

## UE 2.2 C4 L'APPAREIL RESPIRATOIRE

- Fonction principale :
- ρ **apport** de l'O<sub>2</sub> à l'organisme,
  - ρ **élimination** du CO<sub>2</sub> de l'organisme.
- Elle dépend de 4 mécanismes :
- (1) **Ventilation pulmonaire** :
    - *circulation de l'air* dans les *poumons* ⇒ *renouvellement continu* des gaz présents dans les *alvéoles pulmonaires*.
  - (2) **Respiration externe** :
    - *échange gazeux* entre le *sang des capillaires pulmonaires* et les *cavités aériennes pulmonaires* ⇒ **diffusion de l'O<sub>2</sub> vers le sang** ⇒ **diffusion du CO<sub>2</sub> vers les cavités aériennes**.
  - (3) **Transport des gaz respiratoires** :
    - le **système cardiovasculaire** par l'intermédiaire du **sang** ⇒ **acheminement de l'O<sub>2</sub> vers les cellules** ⇒ **acheminement du CO<sub>2</sub> vers les poumons**.
  - (4) **Respiration interne** :
    - *échange gazeux* entre le *sang des capillaires systémiques* et les *cellules* ⇒ **diffusion de l'O<sub>2</sub> vers les cellules** ⇒ **diffusion du CO<sub>2</sub> vers les capillaires**.
- Conséquence : Le **système respiratoire** et le **système cardiovasculaire** fonctionnent donc en *étroite collaboration* ; si l'un des 2 défaille ⇒ carence d'O<sub>2</sub> ⇒ mort des cellules.

### I. ANATOMIE FONCTIONNELLE

- Les *organes du système respiratoire* sont :
- ρ le nez et les fosses nasales,
  - ρ le pharynx,
  - ρ le larynx,
  - ρ la trachée,
  - ρ les bronches et les bronchioles,
  - ρ les poumons qui contiennent les alvéoles pulmonaires.
- Sur le *plan fonctionnel*, le **système respiratoire** comprend :
- ρ une **zone de conduction** :
    - constituée des *voies respiratoires* : les fosses nasales, le pharynx, le larynx, la trachée, les bronches.
    - rôles de ces voies :
      - *acheminement de l'air à la zone respiratoire*,
      - *purification* (= élimination des poussières et des microorganismes aériens),
      - *humidification*,
      - *réchauffement*, de l'air inspiré.
  - ρ une **zone respiratoire** :
    - constituée des *structures microscopiques* suivantes : les bronchioles, les conduits alvéolaires, les alvéoles pulmonaires.
    - rôle de ces structures : *siège des échanges gazeux*.

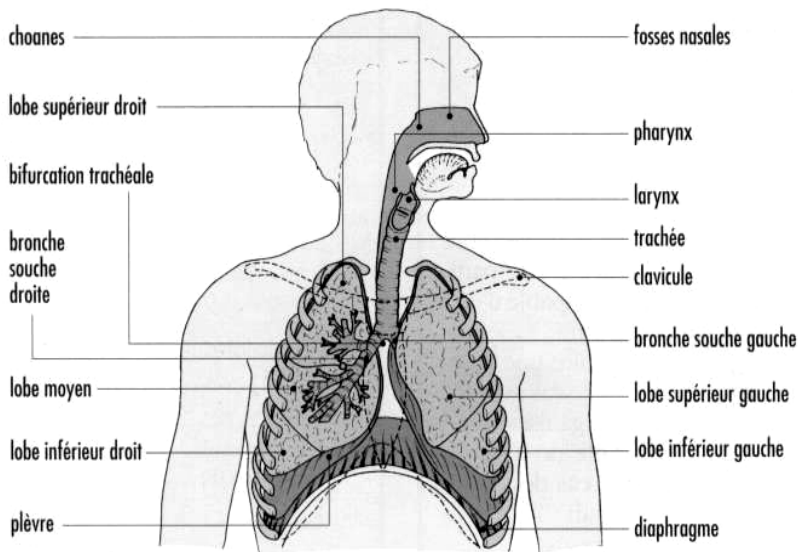
#### **A. NEZ ET SINUS PARANASaux**

##### 1. NEZ

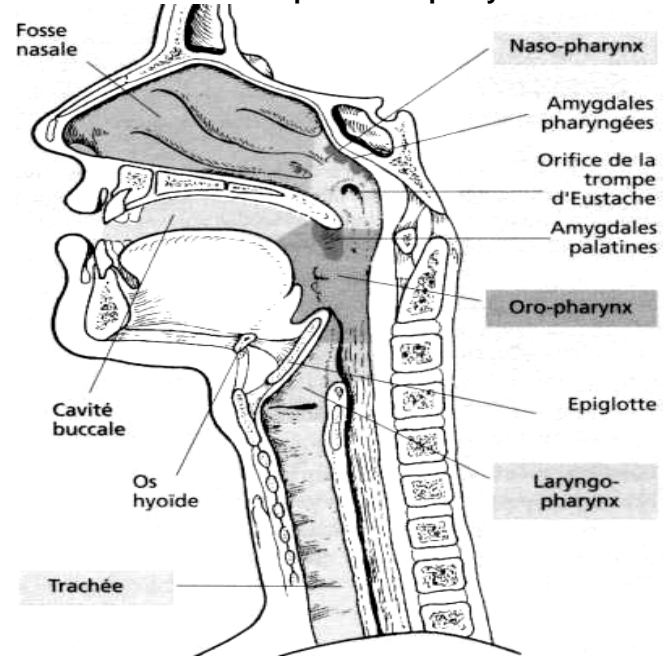
- Fonctions du nez :
- (1) *Passage* pour les *gaz respiratoires*.
  - (2) *Humidification* et *réchauffement* de l'*air inspiré*.
  - (3) *Filtration* de l'*air inspiré* ⇒ *élimination des corps étrangers*.
  - (4) Présence des *récepteurs olfactifs*.
- Les **cavités nasales** sont séparées par le **septum nasal**.
- L'arrière des **fosses nasales** communique avec le **naso-pharynx** (= **rhinopharynx**) par les **choanes** (= en forme d'entonnoirs).
- Les *parois latérales* des cavités nasales possèdent 3 *lames osseuses recourbées* et recouvertes de la **muqueuse nasale** : le **cornet nasal supérieur**, le **cornet nasal moyen** et le **cornet nasal inférieur**.
- ρ Chaque cornet délimite un sillon → le **méat**.

- Les **vibrisses** (= poils) situés au niveau des *narines* **filtrent** les **grosses particules** (= fibres, poussières, pollen) en suspension dans l'air inspiré.

### Schéma de l'appareil respiratoire



### Différentes parties du pharynx



- La **muqueuse nasale** présente 2 régions :

- ρ La **région olfactive** (= région supérieure des cavités nasales) :
  - contient les **récepteurs olfactifs**.
- ρ La **muqueuse respiratoire** (= le reste de la muqueuse nasale) :
  - contient des **glandes muqueuses** :
    - sécrétion de *mucus* ⇒ *piégeage* des *microorganismes*, de la *poussière* et des *débris*.
  - contient des **cellules ciliées** :
    - *création d'un courant d'air* ⇒ *acheminement* du *mucus contaminé* vers la *gorge* (= oropharynx) ⇒ *avalement*, puis *digestion* de ce *mucus* par les *sucs gastriques*.

## 2. SINUS PARANASaux

- Les fosses nasales sont entourées de *cavités* → les **sinus paranasaux**, creusés dans les *os frontal*, *sphénoïde*, *ethmoïde* et *maxillaire*.

- Fonctions des sinus paranasaux :

- ρ **allègement** de la *tête*;
- ρ **réchauffement** et **humidification** de *l'air* (= en association avec les fosses nasales);
- ρ **production** aussi d'un **mucus** → cavités nasales.

## B. PHARYNX

- Le **pharynx** (= **gorge**) relie les *cavités nasales* et *buccale* au *larynx* et à l'*œsophage* ⇒ passage de *l'air* (→ *larynx*) et des *aliments* (→ *œsophage*).

- Il se divise en 3 parties :

- ρ le **nasopharynx** (= **rhinopharynx** : partie nasale du pharynx),
- ρ l'**oropharynx** (= partie buccale du pharynx),
- ρ le **laryngopharynx** (= partie laryngée du pharynx).

### 1. NASOPHARYNX

- Il est situé à l'*arrière* des *fosses nasales*, au-dessus de la cavité buccale ⇒ *ne reçoit que de l'air*.

- Il communique avec les fosses *nasales* par l'intermédiaire des **choanes**.

- ρ Les *cellules ciliées* de son *épithélium* ⇒ *propulsion* du *mucus* amorcée par la muqueuse nasale.
- ρ La partie supérieure de sa paroi contient les **tonsilles pharyngiennes** (= **végétations adénoïdes**) ⇒ *piégeage* et *destruction* des *agents pathogènes de l'air* (cf. le système lymphatique).

- Durant la **déglutition**, le *palais mou* ↑ et la *luette* (= uvule palatine) ↑ ⇒ *fermeture* du *nasopharynx* ⇒ les *aliments* ne peuvent pas atteindre la cavité nasale.

- Les **trompes d'Eustache** (= trompes auditives)

Rôles : *équibration* de la *pression de l'air* dans l'**oreille moyenne** avec la *pression de l'air* dans le **milieu extérieur**.

ρ s'ouvrent dans les parois latérales du nasopharynx.

## 2. OROPHARYNX

→ Il est situé à l'*arrière de la cavité orale*;

ρ communique avec elle par une ouverture → le **gosier**,

ρ s'étend du **palais mou à l'épiglotte** ;

→ au niveau de la cavité buccale ⇒ *reçoit l'air inspiré* et les *aliments avalés*.

→ Sa muqueuse contient **3 tonsilles** (= amygdales) :

ρ les **2 tonsilles palatines**,

ρ la **tonsille linguale**.

⇒ *piégeage* et *destruction* des *agents pathogènes de l'air* et d'*origine alimentaire* (cf. le système lymphatique).

## 3. LARYNGOPHARYNX

→ Il est situé *au-dessous de l'oropharynx*;

⇒ *reçoit* comme l'oropharynx *l'air inspiré* et les *aliments avalés*.

ρ s'étend de l'**épiglotte au larynx**.

ρ À ce niveau → *divergence* des *voies respiratoires* et des *voies digestives* : le laryngopharynx s'unit à la fois au **larynx** et à l'**œsophage**.

ρ Au cours de la **déglutition** ⇒ *priorité* des *aliments* ⇒ *interruption temporaire* du *passage de l'air*.

## C. LARYNX

### 1. ANATOMIE

→ S'étend de la **4<sup>ème</sup>** à la **6<sup>ème</sup>** *vertèbre cervicale*.

ρ dans sa *partie supérieure*, relié à l'**os hyoïde** → s'ouvre dans le *laryngopharynx*,

ρ dans sa *partie inférieure* → communique avec la *trachée*.

→ Fonctions du larynx :

(1) **Conduction de l'air dans la trachée.**

(2) **Aiguillage des aliments dans l'œsophage.**

(3) **Phonation** (= présence des **cordes vocales**).

→ La charpente du larynx est composée de **9 cartilages** (= reliés par des membranes et des ligaments) :

ρ le **cartilage thyroïde** (= le plus grand → en fait, *2 lames de cartilage* dont la fusion médiane constitue la **proéminence laryngée** ou **pomme d'Adam** : plus développée chez l'homme),

ρ le **cartilage cricoïde** (= en forme d'anneau),

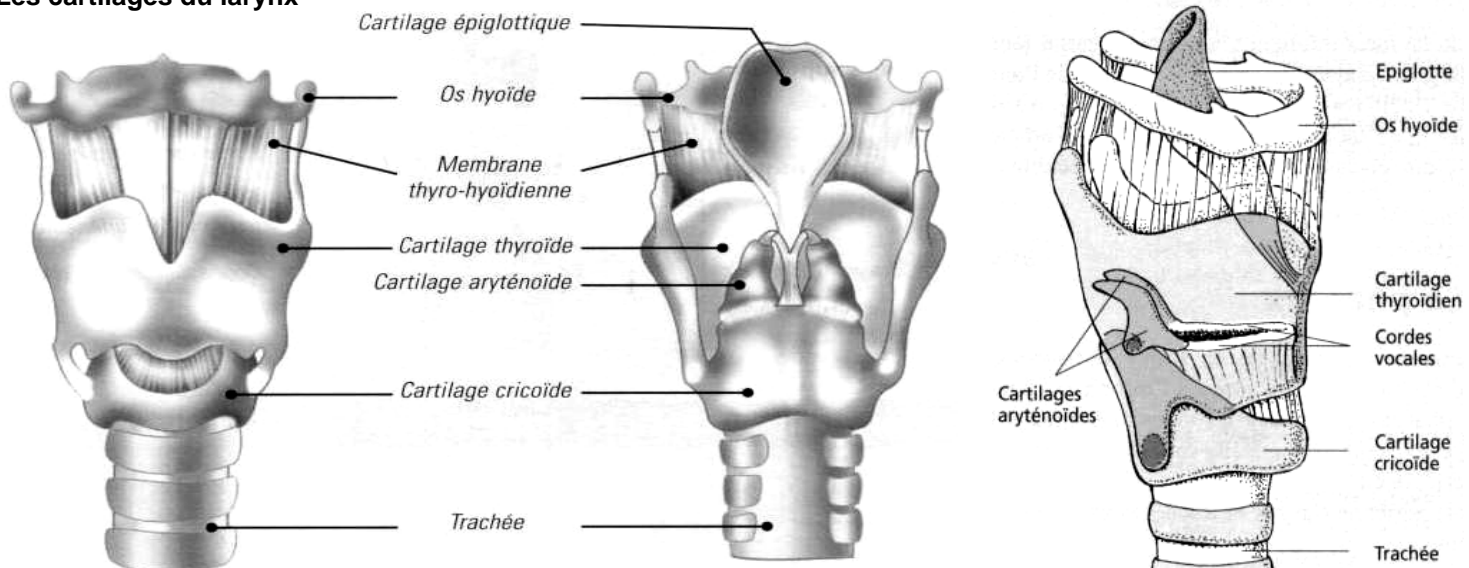
ρ la paire de **cartilages aryténoïdes**,

ρ la paire de **cartilages cunéiformes**,

ρ la paire de **cartilages corniculés**,

ρ l'**épiglotte** (= cartilage élastique → partie supérieure située à l'arrière de la langue → sa tige est attachée à la face antérieure du cartilage thyroïde).

### Les cartilages du larynx



→ Fonctionnement de l'épiglotte :

ρ **Durant l'inspiration** :

⇒ *ouverture* de l'*entrée du larynx*,

⇒ *soulèvement de l'épiglotte.*

ρ **Durant la déglutition :**

⇒ *soulèvement du larynx,*

⇒ *abaissement de l'épiglotte,*

⇒ *fermeture du larynx,*

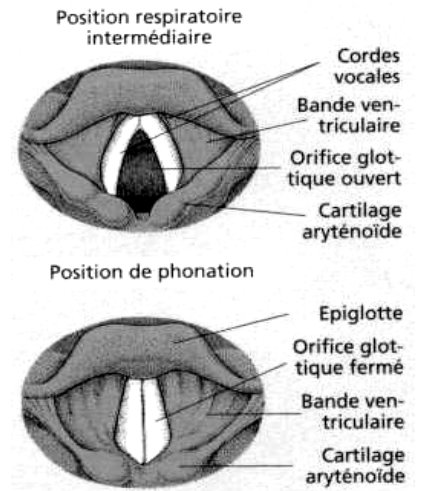
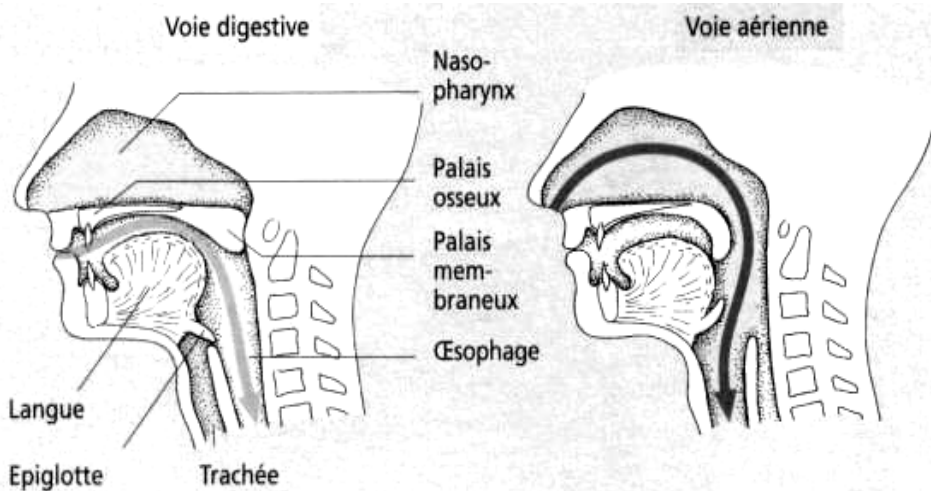
⇒ *aiguillage des aliments et des liquides dans l'œsophage.*

ρ **En cas de pénétration d'une substance autre que l'air dans le larynx** ⇒ *réflexe de toux (= réflexe tussigène)*

⇒ *expulsion de la substance.*

### Carrefour des voies aérodigestives au niveau du pharynx

### Orifice glottique en position ouverte et fermée



→ Présence des **ligaments vocaux** ⇒ liaison des *cartilages aryténoïdes* au *cartilage thyroïde*.

ρ soutiennent 2 *replis muqueux horizontaux* = les **cordes vocales**.

ρ Les **cordes vocales** *vibrent* et *émettent des sons* sous l'impulsion de l'*air provenant des poumons*.

ρ L'ouverture où passe l'air entre les cordes vocales est appelée **glotte**.

→ Les *cellules ciliées* (= présentes en dessous des cordes vocales) ⇒ *repoussent le mucus en direction opposée des poumons* (= sens opposé à la poussée des cils du nasopharynx).

### 2. PHONATION

→ C'est l'*expulsion intermittente d'air* accompagnée de l'*ouverture* et de la *fermeture* de la *glotte*.

ρ Les **variations de la longueur** et de la **tension des cordes vocales** ⇒ la **hauteur des sons** :

○ Plus les *cordes vocales* sont *tendues* (= *glotte faiblement ouverte*)

⇒ plus leurs *vibrations* sont *rapides*,

⇒ plus le **son** est **aigu**.

○ Plus la *glotte* est *largement ouverte* ⇒ plus le **son** est **grave**.

ρ La **force** avec laquelle l'*air est expulsé* ⇒ le **volume de la voix** :

○ Plus cette *force* est *grande* ⇒ plus les *vibrations* des cordes vocales sont *importantes* ⇒ plus le **son** est **intense**.

### D. TRACHÉE

→ S'étend du *larynx* jusqu'au *médiastin* :

ρ Se termine au *milieu du thorax* → donne naissance aux 2 *bronches principales* (= bronches souches).

ρ Est *mobile* et très *flexible*.

→ L'*épithélium* de sa *muqueuse* est constitué de cellules recouvertes de **cils** ⇒ **propulsion continue** du **mucus chargé de poussières et de débris** en **direction du pharynx** ⇒ **protection des structures pulmonaires**.

→ La *périphérie* de la *trachée* est renforcée par **16 à 20 anneaux incomplets** de *cartilage hyalin* (= forme de fer à cheval).

### E. ARBRE BRONCHIQUE

#### 1. STRUCTURES DE LA ZONE DE CONDUCTION

→ Les **bronches principales droite et gauche** (= **bronches souches**) sont situées vers la *vertèbre T<sub>5</sub>* :

ρ À l'*entrée dans les poumons*, elles se subdivisent en **bronches lobaires ou secondaires** (= 3 à droite et 2 à gauche ⇒ 1 pour chaque lobe pulmonaire).

ρ Les **bronches lobaires** donnent naissance aux **bronches segmentaires ou tertiaires**

⇒ émission de *bronches de plus en plus petites* : de 4<sup>ème</sup> ordre, de 5<sup>ème</sup> ordre, etc.

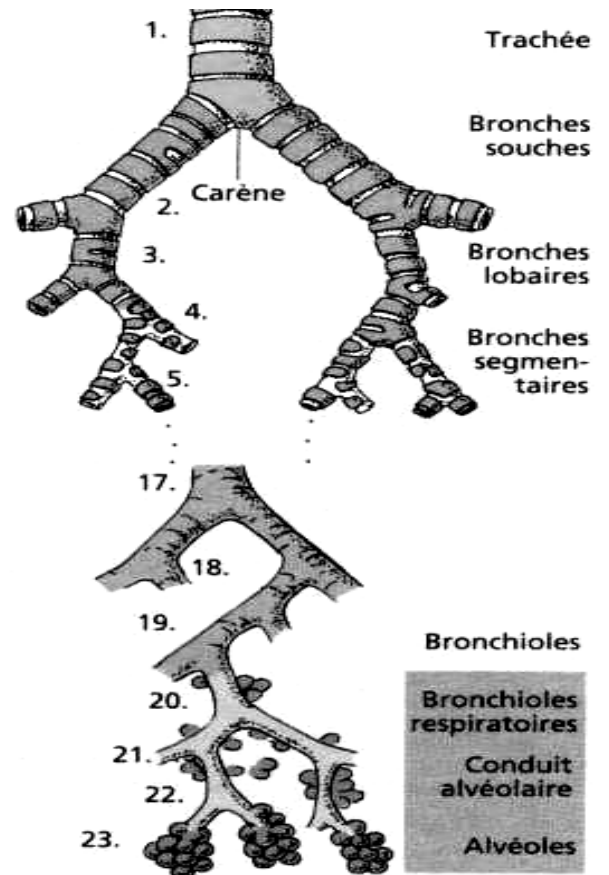
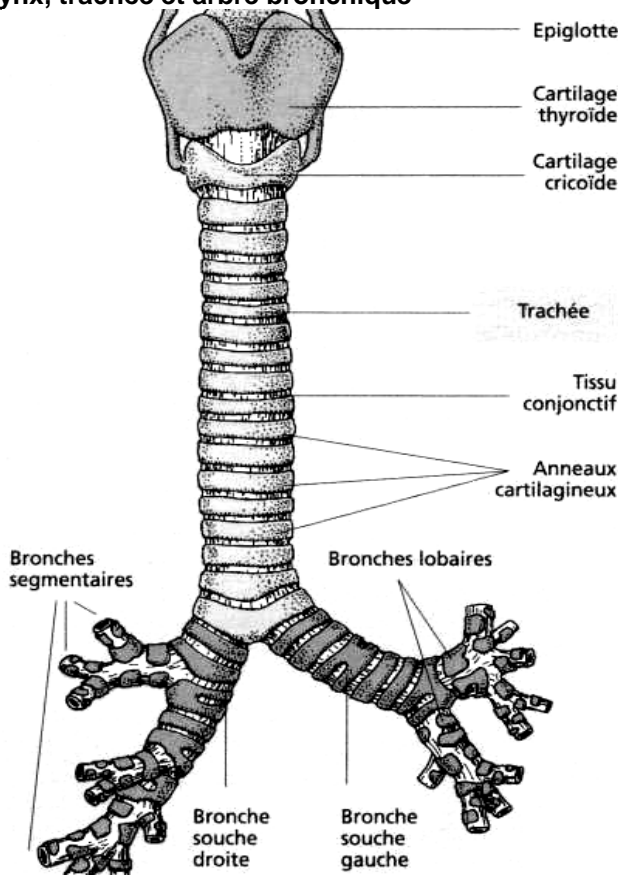
ρ Il existe **23 ordres** de *conduit aériens* dans les *poumons* ⇒ **arbre bronchique ou respiratoire**.

ρ Les **bronchioles** sont les *conduit aériens* de **diamètre < 1 mm**

## PHYSIOLOGIE HUMAINE

- pénètrent dans les **lobules pulmonaires**,
- se subdivisent en **bronchioles terminales** (*diamètre < 0,5 mm*).

### Larynx, trachée et arbre bronchique



→ Les *parois des bronches se modifient au cours des ramifications* (= lors du passage d'un ordre de degré supérieur à un ordre de degré inférieur) :

#### (1) Modification du cartilage de soutien :

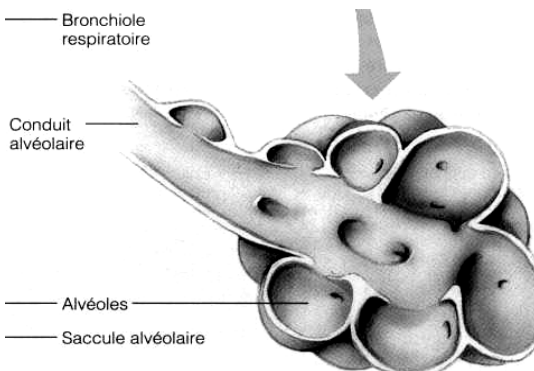
- Les anneaux cartilagineux sont remplacés progressivement par des *plaques irrégulières de cartilage*.

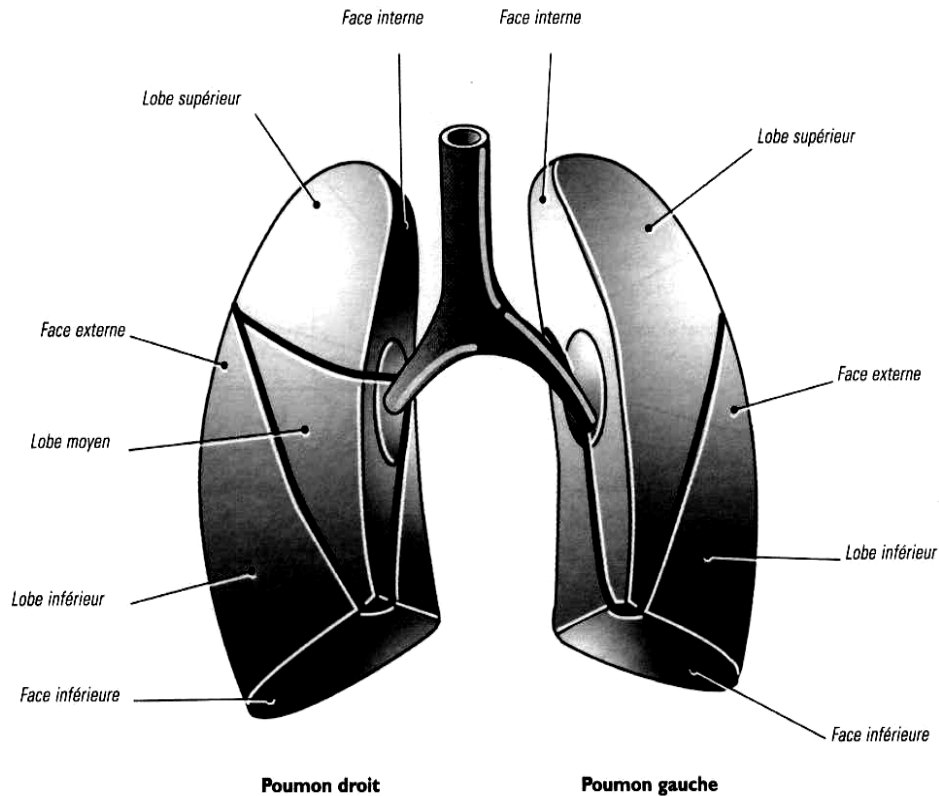
#### (2) Accroissement de la proportion du muscle lisse :

- Plus le *diamètre des bronches* ↓ ⇒ plus la *proportion relative des muscles lisses* dans les parois ↑ ⇒ les **bronchioles** sont entièrement *entourées de muscle lisse circulaire*.

### Lobes pulmonaires

#### Zone respiratoire (sacculé alvéolaire)





## 2. STRUCTURES DE LA ZONE RESPIRATOIRE

→ La **zone respiratoire** commence à l'endroit où les *bronchioles terminales* se jettent dans les **bronchioles respiratoires** :

- ρ *bronchioles les plus fines*;
- ρ se prolongent par les **conduits alvéolaires**;
- ρ leurs parois sont constituées d'*anneaux de muscle lisse*, de *fibres élastiques* et de *fibres collagènes* ainsi que d'**alvéoles pulmonaires isolées** (= font saillie).
- ρ ces conduits se terminent par des **grappes d'alvéoles pulmonaires** → les **sacculés alvéolaires**;
- ρ chaque **sacculé** est composé de *plusieurs alvéoles pulmonaires*.
- ρ chaque *alvéole pulmonaire* est le **siège des échanges gazeux**.

### a) Membrane alvéolo-capillaire

→ Les *parois des alvéoles pulmonaires* sont composées d'une couche unique de cellules appelées **épithéliocytes respiratoires** ou **pneumocytes de type I**.

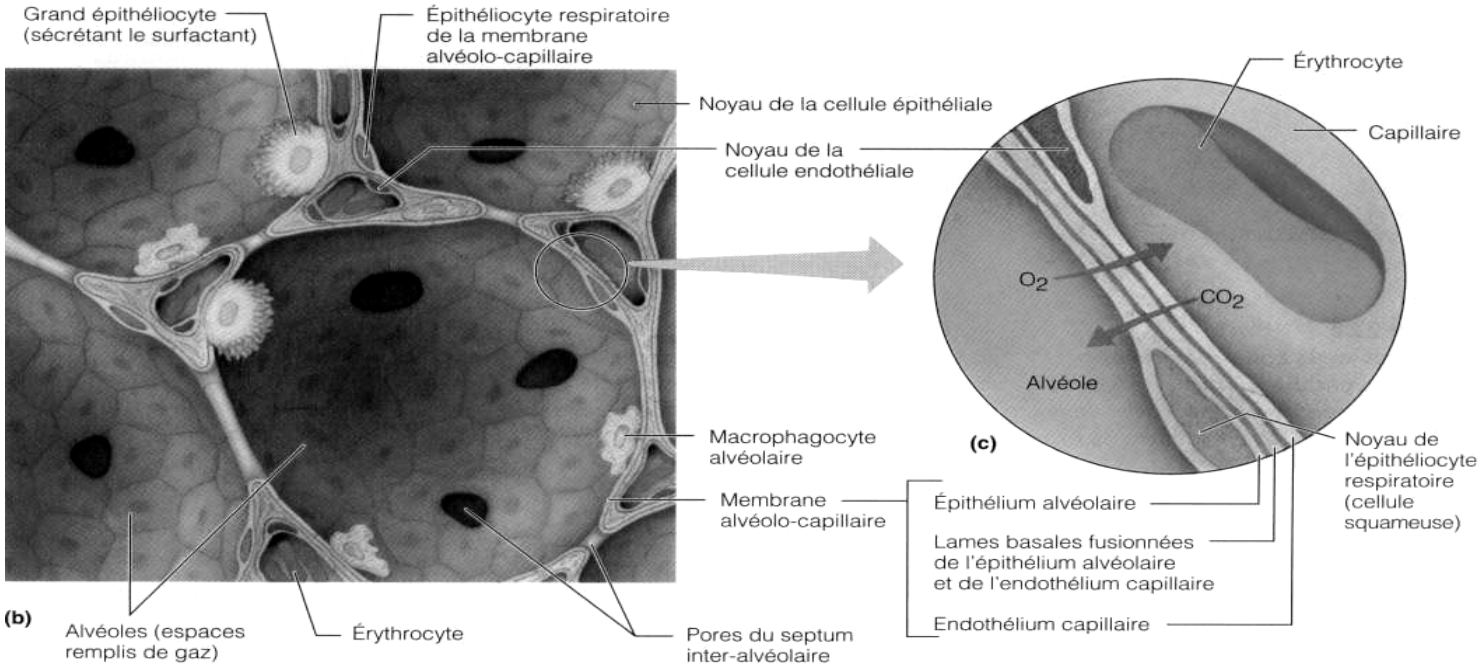
- ρ Une *trame dense de capillaires pulmonaires* recouvre les *alvéoles*.
- ρ Les *parois des alvéoles et des capillaires associées* forment la **membrane alvéolo-capillaire** → c'est la **barrière air-sang**.
- ρ Les *échanges gazeux* se produisent par *diffusion simple* à travers la *membrane alvéolo-capillaire* :
  - l'**O<sub>2</sub>** passe des **alvéoles au sang**,
  - le **CO<sub>2</sub>** diffuse du **sang aux alvéoles**.

→ Les autres types cellulaires présents dans le *parenchyme pulmonaire* sont :

- ρ Les **grands épithéliocytes** ou **pneumocytes de type II**.
  - disséminés entre les *épithéliocytes respiratoires*;
  - rôle : sécrétion d'un **surfactant liquide** tapissant la *surface interne de l'alvéole exposée à l'air alvéolaire* ⇒ **↑ l'efficacité des échanges gazeux**.
- ρ Les **macrophages alvéolaires**.
  - proviennent des *capillaires sanguins*;
  - rôle : sont des **phagocytes** très efficaces appelés **cellules à poussière** ⇒ les *surfaces alvéolaires* sont **stériles**.

### Membrane alvéolo-capillaire

## PHYSIOLOGIE HUMAINE



## F. POUMONS ET PLÈVRE

### 1. ANATOMIE MACROSCOPIQUE

- Les **2 poumons** occupent la partie du thorax laissée libre par le médiastin (= espace abritant le cœur, les gros vaisseaux sanguins, les bronches, l'œsophage, etc.).
- Les *poumons* reposent sur le **diaphragme** (= muscle squelettique).
- Le **hile** des *poumons* correspond à une dépression (= sur la face interne des 2 poumons) où pénètrent :
  - ρ les **vaisseaux sanguins** :
    - de la **circulation pulmonaire**,
    - de la **circulation systémique**;
  - ρ des *vaisseaux lymphatiques*;
  - ρ des *nerfs*;
  - ρ les *bronches principales* (= *bronches souches*) : = les bronches des ordres inférieurs sont enfouies dans la masse des poumons.
- Du fait de la *position du cœur* (= *incliné vers la gauche*) ⇒ les 2 *poumons* ont :
  - une *forme un peu différente* : la *face interne du poumon gauche* est creusée d'une **concavité** correspondant à la forme du **cœur** (= **incisure cardiaque du poumon gauche**).
  - des *dimensions un peu différentes* : le **poumon gauche** est *plus petit, en largeur*, que le droit.
- Les 2 *poumons* présentent un **nombre de lobes différent** :
  - ρ Le **poumon gauche** est divisé en **2 lobes** (= *supérieur* et *inférieur*) par une *scissure oblique*.
  - ρ Le **poumon droit** est divisé en **3 lobes** (= *supérieur, moyen* et *inférieur*) par une *scissure oblique* et une *scissure horizontale*.
- Les *lobes pulmonaires* se subdivisent eux-mêmes en **segments pulmonaires** possédant chacun leur *artère*, leur *veine* et leur *bronche segmentaire* propres :
  - ρ **10 segments** dans le **poumon droit**,
  - ρ **8 segments** dans le **poumon gauche**.
- La *plus petite subdivision* du poumon est le **lobule pulmonaire** : *chaque lobule* est approvisionné par une **bronchiole terminale** de gros calibre et ses *ramifications*.

### 2. VASCULARISATION ET INNERVATION DES POUMONS

- Il existe **2 types de circulation sanguine dans les poumons** qui ont des **fonctions différentes** :

#### (1) Circulation pulmonaire :

- ρ Elle correspond à la **circulation fonctionnelle des poumons** (= liée à la *fonction des poumons*).
- ρ Le **sang pauvre en  $O_2$  et riche en  $CO_2$**  (= sang "*veineux*" → du point de vue de la circulation systémique) est transporté par les **2 artères pulmonaires** :
  - cheminent *parallèlement aux bronches principales*;
  - à l'*intérieur des poumons*, se ramifient pour donner naissance aux **réseaux capillaires pulmonaires**.

## PHYSIOLOGIE HUMAINE

- ρ Le **sang riche en O<sub>2</sub> et pauvre en CO<sub>2</sub>** (= sang "artériel" → du point de vue de la circulation systémique) est ramené au cœur par les **4 veines pulmonaires**.

### (2) Circulation bronchique :

- ρ Elle correspond à la **circulation nutritionnelle des poumons** (= apport d'O<sub>2</sub> aux cellules pulmonaires et élimination du CO<sub>2</sub> provenant du métabolisme de ces cellules).
  - ρ Les **artères bronchiques** acheminent le **sang riche en O<sub>2</sub> et pauvre en CO<sub>2</sub>** en provenance de la circulation systémique aux **tissus pulmonaires**.
    - sortent de l'aorte et entrent dans les poumons au niveau du hile;
    - présentent un volume sanguin **bas** et une pression sanguine **élevée** (vs dans les artères pulmonaires).
  - ρ Les petites **veines bronchiques** drainent le **sang pauvre en O<sub>2</sub> et riche en CO<sub>2</sub> hors des poumons** (→ **circulation systémique**).
- Les poumons sont innervés par :
- ρ Des **neurofibres parasymphatiques** (= principalement) ⇒ **constriction** des conduits aériens.
  - ρ Des **neurofibres sympathiques** (= minoritairement) ⇒ **dilatation** des conduits aériens.

### 3. PLÈVRE

- C'est une **séreuse** composée de **2 feuillets** :
- ρ La **plèvre pariétale** tapisse la **paroi thoracique**.
  - ρ La **plèvre viscérale** adhère à la **surface externe des poumons**.
- Les **2 plèvres** délimitent une **mince cavité** → la **cavité pleurale**.
- ρ Contient le **liquide pleural** qui est **produit par les feuillets de la plèvre**.
  - ρ Rôles :
    - **réduction de la friction des poumons contre la paroi thoracique** pendant la respiration.
    - **prévention de la séparation des 2 feuillets pleuraux** : les feuillets de la plèvre glissent l'un contre l'autre, mais la **tension superficielle** du liquide pleural résiste fortement à leur séparation ⇒ adhésion forte de chaque poumon à la paroi thoracique : il se dilate et se rétracte suivant les **variations du volume** de la cage thoracique (→ ↑ durant l'inspiration et ↓ durant l'expiration).

## II. MÉCANIQUE DE LA RESPIRATION

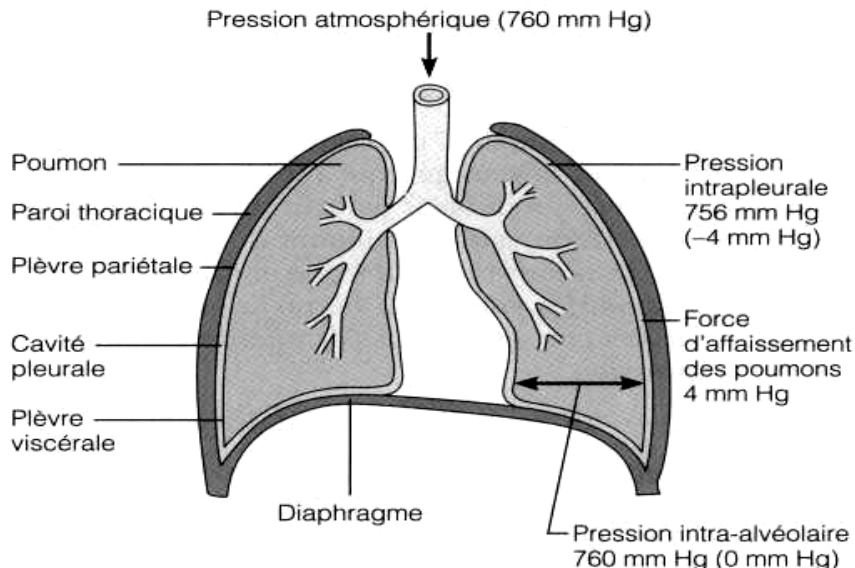
- La **ventilation pulmonaire** ou **respiration** comprend **2 phases** :
- ρ L'**inspiration** durant laquelle l'**air entre dans les poumons**,
  - ρ L'**expiration** durant laquelle les **gaz sortent des poumons**.

### **A. PRESSION DANS LA CAVITÉ THORACIQUE**

- Les **pressions respiratoires** sont exprimées par rapport à la **pression atmosphérique**.
- ρ La **pression atmosphérique** est la **pression exercée par l'air entourant l'organisme**.
  - ρ **Au niveau de la mer**, la **pression atmosphérique = 760 mm Hg** (= pression exercée par une colonne de mercure de 760 mm de hauteur).
  - ρ Conséquences :
    - **pression respiratoire de - 4 mm Hg** (→ **valeur relative** vis à vis de la pression atmosphérique) ⇒ < de **4 mm Hg** à la **pression atmosphérique** ⇒ correspond à  $(760 - 4) \text{ mm Hg} = 756 \text{ mm Hg}$  (→ **valeur absolue** ou **réelle**).
    - **pression respiratoire > 0** ⇒ > à la **pression atmosphérique** ⇒ > **760 mm Hg**.

**Pression intra-alvéolaire et pression intrapleurale**





### 1. PRESSION INTRA ALVÉOLAIRE

→ La **pression intra-alvéolaire** ou **pression intra-pulmonaire** :

- ρ c'est la pression qui existe à l'**intérieur des alvéoles**;
- ρ monte et descend suivant les 2 phases de la respiration;
- ρ revient toujours à une valeur = **pression atmosphérique** (= 760 mm Hg en v. absolue, = 0 mm Hg en v. relative).

### 2. PRESSION INTRA PLEURALE

→ La **pression intra-pleurale** :

- ρ c'est la pression qui existe à l'**intérieur de la cavité pleurale**;
- ρ fluctue aussi en fonction des 2 phases de la respiration;
- ρ toujours < à la **pression intra-alvéolaire** d'  $\approx 4$  mm Hg  $\Rightarrow$  **pression intrapleurale = 756 mm Hg** (= - 4 mm Hg en valeur relative).

→ La **pression trans-pulmonaire** réalise la force nécessaire au **maintien des poumons contre la paroi thoracique**.

$$\text{Pression trans-pulmonaire} = \text{pression intra-pulmonaire} - \text{pression intrapleurale} = P_{\text{alv}} - P_{\text{ip}}$$

## B. VENTILATION PULMONAIRE : INSPIRATION ET EXPIRATION

→ La **ventilation pulmonaire** ou **respiration** repose sur les **variations de volume se produisant dans la cavité thoracique**.

ρ Principe :

- variations de volume  $\Delta V \Rightarrow$  variations de pression  $\Delta P$ ,
- variations de pression  $\Delta P \Rightarrow$  écoulement des gaz,
- l'**écoulement des gaz se fait de façon à égaliser la pression** :

$$\Delta V \Rightarrow \Delta P \Rightarrow E \text{ (= écoulement des gaz)}$$

→ La relation entre la **pression P** et le **volume des gaz V** s'exprime par la **loi des gaz parfaits** (= loi de Mariotte) :

À température T constante :  $P_1 V_1 = P_2 V_2$  avec P = pression du gaz (= mm Hg), V = volume du gaz (= mm<sup>3</sup>), les indices 1 et 2 = les conditions initiales et finales, respectivement.

Plus volume V est  $\uparrow$   $\Rightarrow$  plus les molécules de gaz sont éloignées les unes des autres,  $\Rightarrow$  plus pression P est  $\downarrow$ .

Plus volume V est  $\downarrow$   $\Rightarrow$  plus les molécules de gaz sont comprimées,  $\Rightarrow$  plus pression P est  $\uparrow$ .

### 1. INSPIRATION

→ L'**inspiration calme normale** se fait sous l'action des **muscles inspiratoires** : le **diaphragme** et les **muscles intercostaux externes**.

→ Mécanisme de l'inspiration calme :

a) Action du diaphragme

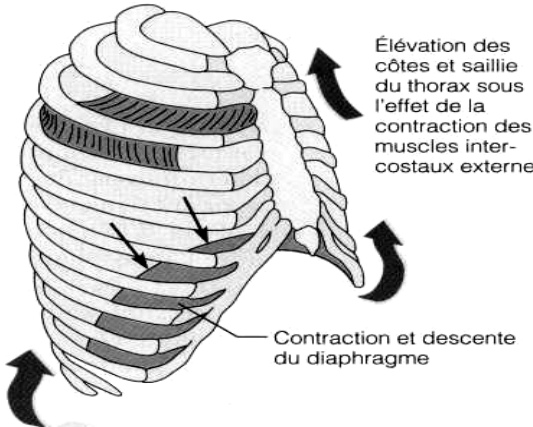
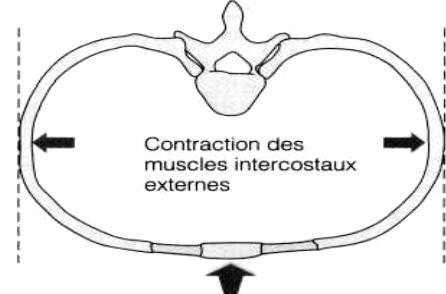
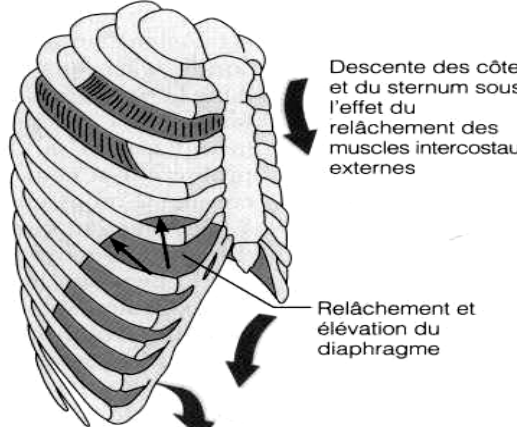
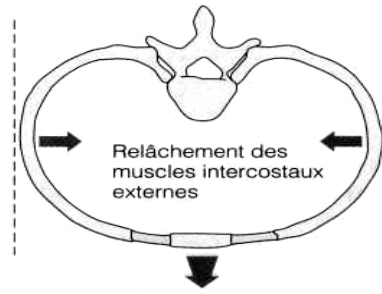
→ La **contraction** du **diaphragme**  $\Rightarrow$  son **abaissement** et son **aplatissement**  $\Rightarrow \uparrow$  de la **hauteur** de la **cavité thoracique**.

b) Action des muscles intercostaux

→ La **contraction** des **muscles intercostaux externes**  $\Rightarrow$  **élévation de la cage thoracique**  $\Rightarrow$  poussée **vers l'avant** du **sternum**  $\Rightarrow \uparrow$  du **diamètre** du **thorax**

→ L' $\uparrow$  du **volume** de la **cavité du thorax** (= lors d'une inspiration calme normale)  $\approx$  **500 mL** = volume d'air entrant dans les poumons au cours d'une inspiration normale.

Variations du volume thoracique entraînant l'écoulement des gaz

	Chaînes des événements	Variations de la profondeur et de la hauteur	Variations de la largeur
Inspiration	<ol style="list-style-type: none"> <li>① Contraction des muscles inspiratoires (descente du diaphragme ; élévation de la cage thoracique)</li> <li>↓</li> <li>② Augmentation du volume de la cavité thoracique</li> <li>↓</li> <li>③ Dilatation des poumons ; augmentation du volume intra-alvéolaire</li> <li>↓</li> <li>④ Diminution de la pression intra-alvéolaire (-1 mm Hg)</li> <li>↓</li> <li>⑤ Écoulement des gaz dans les poumons dans le sens du gradient de pression jusqu'à l'atteinte d'une pression intra-alvéolaire de 0 (égale à la pression atmosphérique)</li> </ol>	 <p>Élévation des côtes et saillie du thorax sous l'effet de la contraction des muscles intercostaux externes</p> <p>Contraction et descente du diaphragme</p>	 <p>Contraction des muscles intercostaux externes</p>
Expiration	<ol style="list-style-type: none"> <li>① Relâchement des muscles inspiratoires (élévation du diaphragme ; descente de la cage thoracique due à la gravité)</li> <li>↓</li> <li>② Diminution du volume de la cage thoracique</li> <li>↓</li> <li>③ Rétraction passive des poumons ; diminution du volume intra-alvéolaire</li> <li>↓</li> <li>④ Augmentation de la pression intra-alvéolaire (+1 mm Hg)</li> <li>↓</li> <li>⑤ Écoulement des gaz hors des poumons dans le sens du gradient de pression jusqu'à l'atteinte d'une pression intra-alvéolaire de 0</li> </ol>	 <p>Descente des côtes et du sternum sous l'effet du relâchement des muscles intercostaux externes</p> <p>Relâchement et élévation du diaphragme</p>	 <p>Relâchement des muscles intercostaux externes</p>

- ➔ Les **inspirations profondes** ou **forcées** : dues à l'exercice intense ou à certaines *pneumopathies obstructives*,
  - ⇒ activation des **muscles accessoires de la respiration** (= les scalènes, les sterno-cléïdo-mastoïdiens et le petit pectoral),
  - ⇒ **élévation accrue** des côtes (= comparée à l'inspiration calme),
  - ⇒ ↑ de la **capacité du thorax**.

2. EXPIRATION

- ➔ L'**expiration** ou **exhalation normale calme** est un **mécanisme passif** reposant principalement, sur l'**élasticité naturelle des poumons**,
- ➔ L'**expiration forcée** est un **mécanisme actif** provoquée par la **contraction** des **muscles de la paroi abdominale** (= obliques externe et interne de l'abdomen, transverse de l'abdomen).  
 Cette contraction ⇒ ↑ la **pression intra-abdominale**,  
 ⇒ *poussée des organes abdominaux contre le diaphragme*,  
 ⇒ *abaissement de la cage thoracique*.

**C. INFLUENCE DE LA TENSION SUPERFICIELLE SUR LA VENTILATION PULMONAIRE**

- ➔ La **tension superficielle** est un état qui se crée à la surface entre un gaz et un liquide
  - ⇒ attire davantage les molécules du liquide les unes vers les autres,
  - ⇒ résiste à toute force qui ↑ l'aire de la surface de séparation gaz-liquide.
- ➔ H<sub>2</sub>O est le **principal composant** du liquide qui recouvre les parois internes des alvéoles :
  - ρ présente une très **forte tension superficielle**;
  - ρ ramène constamment les alvéoles à leurs plus petites dimensions possibles;

## PHYSIOLOGIE HUMAINE

ρ si le liquide ne contenait que de l'H<sub>2</sub>O pure ⇒ affaissement des alvéoles entre les respirations.

→ Présence de **surfactant** dans la *pellicule de liquide alvéolaire* :

ρ *complexe de lipides et de protéines* (= 90% phospholipides, 10% glycoprotéines);

ρ production par les *grands épithéliocytes*;

→ Mode d'action du **surfactant** :

ρ se dépose sur les cellules alvéolaires;

ρ forme une monocouche de molécules orientées comme les molécules de phospholipides dans une membrane plasmique;

ρ *même type d'action que celui d'un **détergent*** ⇒ *réduit la cohésion des molécules d'H<sub>2</sub>O entre elles*, ⇒ ↓ de la **tension superficielle** du *liquide alvéolaire*, ⇒ *moins d'énergie nécessaire pour dilater les poumons* ⇒ **prévention de l'affaissement des alvéoles**.

### D. VOLUMES RESPIRATOIRES ET ÉPREUVES FONCTIONNELLES RESPIRATOIRES

#### 1. VOLUMES ET CAPACITÉS RESPIRATOIRES

→ Le **spiromètre** est un appareil qui permet de mesurer les différents **volumes respiratoires**.

→ Les *combinaisons* (= les sommes) des *volumes respiratoires* sont appelées **capacités respiratoires** : sont l'image de l'*état respiratoire* d'un individu.

##### a) Volumes respiratoires

###### (i) Volume courant (**VC**)

→ C'est le *volume d'air* qui *entre* et qui *sort des poumons à chaque respiration*, dans une situation de *repos*.

ρ **VC ≈ 500 mL d'air**.

###### (ii) Volume de réserve inspiratoire (**VRI**)

→ C'est le *volume d'air* qui peut être **en plus inspiré** avec un **effort**, après une inspiration courante.

ρ **VRI ≈ 2100 à 3200 mL d'air**.

###### (iii) Volume de réserve expiratoire (**VRE**)

→ C'est le *volume d'air* qui peut être **expiré** avec un **effort** après une expiration courante ⇒ *ne peut être expiré que grâce à une expiration forcée*.

ρ **VRE ≈ 1000 à 1200 mL d'air**.

###### (iv) Volume résiduel (**VR**)

→ C'est le *volume d'air **restant*** dans les poumons *après une expiration forcée* ⇒ *ne peut être évacué même lors d'une expiration forcée*.

ρ **VR ≈ 1200 mL d'air**.

ρ contribue à *maintenir les alvéoles ouvertes* ⇒ *prévention de l'affaissement des poumons*.

##### b) Capacités respiratoires

###### (i) Capacité inspiratoire (**CI = VC + VRI**)

→ C'est la *quantité totale* (= maximale) *d'air* pouvant être *inspirée après une expiration courante* (= normale).

ρ **CI ≈ 3600 mL**.

###### (ii) Capacité résiduelle fonctionnelle (**CRF = VRE + VR**)

→ C'est la *quantité d'air restant dans les poumons* après une *expiration courante*.

ρ **CRF ≈ 2400 mL**.

###### (iii) Capacité vitale (**CV = VC + VRI + VRE**)

→ C'est la *quantité totale d'air échangeable* ⇒ *quantité maximale d'air* pouvant être *expirée* après un *effort inspiratoire maximal*.

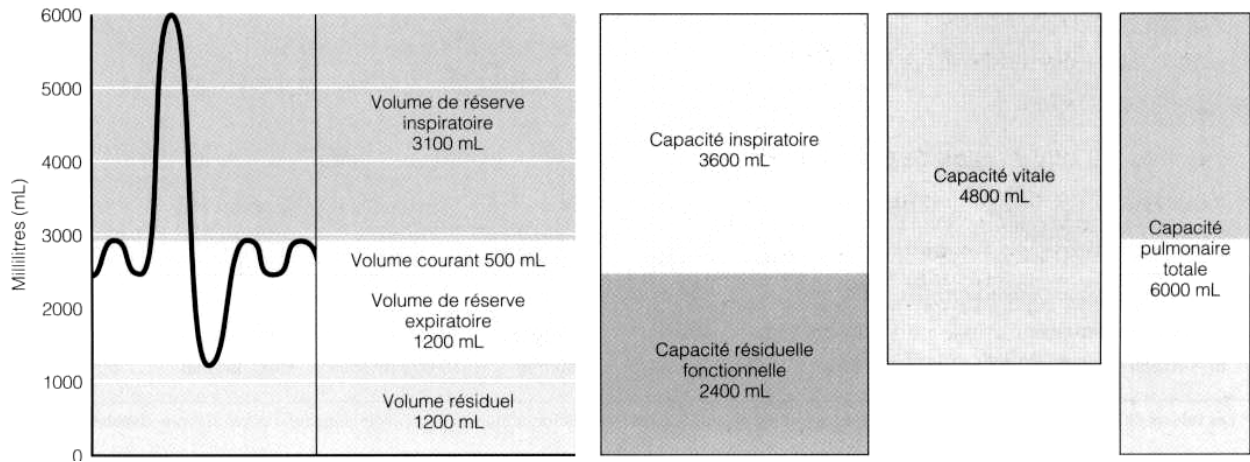
ρ **CV ≈ 4800 mL**.

ρ **CV ≈ 80% x CPT**.

###### (iv) Capacité pulmonaire totale (**CPT = VC + VRI + VRE + VR**)

→ C'est la *quantité maximale d'air* contenue dans les *poumons* après un *effort inspiratoire maximal* : **CPT ≈ 6000 mL**.

## PHYSIOLOGIE HUMAINE



### 2. ESPACE MORT ANATOMIQUE

→ C'est la *partie du volume courant d'air VC* qui remplit les conduits de la zone de conduction (= les bronches) et qui ne participe jamais aux échanges gazeux dans les alvéoles (= situation normale).

**Volume mort anatomique  $\approx 150$  mL d'air**  $\Rightarrow$   $(VC - \text{volume mort anatomique}) \approx (500 \text{ mL} - 150 \text{ mL}) \approx 350 \text{ mL}$  d'air seulement *participent à la ventilation alvéolaire.*

### 3. VENTILATION ALVÉOLAIRE (VA) : FRÉQUENCE X (VC - VOLUME MORT)

→ La **ventilation alvéolaire** (= VA) est plus précise que la *ventilation -minute* dans l'évaluation de l'*efficacité respiratoire* :

- ρ C'est la **fraction du volume d'air inspiré qui participe aux échanges gazeux.**
- ρ Prend en compte le *volume d'air inutilisé dans les espaces morts.*
- ρ Indique la *concentration de gaz frais dans les alvéoles* à un moment donné.

Équation de la VA : **VA = fréquence respiratoire x (VC - volume de l'espace mort)**

(mL/mn) (respirations/mn) (mL/respiration)

ρ Chez les **sujets en bonne santé** :  $VA = 12 \text{ respirations/mn} \times (500 - 150) \text{ mL/respiration} = 4200 \text{ mL/mn}$ .

→ L'↑ du **volume de chaque inspiration** (= VC) est **plus efficace** que l'↑ de la *fréquence respiratoire* pour l'**amélioration de la ventilation alvéolaire** et de l'**échange gazeux** car l'*espace mort anatomique* est *constant* chez un *sujet donné*.

- ρ Quand la *respiration* est *rapide et superficielle*  $\Rightarrow$  ↓ forte de la **ventilation alvéolaire** car la *majeure partie de l'air inspiré n'atteint jamais les alvéoles pulmonaires.*
- ρ Plus le **VC** ↓  $\Rightarrow$  plus la **ventilation réelle tend vers 0**, quelle que soit la rapidité de la respiration.

Sujet	Volume courant, ml/respiration	x	Fréquence, respirations/min	=	Ventilation minute, ml/min	Ventilation de l'espace mort anatomique, ml/min	Ventilation alvéolaire ml/min
A	150		40		6 000	$150 \times 40 = 6 000$	0
B	500		12		6 000	$150 \times 12 = 1 800$	4 200
C	1 000		6		6 000	$150 \times 6 = 900$	5 100

## III. ÉCHANGES GAZEUX

### A. PROPRIÉTÉS DES GAZ

#### 1. PRESSIONS PARTIELLES (LOI DE DALTON)

→ Selon la **loi des pressions partielles de Dalton** :

- ρ **Pression totale** exercée par **un mélange de gaz** = **somme** des **pressions exercées** par chacun des **gaz constituants.**
- ρ **Pression partielle** d'un gaz donné (= pression exercée par le gaz considéré)  $\approx$  % du gaz dans le mélange.

→  $P_{atm} \approx 760 \text{ mm Hg}$  au *niveau de la mer.* L'air est un *mélange de plusieurs gaz* :

On a la relation suivante : **Pression partielle d'un gaz = % du gaz dans le mélange x  $P_{atm}$**

- ρ **Conséquence** :
  - pression partielle de l' $N_2$  (= azote)  $P_{N_2} \approx 78,6\% \times 760 \text{ mm Hg} \approx 597 \text{ mm Hg}$ ;
  - pression partielle de l' $O_2$  (= oxygène)  $P_{O_2} \approx 21\% \times 760 \text{ mm Hg} \approx 159 \text{ mm Hg}$ ;
  - celle du  $CO_2$  (= gaz carbonique)  $P_{CO_2} \approx 0,04\% \times 760 \text{ mm Hg} \approx 0,3 \text{ mm Hg}$ ;
  - celle du  $H_2O$  (= vapeur d'eau)  $P_{H_2O} \approx 0,46\% \times 760 \text{ mm Hg} \approx 3,7 \text{ mm Hg}$ .

## 2. LOI DE HENRY

→ Selon cette loi :

- ρ Plus un gaz donné est **concentré dans le mélange gazeux** ⇒ **plus il se dissout en grande quantité dans le liquide.**
- ρ Au point d'équilibre, les pressions partielles d'un gaz sont les mêmes dans les 2 phases (= gazeuse et liquide).
- ρ Si pression partielle d'un gaz dans le liquide > celle du même gaz dans le mélange gazeux ⇒ une **partie des molécules de gaz dissoutes reviennent dans la phase gazeuse.**
- ρ Si pression partielle d'un gaz dans le liquide < celle du même gaz dans le mélange gazeux ⇒ des **molécules de gaz de la phase gazeuse se dissolvent dans la phase liquide.**

### B. COMPOSITION DU GAZ ALVÉOLAIRE

→ Les **alvéoles** contiennent **plus** de  $\text{CO}_2$  et de **vapeur d' $\text{H}_2\text{O}$** , et **moins d' $\text{O}_2$**  que l'atmosphère. Ces **différences** s'expliquent par :

- (1) Les **échanges gazeux** se produisant dans les **poumons** :
  - diffusion de l' $\text{O}_2$  des alvéoles au sang pulmonaire,
  - diffusion de  $\text{CO}_2$  du sang pulmonaire vers les alvéoles.
- (2) L'**humidification de l'air** qui s'effectue dans les zones de conduction ⇒  $\uparrow P_{\text{H}_2\text{O}}$ .
- (3) Le **mélange des gaz alvéolaires** survenant à chaque respiration : entre le volume de gaz occupant l'espace mort anatomique et l'air qui entre dans les poumons.

### C. ÉCHANGES GAZEUX ENTRE LE SANG, LES POUMONS ET LES TISSUS

→ On distingue 2 types de respiration :

- ρ **Respiration externe** :
  - dans les **poumons**, l' $\text{O}_2$  entre dans le sang et le  $\text{CO}_2$  en sort.
- ρ **Respiration interne** :
  - au niveau des **tissus**, l' $\text{O}_2$  sort du sang pour pénétrer dans les cellules et le  $\text{CO}_2$  entre dans le sang en provenance des mêmes cellules.

#### 1. ÉCHANGES GAZEUX DANS LES POUMONS

→ Durant la **respiration externe** :

- ρ Le sang rouge **sombre** (= pauvre en  $\text{O}_2$  et riche en  $\text{CO}_2$ ) prend une **couleur écarlate** (= sang riche en  $\text{O}_2$  et pauvre en  $\text{CO}_2$ ) au moment des échanges gazeux. Ce changement de couleur est dû à la fixation d' $\text{O}_2$  à l'**hémoglobine** (= **Hb**) dans les **érythrocytes** (= **globules rouges GR** ou **hématies**).

→ Facteurs influençant le mouvement d' $\text{O}_2$  et de  $\text{CO}_2$  à travers la membrane alvéolo-capillaire :

a) Gradients de pression partielle et solubilités des gaz

→  $P_{\text{O}_2} \approx 40 \text{ mm Hg}$  dans le sang désoxygéné des artères pulmonaires,  
 $P_{\text{O}_2} \approx 104 \text{ mm Hg}$  dans les alvéoles,  
 ⇒ le gradient de pression partielle est **élevé** (= 64 mm Hg),  
 ⇒ diffusion **rapide** de l' $\text{O}_2$  des **alvéoles** au **sang des capillaires pulmonaires**,  
 ⇒ établissement de l'équilibre à  $P_{\text{O}_2} \approx 104 \text{ mm Hg}$  dans le **sang capillaire pulmonaire**.

→  $P_{\text{CO}_2} \approx 45 \text{ mm Hg}$  dans le sang désoxygéné des artères pulmonaires,  
 $P_{\text{CO}_2} \approx 40 \text{ mm Hg}$  dans les alvéoles,  
 ⇒ le gradient de pression partielle est **bas** (= 5 mm Hg),  
 ⇒ diffusion du  $\text{CO}_2$  du **sang des capillaires pulmonaires** aux **alvéoles**,  
 ⇒ établissement de l'équilibre à  $P_{\text{CO}_2} \approx 40 \text{ mm Hg}$  dans le sang capillaire pulmonaire.

→  $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$  sont échangés en **quantités égales** bien que le gradient de l' $\text{O}_2$  > gradient de  $\text{CO}_2$  car la solubilité de l' $\text{O}_2$  ≈ **20 x plus petite** que la solubilité du  $\text{CO}_2$  dans le plasma et dans le liquide alvéolaire.

b) Aire consacrée aux échanges gazeux

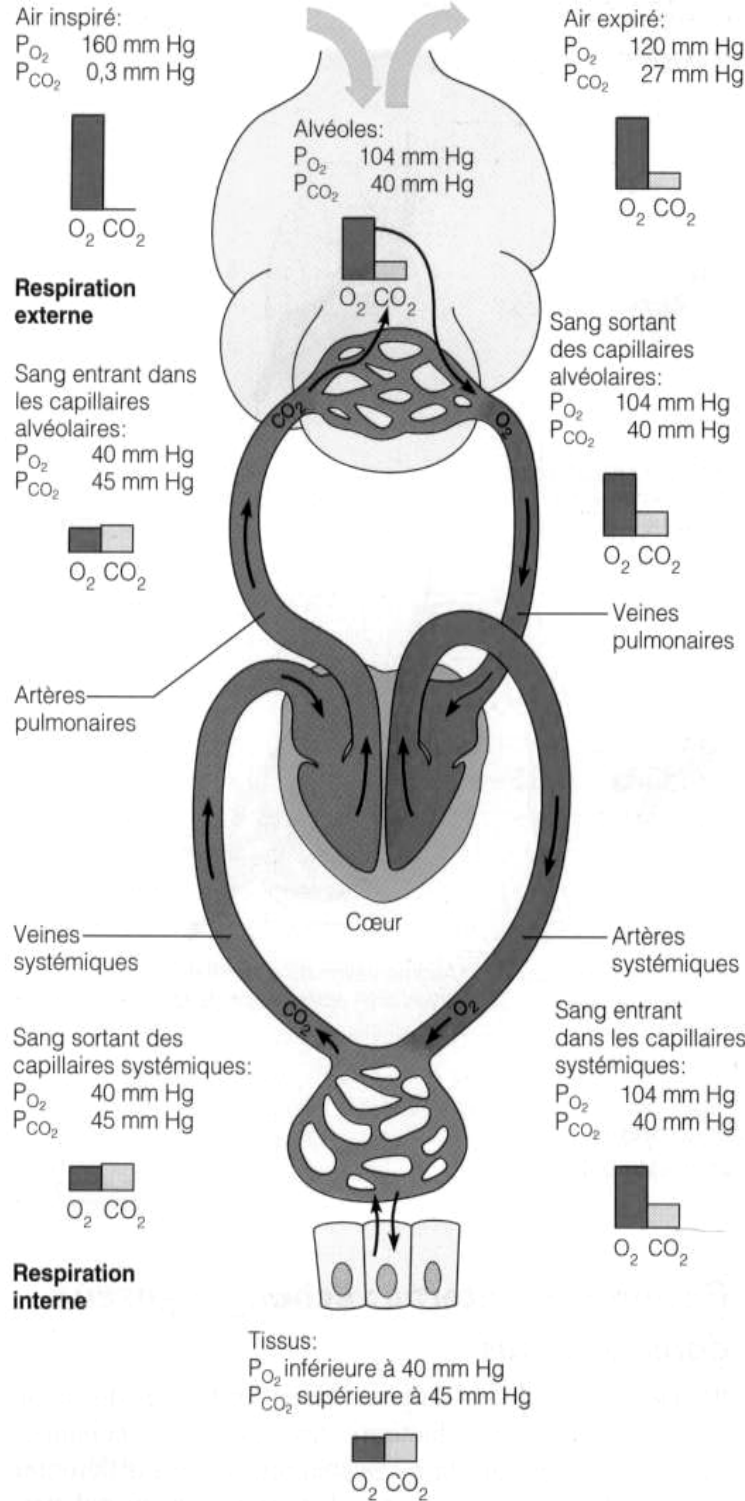
→ Plus l'aire de la membrane alvéolo-capillaire est  $\uparrow$ , plus la quantité de gaz pouvant diffuser à travers elle est  $\uparrow$ . La somme des aires de l'ensemble des alvéoles ≈ **140 m<sup>2</sup>** chez un homme en bonne santé.

#### 2. ÉCHANGES GAZEUX DANS LES TISSUS

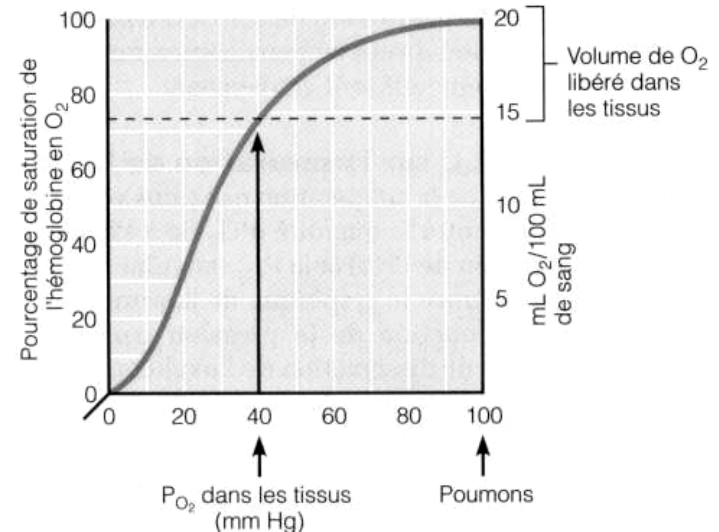
→ Les **gradients de pression partielle** sont **inversés par rapport** à ceux des poumons ⇒ **inversion du sens de diffusion** des gaz :

- ρ Le **métabolisme** des cellules consomme de l' $\text{O}_2$  et produit du  $\text{CO}_2$  ⇒ passage de  $\text{O}_2$  du sang artériel systémique ( $P_{\text{O}_2} = 100 \text{ mm Hg}$ ) aux tissus ( $P_{\text{O}_2} = 40 \text{ mm Hg}$ ) selon le **gradient de pression partielle**.
- ρ  $P_{\text{CO}_2}$  dans le liquide interstitiel ≈ 45 mm Hg ⇒ passage de  $\text{CO}_2$  des **tissus** ( $P_{\text{CO}_2} = 45 \text{ mm Hg}$ ) au sang des capillaires ( $P_{\text{CO}_2} = 40 \text{ mm Hg}$ ) selon le **gradient de pression partielle**.
- ρ Conséquence : Le **sang veineux** étant issu des lits capillaires des tissus ⇒  $P_{\text{O}_2}$  dans le sang veineux systémique ≈ 40 mm Hg et ⇒  $P_{\text{CO}_2}$  dans le sang veineux systémique ≈ 45 mm Hg.

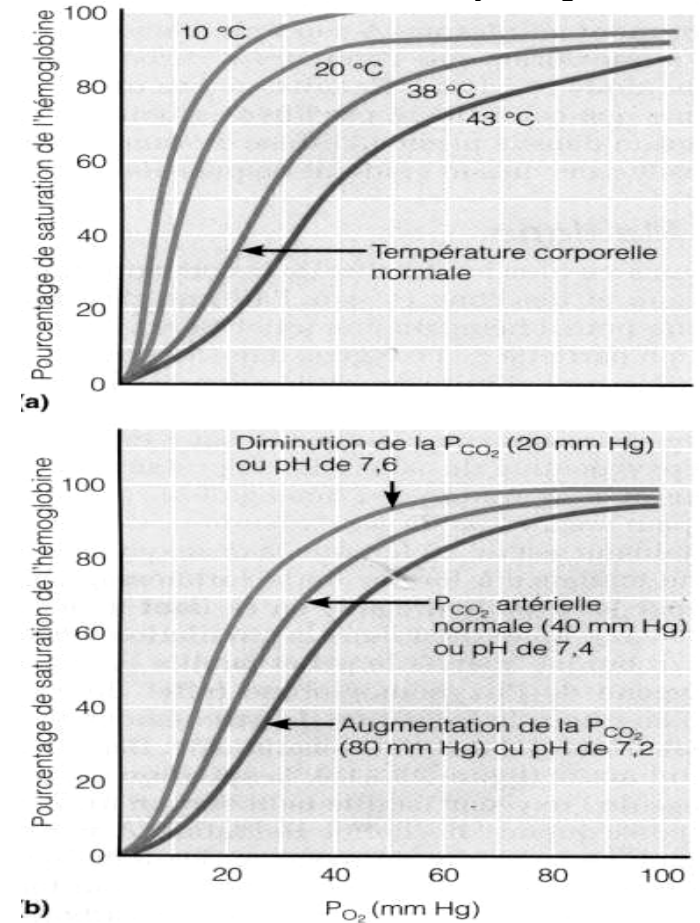
**Mouvements des gaz dans l'organisme**



**Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine**



**Effets de la température, de la  $P_{CO_2}$  et du pH sanguin sur la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine**



**IV. TRANSPORT DES GAZ RESPIRATOIRES DANS LE SANG**

**A. TRANSPORT DE L'OXYGÈNE  $O_2$**

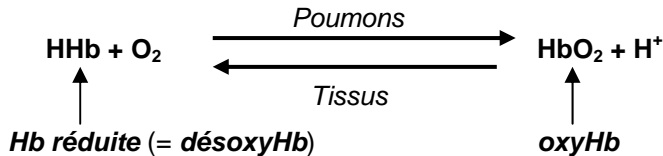
→ L' $O_2$  est transporté dans le sang (= des poumons aux tissus) de 2 façons :  
 Sous forme d' $O_2$  **dissous** dans le **plasma** (= faible solubilité dans le plasma) : **1,5 % de l' $O_2$  total** transporté dans le sang.  
 Sous forme d'**oxyhémoglobine  $HbO_2$**  (= lié à l'Hb) dans les **hématies** : **98,5 % de l' $O_2$  total** transporté dans le sang.

**1. ASSOCIATION ET DISSOCIATION DE L' $O_2$  ET DE L'HÉMOGLOBINE**

→ L'Hb est composée de :

- ρ 4 chaînes polypeptidiques,
- ρ 4 hèmes (= chacun lié à 1 chaîne polypeptidique),
- ρ 4 atomes de fer (= chacun lié à 1 hème) sous forme d'ion ferreux  $Fe^{2+}$  (= Fe II).

- L'O<sub>2</sub> se lie aux atomes de **Fer** ⇒ **1 molécule d'Hb** peut donc se combiner à **4 molécules d'O<sub>2</sub>**.  
L'équation de la liaison/ dissociation de l'O<sub>2</sub> s'écrit :



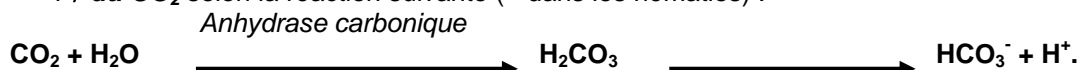
- ρ L'**oxyHb** est représentée sous la forme "**HbO<sub>2</sub>**" qui est une *convention d'écriture* ⇒ dans la réalité l'Hb peut se lier à **1, 2, 3 ou 4 atomes d'O<sub>2</sub>** → **HbO<sub>2</sub>, HbO<sub>4</sub>, HbO<sub>6</sub> ou HbO<sub>8</sub>**.  
ρ Dans les 3 premiers cas, l'Hb est *partiellement saturée* et dans le 4<sup>ème</sup> cas, elle est *entièrement saturée*.
- La *vitesse à laquelle l'Hb capte ou libère l'O<sub>2</sub>* dépend des facteurs suivants : la pression partielle d'O<sub>2</sub>, la pression partielle de **CO<sub>2</sub>**, la **température**, le **pH sanguin**, la concentration de **2,3-DPG** dans les *hématies*.

a) Influence de la P<sub>O<sub>2</sub></sub> sur la saturation de l'Hémoglobine

- Le graphe de la **saturation de l'Hb en fonction de la P<sub>O<sub>2</sub></sub>** présente une **allure en sigmoïde** (= en forme de S) :
- ρ La courbe de dissociation de l'HbO<sub>2</sub> :
- montre une *pente* ↑ entre 10 et 50 mm Hg,
  - forme un *plateau* entre 70 et 100 mm Hg.
- Dans des *conditions normales* (P<sub>O<sub>2</sub></sub> = **100 mm Hg**, 104 mm Hg en théorie) :
- ρ le **sang artériel** est saturé à **98 %**,  
ρ avec une *teneur en oxygène* ≈ **20 mL d'O<sub>2</sub> pour 100 mL de sang artériel** (= **20 % par volume**).
- Au niveau des *tissus* (= *consommation d'O<sub>2</sub>*) ≈ **5 mL d'O<sub>2</sub> pour 100 mL de sang** sont libérés.
- ρ Dans le **sang veineux**,  
⇒ *taux de saturation de l'Hb* passe à ≈ **75%**,  
⇒ *teneur en O<sub>2</sub>* passe à ≈ **15% par volume**.

b) Influence de la température, du pH, de la P<sub>CO<sub>2</sub></sub> et du 2,3 DPG sur la saturation de l'hémoglobine

- Le **2,3-DPG** (= **2,3-diphosphoglycérate**) est un composé *spécifiquement* produit par les **hématies** :
- ρ à partir de la *glycolyse*,  
ρ se lie de manière réversible à l'Hb.
- L'↑ de la **température**, de la **P<sub>CO<sub>2</sub></sub>**, de la **concentration d'ions H<sup>+</sup>** (= ↓ du **pH**), de **2,3-DPG** dans le sang,  
⇒ ↓ de l'**affinité de l'Hb pour l'O<sub>2</sub>**,  
⇒ **déplacement vers la droite** de la courbe de dissociation de l'HbO<sub>2</sub>,  
⇒ ↑ de la *dissociation de l'O<sub>2</sub>* vis à vis de l'HbO<sub>2</sub>.
- L'↑ de la **température**, de la **P<sub>CO<sub>2</sub></sub>**, de la **concentration d'ions H<sup>+</sup>** (= ↓ du **pH**), de **2,3-DPG** dans le sang :
- ρ se produisent surtout dans les **capillaires systémiques**,  
ρ au niveau desquels la **dissociation de l'O<sub>2</sub>** a lieu.
- L'↑ *locale* de la **température** est produite par le **métabolisme cellulaire**.
  - L'↑ *locale* de la **P<sub>CO<sub>2</sub></sub>** correspond à la **libération du CO<sub>2</sub>** par le **métabolisme des cellules**.
  - La ↓ *locale* (= proximité immédiate des cellules) du **pH** est due à la **libération d'ions H<sup>+</sup>** qui a pour origine l'↑ **du CO<sub>2</sub>** selon la réaction suivante (= dans les hématies) :



L' **effet Bohr** correspond à la ↓ de l'**affinité de l'Hb pour l'O<sub>2</sub>** due à la ↓ **locale du pH**.

- Le **2,3-DPG** synthétisé par les hématies ⇒ la ↓ de l'**affinité de l'Hb pour l'O<sub>2</sub>**, lorsqu'il se lie à celle-ci.

**B. TRANSPORT DU GAZ CARBONIQUE CO<sub>2</sub>**

- Au repos, les cellules produisent ≈ **200 mL/ mn de CO<sub>2</sub>** que les poumons éliminent durant la même période.
- Le **CO<sub>2</sub>** est transporté dans le sang (= des tissus aux poumons) de **3 façons** :
- Sous forme de **CO<sub>2</sub> dissous** dans le **plasma**.
- ≈ **7 à 8%** du **CO<sub>2</sub> total**.
- Sous forme de **carbémoglobine HbCO<sub>2</sub>** (= carbaminohémoglobine) dans les **hématies**.
- ≈ **20 à 30%** du **CO<sub>2</sub> total**.
  - **CO<sub>2</sub> + Hb** ↔ **HbCO<sub>2</sub>** (carbémoglobine).
  - Le **CO<sub>2</sub> n'entre pas en compétition avec l'O<sub>2</sub>** pour la liaison à l'hème : au contraire, il s'associe à la *globine*.
  - **2 facteurs** influencent la *liaison* et la *dissociation du CO<sub>2</sub>* :

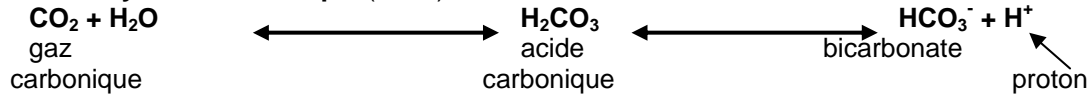
**La  $P_{CO_2}$  :**

- . le  $CO_2$  se lie à l'Hb dans les tissus, où sa pression partielle est plus élevée que dans le sang,
- . le  $CO_2$  se dissocie de l'Hb dans les poumons car sa pression partielle est plus faible dans l'air alvéolaire que dans le sang.

**Le degré d'oxygénation de l'Hb :** l'Hb réduite se combine plus facilement au  $CO_2$  que l'HbO<sub>2</sub>.

Sous forme d'ions bicarbonate  $HCO_3^-$  dans le plasma.

- o  $\approx 60$  à  $70\%$  du  $CO_2$  total.
- o La réaction suivante se produit surtout dans les GR où elle est catalysée par une enzyme appelée **anhydrase carbonique (= AC)** :



- o Les ions  $H^+$  libérés  $\downarrow$  le pH cytoplasmique des GR  
 $\Rightarrow$  **effet Bohr** :  $\downarrow$  de l'affinité de l'O<sub>2</sub> pour l'Hb,  
 $\Rightarrow$  libération de l'O<sub>2</sub> au niveau des **tissus**,  
 $\Rightarrow$  l'HbO<sub>2</sub> est alors transformée en **Hb réduite (= HbH)**.
- o Le  $CO_2$  provenant du **plasma** (= origine : les **tissus**) est ainsi transformé en ions  $HCO_3^-$  dans les **GR**, puis les ions bicarbonate diffusent rapidement des **GR au plasma**, qui les transporte aux **poumons**.
- o Dans les **poumons**, les mécanismes sont inversés : la  $P_{CO_2}$  passe de 45 à 40 mm Hg  
 $\Rightarrow$  les ions  $HCO_3^-$  réintègrent les **GR**,  
 $\Rightarrow$  les ions  $HCO_3^-$  et  $H^+$  s'unissent pour former du  $CO_2$  (= sort des GR),  
 $\Rightarrow$  le  $CO_2$  ainsi formé, celui libéré par HbCO<sub>2</sub> et celui présent dans le **plasma** diffuse du **sang aux alvéoles** selon le gradient de  $P_{CO_2}$ .

## V. RÉGULATION DE LA RESPIRATION

### **A. MÉCANISMES NERVEUX DU RYTHME RESPIRATOIRE**

#### 1. CENTRES RESPIRATOIRES DU BULBE RACHIDIEN

→ La **respiration** dépend de l'activité de **2 noyaux** présents dans le **bulbe rachidien** :

(1) **GRD (= groupe respiratoire dorsal)** :

- o C'est le **centre inspiratoire** : il *régule le rythme respiratoire* en agissant essentiellement sur l'**inspiration**.
- o Les *influx nerveux* qu'il émet *stimulent* :
  - le **diaphragme** (= via les **nerfs phréniques**),
  - les **muscles intercostaux externes** (= via les **nerfs intercostaux**).

(2) **GRV (= groupe respiratoire ventral)** :

- o Comprend à la fois des *neurones* agissant sur :
  - l'**inspiration** (= comme pour le GRD),
  - l'**expiration** (vs le GRD).
- o Rôle : intervient surtout durant l'**expiration forcée**, quand des *mouvements respiratoires plus vigoureux* sont nécessaires.

→ Mécanisme d'action du GRD :

- o **Activité cyclique** des *neurones inspiratoires* est *permanente* et produit de **12 à 15 respirations/mn** = eupnée ou *fréquence respiratoire normale*.

### **B. FACTEURS INFLUANT SUR LA FRÉQUENCE ET L'AMPLITUDE RESPIRATOIRES**

→ L'**amplitude respiratoire** dépend de la *fréquence des influx envoyés* (= nombre de PA / unité de temps) par le **centre respiratoire** aux **neurones moteurs** qui régissent les **muscles respiratoires** :

*Plus les influx sont fréquents*  $\Rightarrow$  *plus les contractions des muscles respiratoires sont intenses*.

→ La **fréquence respiratoire** dépend de la *durée de l'action du centre inspiratoire* (= GRD).

#### 1. RÉFLEXES DECLENCHES PAR LES AGENTS IRRITANTS PULMONAIRES

→ Les poumons possèdent des *récepteurs réagissant à de nombreux agents irritants*.

- o Ces *récepteurs* communiquent avec les **centres respiratoires** via des *neurones afférents des nerfs vagues*.
- o Du mucus, de la poussière, de la fumée de cigarette et des vapeurs nocives  $\Rightarrow$  **constriction réflexe des bronchioles**.
- o Les mêmes agents présents dans la **trachée** et dans les **bronches**  $\Rightarrow$  la **toux**.
- o Les mêmes agents présents dans les **fosses nasales**  $\Rightarrow$  l'**éternuement**.

#### 2. INFLUENCE DES CENTRES CÉRÉBRAUX SUPÉRIEURS

a) Mécanismes hypothalamiques



- Les *émotions fortes* et la *douleur* activent les **centres sympathiques de l'hypothalamus** ⇒ envoi de PA aux **centres respiratoires** ⇒ modulation de la fréquence et de l'amplitude respiratoires.
- Exemples :
- ρ le fait de retenir sa respiration dans un moment de colère ou d'effroi,
  - ρ ↑ de la *température corporelle* ⇒ ↑ de la *fréquence respiratoire*,
  - ρ ↓ de la *température corporelle* ⇒ ↓ de la *fréquence respiratoire* (= le refroidissement soudain du corps lors d'une baignade dans de l'eau froide peut causer un arrêt respiratoire).
- b) Mécanismes corticaux (volition)
- Bien que la **respiration** soit un **acte involontaire** contrôlée par les **centres respiratoires**, il est possible de *modifier la fréquence et l'amplitude de la respiration*, de **manière volontaire**.  
Ex. : *choix* de retenir sa respiration, *choix* de prendre une profonde inspiration.

- Dans ces situations, les **centres respiratoires du bulbe rachidien** (= GRD et GRV) *n'interviennent pas* → les **centres moteurs du cortex cérébral** communiquent *directement* avec les **neurones moteurs contrôlant les muscles respiratoires**.

*Remarque* : la *capacité de retenir volontairement notre respiration* est *limitée*, car les **centres respiratoires du bulbe rachidien** la rétablissent dès que la concentration en CO<sub>2</sub> dans le sang atteint un niveau critique.

### 3. FACTEURS CHIMIQUES

- Les **stimulus chimiques** les plus importants pouvant modifier la fréquence et l'amplitude respiratoires sont la *variation des concentrations* de CO<sub>2</sub>, d'O<sub>2</sub>, et d'ions H<sup>+</sup> dans le **sang artériel**.
- Il existe 2 types de chimiorécepteurs :
- ρ **chimiorécepteurs centraux** (= au niveau du **bulbe rachidien**),
  - ρ **chimiorécepteurs périphériques** (= au niveau de la **croisse de l'aorte** et des **artères carotides**).
- Effets des facteurs chimiques :
- (1) L' ↑ de la **P<sub>CO2</sub> artérielle** est le *stimulus respiratoire le plus puissant*.
    - Les *ions H<sup>+</sup> libérés* par la *dissociation de l'acide carbonique* stimulent directement les **chimiorécepteurs centraux** ⇒ ↑ réflexe de la **fréquence** et de l'**amplitude respiratoires**.
  - (2) Dans des conditions normales, la **P<sub>O2</sub> artérielle** a *peu d'influence directe* sur la *respiration*.
    - En effet, le système respiratoire est "suréquipé" pour obtenir l'O<sub>2</sub>, mais il parvient plus difficilement à éliminer le CO<sub>2</sub>.
  - (3) Lorsque la **P<sub>O2</sub> artérielle** devient < **60 mm Hg** (= **hypoxémie**) → P<sub>O2</sub> devient le *principal stimulus* de la *respiration*, ⇒ **hyperventilation** via les réflexes déclenchés par les **chimiorécepteurs périphériques**.
  - (4) Les **variations du pH artériel** résultant de la *rétenion de CO<sub>2</sub>* ou de la *production d'acides par le métabolisme cellulaire* modifient la ventilation via les **récepteurs périphériques**. Le **pH du sang artériel** n'a *pas d'effet direct* sur les **chimiorécepteurs centraux**.