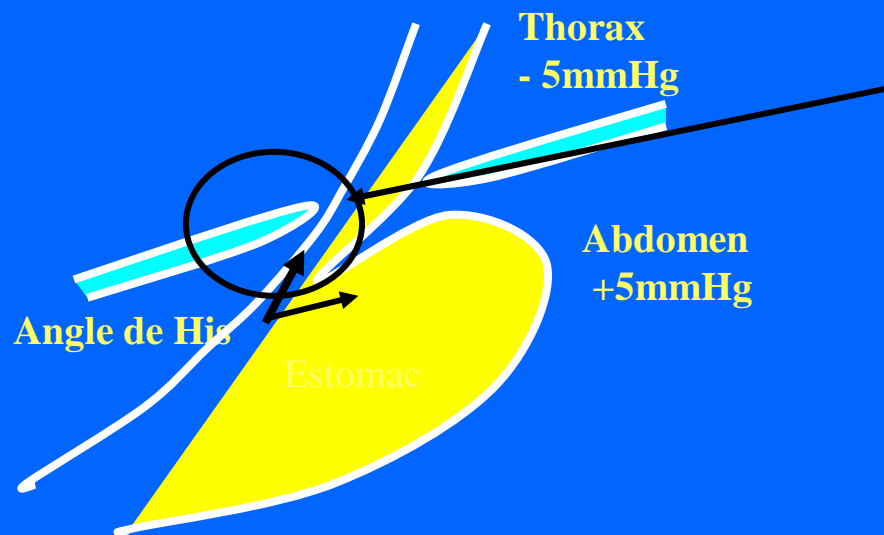
⊗ Facteurs de la continence cardiale

→ contraction tonique permanente du SIO

→ implantation oblique œsophage

→ implantation intraabdominale ($P_{abd} > P_B \Rightarrow$ fermeture)

→ replis de la muqueuse gastrique (valvule de Gubaroff)

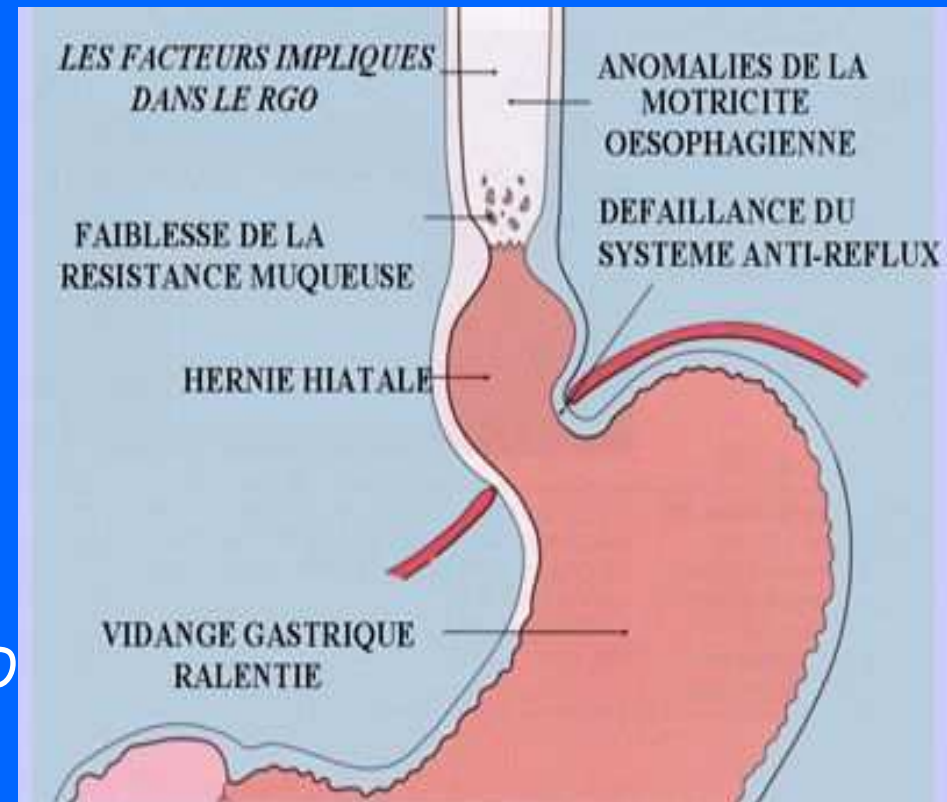


Reflux gastro-oesophagien

- Chez le nourrisson:

- immaturité du SIO (\searrow tonicité)
- relaxation du SIO fréquente
- œsophage court
- PL faiblement négative, Pabd faiblement positive (surtout en position couchée)
- vidange gastrique ralentie

⇒ #2/3 nourrisson < 2mois: RGO



RGO et Asthme

- RGO et HRB

- aspirations massives rares en dehors de troubles neuro sévères
 - réflexe oesobronchique
stimulation récepteurs du bas oesophage \Rightarrow bronchoconstriction
 - microinhalations répétées
 - \Rightarrow inflammation \Rightarrow HRB
 - \Rightarrow hypersécrétion bronchique
- } \Rightarrow Toux

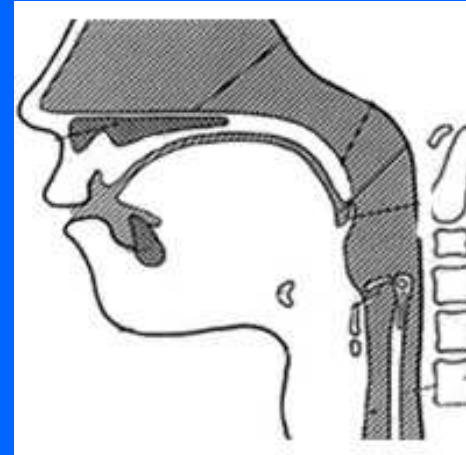
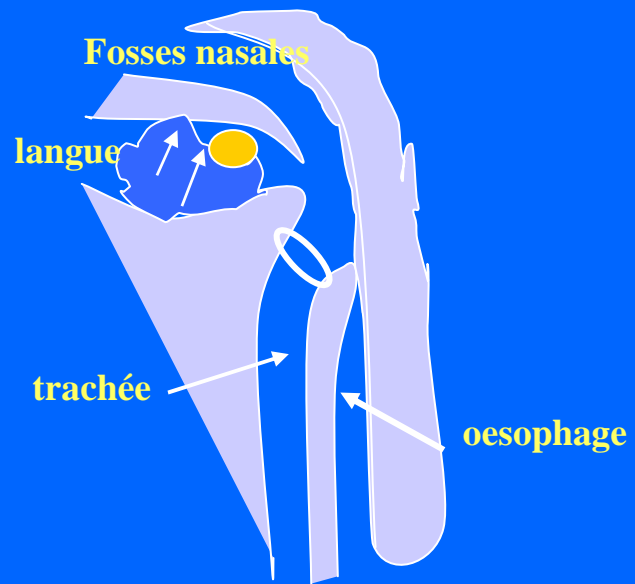
- Asthme et RGO

- facteurs favorisant le RGO:
 - distension pulmonaire, hyperpression lors de la toux

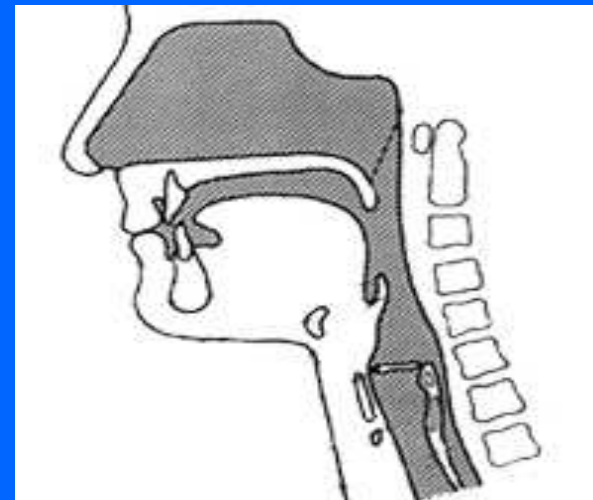


Age et voies aériennes supérieures

La déglutition



enfant



adulte