

# LE SYSTEME VENTILATOIRE

- I) Les voies aériennes
- II) La mécanique ventilatoire
- III) Les volumes pulmonaires
- IV) La régulation de la ventilation
- V) Consommation d'air et autonomie

Ne pas confondre

- La ventilation

Elle permet les mouvements d'entrée de l'air « frais » et la sortie de l'air « vicié ».

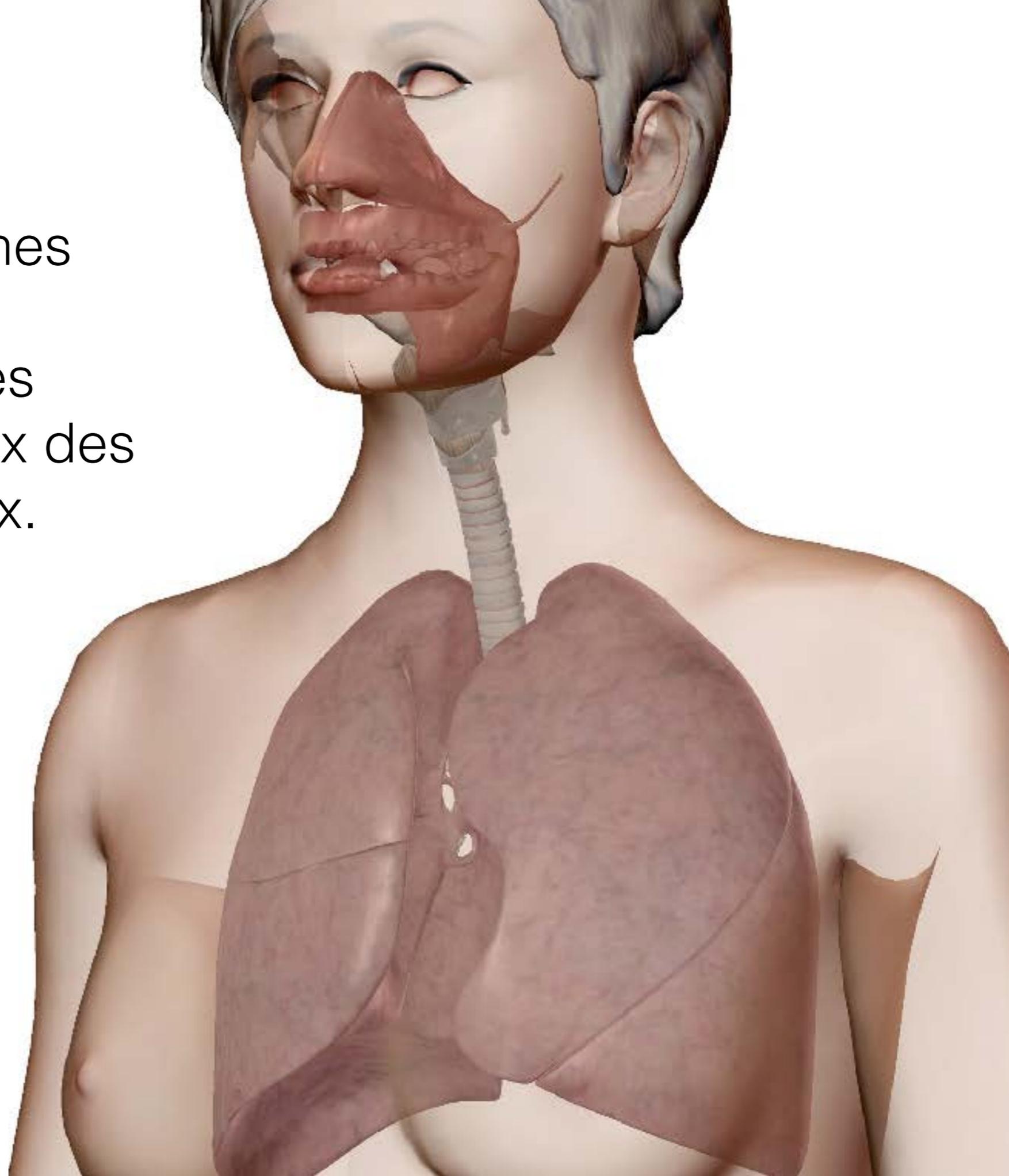
- La respiration

se caractérise par:

- Les échanges gazeux au niveau du poumon entre l'air et le sang (*hématose*).
- Les échanges gazeux au niveau des tissus.  
(sujet d'un autre cours)

# I) Les voies aériennes

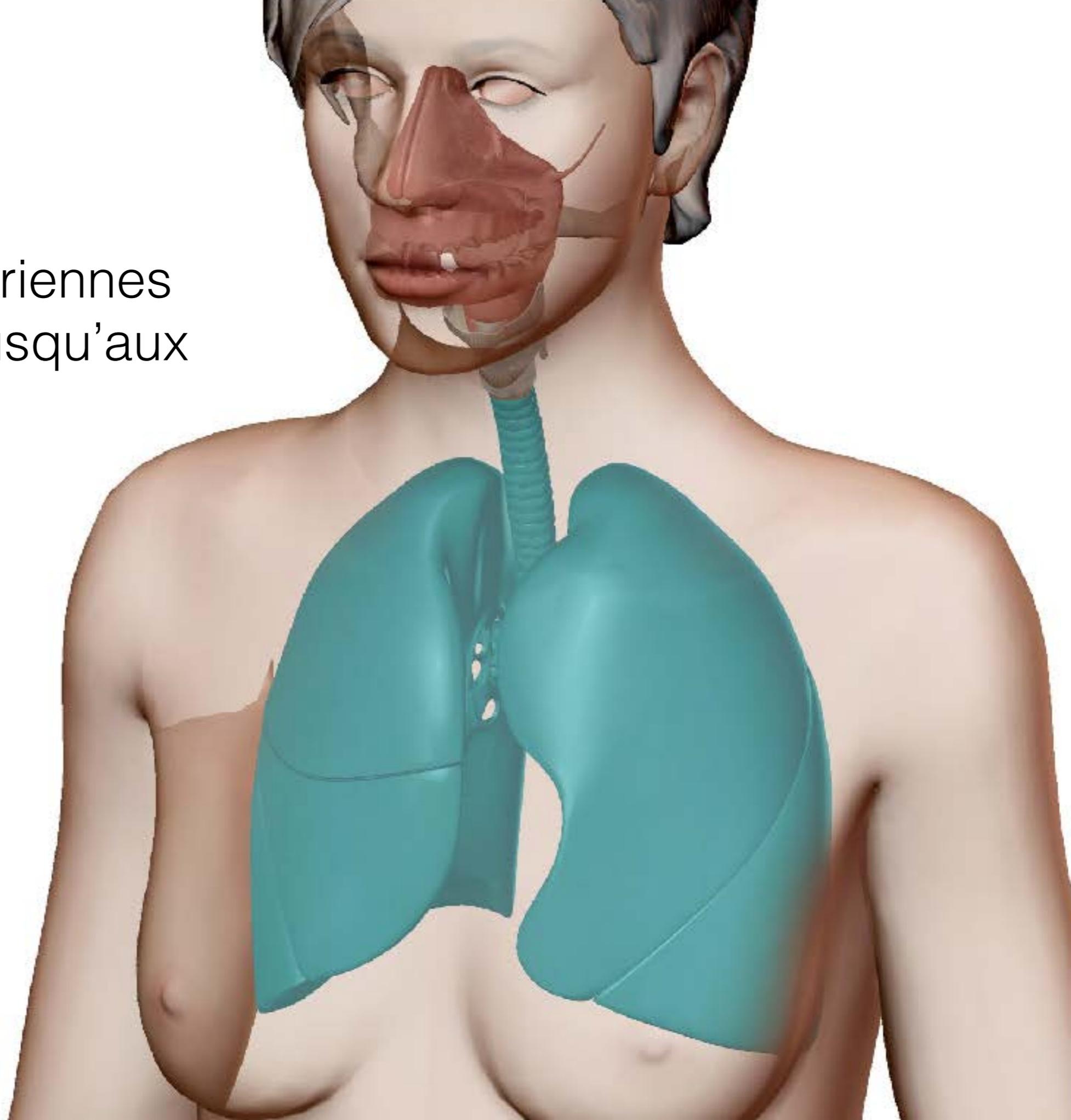
- Les voies aériennes acheminent l'air jusqu'aux alvéoles pulmonaires, lieux des échanges gazeux.





- Les voies aériennes supérieures acheminent l'air jusqu'à la trachée.

- Les voies aériennes inférieures jusqu'aux alvéoles.



# Les voies aériennes supérieures

Elles se  
composent :

- Des fosses nasales
- Du pharynx
- Du Larynx
- De la partie supérieure de la trachée

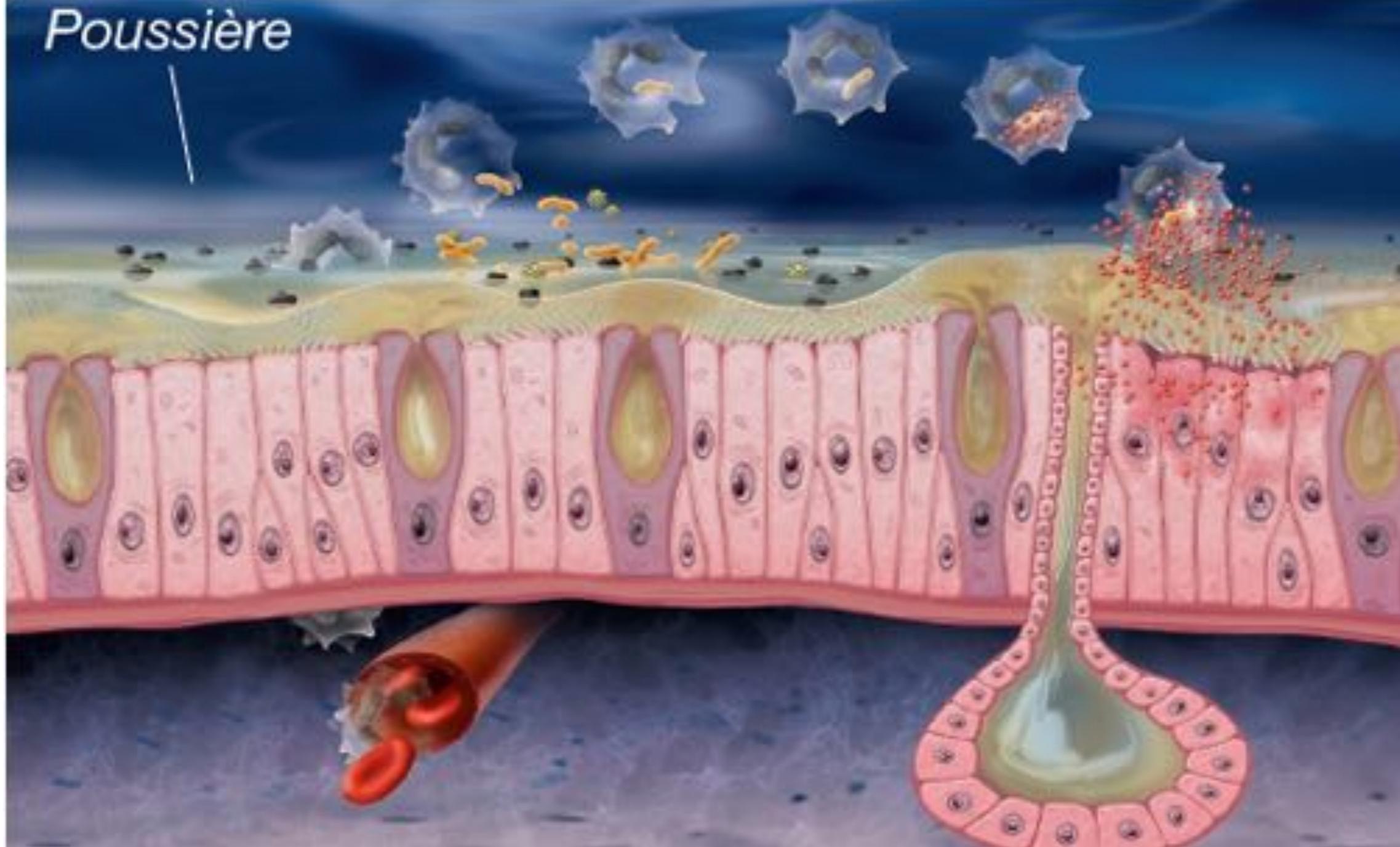


- Les Fosses nasales

Elles sont ouvertes vers l'extérieur par les narines.

C'est une cavité osseuse tapissée d'une muqueuse.





C'est une muqueuse collante qui:

- piège les impuretés
- humidifie l'air
- le réchauffe
- a un rôle anti-infectieux

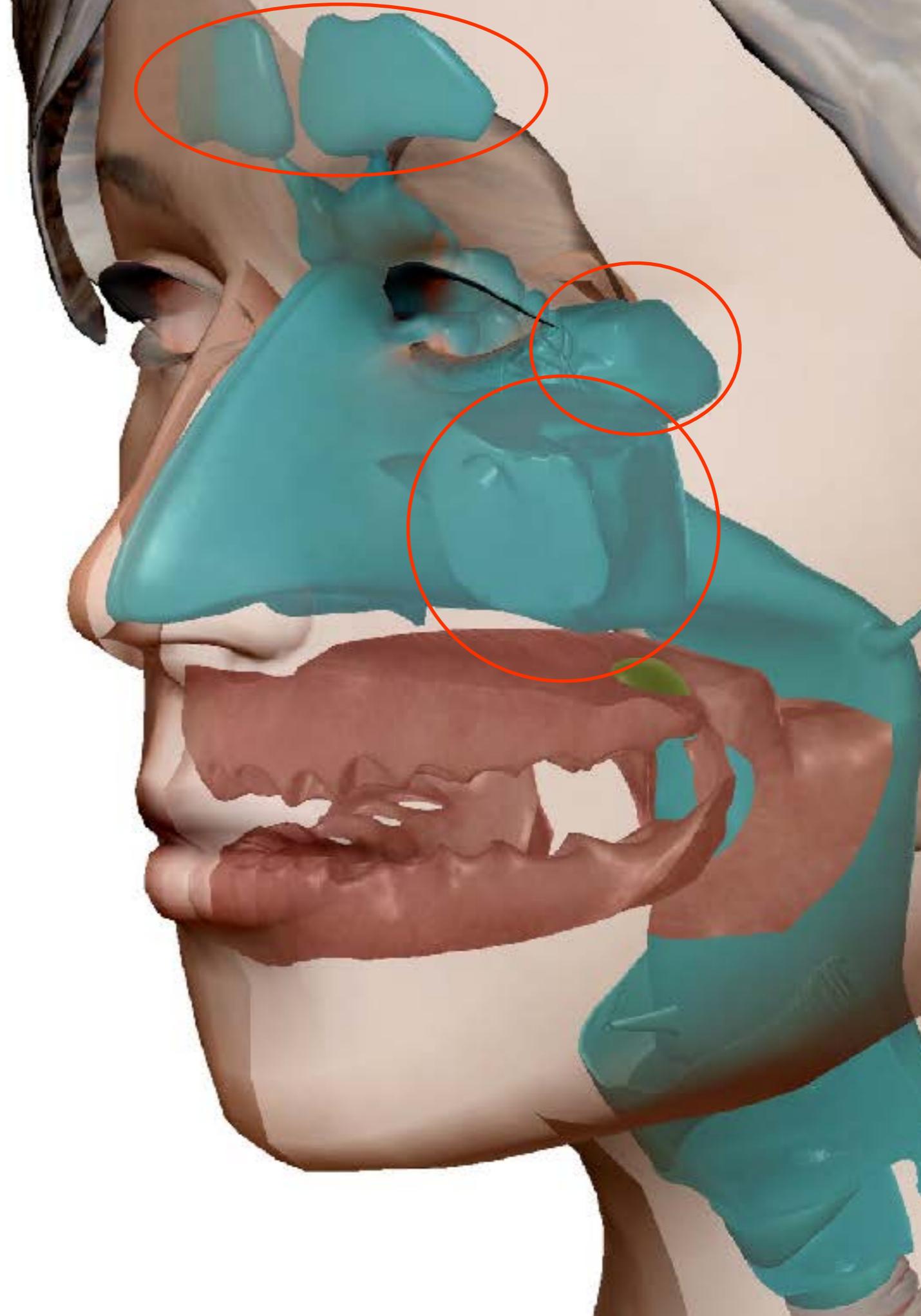
- En plongée, la respiration est uniquement buccale. L'air ne passe donc pas par les fosses nasales.
- Le réchauffement et l'humidification de l'air se font dans les poumons (trachée et bronches).
- L'air de nos blocs est froid et sec. Son réchauffement et son humidification participent au refroidissement et à la déshydratation du plongeur.

- Les sinus

Ils débouchent dans les fosses nasales par de très minces canaux.

Ces sont des cavités remplies d'air.

De ce fait ils peuvent être sujets à des barotraumatismes.

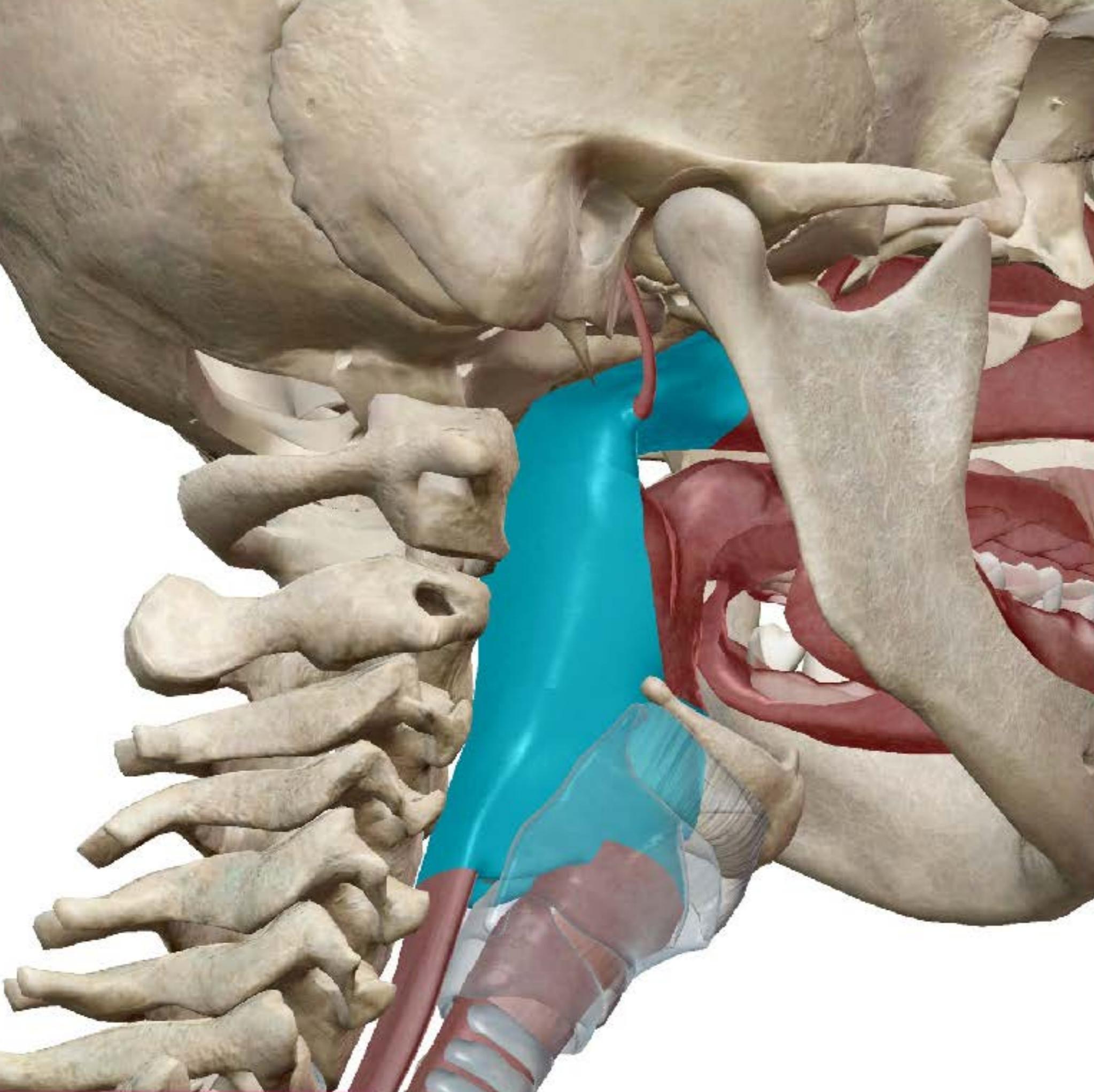


Ces barotraumatismes surviennent principalement en cas d'infections de la muqueuse nasale et/ou de la muqueuse des sinus.

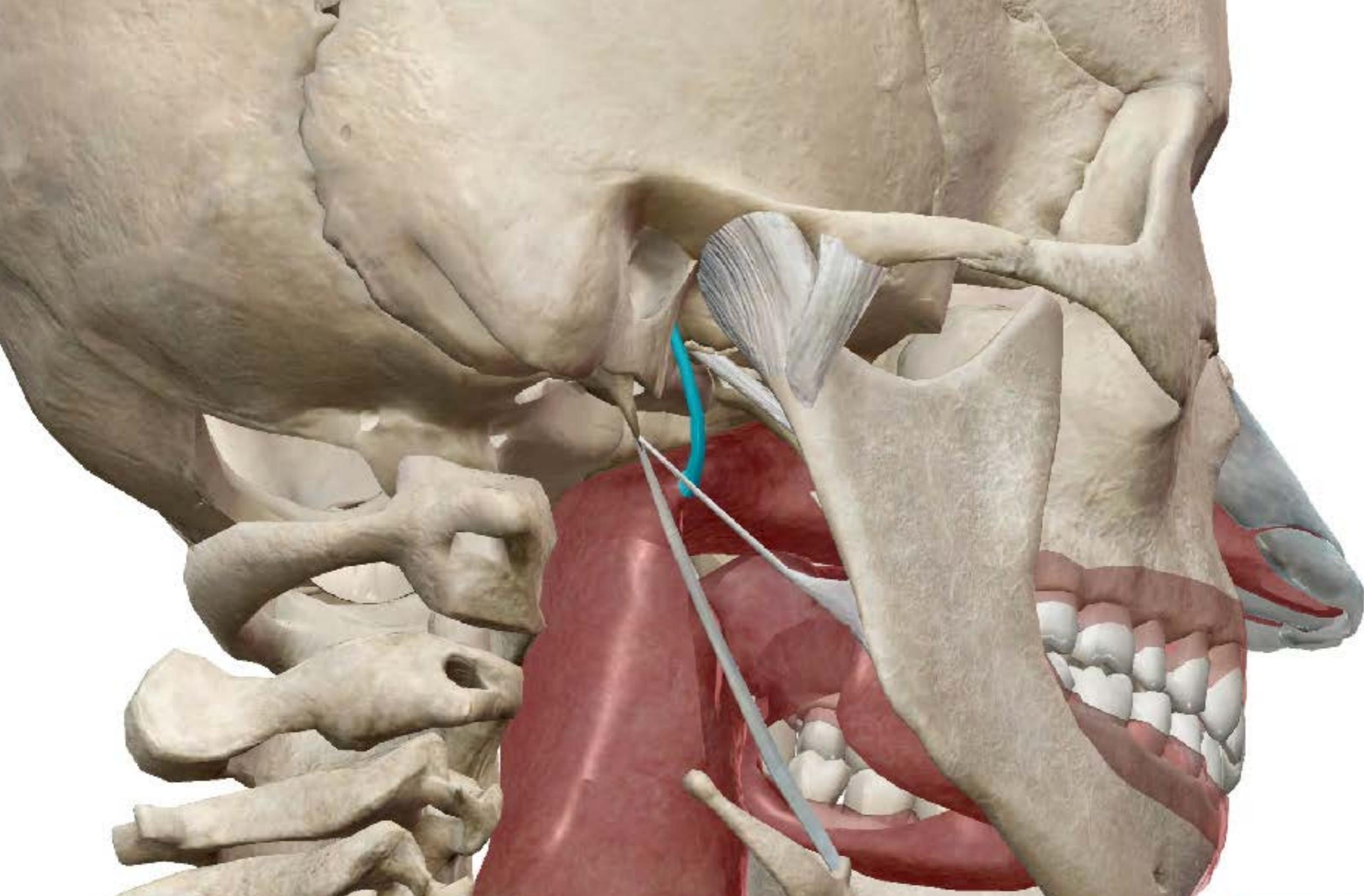
Lors d'une infection, la muqueuse nasale et/ou des sinus gonfle et sécrète davantage de mucus.

Cela peut conduire à l'obstruction des fins canaux reliant les sinus aux fosses nasales. L'équilibrage des pressions devient alors impossible.

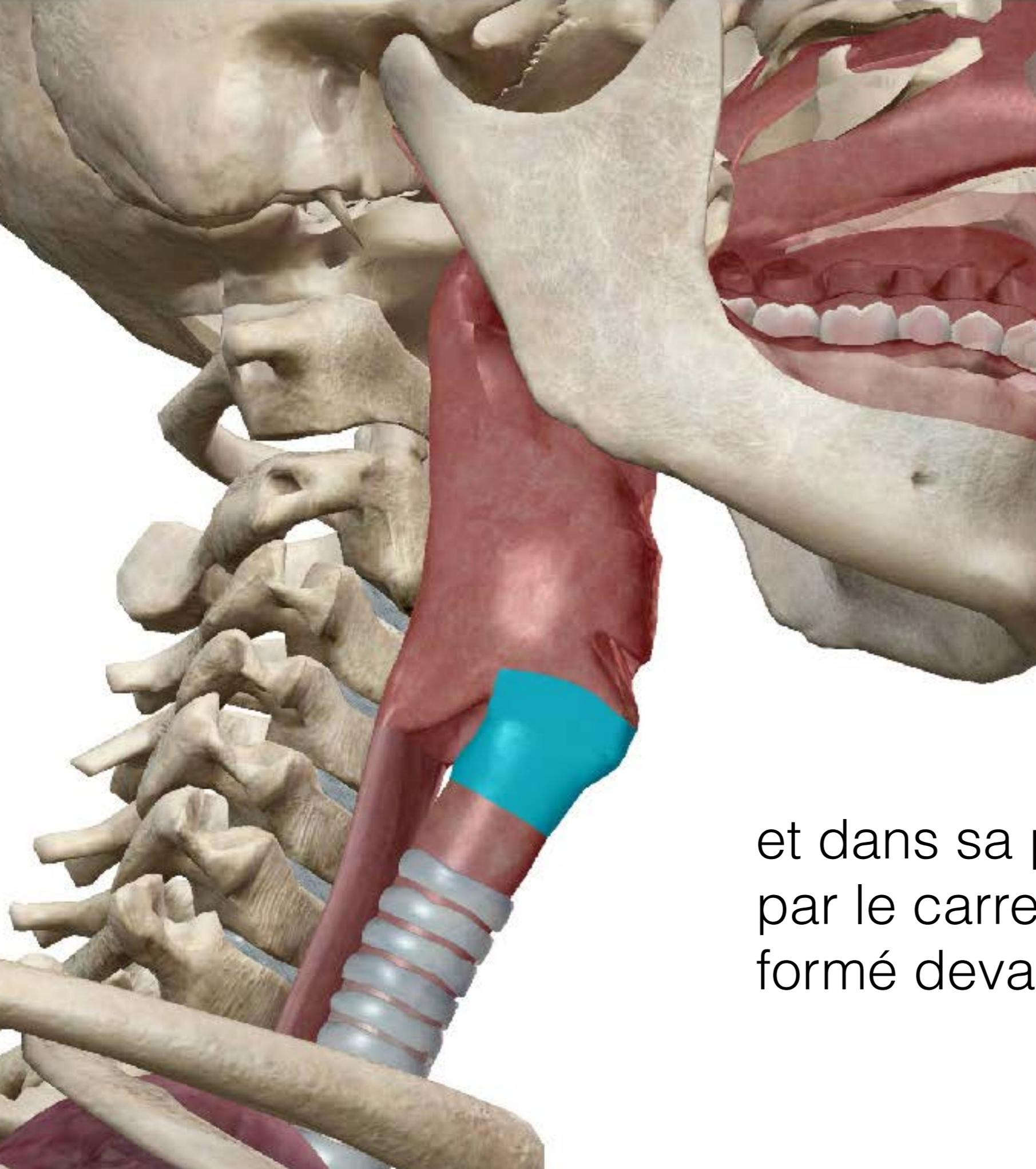
Le même phénomène peut se produire au niveau de la trompe d'Eustache rendant impossibles les manoeuvres d'équilibrage.



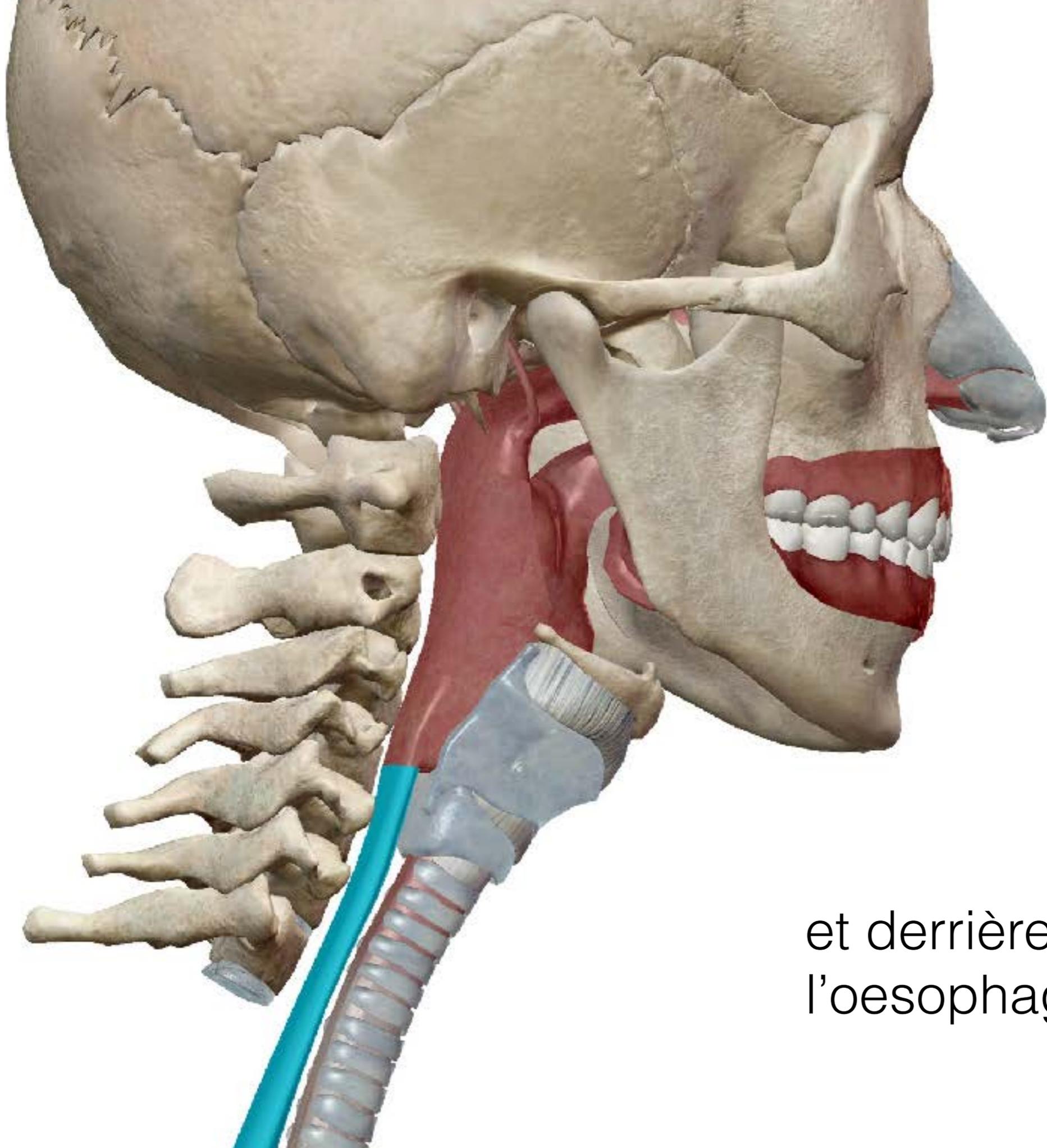
- Le pharynx



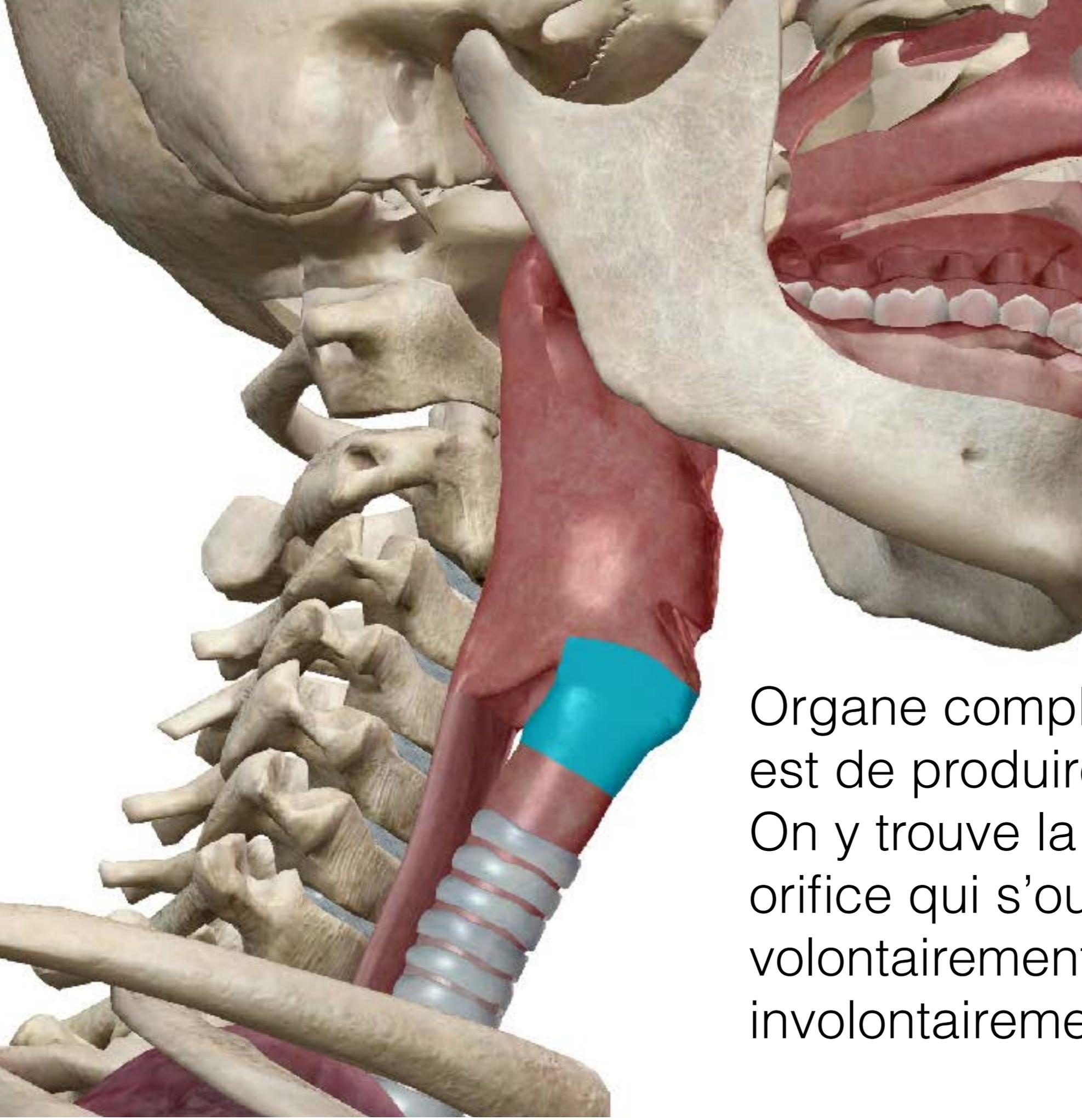
Zone délimitée dans sa partie supérieure  
par la trompe d'Eustache



et dans sa partie inférieure  
par le carrefour aéro digestif  
formé devant du larynx



et derrière de  
l'oesophage.

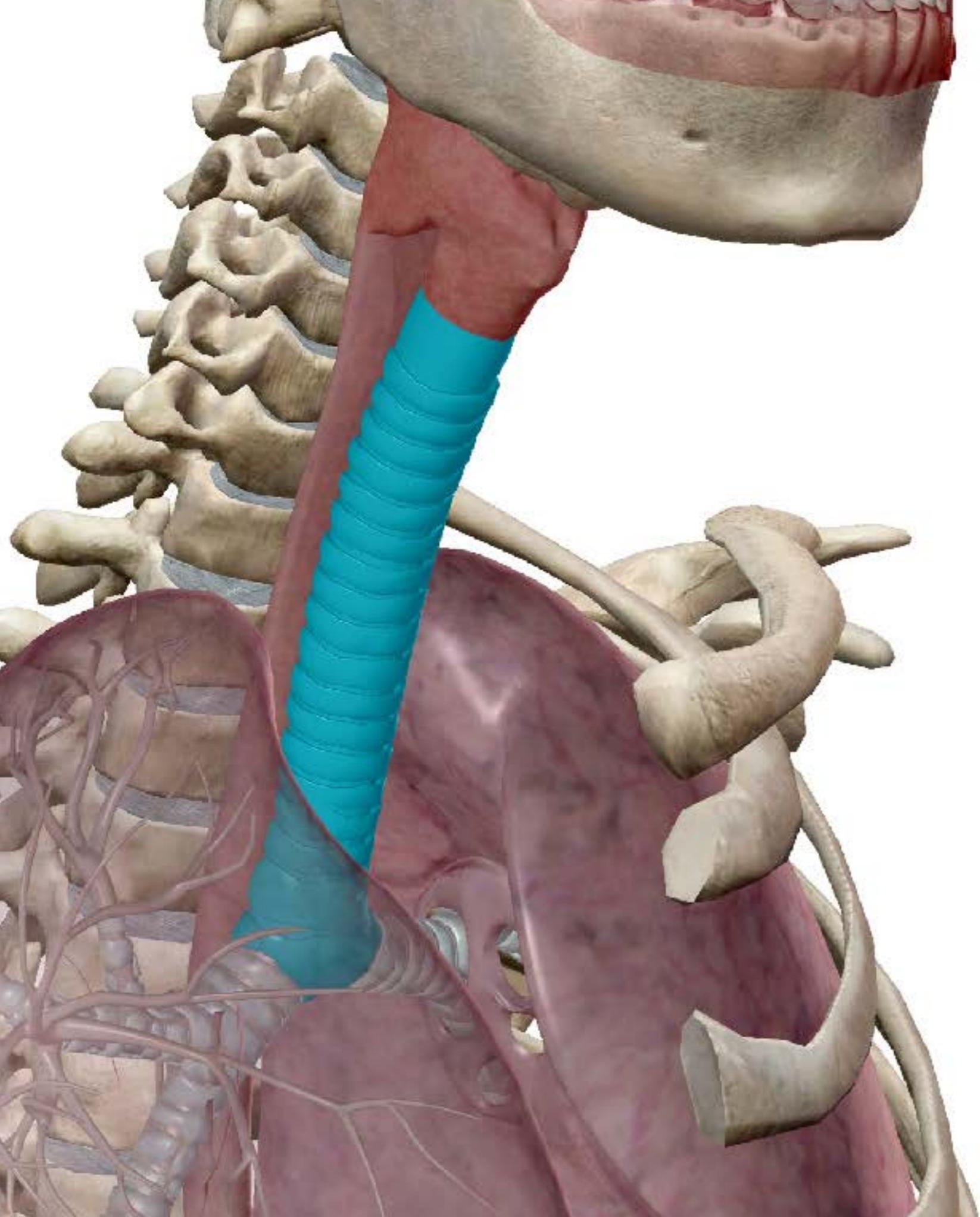


- Le larynx

Organe complexe dont le rôle est de produire des sons. On y trouve la glotte, un orifice qui s'ouvre et se ferme volontairement et involontairement.

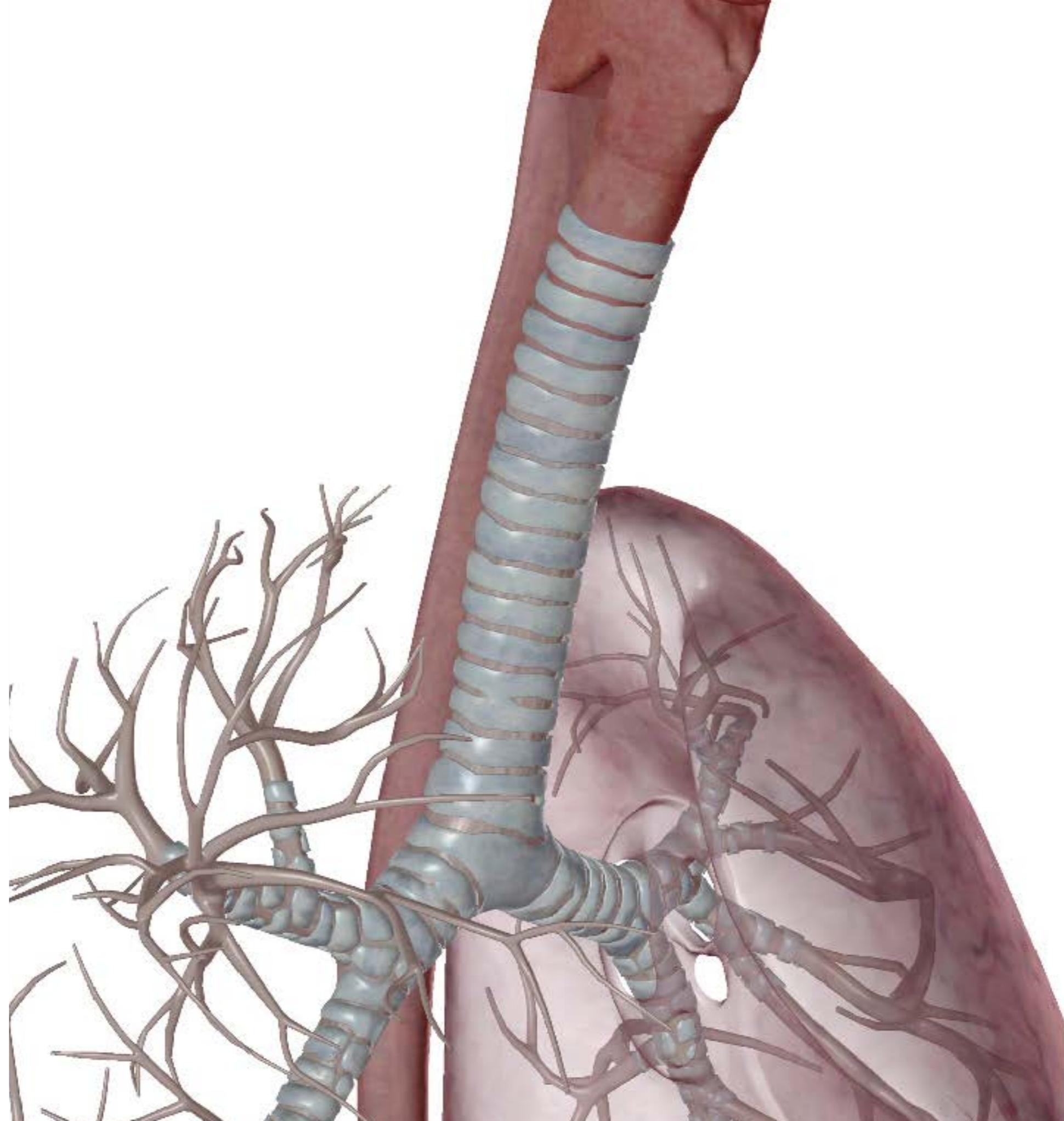


- L'Epiglote  
Clapet cartilagineux dont le rôle est d'éviter le passage des aliments dans la trachée lors de la déglutition.



- La Trachée

Conduit aérien formé d'une armature cartilagineuse. Elle se termine par les 2 bronches souches. Elle est recouverte d'une muqueuse tapissée de cils.



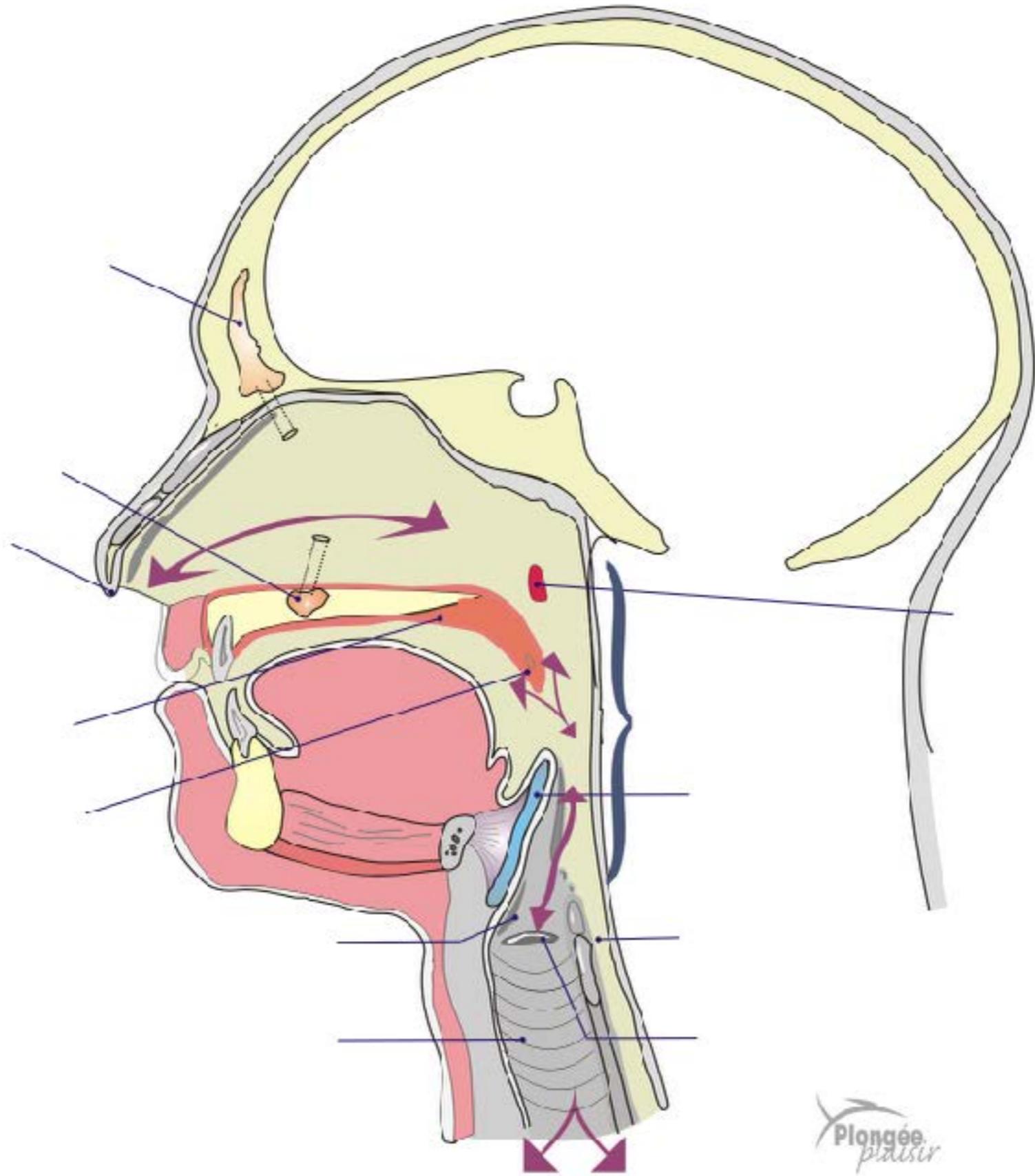
Lors d'une inspiration, la trachée et l'oesophage sont ouverts.

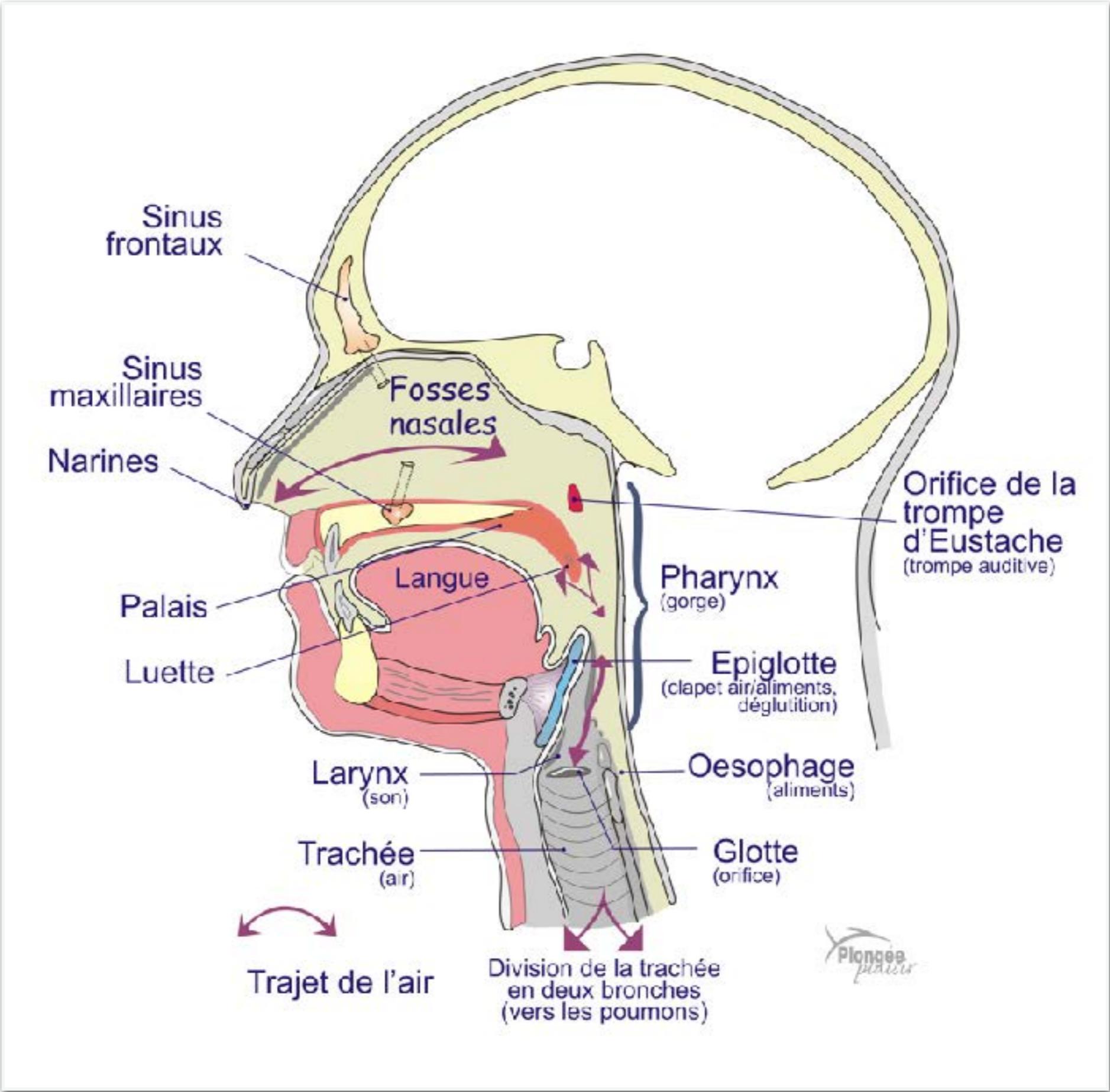
Pourquoi l'air ne passe-t-il pas par la trachée ?

Lors de l'inspiration une dépression se crée dans les poumons (augmentation du volume pulmonaire) et aspire l'air.

Dans l'oesophage, il règne la même pression qu'à l'extérieur. L'air n'y pénètre pas.

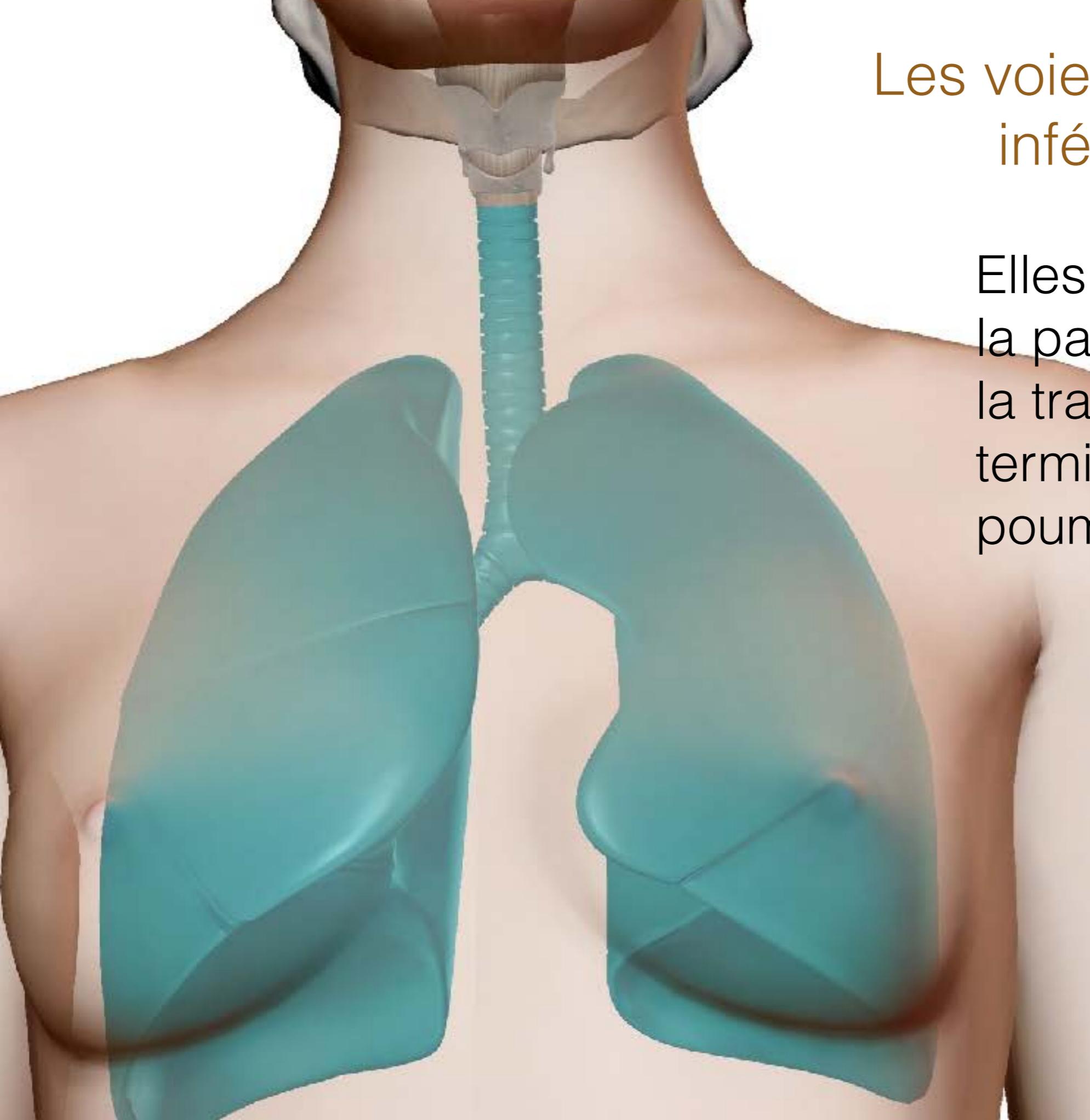
A vous de jouer



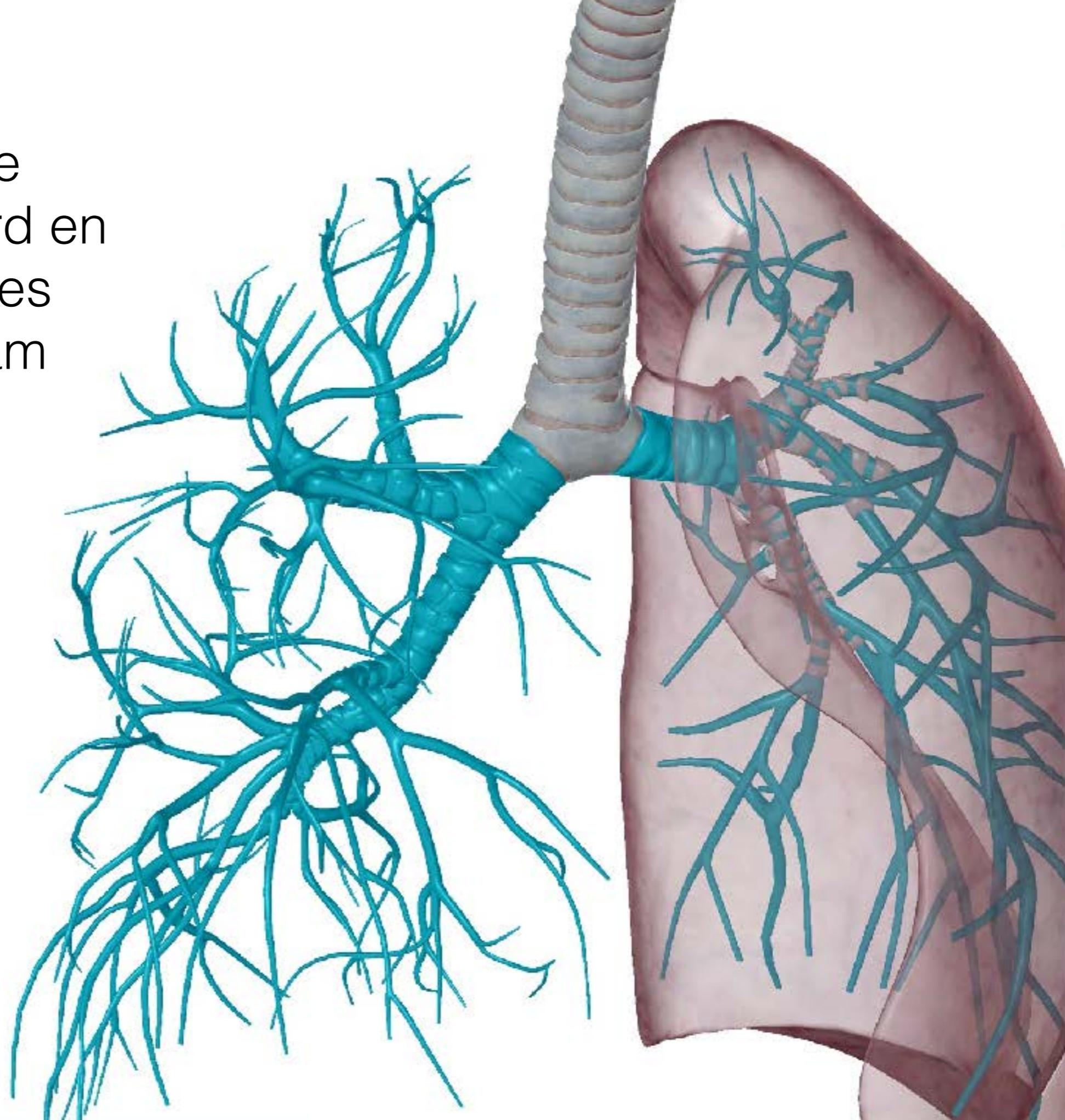


## Les voies aériennes inférieures

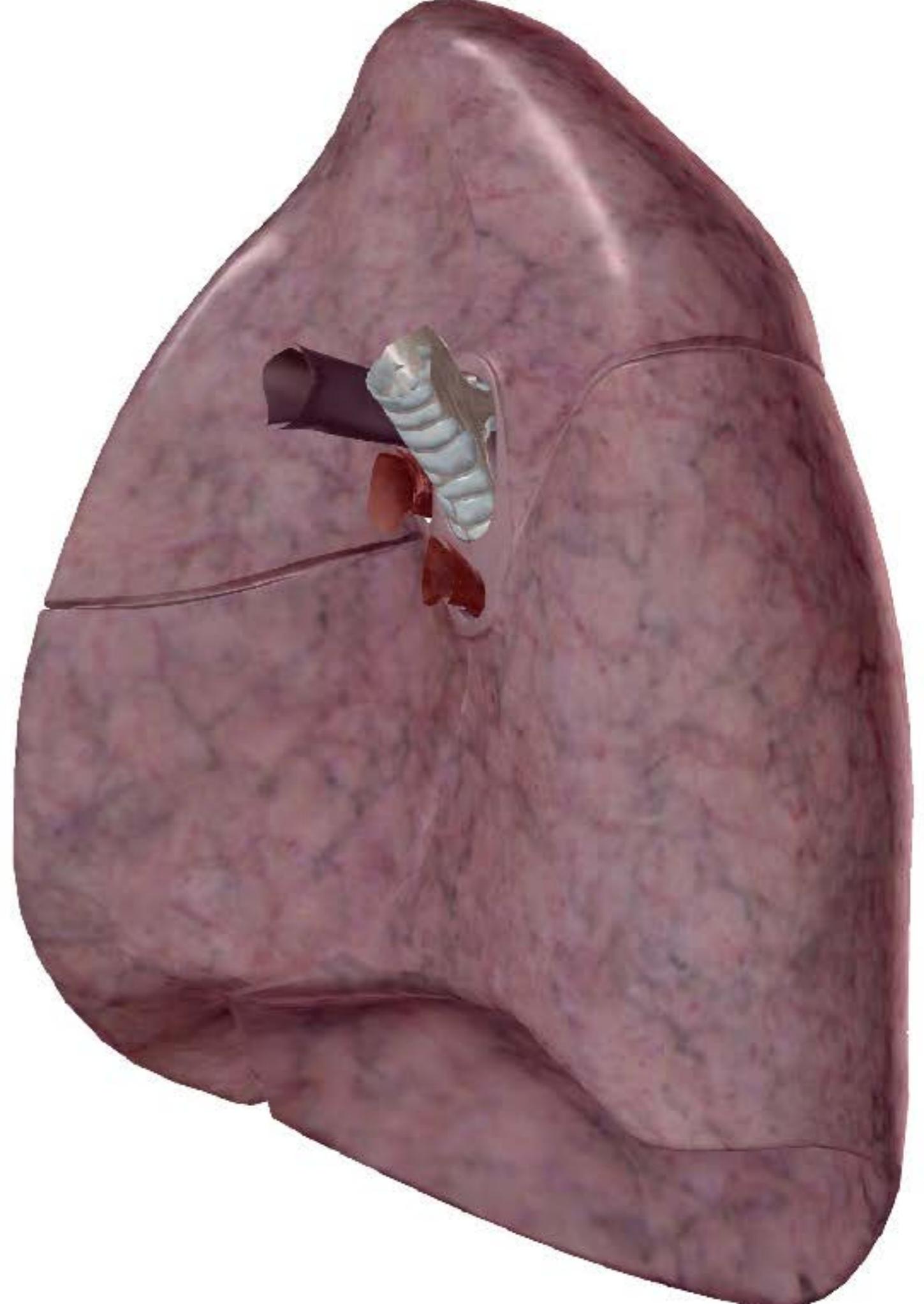
Elles débutent dans la partie inférieure de la trachée et se terminent par les poumons.



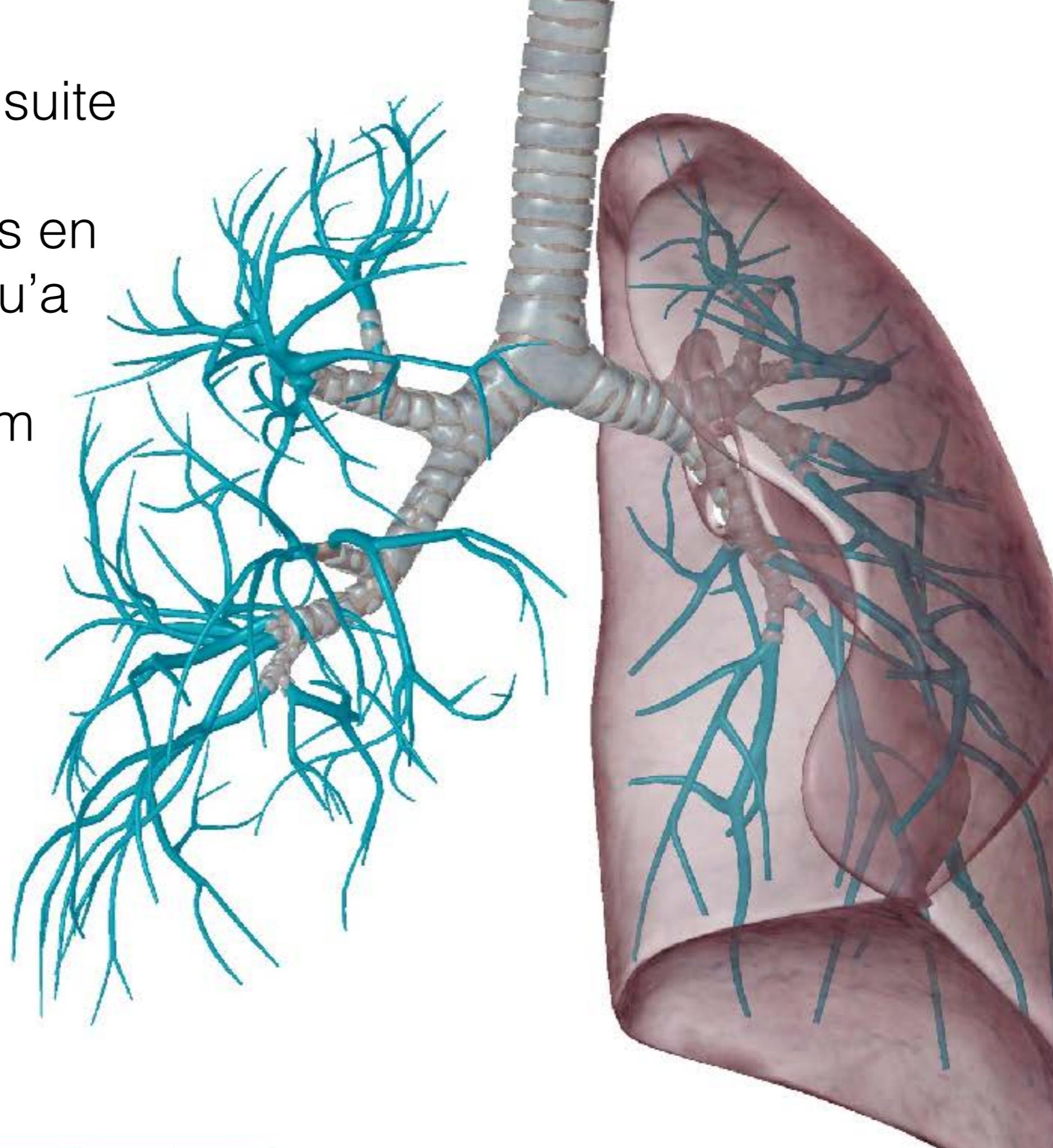
La trachée se  
divise d'abord en  
deux bronches  
souches (diam  
1,2cm)

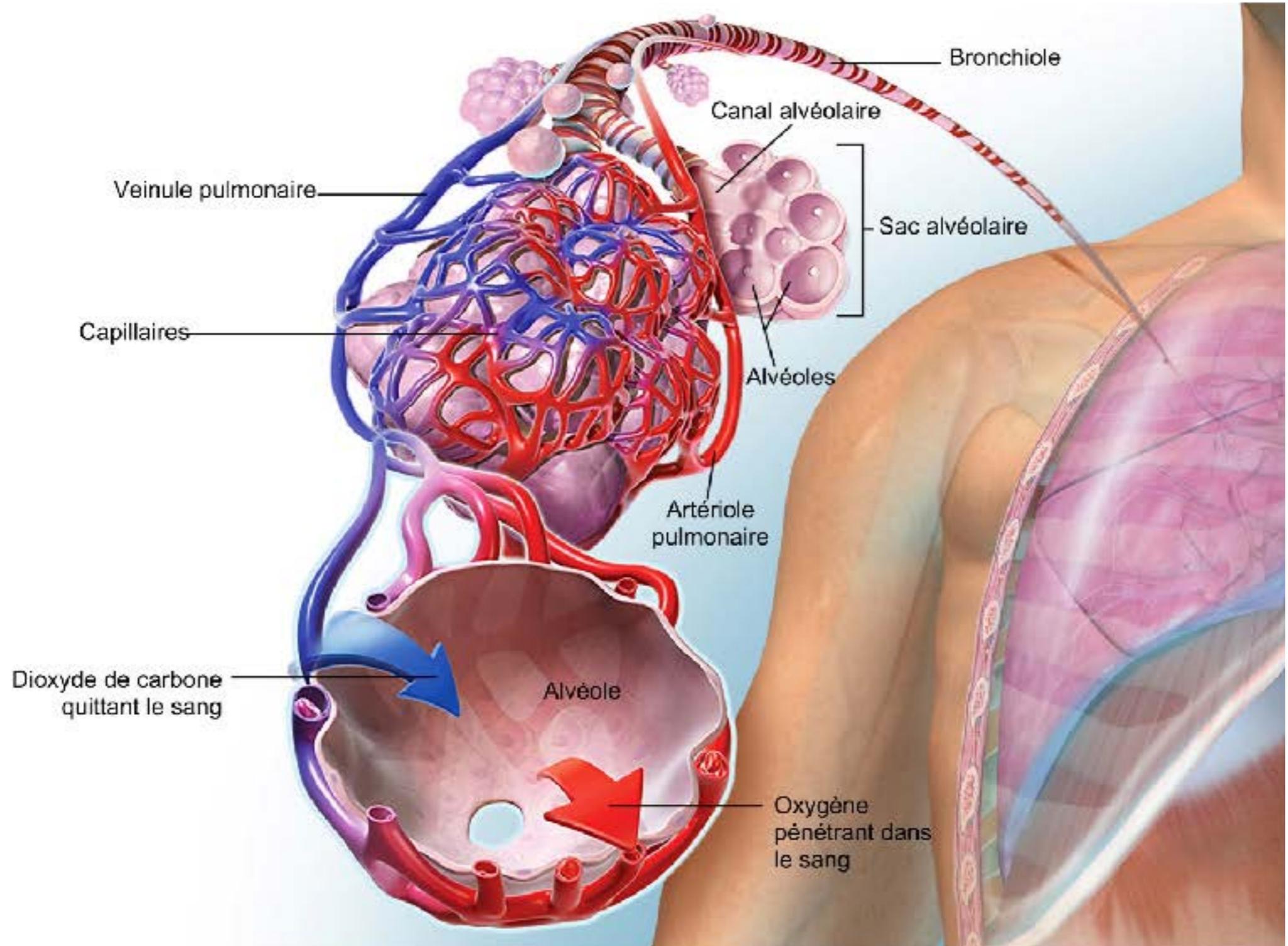


qui pénètrent dans  
les poumons par  
le hile.



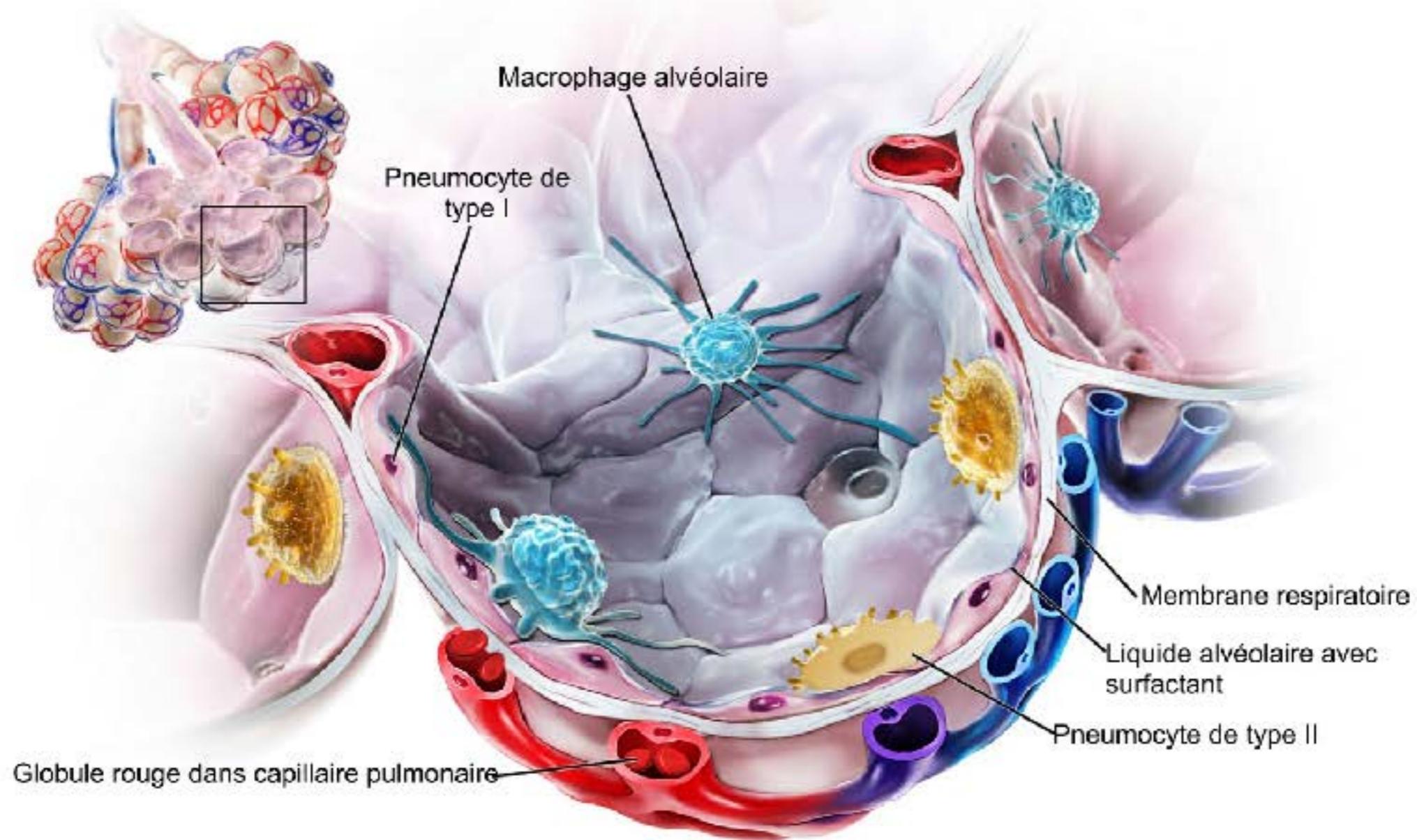
Elles donnent ensuite naissance à des bronches de plus en plus petites jusqu'à devenir des bronchioles (diam 0,5mm)





et aboutir dans les alvéoles.

- Les alvéoles sont très nombreuses (700 000 000).
- Elles sont le lieux des échanges gazeux.
- Elles sont regroupées en « sacs alvéolaires » qui contiennent une dizaine d'alvéoles et ressemblent à des grappes de raisin.
- Les alvéoles représentent une surface d'échanges qui peut aller jusqu'à 200m<sup>2</sup> à l'effort (surface d'un terrain de tennis)
- Une remontée de 90cm à 1m peut suffire à endommager les alvéoles ou à faire passer de l'air dans la circulation.

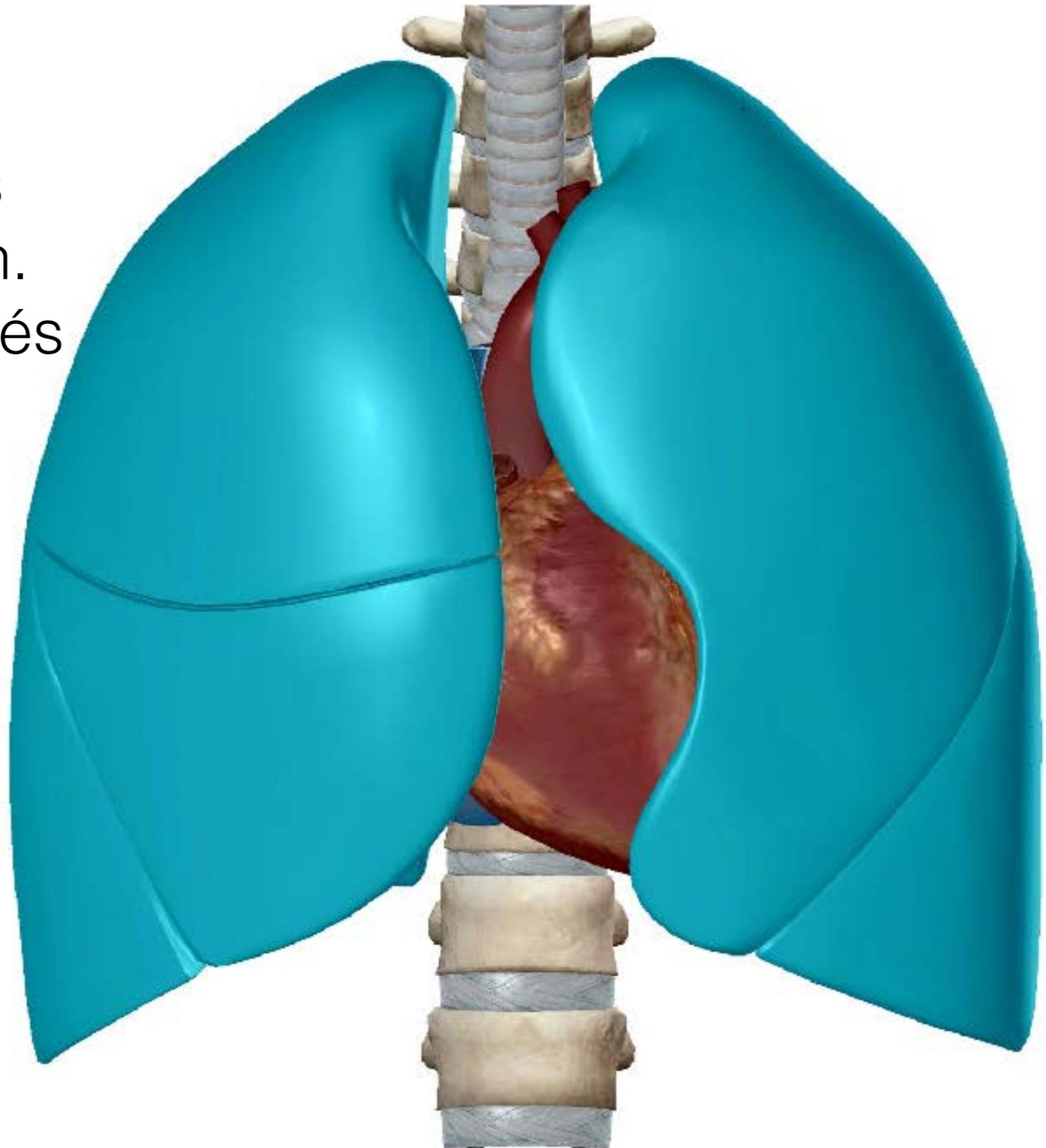


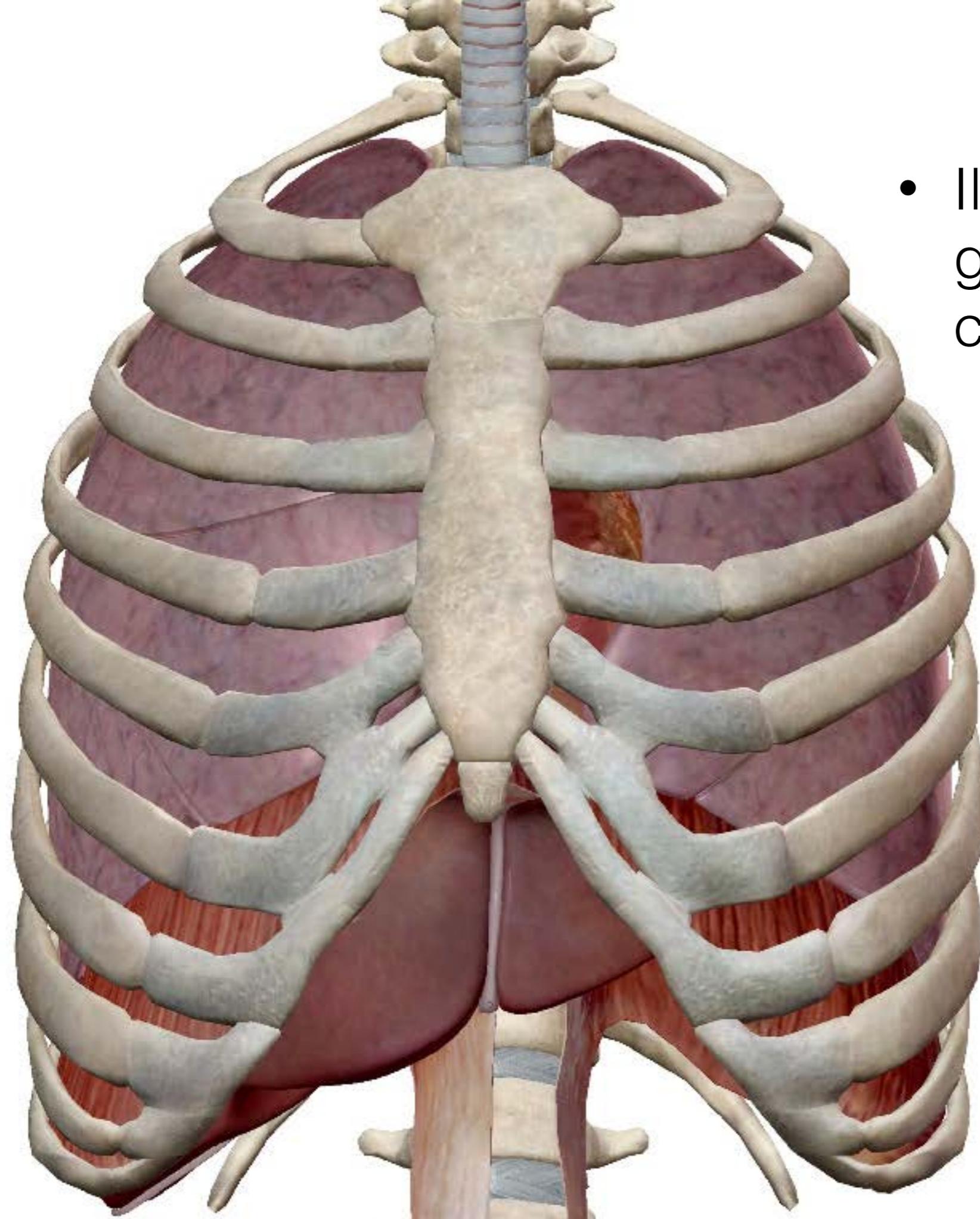
Les échanges gazeux se font à travers la membrane alvéolo-capillaire.

Le surfactant qui tapisse l'alvéole constitue un film tensioactif. Il empêche le collapsus de l'alvéole.

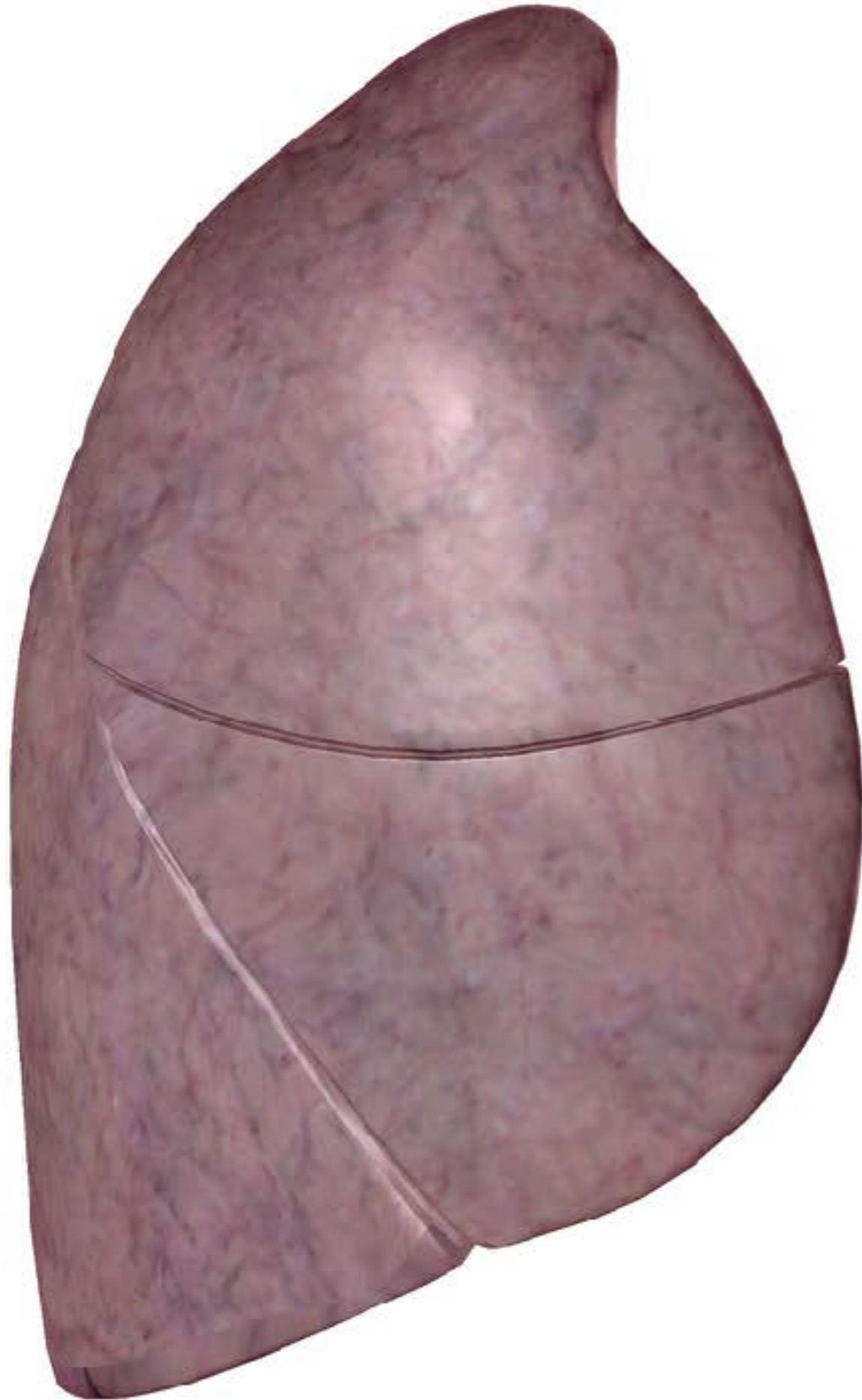
En cas de noyade, si l'eau pénètre dans les alvéoles, il peut être lésé.

- Les Poumons
  - Ils sont séparés par le médiastin.
  - Ils sont constitués d'un tissu conjonctif peu dense qui maintient les bronches, les alvéoles et les vaisseaux sanguins.





- Ils occupent la plus grande partie de la cage thoracique.

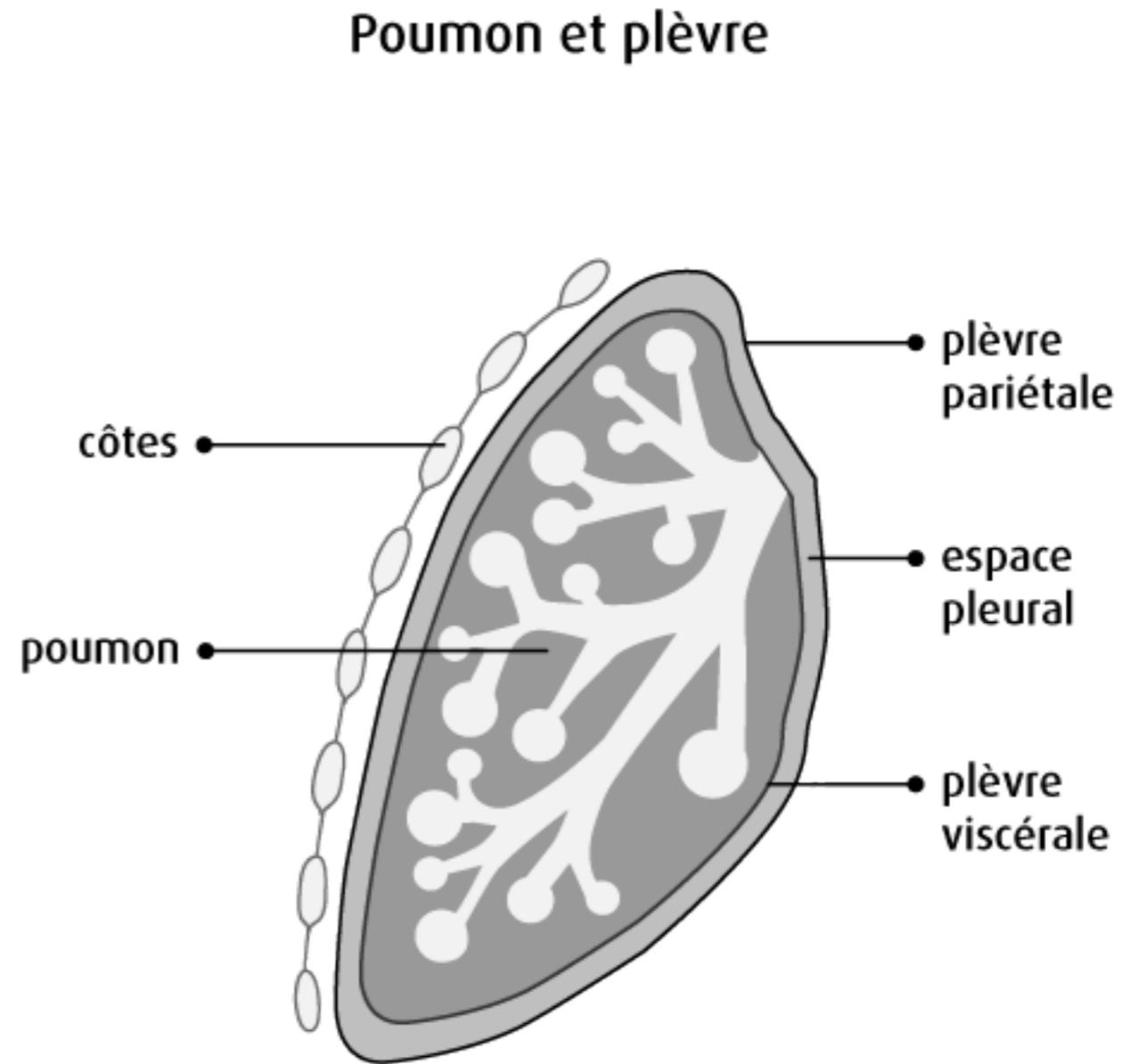


- Le poumon droit est constitué de 3 lobes.

- Le poumon gauche est constitué de 2 lobes (le coeur est situé plus à gauche dans la cage thoracique).

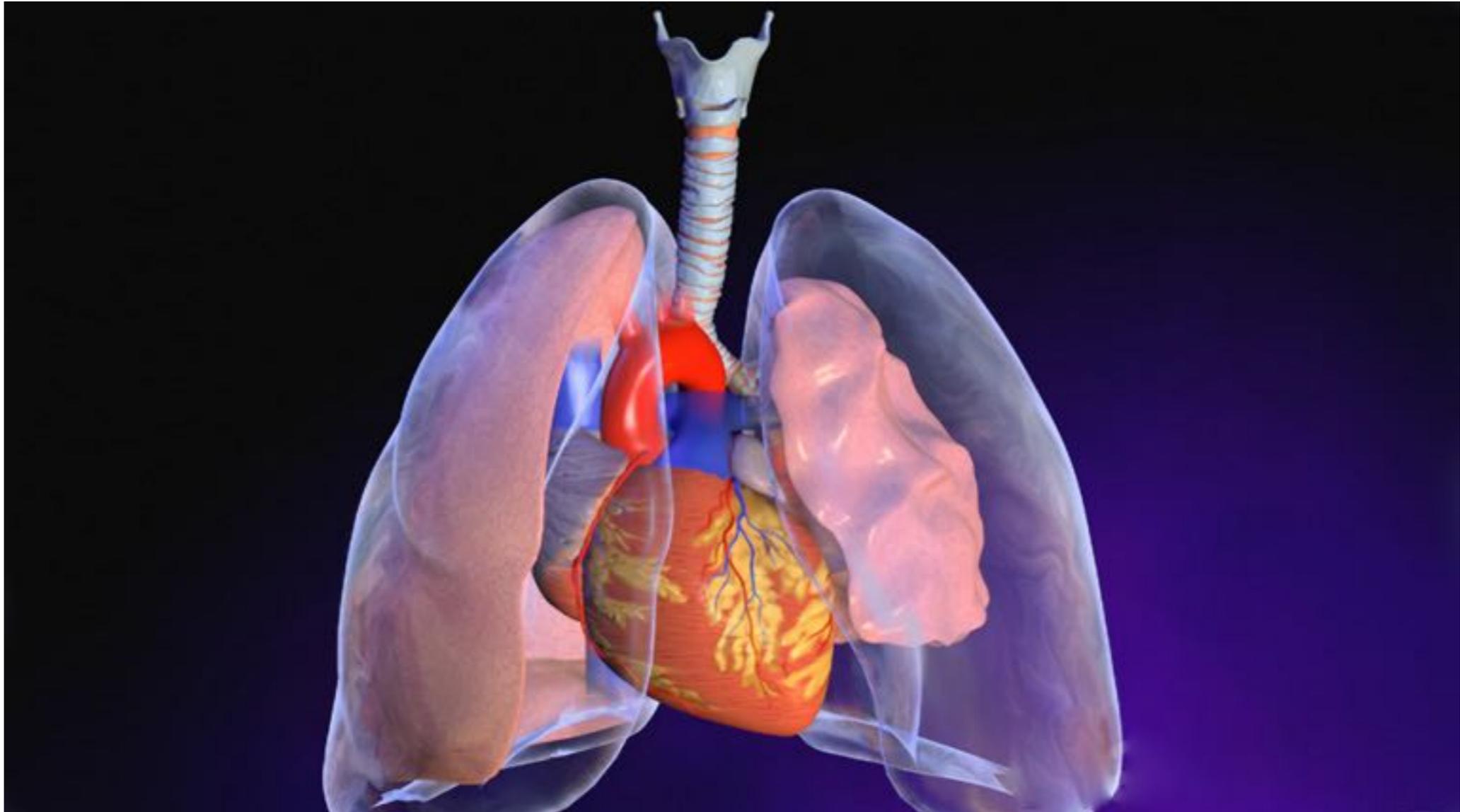


- Les poumons sont recouverts d'une sorte d'enveloppe, la plèvre, constituée de deux feuillets:
  - un feuillet interne ou viscéral accolé aux poumons.
  - un feuillet externe ou pariétal accolé à la cage thoracique et au diaphragme.



- L'espace entre les deux feuillets contient un liquide lubrifiant (liquide pleural). Il permet aux deux feuillets de glisser l'un contre l'autre.
- Il règne entre les deux feuillets une légère dépression (-30cm d'eau). Elle assure l'adhésion des feuillets pleuraux entre eux.
- Grâce à cela, l'expansion de la cage thoracique entraîne l'expansion des poumons.

- Si de l'air pénètre accidentellement entre les feuillets, la cohésion est perdue (pneumothorax).

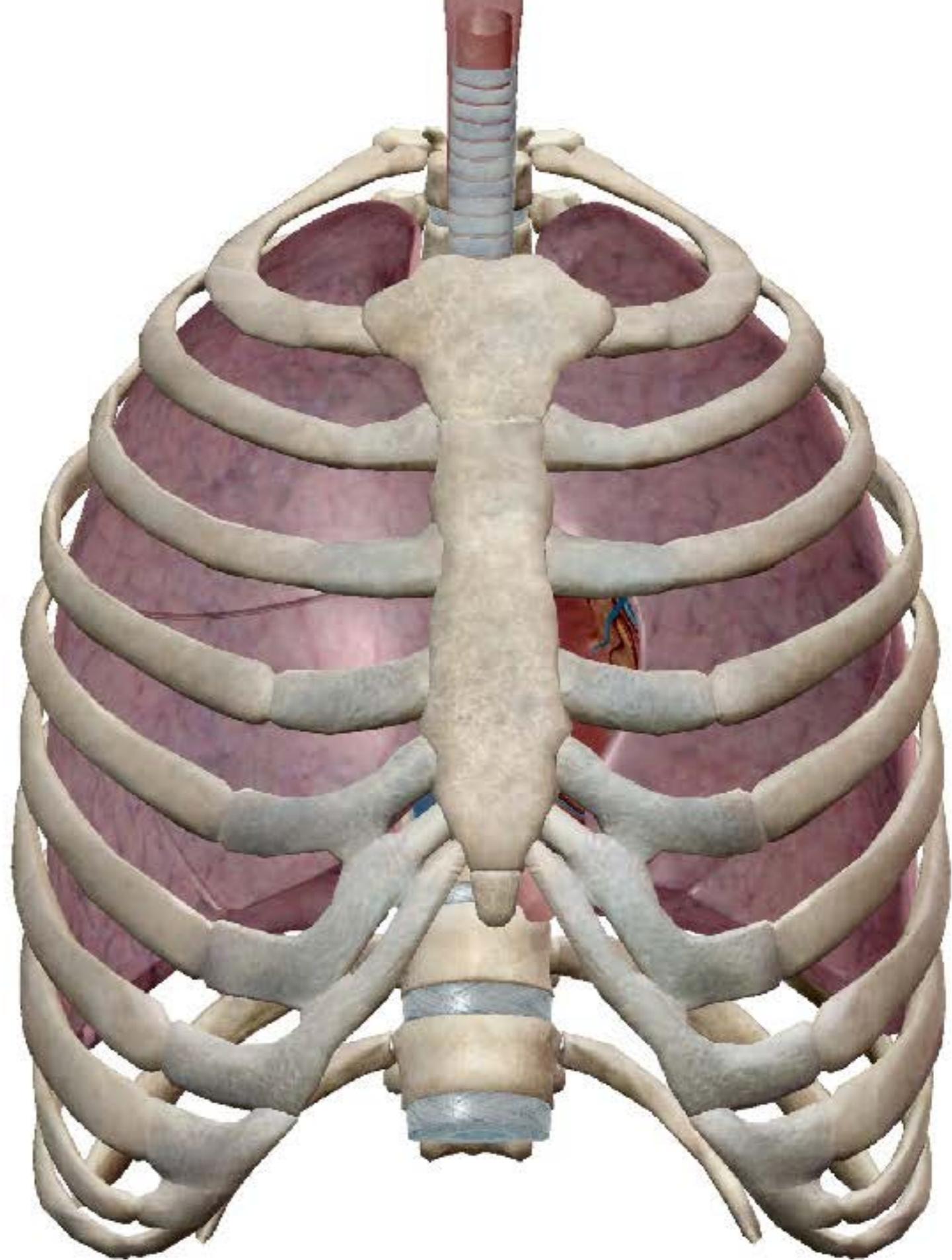


En plongée, cela peut se produire en cas de surpression pulmonaire.

- Les parois thoraciques

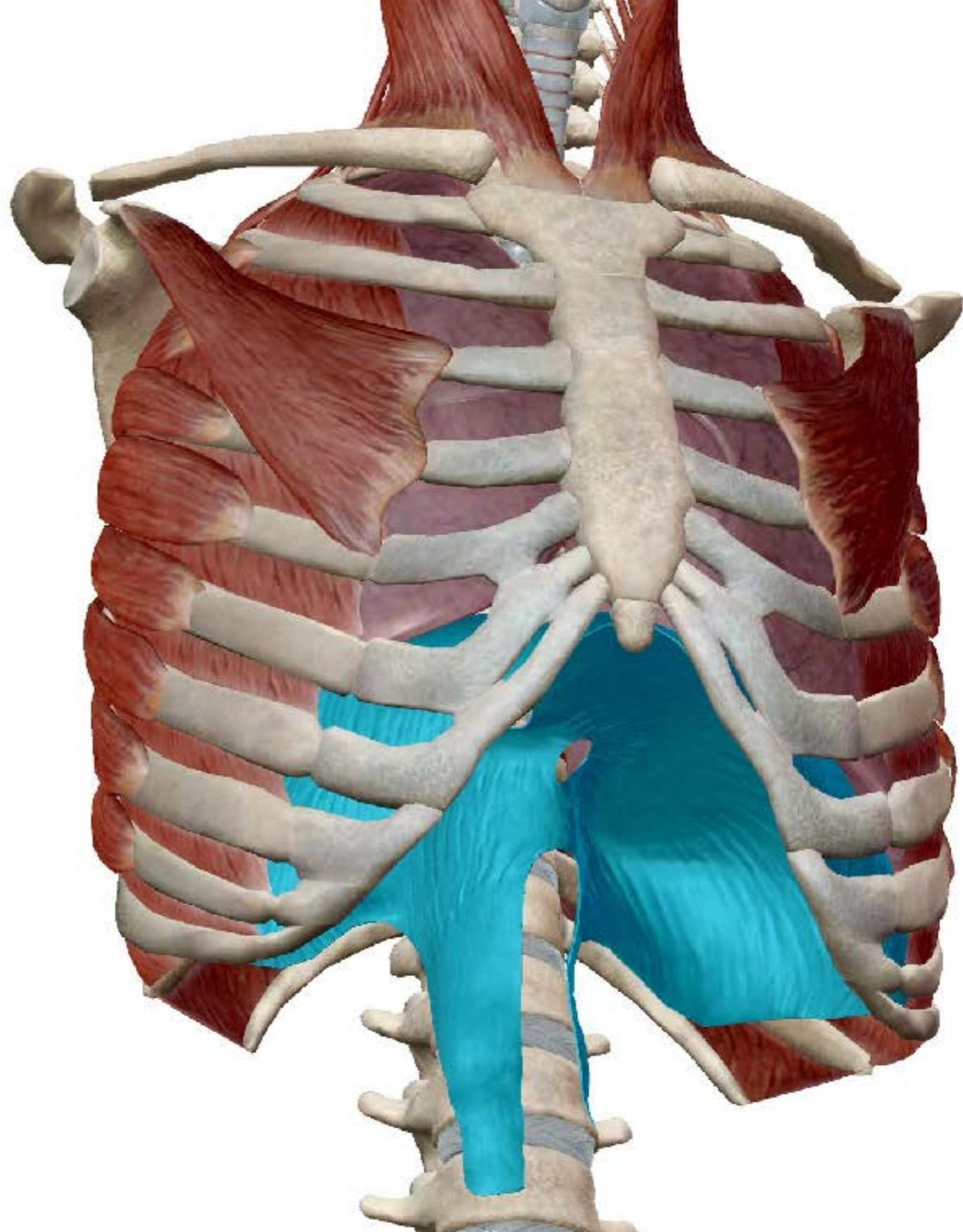
Latérales:

- 12 paires de côtes réunies par les muscles intercostaux.
- Sternum en avant
- Colonne vertébrale en arrière

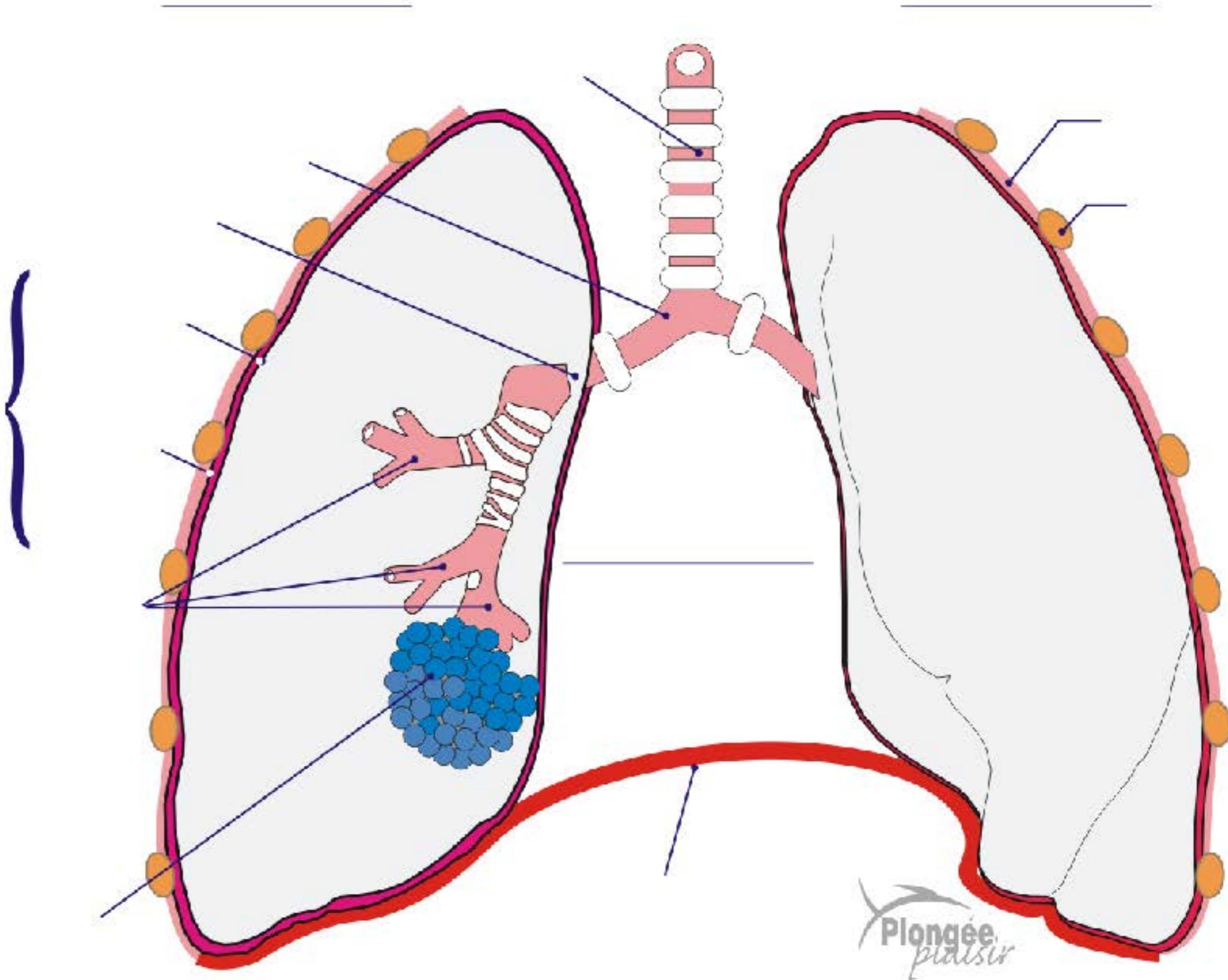


Inférieure

- Le diaphragme

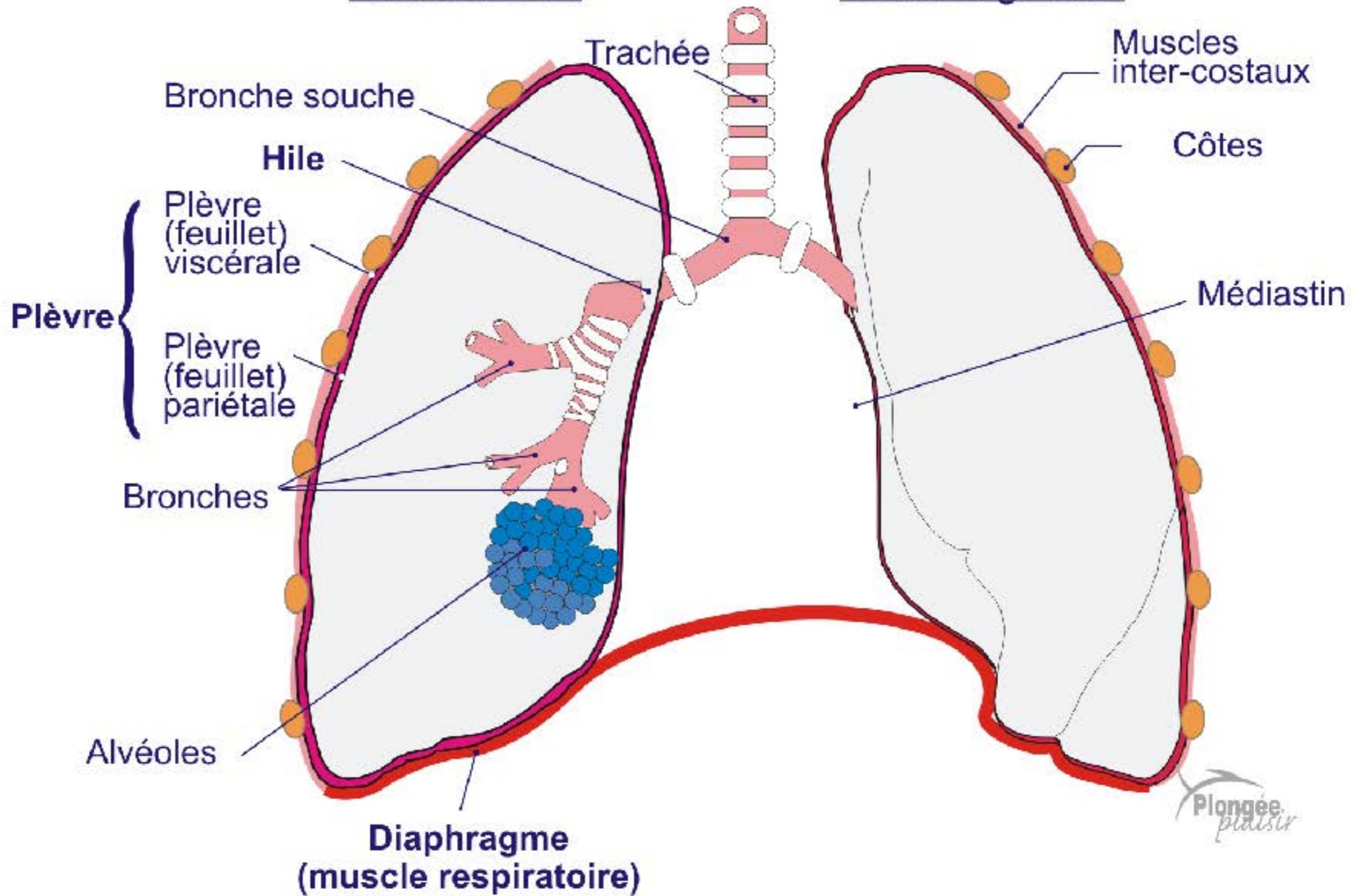


A vous de jouer



Poumon droit

Poumon gauche

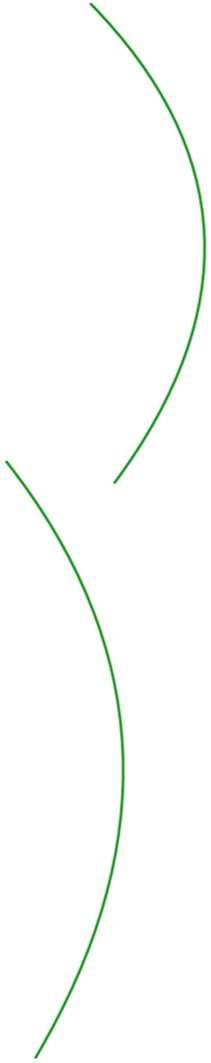


# Résumons

Trajet de l'air (au repos et en surface):

- Fosses nasales
- Pharynx
- Larynx
- Glotte
- Trachée

- Bronches souches
- Bronches
- Bronchioles
- Alvéoles



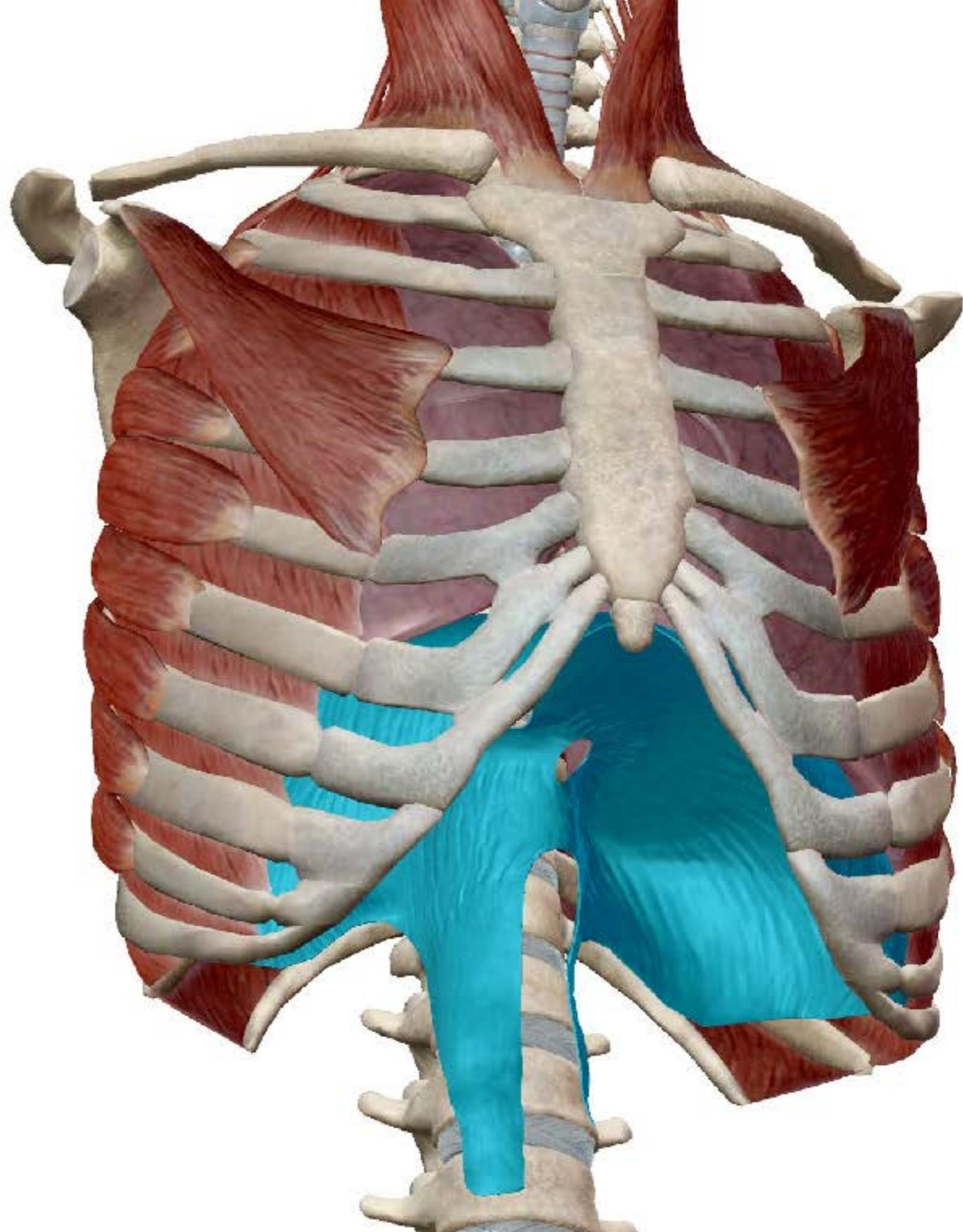
Voies aériennes  
supérieures

Voies aériennes  
inférieures

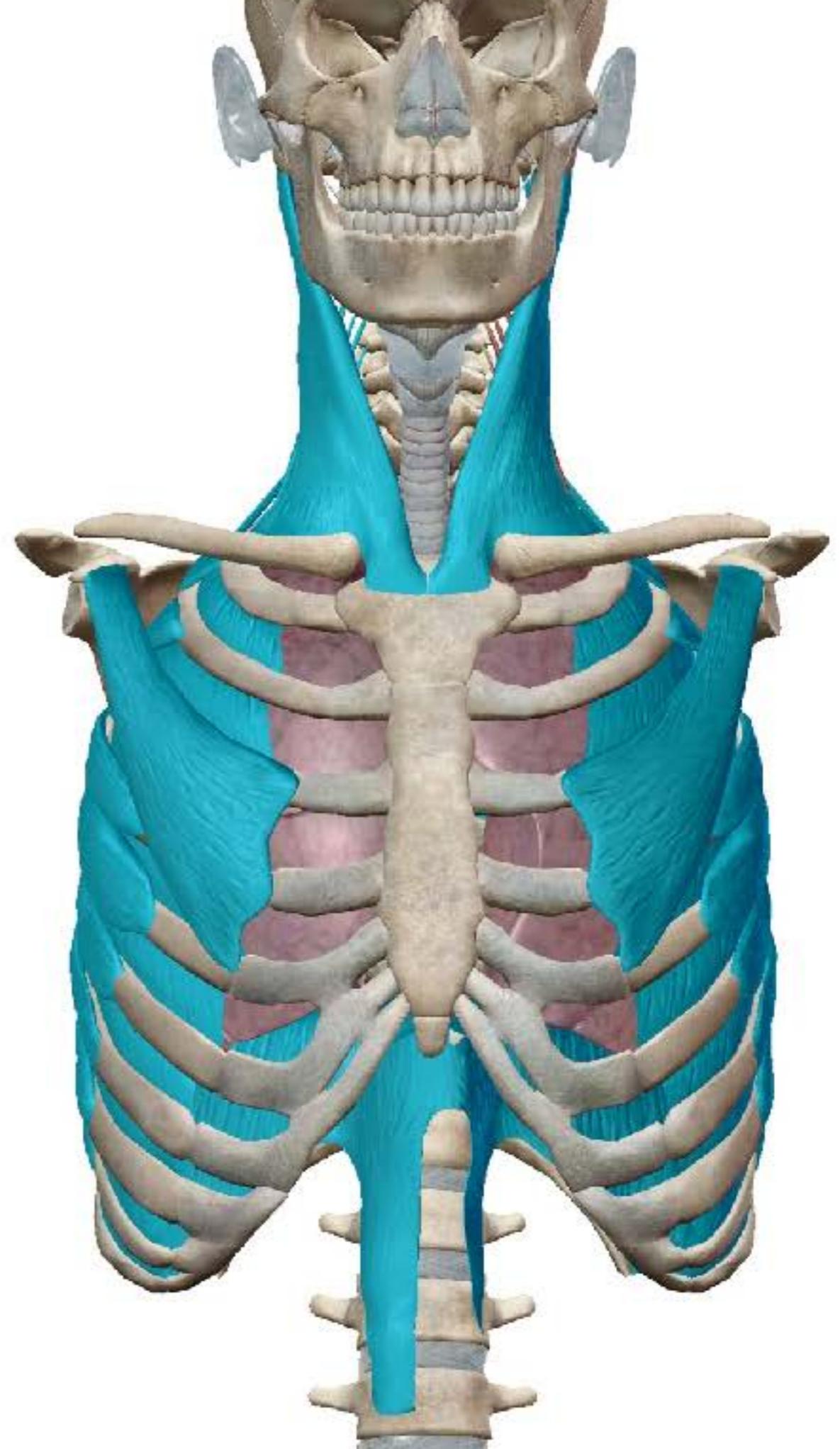
## II) La Mécanique Ventilatoire

# L'inspiration

- C'est un phénomène actif
- Le muscle inspirateur principal est le diaphragme



- Le diaphragme est assisté de muscles dits « accessoires »



# Mécanisme de l'inspiration

Abaissement du diaphragme et  
élévation des côtes



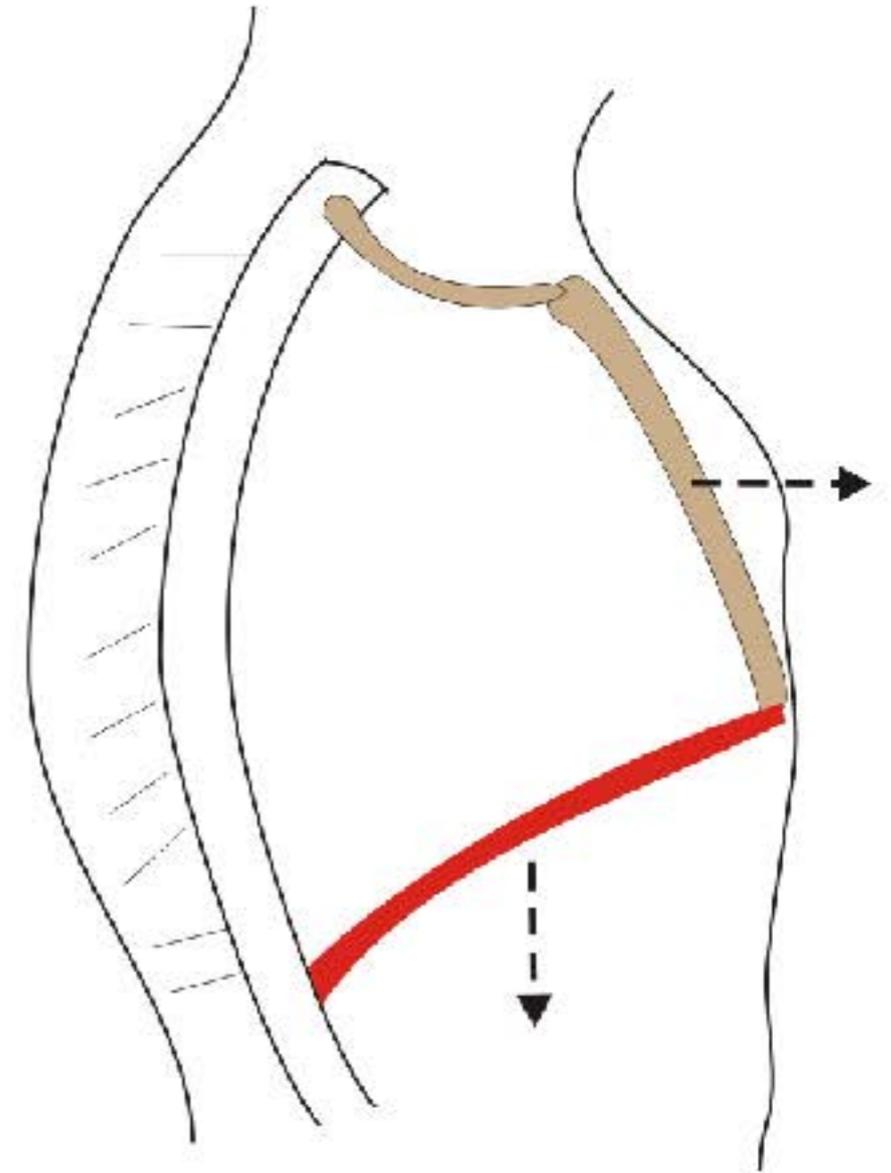
Augmentation du volume de la  
cage thoracique



Dépression



Entrée d'air dans les poumons



Les résistances à l'écoulement sont très faibles.  
Des différences de pression minimales suffisent à mobiliser de grandes quantités d'air.

# L'expiration

- C'est une phase passive.

Les muscles des côtes et le diaphragme se relâchent.



Diminution du volume de la cage thoracique



Augmentation de la pression



Expulsion de l'air

- Elle peut devenir active lors d'un exercice ou en plongée pour vaincre les résistances des détenteurs.
- Muscle de l'expiration (forcée)



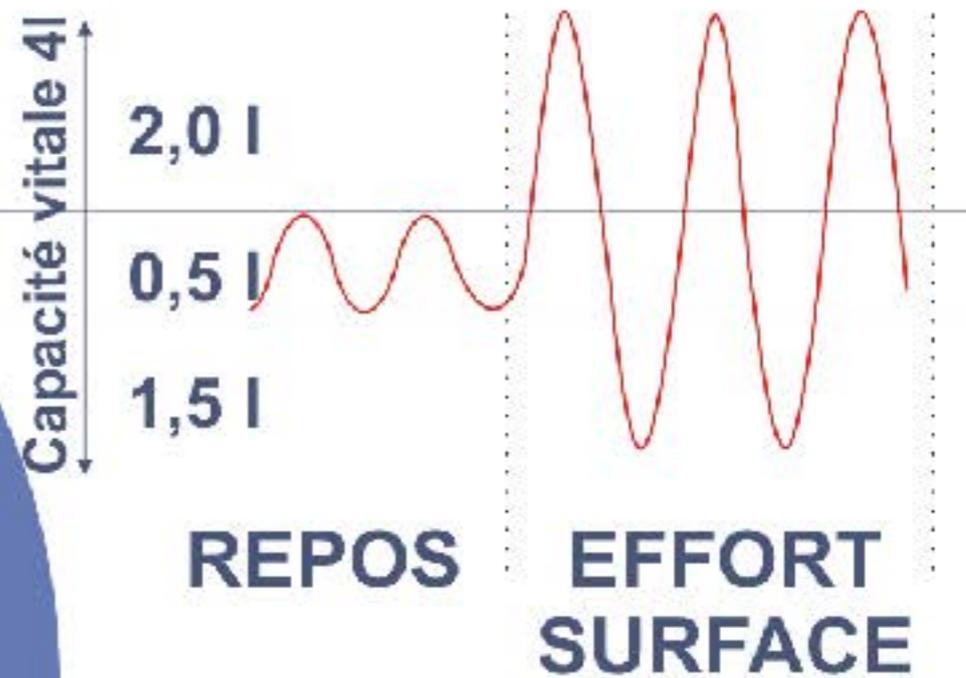
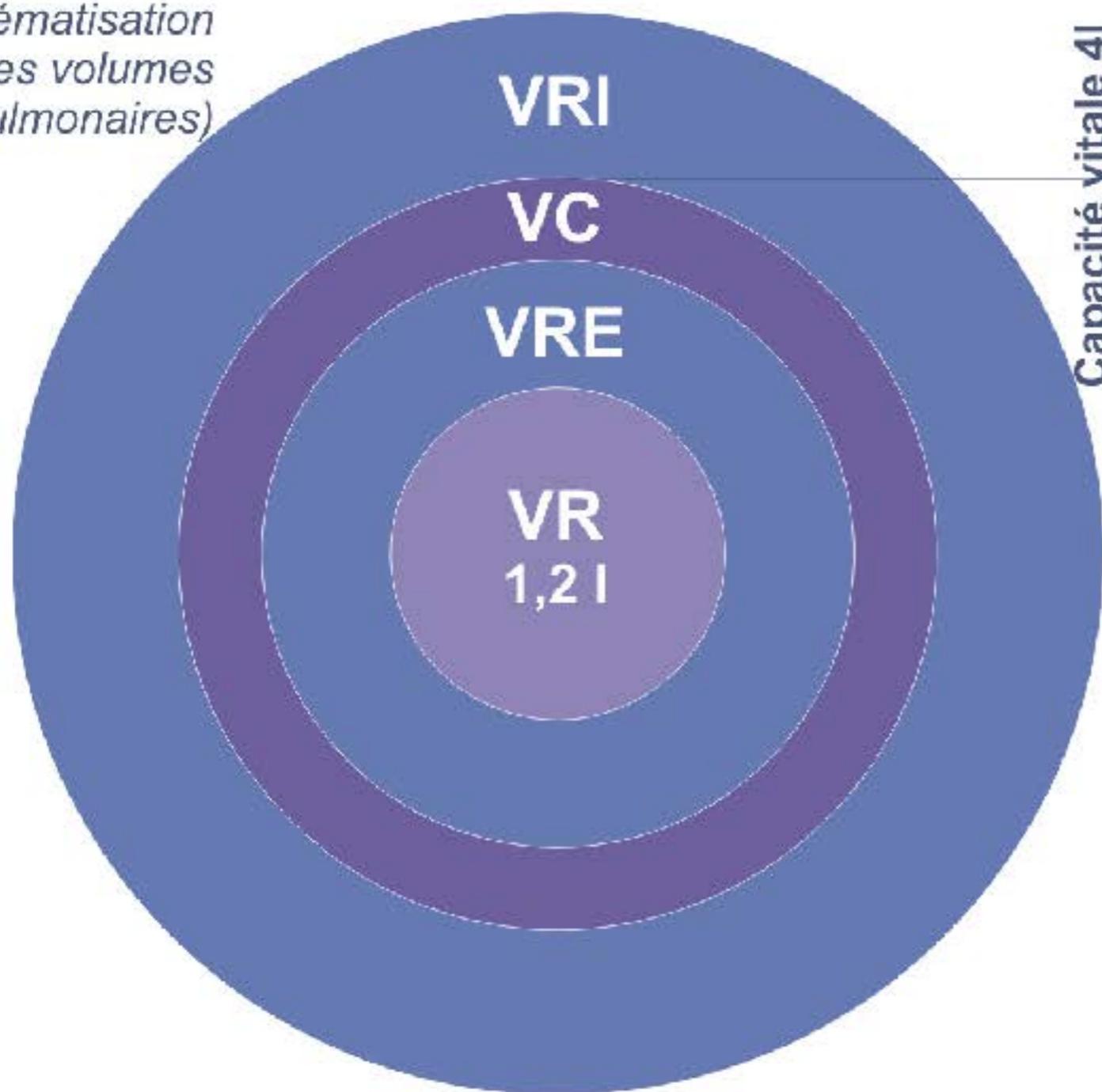
### III) Les volumes pulmonaires

# SPIROGRAMME

## Enregistrement des mouvements de la cage thoracique

(valeurs indicatives, variables d'un individu à l'autre)

(schématisation des volumes pulmonaires)



VR: Volume résiduel

VRE: Volume de Réserve Expiratoire

VC: Volume Courant

VRI: Volume de Réserve Inspiratoire

- La capacité vitale (CV) est égale à la somme des
  - Volume courant (VC)
  - Volume de réserve expiratoire (VRE)
  - Volume de réserve Inspiratoire (VRI)

$$CV=VC+VRE+VRI$$

- La capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) est égale à la somme des
  - Volume résiduel (VR)
  - Volume de réserve expiratoire (VRE)

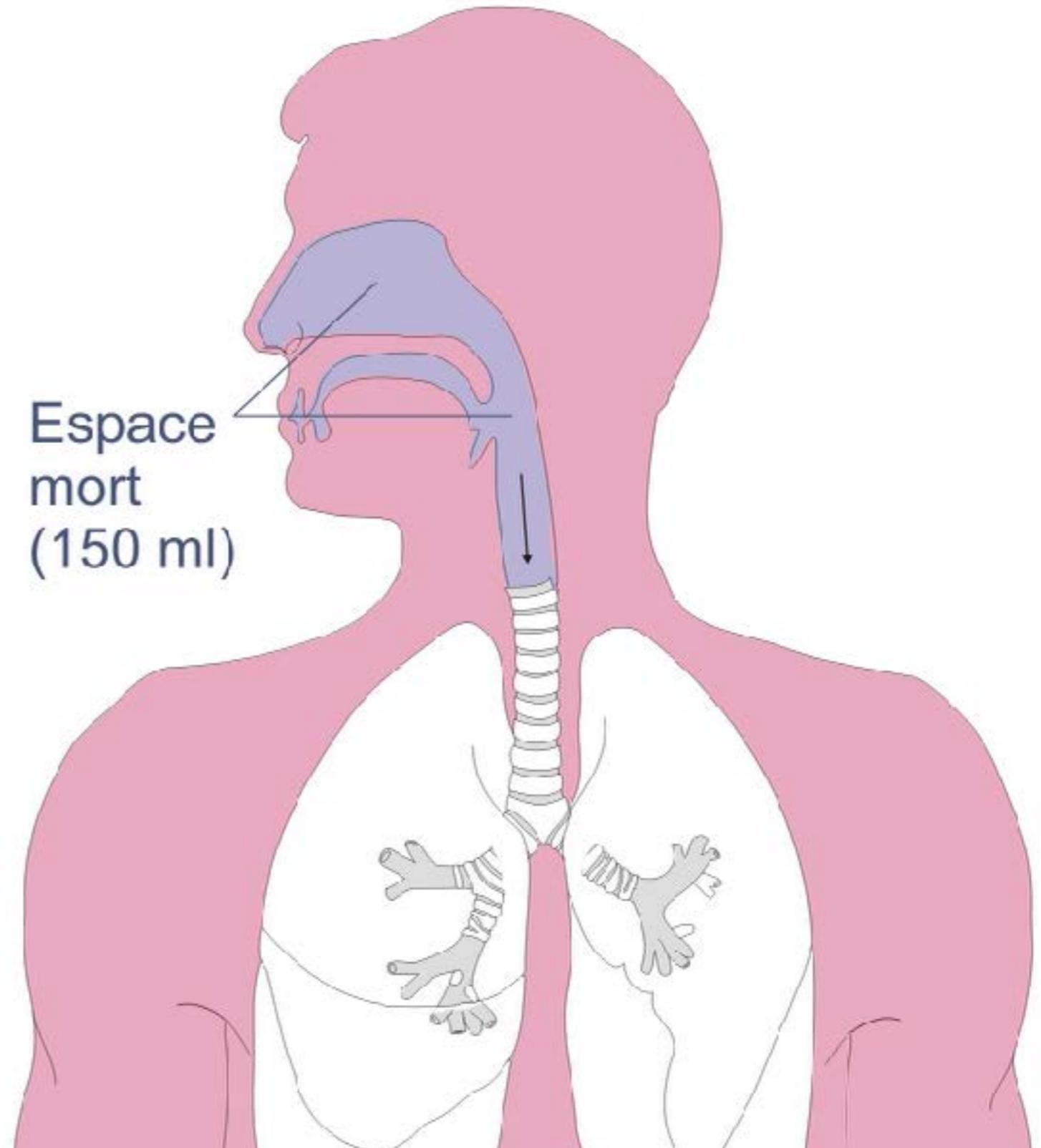
$$CRF=VR+VRE$$

- Elle est égale à
  - 6 fois le volume courant
  - 17 fois le volume d'air renouvelé

- Elle permet, à ventilation égale, de maintenir presque constante la composition du gaz alvéolaire (les variations à chaque inspiration et expiration sont négligeables)

- Notion d'espace mort anatomique

- C'est le volume d'air qui ne participe pas aux échanges gazeux car situé hors des alvéoles.
- Il limite l'efficacité du renouvellement de l'air.



- Fréquence ventilatoire
  - Un cycle ventilatoire correspond à un temps d'inspiration et un temps d'expiration (au repos un cycle dure environ 4s)
    - Inspiration  $\frac{1}{3}$  du temps
    - Expiration  $\frac{2}{3}$  du temps

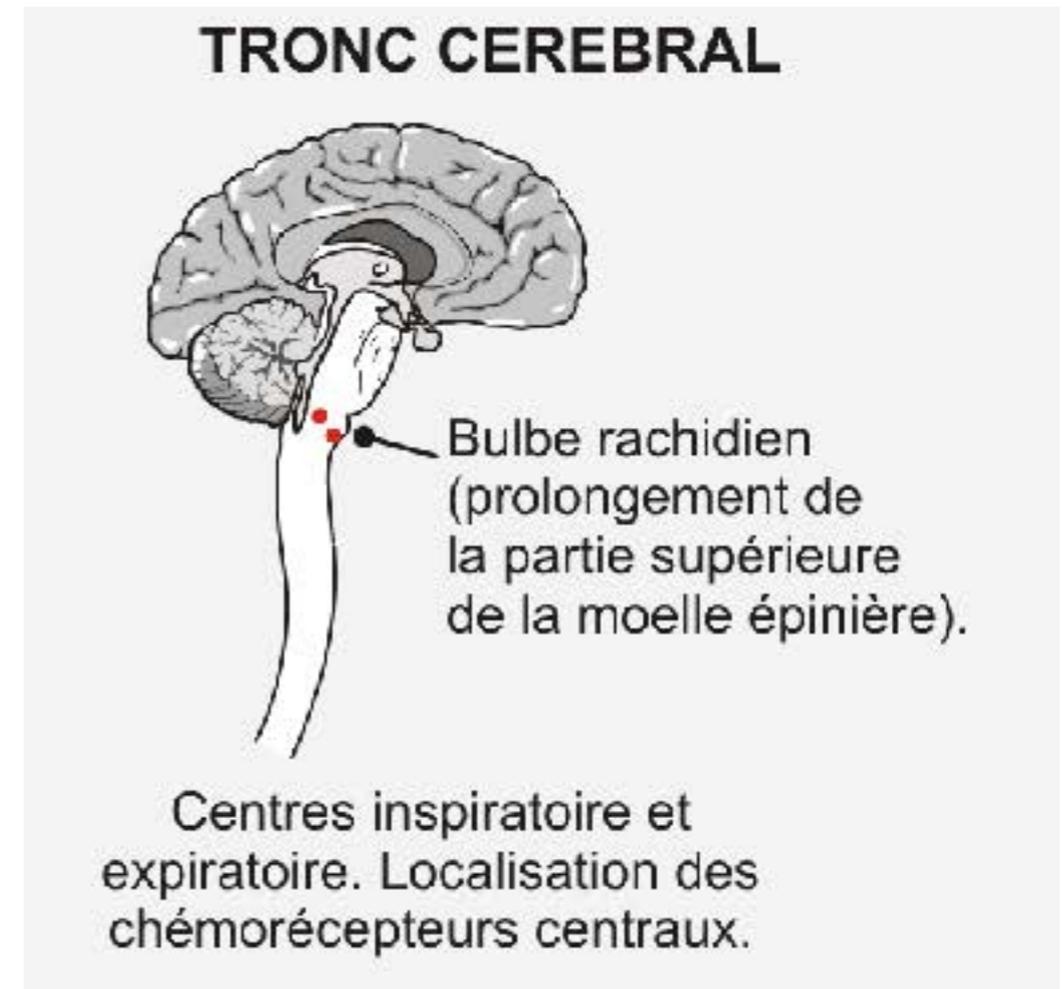
- Elle varie avec l'âge
  - 12 à 16 cycles pour un adulte
  - 14 à 16 cycles pour un adolescent
  - 16 à 20 cycles pour un écolier
  - 40 à 50 cycles pour un nouveau né
  - jusqu'à 60 cycles à l'effort
  - Le sexe et la taille influencent cette fréquence

- Quelques définitions

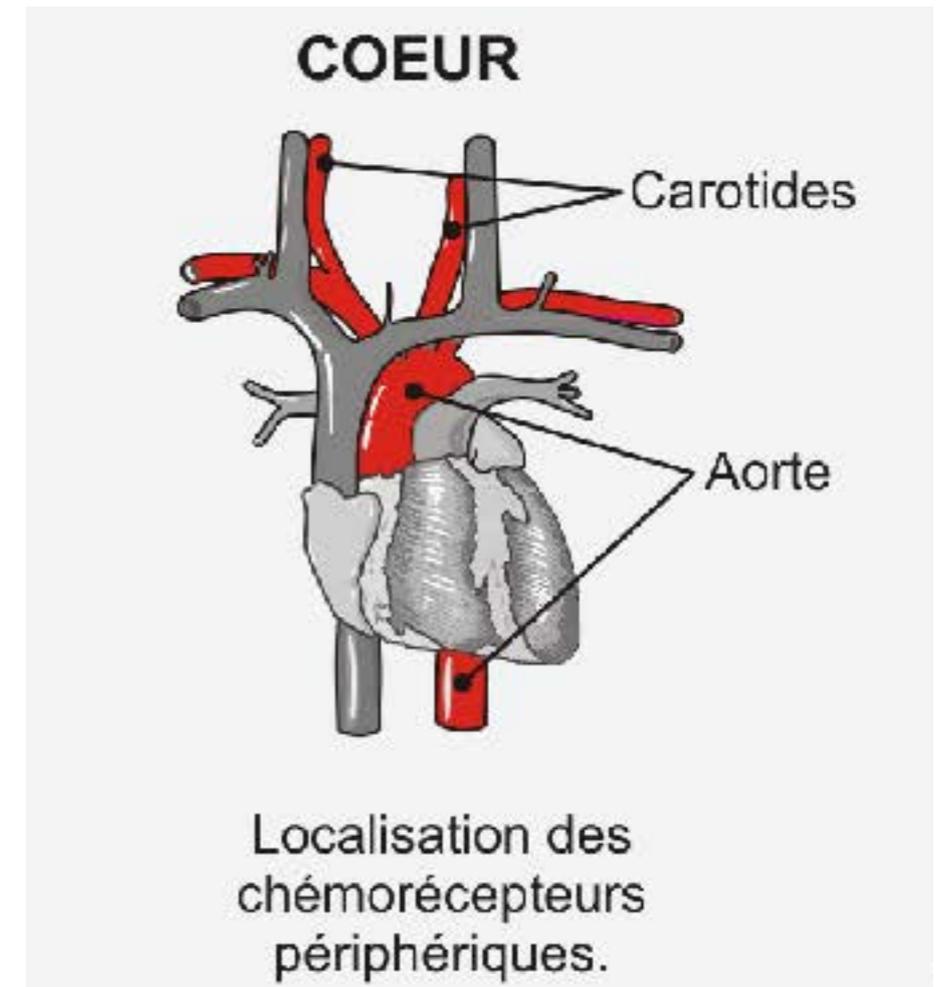
- Apnée: arrêt de la ventilation
- Bradypnée: ventilation lente
- Polyonée ou tachypnée: ventilation rapide
- Dyspnée: ventilation difficile.

## IV) La régulation de la ventilation

- Les centres respiratoires sont situés dans le tronc cérébral au niveau du bulbe rachidien. Ils envoient les informations aux neurones spinaux qui commandent les neurones responsables des contractions des muscles respiratoires.
- Ils sont doués d'automatisme.



- Ils sont régulés par l'action de chémorécepteurs périphériques.



- Ils peuvent aussi être contrôlés volontairement.

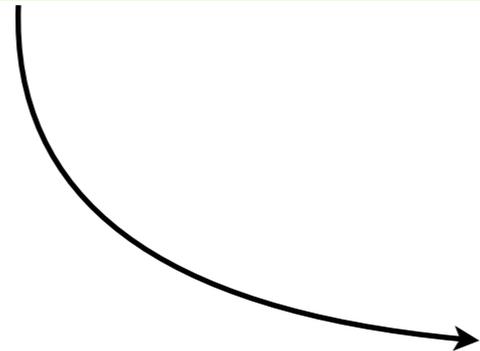
Hypoxie  
Hypercapnie



Hyperventilation



Augmentation PAO<sub>2</sub>  
Diminution PACO<sub>2</sub>



Normalisation

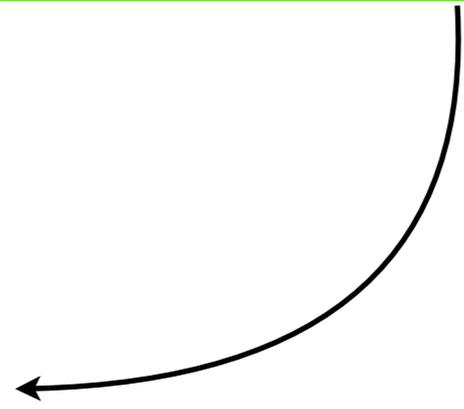
Hyperoxie  
Hypocapnie



Hypoventilation



Agmentation PACO<sub>2</sub>



V) Consommation d'air et autonomie

## Loi de Boyle-Mariotte:

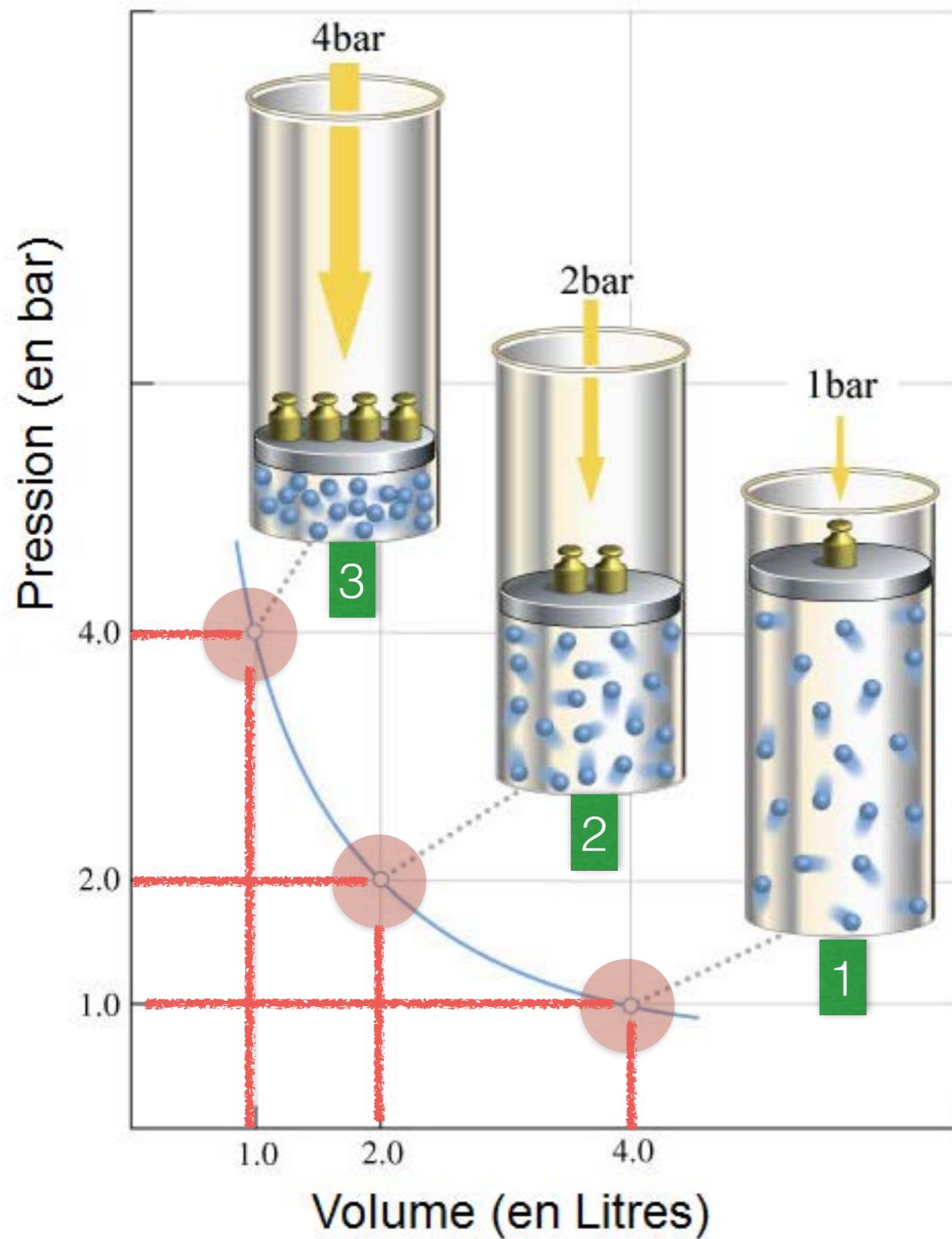
Température constante

$$P \times V = C^{\text{te}}$$

Aussi appelée « Loi de compressibilité des gaz parfaits »

Si  $V$  augmente,  $P$  diminue.  
Elle peut aussi s'écrire

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = \dots = P_n \times V_n = C^{\text{te}}$$



$$P_1 \times V_1 = 1 \times 4 = 4$$

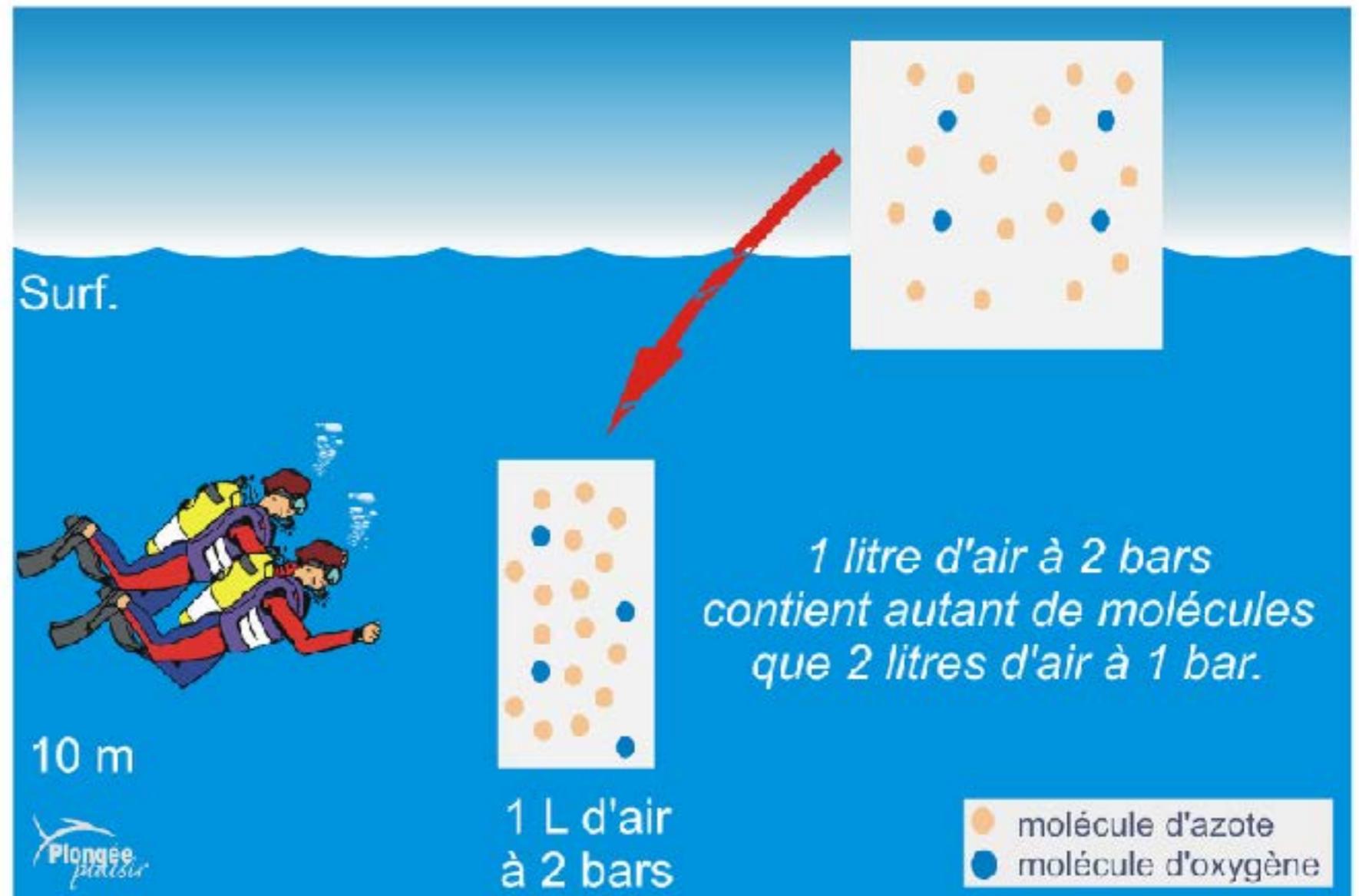
$$P_2 \times V_2 = 2 \times 2 = 4$$

$$P_3 \times V_3 = 4 \times 1 = 4$$



$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = P_3 \times V_3$$

- A effort égal, notre consommation d'air est la même en surface et en profondeur.
- Mais la masse volumique de l'air que nous respirons varie (un litre à une pression de 2 bars contient 2 fois plus de molécules qu'à 1 bar).



- L'autonomie en air diminue donc de manière inversement proportionnelle à la pression.

- Calculs d'autonomie

Pascal part plonger avec un bloc de 15l gonflé à 230 bars. Calculer son autonomie en fonction de la profondeur de sa plongée (on tiendra compte de la réserve de 50b).

	Conso (15l/mn)	Conso (20l/mn)	Conso (100l/mn)
10m			
20m			
40m			

	Conso (15l/mn)	Conso (20l/mn)	Conso (100l/mn)
10m	90	67	13
20m	60	45	9
40m	36	27	5

- Le bloc contient 230 bars mais il faut conserver 50 bars de réserve. On pourra donc utiliser  $230-50=180$  bars.
- Cela représente  $180 \times 15 = 2700$ l
- Si sa consommation est de 15l/mn en surface, elle sera de 30l/mn à 10m (pression 2 bars).
- Son autonomie sera donc de  $2700/30=90$  mn
- ...

En tant que guide de palanquée vous devez avoir présent à l'esprit les ordres de grandeur liés à l'autonomie en air.

Cependant, comme chaque plongeur est différent, pensez à contrôler très régulièrement les réserves d'air des membres de votre palanquée et ce, dès le début de la plongée.

Merci de votre attention

