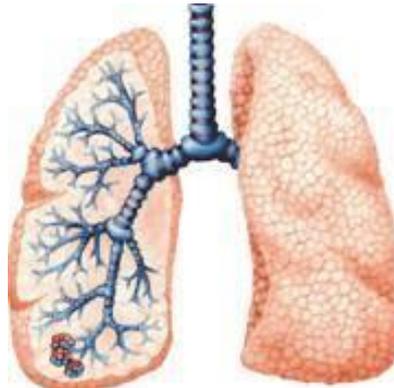


Module de Physiologie animale

Chapitre II: **Le système respiratoire**



Dr. AFFANE

Plan du chapitre II:

- 1. Introduction**
- 2. Structure du système respiratoire**
 - 2.1. Les poumons
 - 2.2. La plèvre
 - 2.3. L'arbre bronchique : de la trachée aux bronchioles
- 3. Fonctionnement du système respiratoire**
- 4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire)**
 - 4.1. L'inspiration
 - 4.2. L'expiration
- 5. Les échanges gazeux**
 - 5.1. Au niveau de la membrane alvéolo-capillaire
 - 5.2. Au niveau tissulaire et cellulaire
- 6. Transport de l'O₂ et du CO₂ dans le sang**
 - 6.1. Le transport de l'O₂
 - 6.2. Le transport du CO₂
- 7. Contrôle et régulation de la respiration**

1. Introduction:

✓ Les poumons ont un rôle physiologique essentiel : apporter l'O₂ aux cellules (indispensable à leur métabolisme) et le rejet du CO₂ produit par le catabolisme, ce rôle s'appelle **→ Hématose**.

✓ Ils maintiennent à un niveau normal les paramètres sanguins (mesurés par les gazes du sang: PaO₂, PaCO₂, SaO₂ et pH) **→** quelles soient les demandes de l'organisme : repos, sommeil, effort de la vie courante, marche, activité sportive,...

Remarques : Hématose :réoxygénation du sang; PaO₂ = (Pression partielle d'oxygène); PaCo₂ =(Pression partielle de gaz carbonique); SaO₂ = (Taux de saturation en oxygène); pH (Le potentiel hydrogène).

2. Structure du système respiratoire:

✓ Le système respiratoire est composé de haut en bas :

- Du nez (narines)
- De la bouche
- Du pharynx
- Du larynx
- De la trachée
- Des deux bronches primaires (droite et gauche) qui rentre dans les poumons
- Des bronchioles
- Des conduits puis des sacs alvéolaires.

2. Structure du système respiratoire:

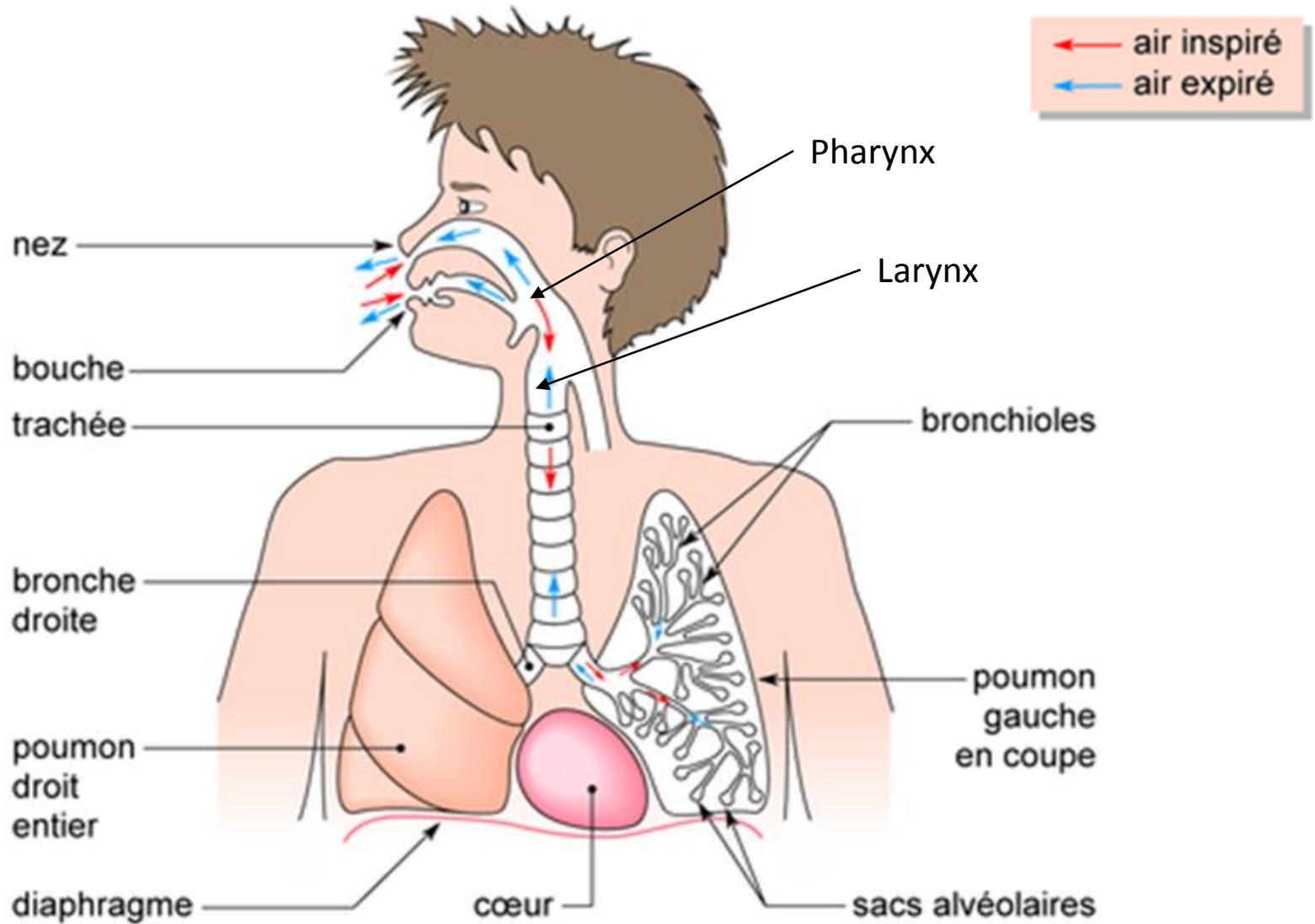


Figure 1: Structure du système respiratoire

2. Structure du système respiratoire:

- Ce système est donc un ensemble de passages qui filtre l'air et qui le transporte à l'intérieur du poumon où les échanges gazeux vont s'opérer au niveau des sacs alvéolaires.
- Le diaphragme est le muscle principal de la respiration.

2.1. Les poumons:

- ✓ Le poumon droit présente 3 lobes séparés par 2 scissures.
- ✓ Le poumon gauche présente 2 lobes séparés par une scissure.

2. Structure du système respiratoire:

2.2. La plèvre:

✓ Les **poumons** sont entourés par une **séreuse** qui le protège. Cette **séreuse** est appelée la **plèvre**. Elle est constituée de **deux feuillets** :

- Un **feuillet pariétal** (ou **plèvre pariétal**) (qui enveloppe la cavité thoracique).
- Un **feuillet viscéral** (ou **plèvre viscéral**) (qui enveloppe le poumon).

✓ Entre ces **deux feuillets**, il y a la **cavité pleurale** qui est tapissée par un film liquidien (**liquide pleural**) qui va permettre le glissement et donc les mouvements des **poumons** vers le haut et vers le bas.

2. Structure du système respiratoire:

2.2. La plèvre:

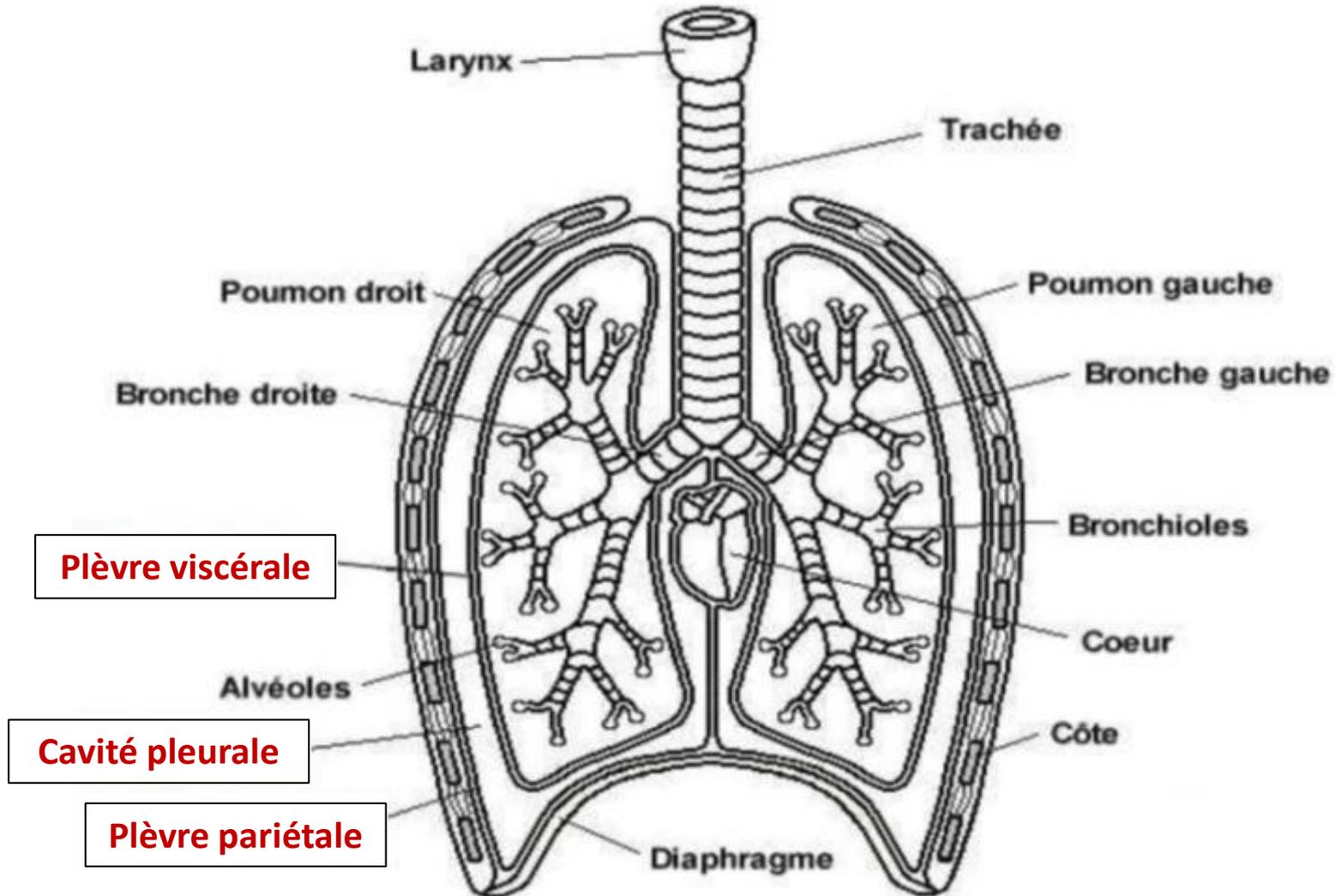


Figure 2: Structure de la plèvre pulmonaire

2. Structure du système respiratoire:

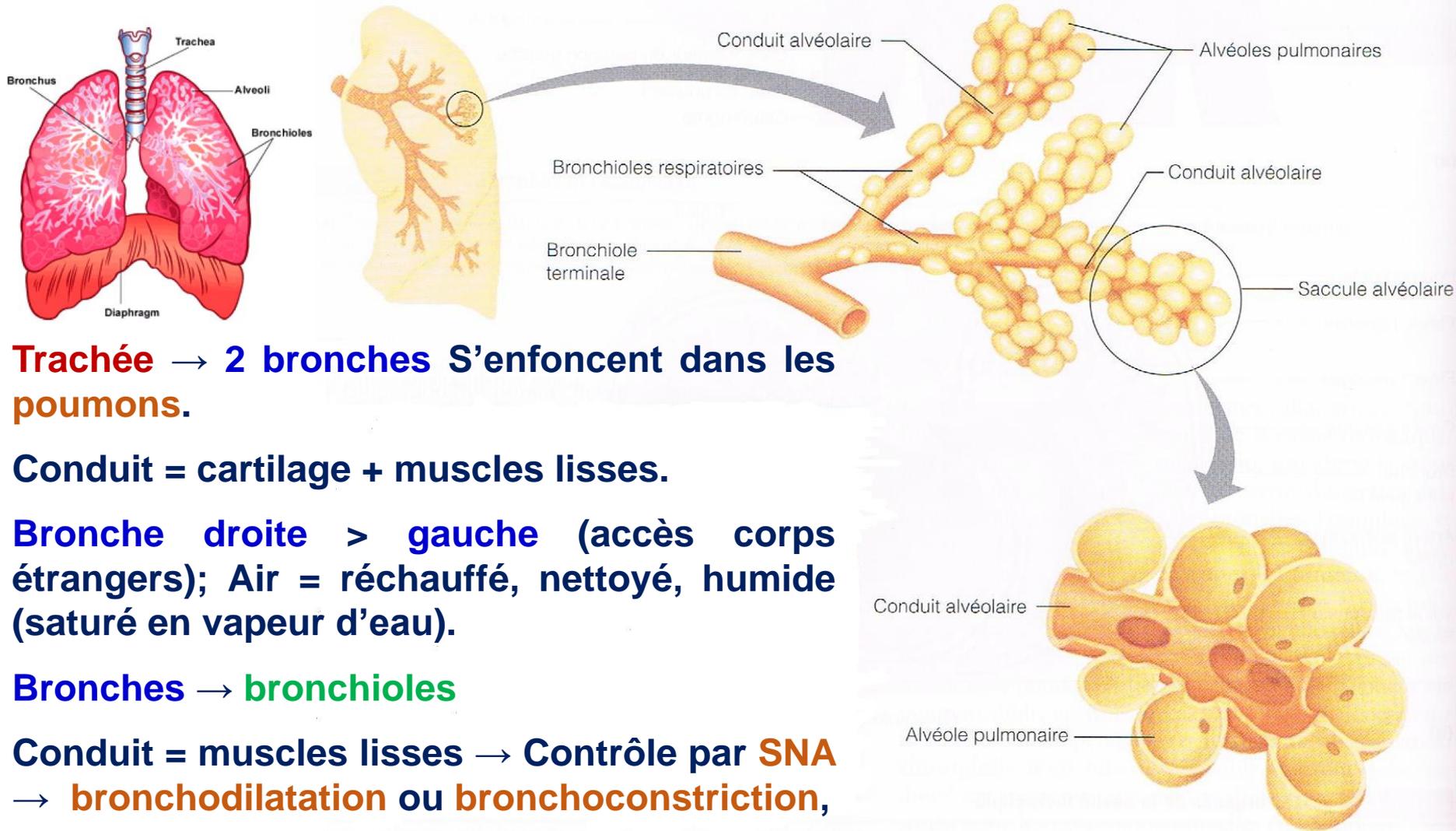
2.2. La plèvre:

✓ La plèvre permet :

- Le glissement des 2 feuillets pleuraux grâce au liquide pleural.
- De maintenir la pression négative ($<P_{atm}$) dans le poumon de sorte que les alvéoles et les bronches restent ouvertes.
- Participe à la défense des poumons contre l'inflammation et les infections.

2. Structure du système respiratoire:

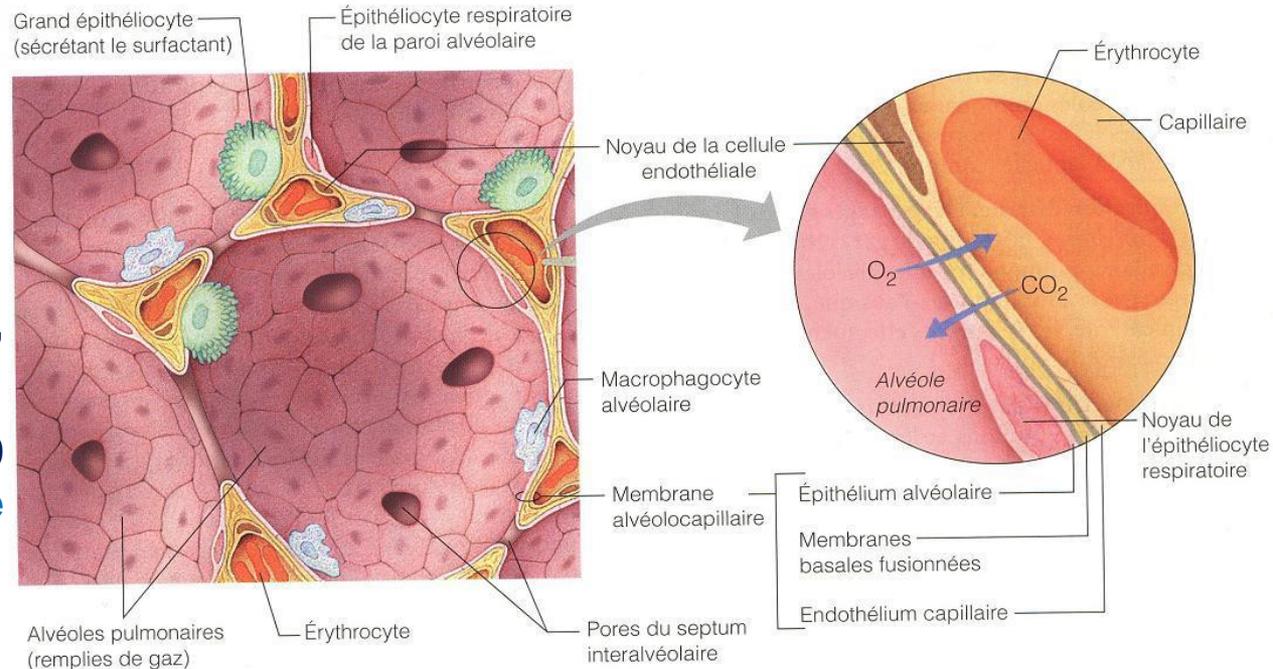
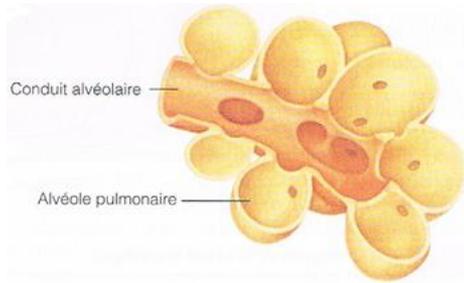
2.3. L'arbre bronchique : de la trachée aux bronchioles:



- **Trachée** → **2 bronches** S'enfoncent dans les **poumons**.
- **Conduit** = cartilage + muscles lisses.
- **Bronche droite** > **gauche** (accès corps étrangers); Air = réchauffé, nettoyé, humide (saturé en vapeur d'eau).
- **Bronches** → **bronchioles**
- **Conduit** = muscles lisses → **Contrôle par SNA** → **bronchodilatation** ou **bronchoconstriction**,
- **Bronchioles respiratoires** portent les **alvéoles pulmonaires** (petits sacs remplis d'air).

2. Structure du système respiratoire:

2.3. L'arbre bronchique : de la trachée aux bronchioles:



- **Sacs** remplis d'air (humide, chaud), en grappes.

- Très nombreuses (150 millions) → Grande surface d'échange (60 m²).

- Se gonflent > 20 000 fois / J.

- **Parois alvéolaires** : fine (<1 μm), 1 seule couche cellules épithéliales (minces).

- **Pores** (→ échanges entre alvéoles).

- Très vascularisées (capillaires pulmonaires) ➔ **Lieu des échanges des gaz respiratoires par diffusion (O₂ et CO₂).**

- **Macrophagocytes** = défense contre agents pathogènes.

- Certains **épithéliocytes** sécrètent le surfactant.

Les alvéoles pulmonaires

2. Structure du système respiratoire:

2.3. L'arbre bronchique : de la trachée aux bronchioles:

Le surfactant

- Interface entre la paroi alvéolaire et l'air alvéolaire.
- Sécrété par certains **épithéliocytes**.
- Présent dès la fin de la grossesse.
- Composition = protéines + lipides.
- Rôle :
 - Diminution **tension superficielle** (force qui s'oppose à la dilatation):
 - Empêche rétraction alvéolaire à l'expiration.
 - Permet aux alvéoles de rester dilatées.

3. Fonctionnement du système respiratoire:

✓ Il y a 2 zones fonctionnelles :

- Une **zone conductive**: ➡ sert de passage de l'air mais surtout de filtre pour l'air inspiré : inclus la bouche, le nez, la trachée, les bronches et les bronchioles.
- Une **zone respiratoire**: ➡ permet les échanges gazeux grâce à **300 millions d'alvéoles** : inclus les bronchioles, les conduits alvéolaires et les sacs alvéolaires. Cette zone représente une grande surface d'échange pour la diffusion de l'air (**70m²**).

- L'air qui va atteindre les poumons est réchauffé et saturé en vapeur d'eau. Ces deux phénomènes (réchauffement et humidification) permettent de maintenir la température corporelle.

3. Fonctionnement du système respiratoire:

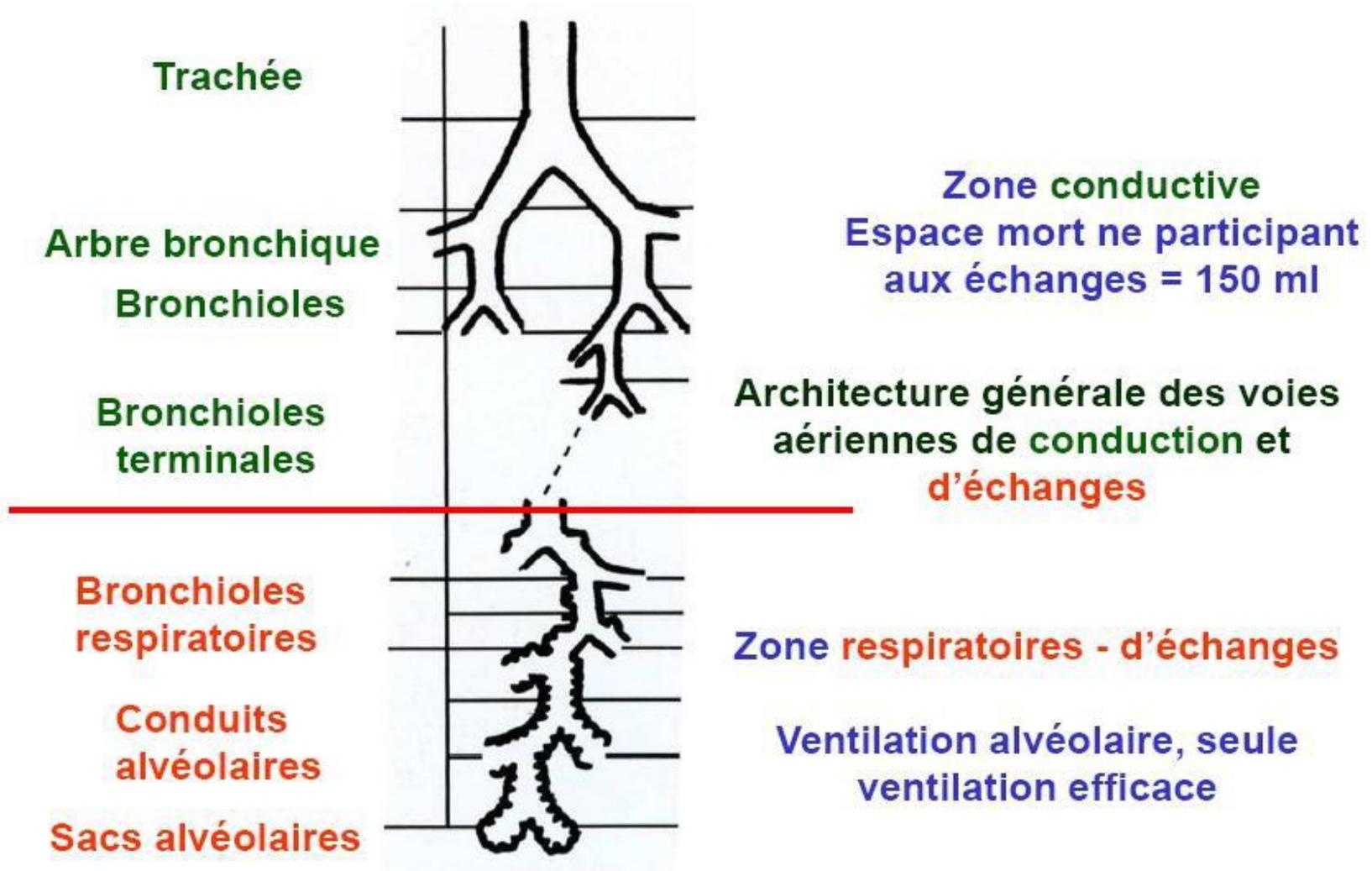


Figure 3: Les deux zones fonctionnels du système respiratoire

3. Fonctionnement du système respiratoire:

✓ La respiration dépend de 4 processus distincts :

1. La **ventilation pulmonaire** (mouvement des gazes dans et hors des poumons).
2. Les **échanges gazeux alvéolo-capillaire**.
3. Le **transport des gaz** (O_2 et CO_2) par le sang.
4. Les **échanges gazeux tissulaires** (le passage des gaz des **capillaires** vers les **tissus**) : respiration cellulaire.

3. Fonctionnement du système respiratoire:

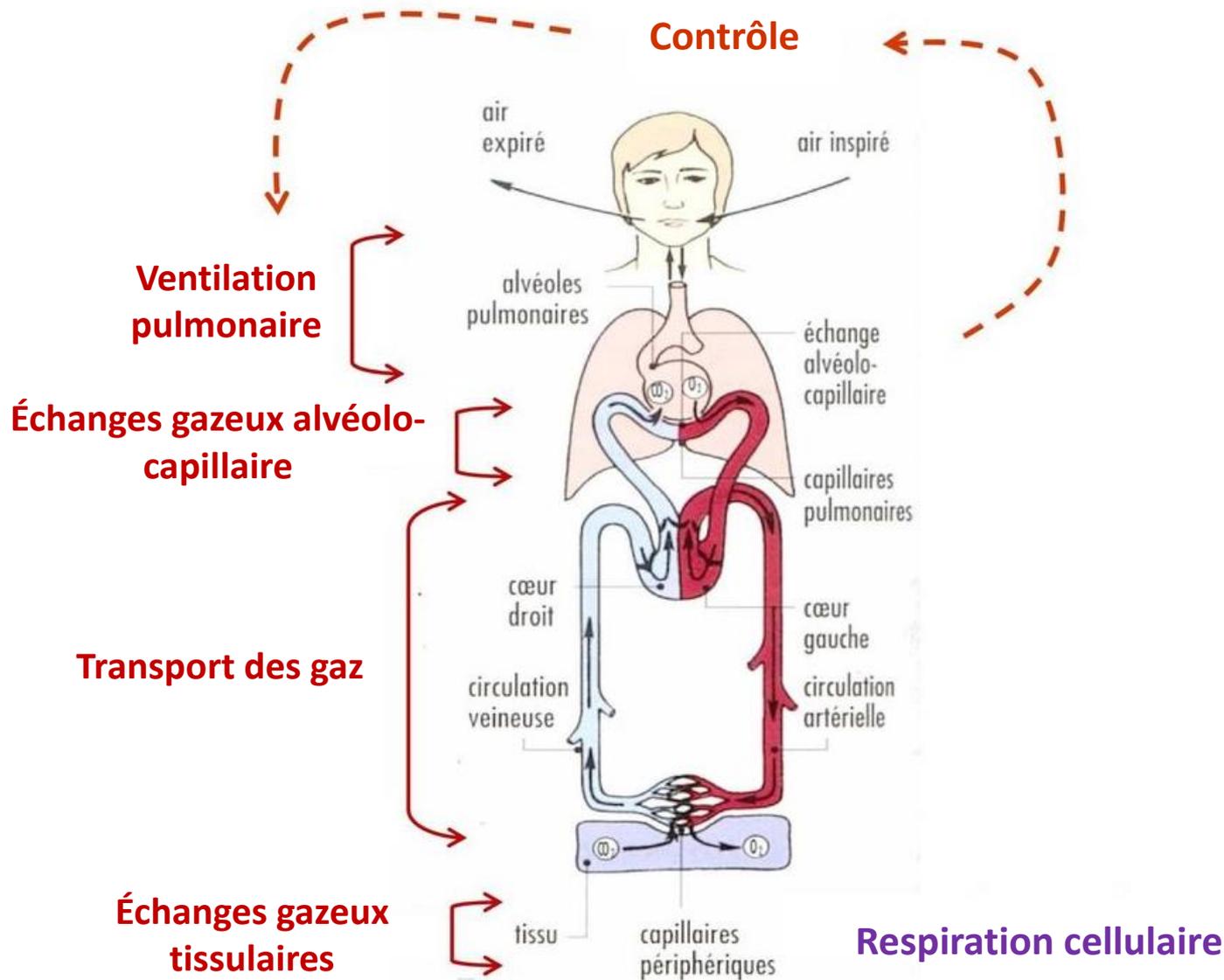


Figure 4: Les 4 étapes de la respiration

4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

C'est quoi?

❖ Définition:

- ✓ La **ventilation** est un **phénomène périodique** qui consiste en une **succession** de **mouvements d'inspiration** au cours desquels un volume d'aire est inspiré, et de **phénomènes d'expiration** au cours desquels un certain volume d'air est rejeté ou expiré.
- ✓ Elle repose sur la **contraction** des **muscles respiratoires** (striés).

4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

❖ Principes:

- ✓ Variations de volume ➡ Variations de pression ➡ Écoulement gaz (air).
 - ✓ Sens écoulement gaz: du milieu où il y a le plus de pression vers le milieu où il y a le moins de pression (équilibre des pressions).
-
- ✓ O_2 (une partie) de l'air alvéolaire diffuse au travers de la membrane alvéolaire ➡ Capillaires pulmonaires ➡ Sang ➡ Cellules (production ATP).
 - ✓ CO_2 issu du catabolisme cellulaire ➡ Sang ➡ Diffuse par capillaires pulmonaires vers air alvéolaire ➡ Rejeté dans l'air ambiant (expiration).

4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

4.1. L'inspiration :

- L'inspiration est un phénomène actif au cours duquel le volume thoracique augmente → En revanche la pression alvéolaire (ou la pression des poumons) diminue.
- Ce phénomène va donc permettre l'entrée de l'air (environ 21% d'oxygène, 78% d'azote et une toute petite partie de CO₂) de la bouche vers les alvéoles.
- L'inspiration résulte de la contraction du muscle respiratoire principal : le diaphragme et des muscles respiratoires accessoires lors des conditions particulières (effort, maladies respiratoires) : intercostaux, sterno-cléido mastoïdien, les scalènes.

4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

4.1. L'inspiration :

- **Le diaphragme:** Il est percé par des orifices qui laissent passer des vaisseaux dont l'aorte et la veine cave et laisse passer l'œsophage. Il est donc inspirateur principal.

Faisceau Costal



Faisceau vertébral, lombaire



Faisceau Sternal
Appendice Xyphoïde

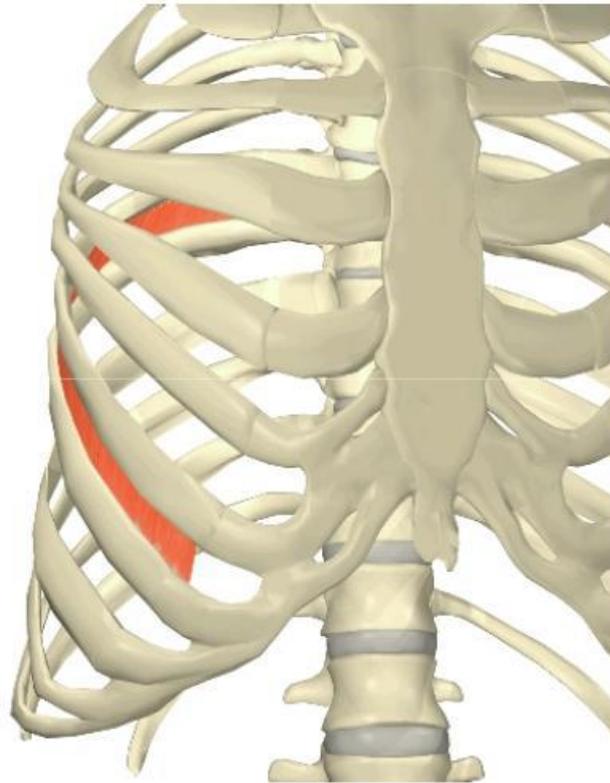


Le diaphragme

4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

4.1. L'inspiration :

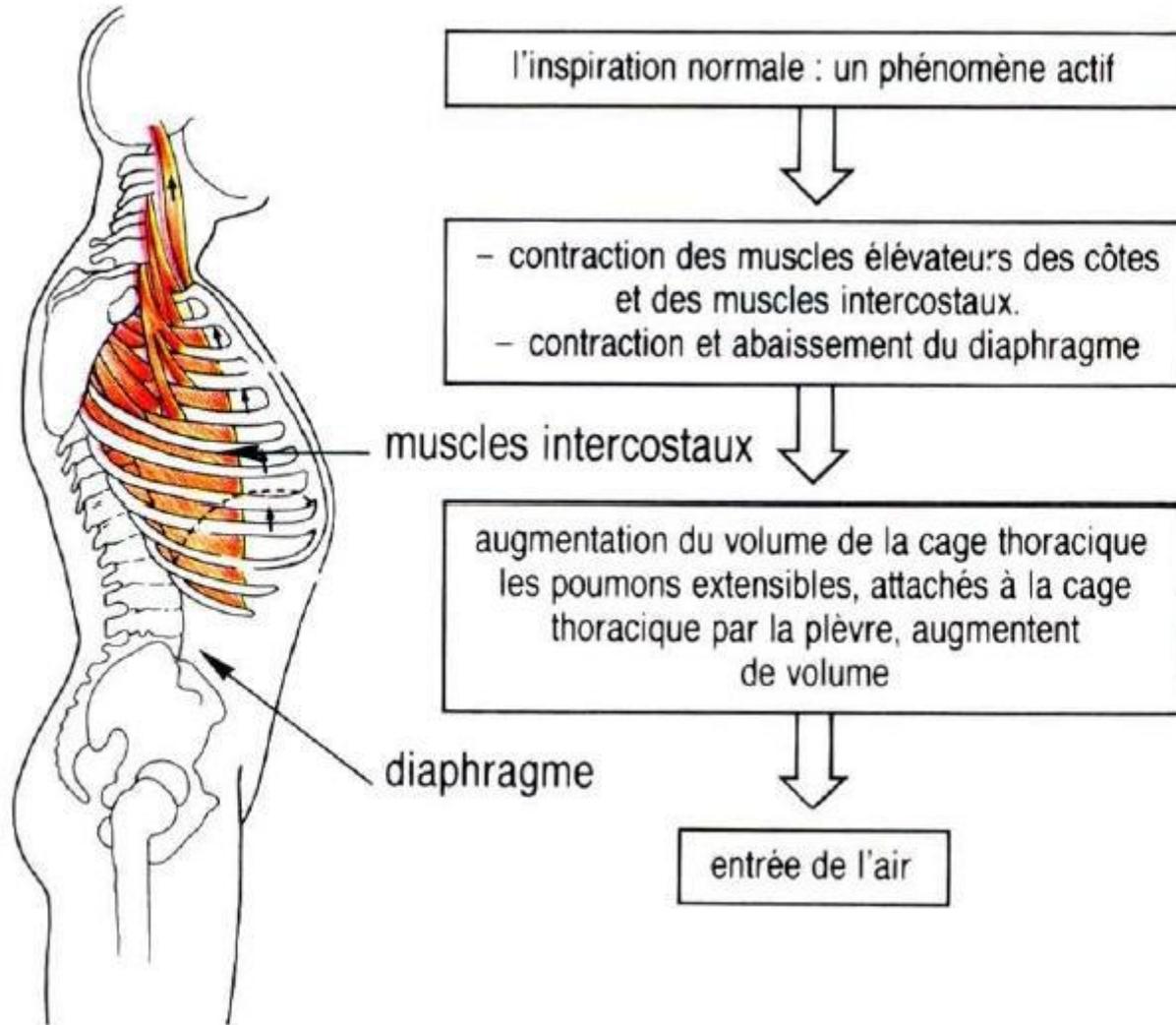
- **Les intercostaux externes:** ce sont des muscles situés entre les côtes. Ils sont donc responsables de l'élévation des côtes vers l'extérieur et de l'élévation du sternum vers l'avant.



Intercostaux externes
Occupent l'espace
compris entre 2 côtes

4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

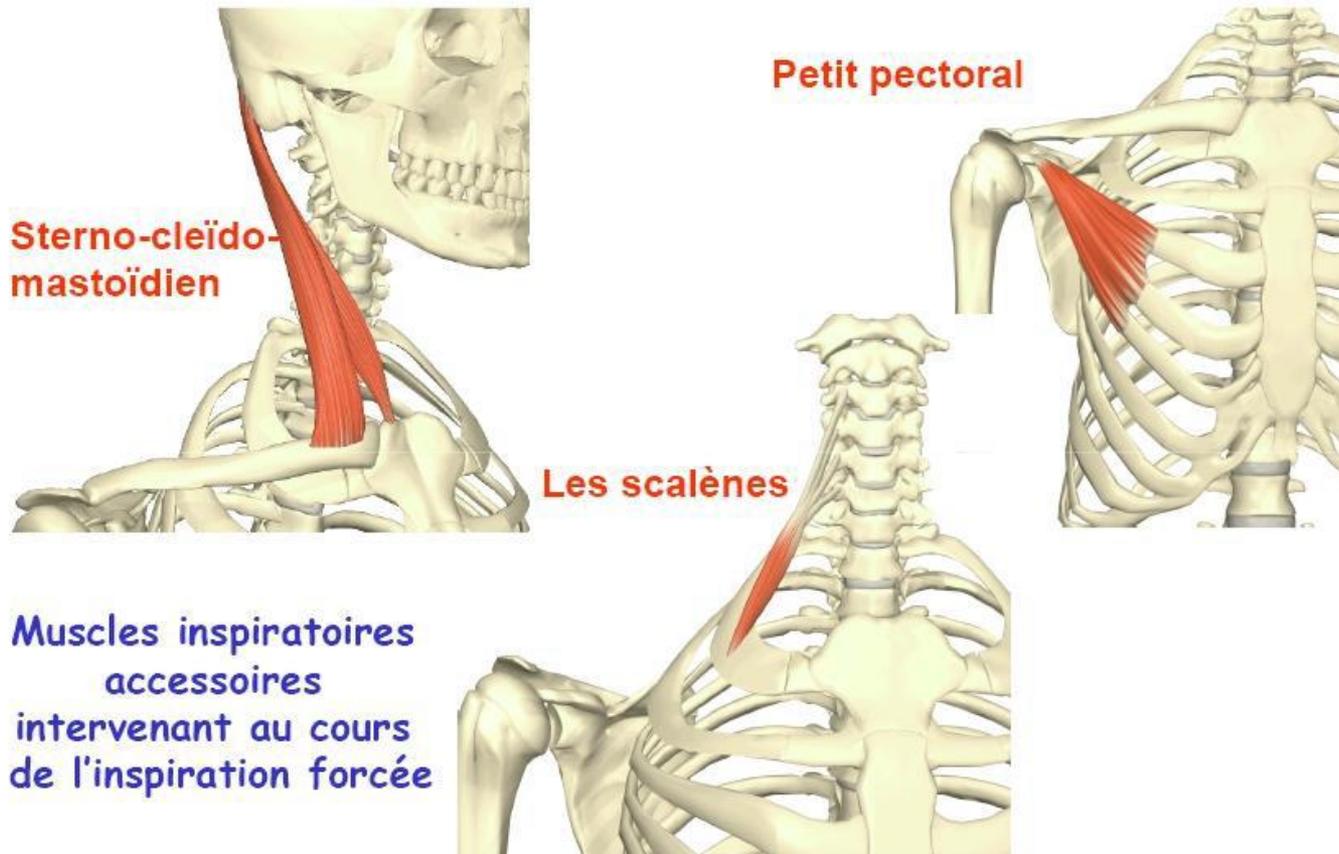
4.1. L'inspiration :



4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

4.1. L'inspiration :

- Au cours de l'inspiration forcée, trois autres muscles sont sollicités : le petit pectoral, le sterno-cléïdo-mastoïdien et les scalènes.



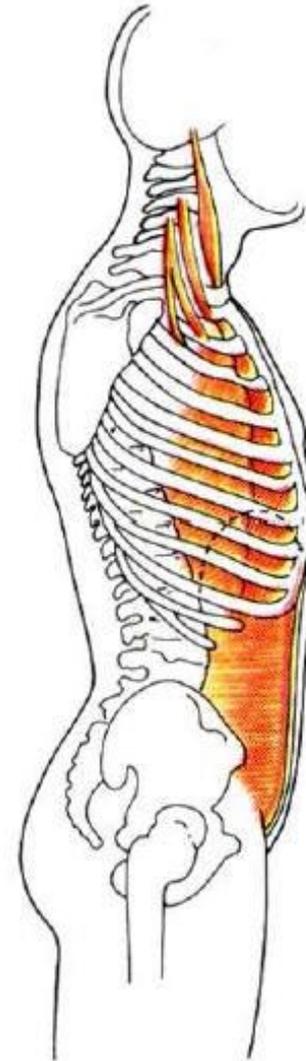
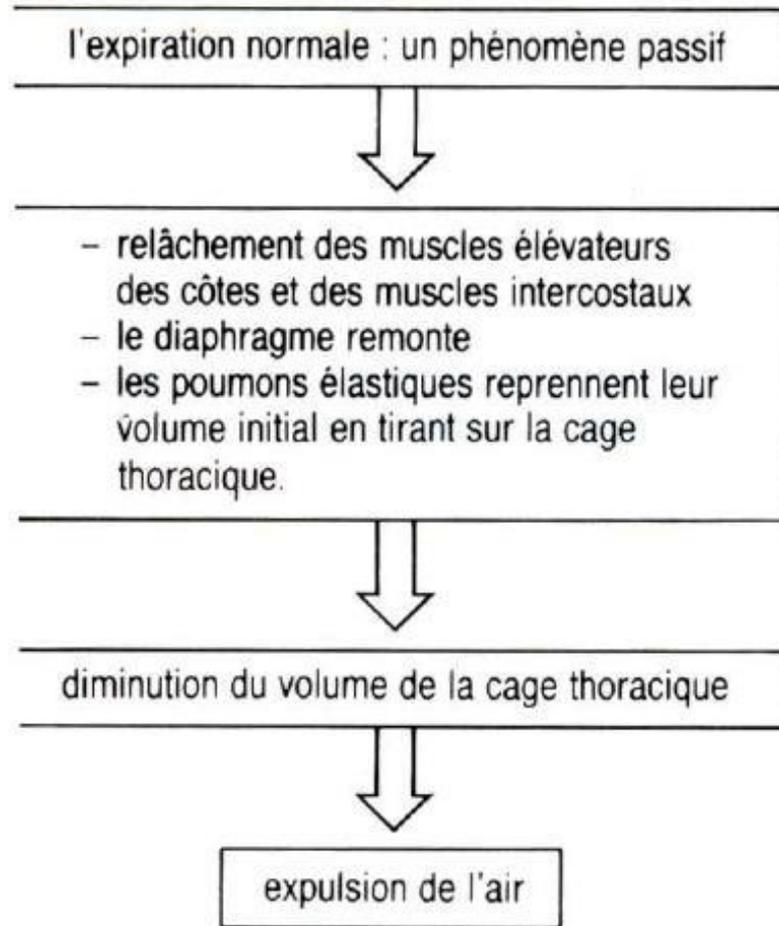
4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

4.2. L'expiration :

- L'expiration est un phénomène passif.
- Résulte de la relaxation des muscles inspiratoires et du retour élastique du tissu pulmonaire.
- Etiré lors de l'inspiration, le poumon revient ensuite à sa position de base.
- Volume pulmonaire   pression alvéolaire 
- Pression alvéolaire > pression atmosphérique  le poumon se vide.
- L'expiration forcée est un phénomène actif. Elle met en jeu des muscles de la paroi abdominale notamment le grand droit de l'abdomen et les obliques internes (abdominaux).

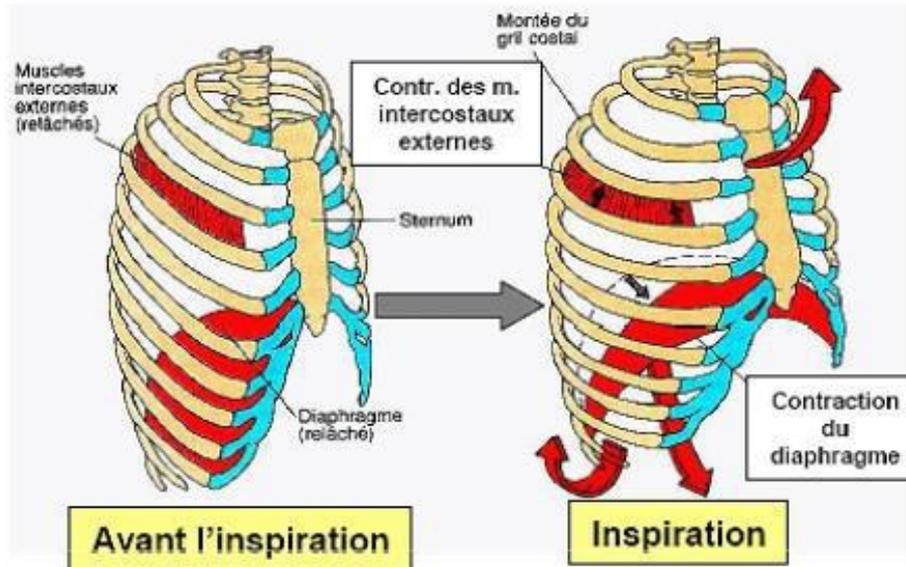
4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

4.2. L'expiration :

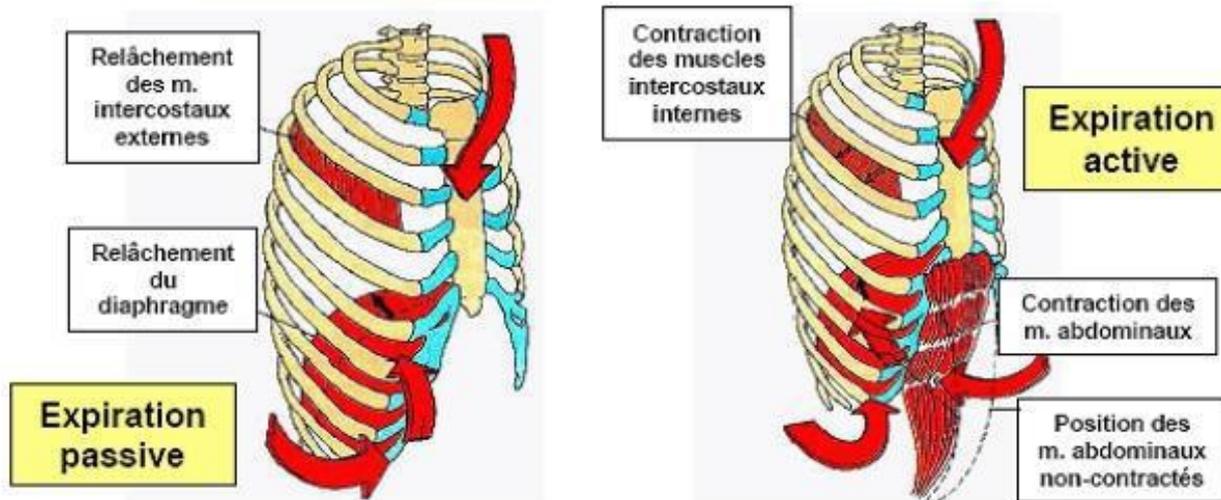


4. La ventilation pulmonaire (La mécanique ventilatoire):

4.2. L'expiration :



Muscles respiratoires en activité



5. Les échanges gazeux:

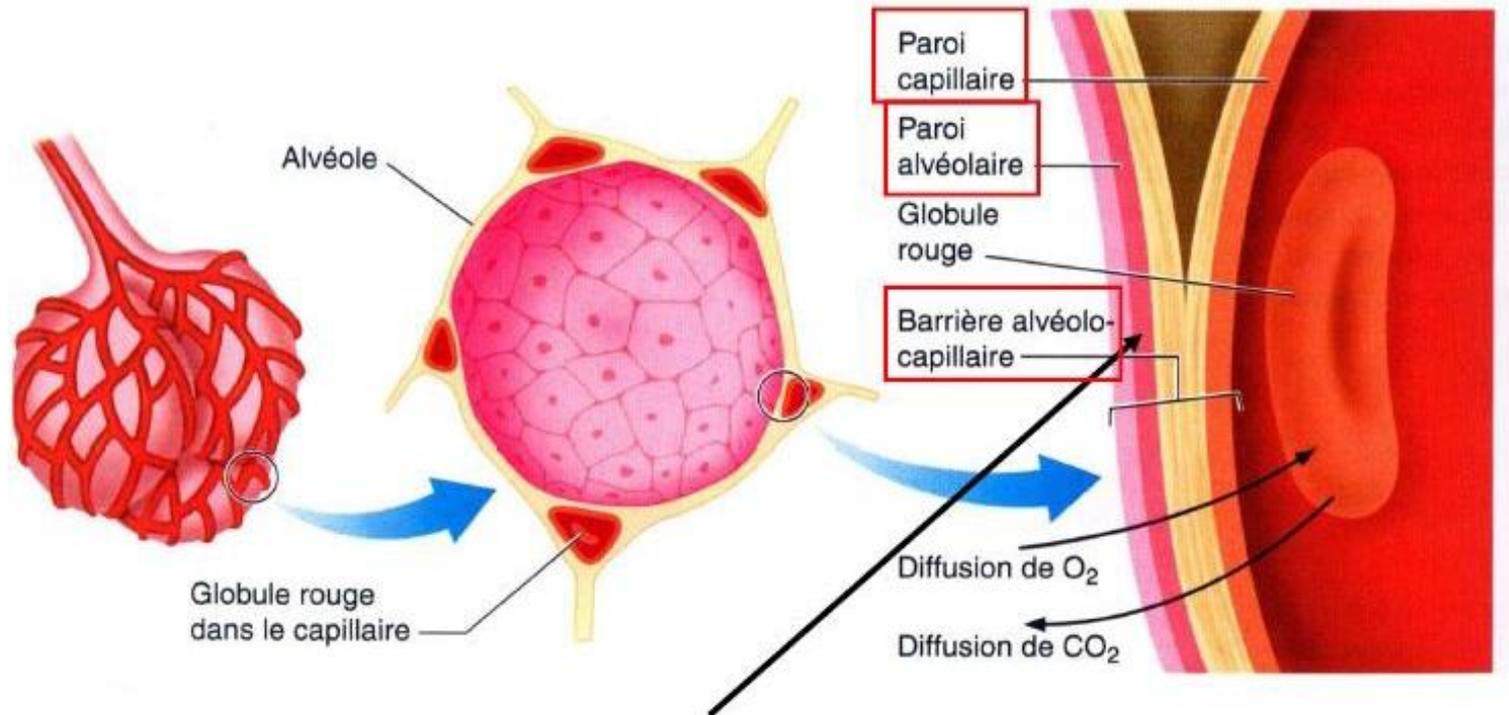
5.1. Au niveau de la membrane alvéolo-capillaire:

- La diffusion des gaz se fait à travers la **membrane alvéolo-capillaire**.
- Cette membrane se trouve entre les **alvéoles** et les **capillaires**. On parle de **diffusion alvéolo-capillaire**.
- Elle a une surface très importante et fine, ce qui permet à l'**O₂** de passer facilement.
- L'**O₂** traverse par gradient de pression la membrane alvéolo-capillaire.
- Après traversée ➡ fixation de l' **O₂** à l'**Hémoglobine (Hb)** du **globule rouge (GR)** sous forme combinée.

5. Les échanges gazeux:

5.1. Au niveau de la membrane alvéolo-capillaire:

- Cette membrane possède plusieurs parois: la paroi capillaire, la paroi alvéolaire et la barrière alvéolo-capillaire.



Membrane alvéolo-capillaire où s'effectuent les échanges gazeux en O₂ et CO₂

Aucun rôle actif : Le sens de diffusion et la quantité diffusée dépendent des différences de pression (gradient de pression) de part et d'autre de cette membrane. Ainsi, les gaz diffusent de la pression la plus élevée vers la plus basse.

5. Les échanges gazeux:

5.1. Au niveau de la membrane alvéolo-capillaire:

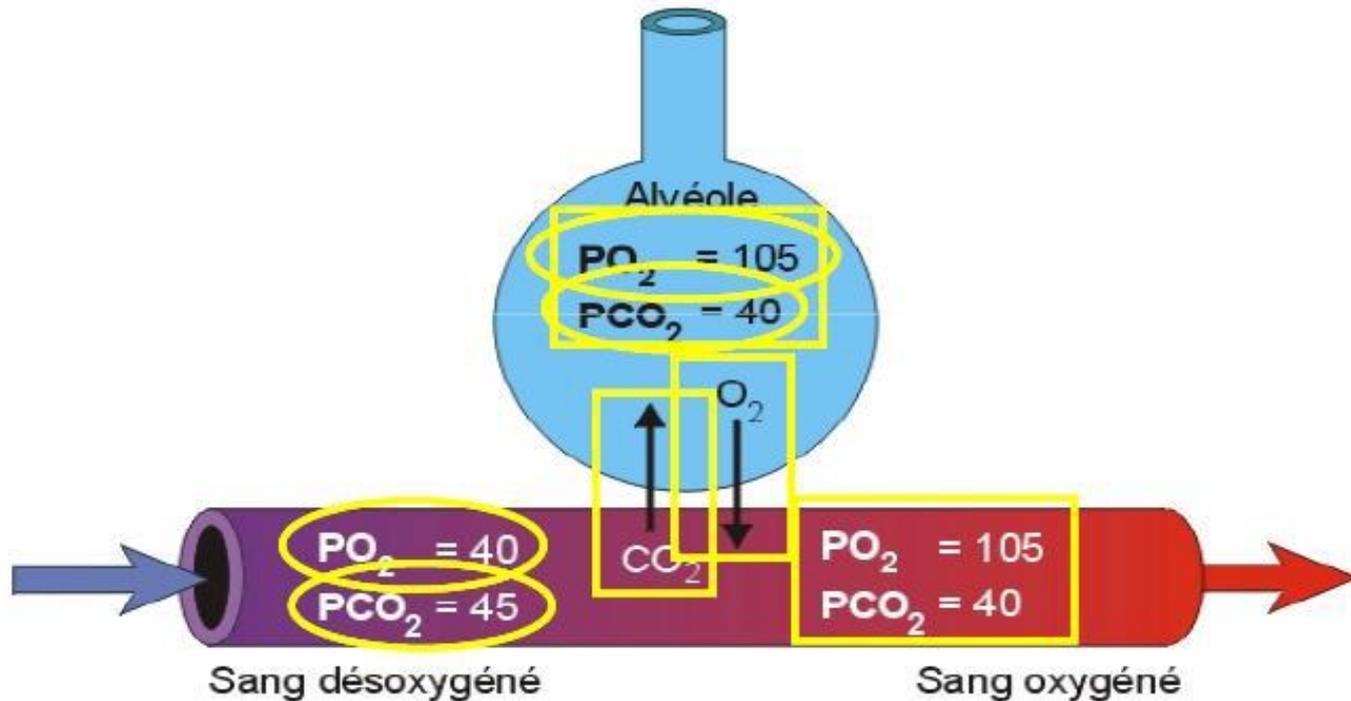
- Les différentes pressions dans l'alvéole et le **capillaire** ➡ organisent le mouvement des gaz (sortie du CO_2 et entrée de l' O_2).
- Le **sang désoxygéné** arrivant au **capillaire** présente une pression en CO_2 supérieur à la pression alvéolaire, ce qui entraîne la sortie du CO_2 , et une pression en O_2 inférieur que la pression alvéolaire, ce qui favorise son entrée dans le capillaire.
- C'est ces différentes pressions PO_2 , PCO_2 , PaO_2 , PaCO_2 , qui permettent les **échanges alvéolo-capillaires**.

Remarques : PaO_2 = (Pression partielle d'oxygène); PaCO_2 =(Pression partielle de gaz carbonique).

5. Les échanges gazeux:

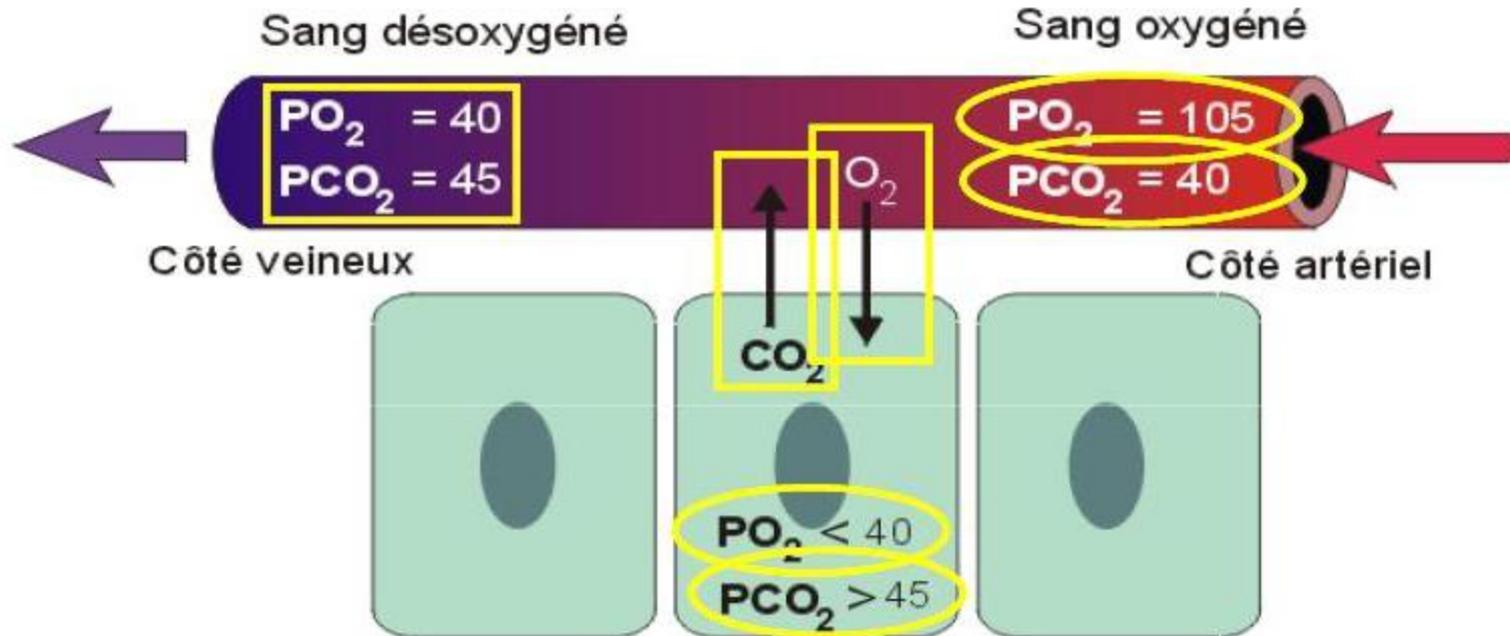
5.1. Au niveau de la membrane alvéolo-capillaire:

Échanges au niveau des alvéoles



5. Les échanges gazeux:

5.2. Au niveau tissulaire et cellulaire:



- Les échanges au niveau des tissus et des cellules, fonctionnent suivant le même principe de gradient de pression que pour les échanges alvéolo-capillaires.
- Cette fois-ci, c'est l' O_2 qui sort en direction des cellules et le CO_2 produit par le tissus qui rentre.

6. Transport de l'O₂ et du CO₂ dans le sang:

6.1. Le transport de l'O₂:

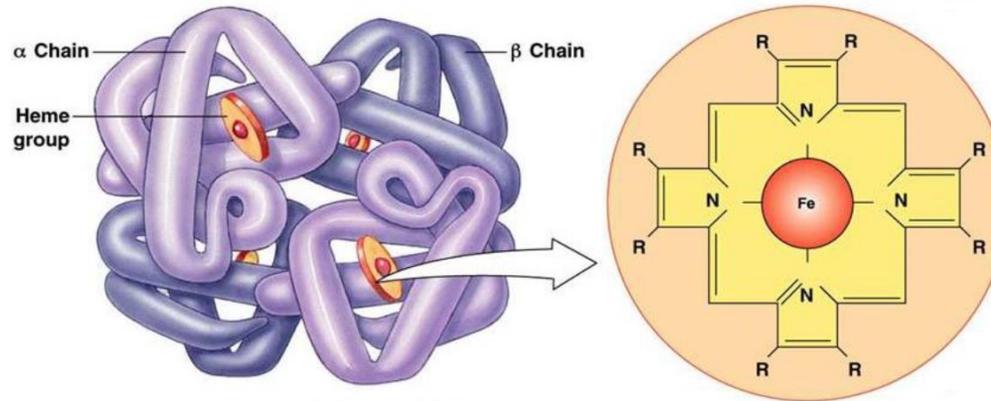
Sous deux formes

- 2% de l'O₂ est transporté sous forme dissoute dans le plasma ce qui représente: 0,3ml/100ml de sang soit 9 à 15 ml d'O₂ pour 5L de sang.
- 98% de l'O₂ est lié à l'hémoglobine des globules rouges (sous forme combiné). L'hémoglobine est composée de:
 - Globine
 - 4 Hèmes: 2 chaînes α et 2 chaînes β.
 - Chaque hème contient un atome de fer pouvant fixer un O₂.

6. Transport de l'O₂ et du CO₂ dans le sang:

6.1. Le transport de l'O₂:

- Donc chaque molécule de Hb peut fixer 4 O₂.



- La réaction de l'hémoglobine avec l'O₂ va donner de l'oxyhémoglobine.



- Lors d'une carence en fer, une diminution du transport d'O₂ est notée, donc une moins bonne oxygénation et les oxydations ne se font pas correctement.

6. Transport de l'O₂ et du CO₂ dans le sang:

6.2. Le transport du CO₂:

Sous deux formes

- Sous forme dissoute: 5% à 10% du CO₂ = 3ml/100ml de sang soit 90 à 150 ml de CO₂ pour 5L de sang.
- Sous forme combinée: Majoritairement (60 à 70%) combiné avec de l'eau pour donner de l'acide carbonique qui se dissocie en bicarbonates et proton dans les GR (enzyme = anhydrase carbonique).



- 25% à 30% forme de carbamino-hémoglobine (lié à l'hémoglobine) : HbCO₂.

7. Contrôle et régulation de la respiration:

Contrôle

- L'activité des muscles respiratoires ➡ sous le contrôle des **centres nerveux**.
- **Arc réflexe** (involontaire), mais modulation volontaire possible (**cortex**).
- Commande:
 - Centres respiratoires du tronc cérébral (**SNC**):
 - **Bulbe rachidien**:
 - rythme (spontané): 12 à 15 / min
 - = **eupnée** = fréquence respiratoire (FR) de repos
 - **Pont** : → Modulation **FR** et amplitude respiratoire
- Envoie influx nerveux **spontané** aux muscles inspiratoires via nerfs phréniques et intercostaux.

7. Contrôle et régulation de la respiration:

Régulation

- L'adaptation de la respiration est permanente.
- 2 types de récepteurs:
 - **Mécanorécepteurs** nombreux et variés
 - **Bronchioles**: Activés (nerf vague) notamment si distension lors d'un **effort intense** (réflexe protecteur en cas d'inspiration trop prolongée)
➡ arrêt influx inspiratoires ➡ expiration.
 - **Chimiorécepteurs**
 - Artères (carotide, aorte): O_2 .
 - Centres respiratoires du bulbe: CO_2 , pH.

7. Contrôle et régulation de la respiration:

Facteurs de modulation de la ventilation

- $\uparrow \text{CO}_2$ (et $\downarrow \text{pH}$ sang) = principaux modulateurs de la ventilation.
- Rappel : $\uparrow \text{CO}_2 \rightarrow \uparrow \text{H}^+$ (acide carbonique/bicarbonates) $\rightarrow \downarrow \text{pH}$
- Mécanismes :
 - $\uparrow \text{CO}_2$ sang $\rightarrow \uparrow$ ventilation $\rightarrow \uparrow$ rejet CO_2 (air expiré) \rightarrow retour **équilibre acido-basique**.
 - \uparrow ventilation (hyperventilation) = **hyperpnée** = \uparrow **fréquence** et \uparrow **amplitude ventilation**.
 - Exercice physique \rightarrow hyperventilation

7. Contrôle et régulation de la respiration:

Facteurs de modulation de la ventilation

➤ Si chute (importante) de O_2 sang

- Ex: haute altitude

→ Stimulation **chimiorécepteurs** → influx sensitifs au centre bulbaire → ↑ ventilation (hyperpnée) → ↑ O_2 sang (rétablit équilibre).

