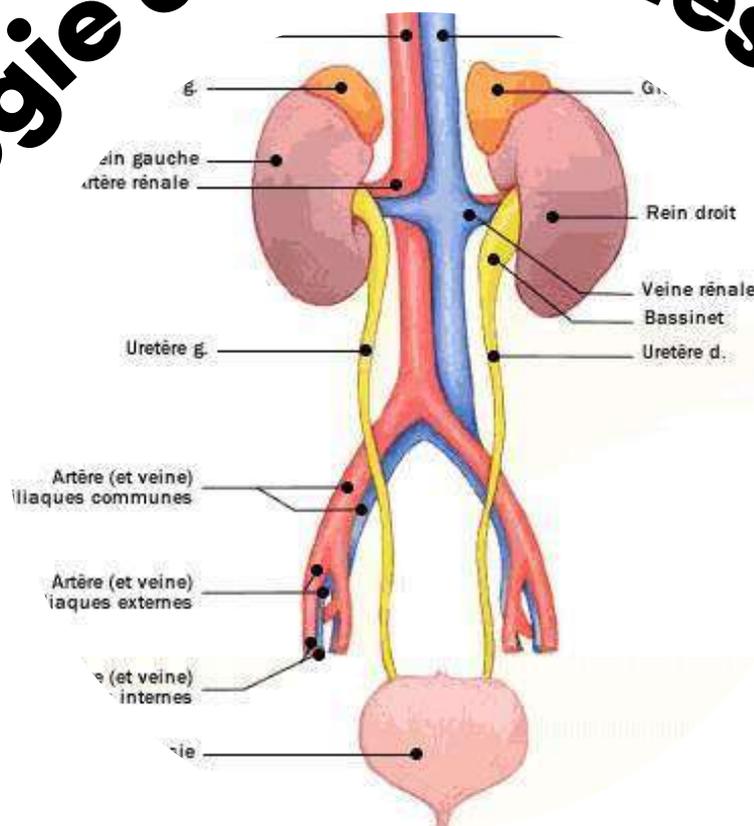


# Physiologie des Grandes Fonctions



## SCIENCES DE LA VIE



### Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



### Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



### Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

# Anatomie et Physiologie de la respiration



photo by TShinohara

## A) INTRODUCTION

La respiration représente l'ensemble des mécanismes par lesquels les cellules procèdent à des échanges gazeux avec l'extérieur

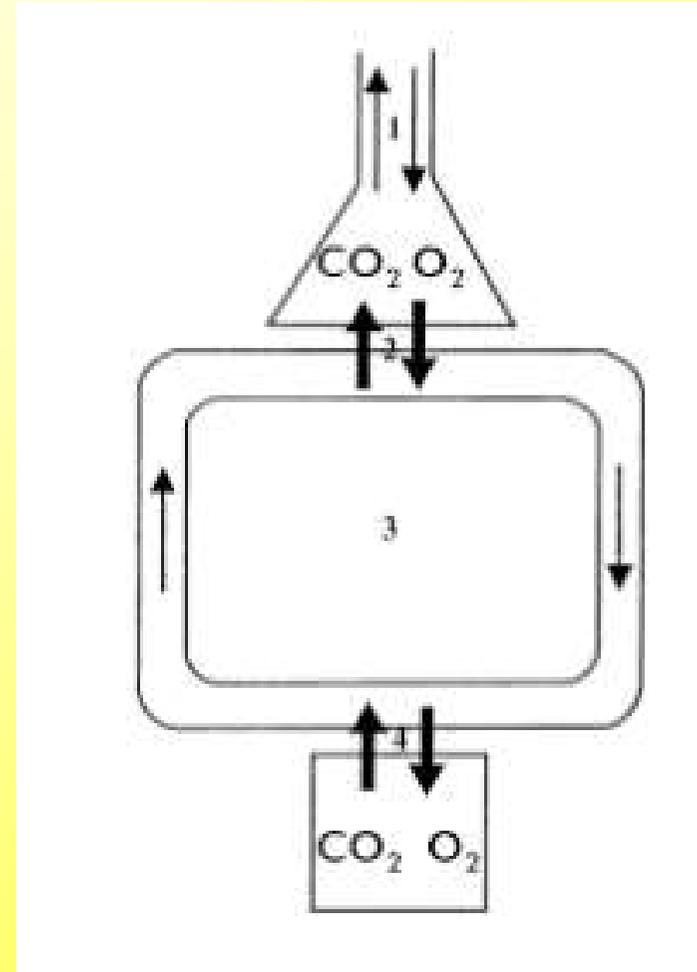
**BUT :**

- Apporter aux cellules l'O<sub>2</sub> dont elles ont besoin
- Éliminer le CO<sub>2</sub> produit

Les échanges et en particulier les besoins en O<sub>2</sub> Δ en permanence

## La respiration: 5 étapes

- 1- Ventilation pulmonaire ( $V_E$ ) et sa régulation
- 2- Échanges gazeux alvéolo-capillaires
- 3- Transport des gaz ( $CO_2$  et  $O_2$ ) par le sang
- 4- Échanges gazeux hémato-cellulaires
- 5- Respiration cellulaire



## B) ANATOMIE DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE

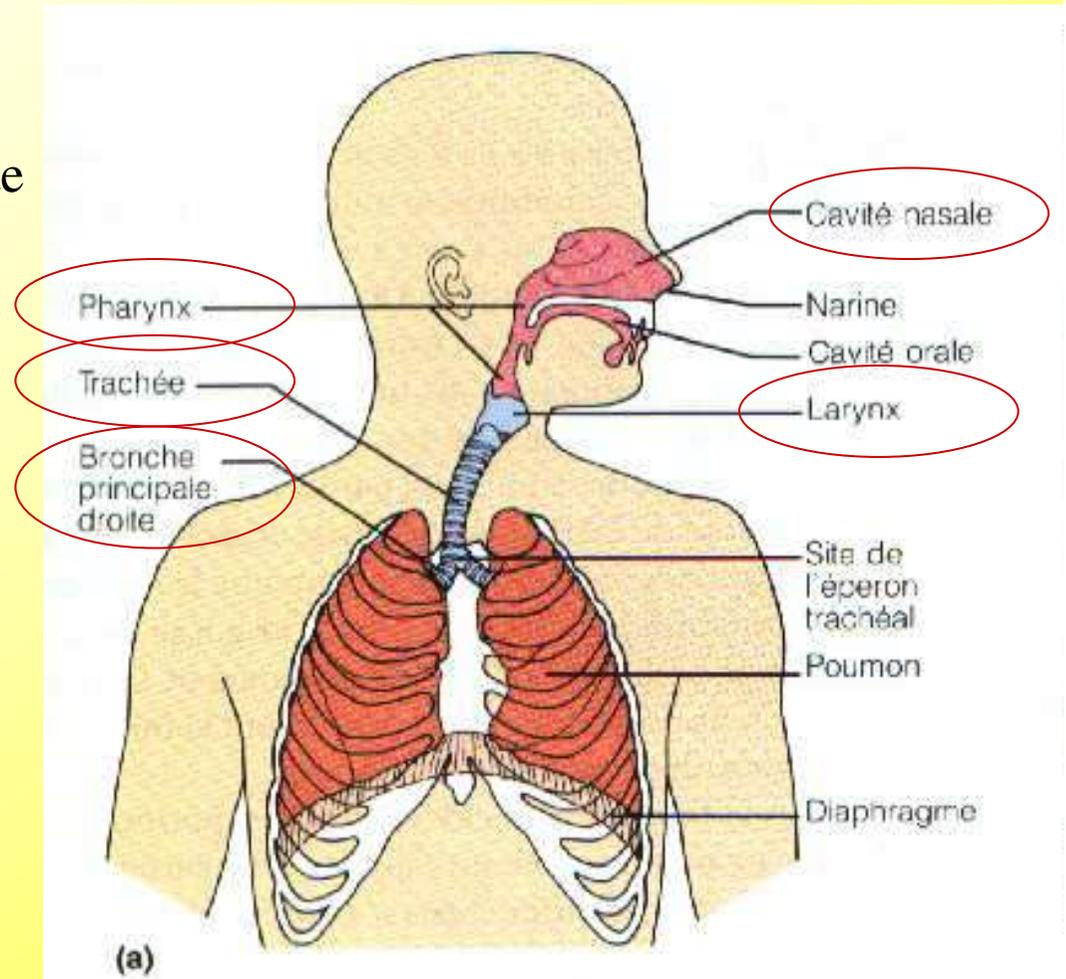
Appareil respiratoire → 2 parties principales

- Voies aériennes = voies respi
- Poumons

### Les voies respiratoires :

Ensemble des voies que l'air emprunte pour aboutir aux poumons.

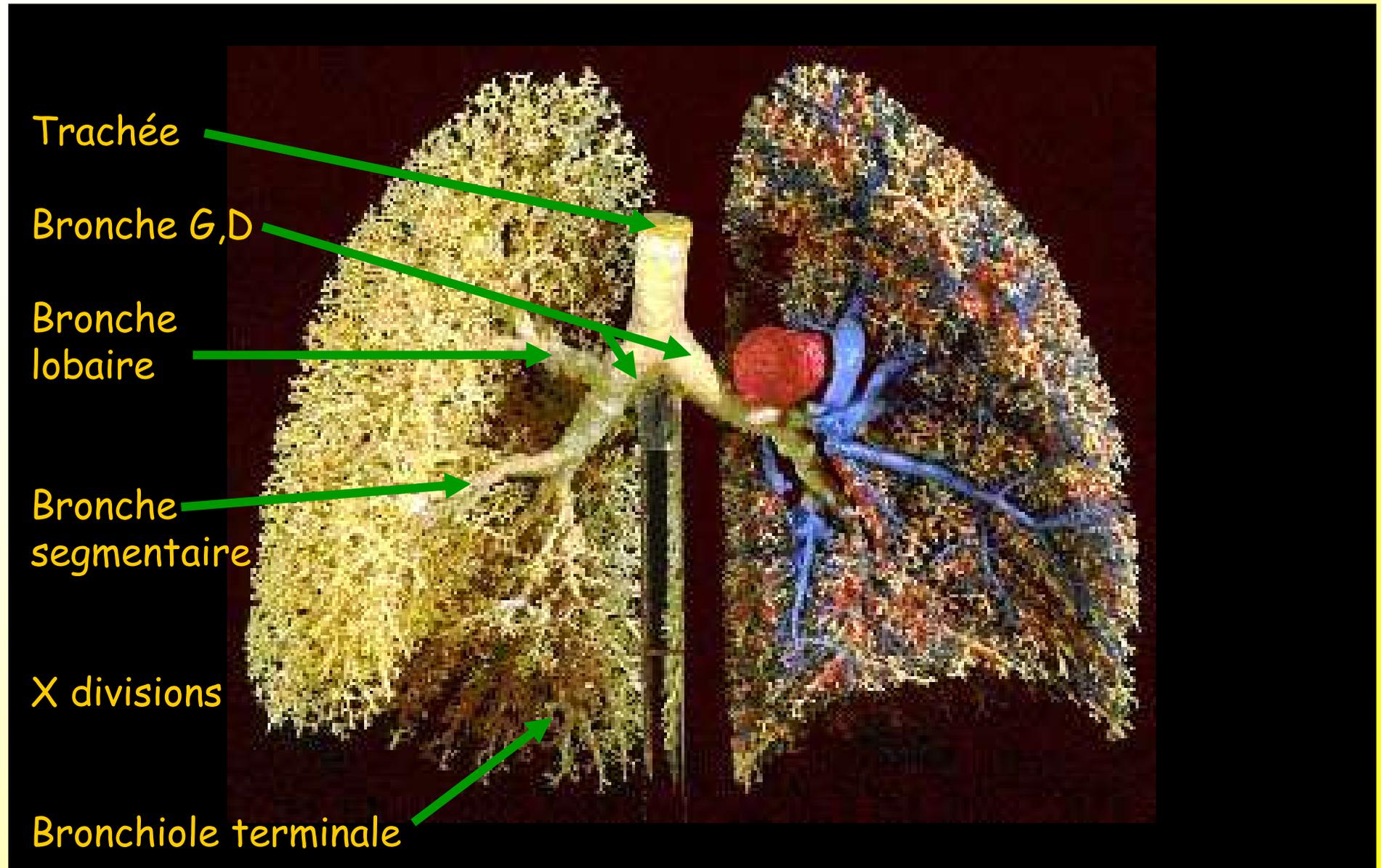
- Les fosses nasales
- Le pharynx
- Le larynx
- La trachée artère



- Les bronches → naissent de la division de la trachée et se ramifient

2 branches primitives se divisent en 2 bronchioles puis division dichotomique

- Bronchioles terminales
- Bronchioles respiratoires

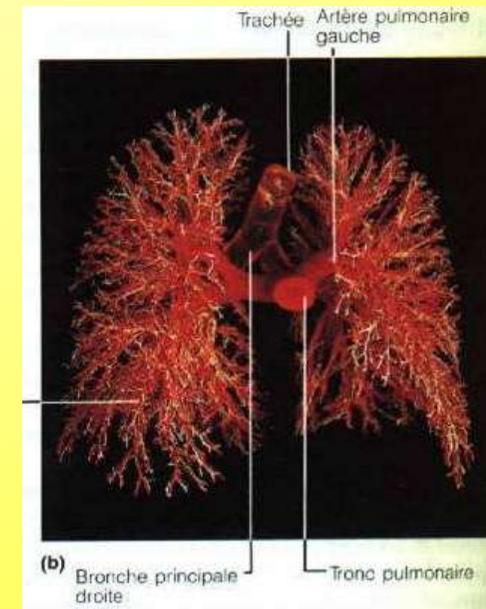
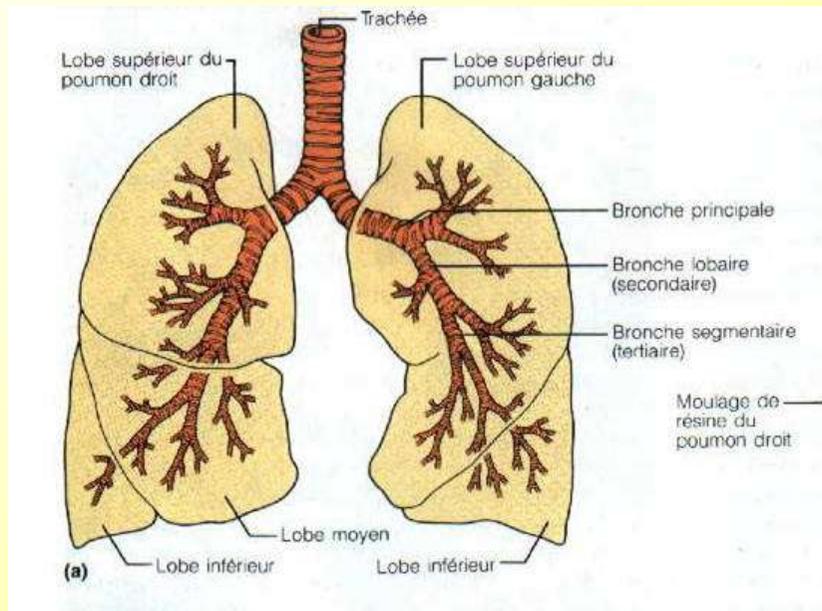


## Poumons

2 poumons : droit → 3 lobes (650 g)

gauche → 2 lobes (550g)

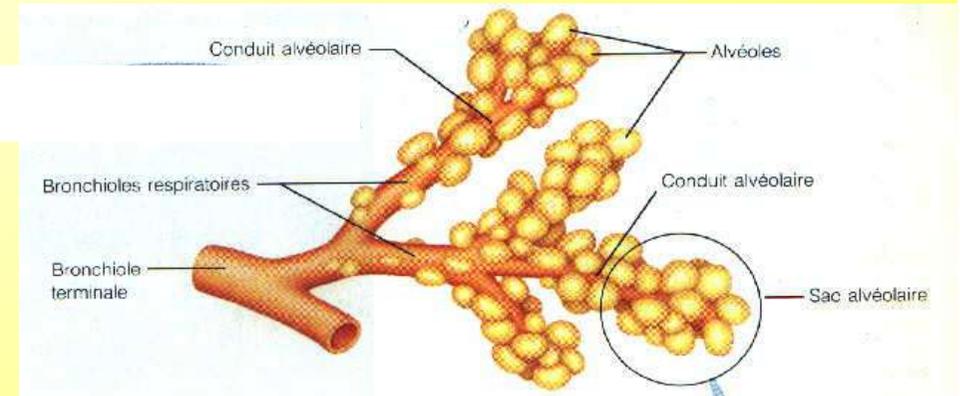
Situés dans la cage thoracique, ils reposent sur le diaphragme.



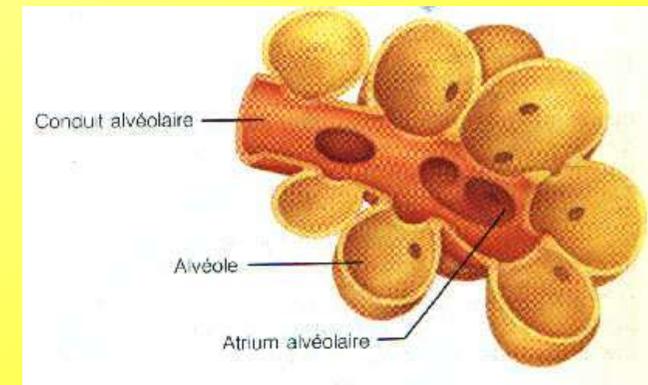
Formés par juxtaposition des alvéoles.



**Alvéoles = échanges gazeux**



**Éléments fonctionnels et  
fondamentaux des poumons.**



Les voies aériennes qui se ramifient successivement peuvent être représentées schématiquement

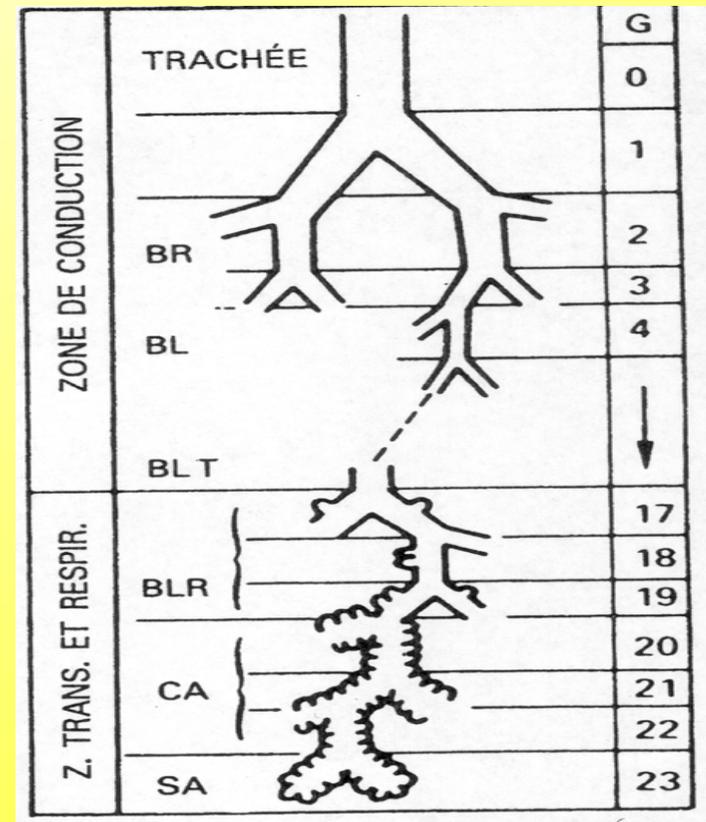
23 générations (23 niveaux de ramifications)

- trachée → génération 0
- sacs alvéolaires → générations 23

A partir de ce schéma théorique, on peut diviser l'appareil pulmonaire en 2 parties

Zone de conduction

Zone respiratoire ou zone d'échange



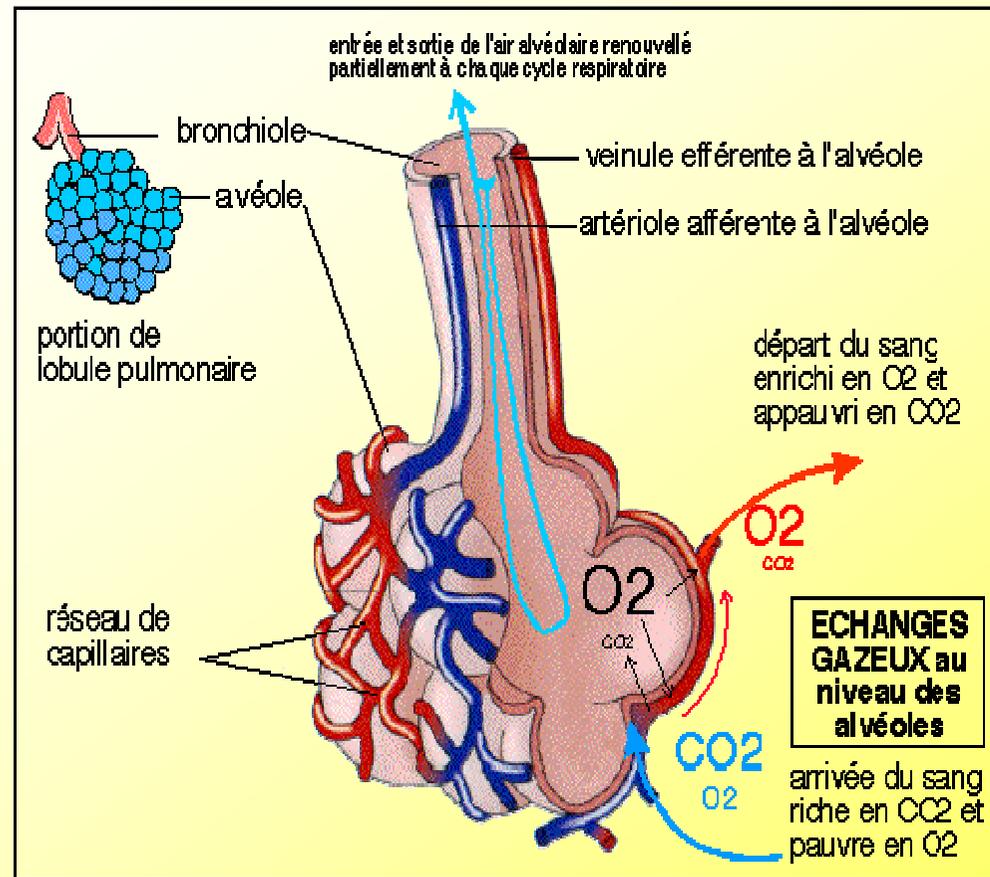
**Zone de conduction** → jusqu'à la 16<sup>ème</sup> génération : trachée aux bronchioles terminales

- Pas d'alvéoles → pas d'échange
- Le volume de gaz contenu dans cette zone =  
**espace mort anatomique**

**Zone respiratoires ou zone d'échange** → à partir de la 17<sup>ème</sup> génération jusqu'aux alvéoles



Échanges entre : le gaz alvéolaire et le sang de la circulation pulmonaire



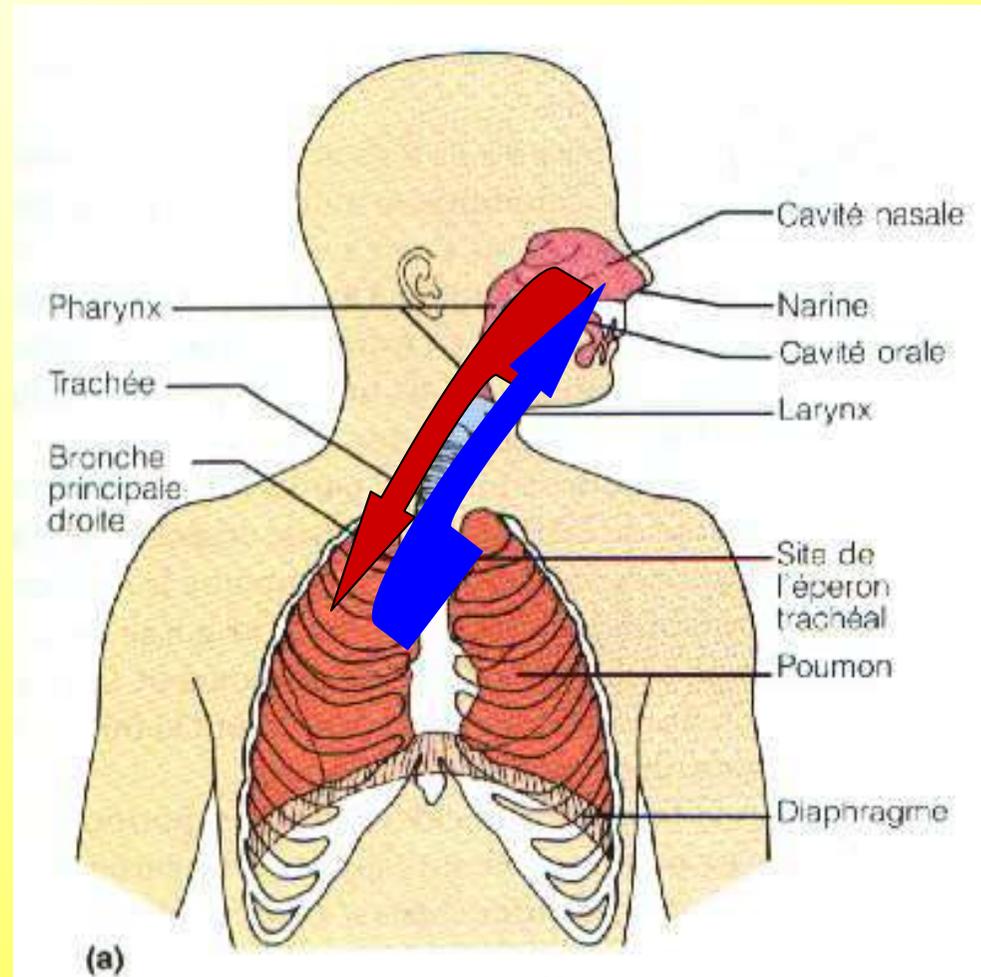
Au niveau des capillaires → échanges gazeux

## C) VENTILATION PULMONAIRE

Processus par lequel l'air entre et sort des poumons en empruntant les voies aériennes.

Ce processus assure un constant renouvellement de l'air contenu dans les alvéoles pulmonaires.

- Inspiration : l'air va du nez (bouche) aux alvéoles
- Expiration : inverse



Ventilation : processus mécanique qui repose sur des  $\Delta$  de volumes dans la cage thoracique.

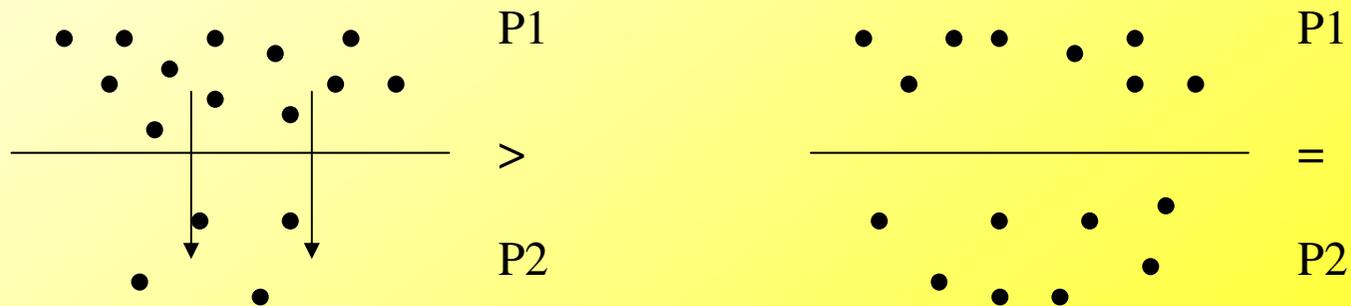
$$- \Delta V \Rightarrow \Delta P^\circ$$

- Loi de Boyle Mariotte : à T cste  $PV = \text{cste}$



Le Vol d'un gaz varie inversement proportionnel avec la  $P^\circ$  qui lui est appliquée

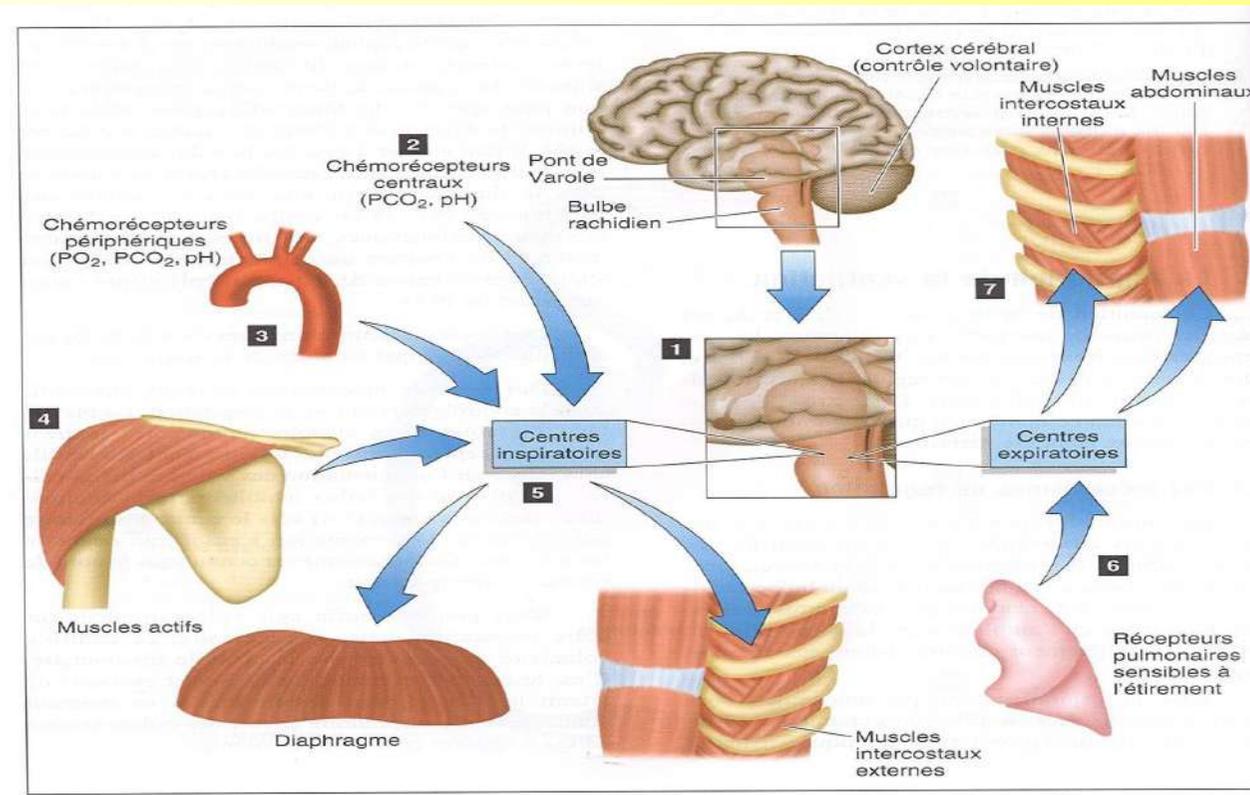
Les  $\Delta$  de  $P^\circ$  provoquent l'écoulement des gaz qui s'écoulent de la  $P^\circ$  la + forte vers la + faible jusqu'à égalité des  $P^\circ$ .



## Les mouvements respiratoires :

liés à la mise en jeu de forces développées par les muscles respiratoires

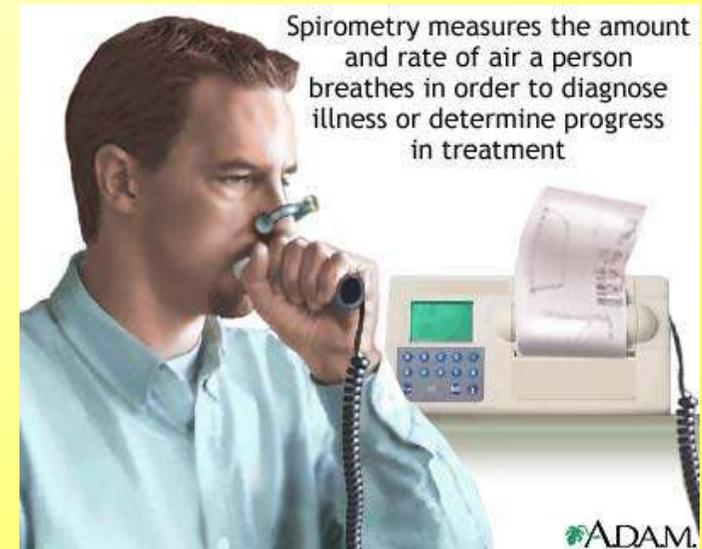
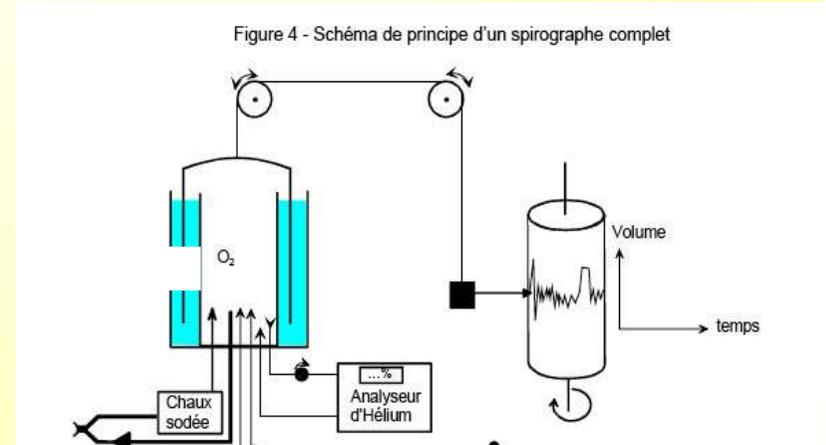
- Muscles striés squelettiques qui sont sous la dépendance des centres respiratoires
- Chaque muscle respiratoire ne peut être considéré comme un élément isolé → son fonctionnement et son efficacité dépendent en partie de l'état de contraction des autres muscles



# Moyens d'étude

2 moyens:

➤ circuit fermé = spiromètre



➤ circuit ouvert = pneumotachographe

➤ On mesure :

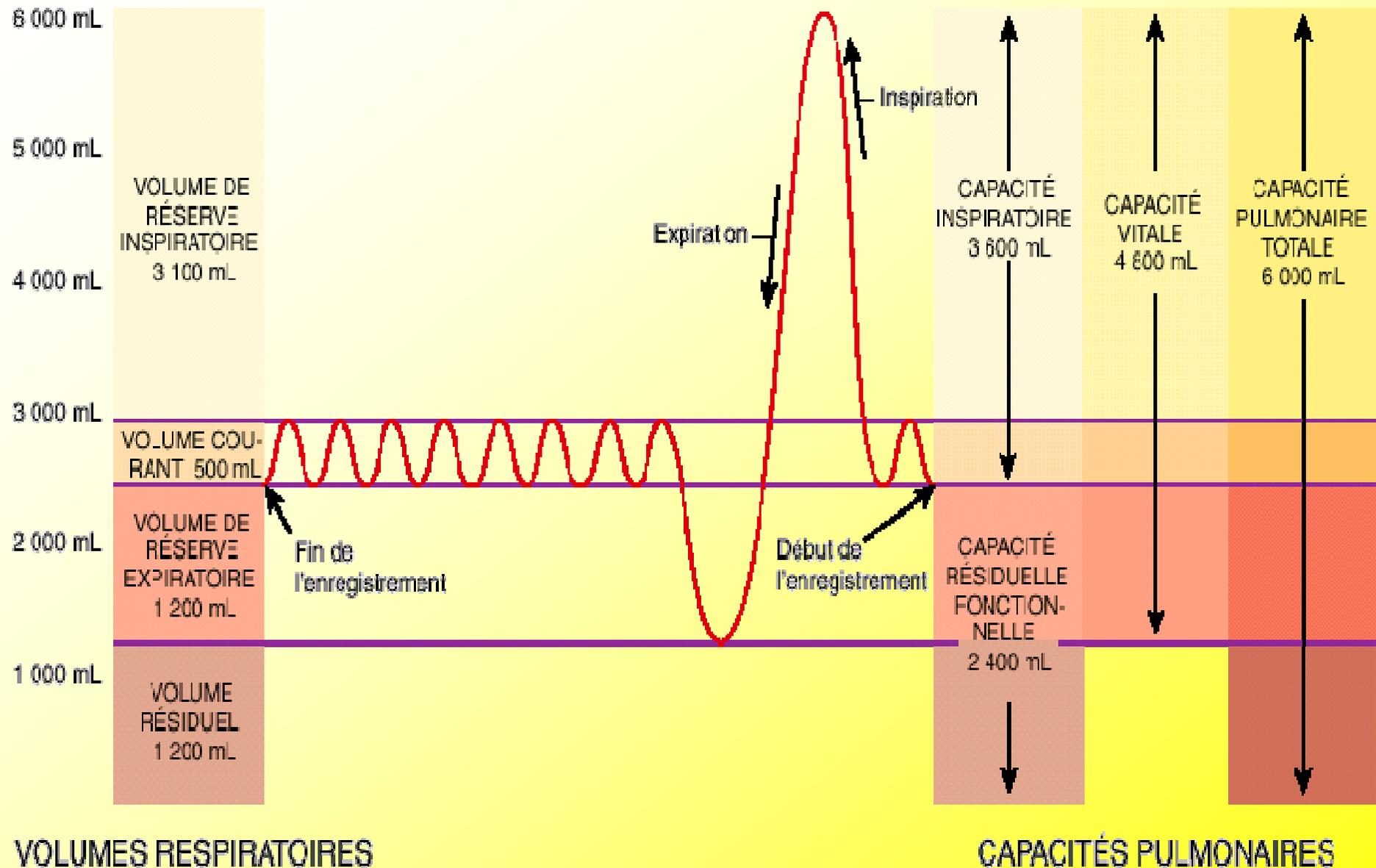
- des volumes →  $V$
- des capacités →  $\sum$  des  $V$
- des débits →  $V/\text{temps}$

Les résultats trouvés sont fonction : sexe, âge, taille, position.

Les résultats sont liés :

- à l'appareillage
- au manipulateur
- à la coopération du sujet

# Volumes



## Volume d'air « mobilisables »

<b>Volume courant</b> ( $V_C$ , $V_T$ )	500 ml (~ 0,5L)	Vol d'air mobilisé au cours d'1 inspiration ou d'1 expiration normale
<b>Volume de réserve inspiratoire (VRI)</b>	2500ml (~ 2.5L)	+ grand vol d'air mobilisé par 1 inspiration forcée faisant suite à 1 inspiration normale
<b>Volume de réserve expiratoire (VRE)</b>	1500ml (~ 1,5 L)	+ grand vol d'air mobilisé par 1 expiration forcée faisant suite à 1 expiration normale

## Volume d'air « non mobilisable »

<b>Volume résiduel</b> (VR)	1500ml (~ 1,5 L)	Vol d'air restant dans les poumons après 1 expiration forcée
--------------------------------	---------------------	--



Ce volume ne peut être mesuré directement en spirométrie

→ On le calcule à partir de la CRF

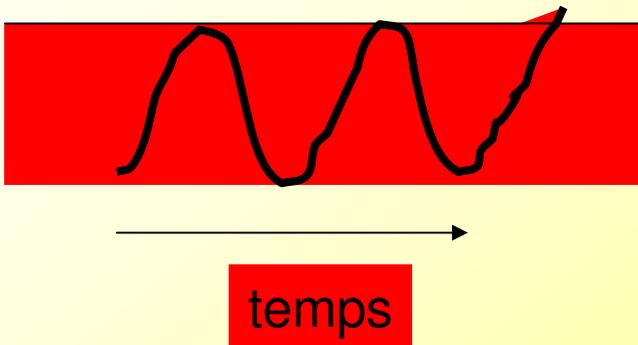
## Capacités: → $\Sigma$ des V

<b>Capacité pulmonaire totale</b> (CPT)	6000ml (6L)	+ grand vol d'air que peuvent contenir les poumons à la fin d'1 expiration forcée ➤ $CPT = V_c + V_{RI} + V_{RE} + V_R$ ➤ $CPT = CV + V_R$
<b>Capacité vitale</b> (CV)	4500ml (4,5L)	+ grand vol d'air qui peut être mobilisé au cours d'1 inspiration forcée et d'1 expiration forcée ➤ $CV = V_c + V_{RI} + V_{RE}$
<b>Capacité résiduelle fonctionnelle</b> (CRF)	3000 ml (3L)	Volume d'air qui reste dans les poumons après une expiration normale ➤ $CRF = V_R + V_{RE}$

# Débits

Débit ventilatoire de repos = $V_{\text{repos}}$ ou $V_{\text{minute}}$	6L	Volume d'air mobilisé en 1 minute par une respiration calme
--	----	--

repos

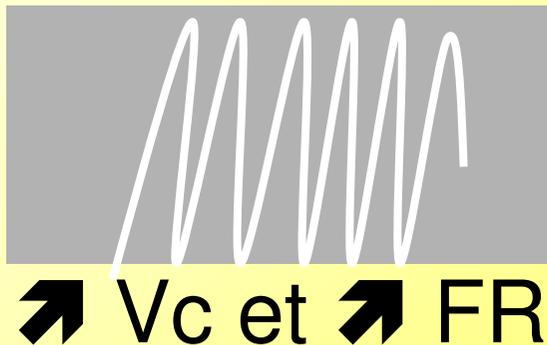


$$V_{E(l/min)} = V_{c(l)} \times FR_{(c.min^{-1})}$$

Homme adulte repos:

$$V_E = 0,5 \times 12 = 6 \text{ l.min}^{-1}$$

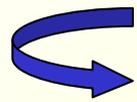
exercice



## Mécanismes et facteurs de la ventilation pulmonaire :

### Mécanismes

La  $V_E$  est le déplacement de l'air de l'intérieur des voies aériennes → provoqué par des  $\Delta P^\circ$  dans les alvéoles pulmonaires

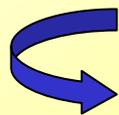


l'air se déplace des zones de haute  $P^\circ$  → zones de basse  $P^\circ$

**Inspiration:**  $P^\circ \text{ atm} > P^\circ \text{ alvéolaire}$  → l'air pénètre dans les poumons

**Expiration:**  $P^\circ \text{ alvéolaire} > P^\circ \text{ atm}$  → l'air quitte les poumons

Quand  $P^\circ \text{ alvéolaire} = P^\circ \text{ atm}$  → l'air ne se déplace pas



$P^\circ \text{ atm} = \text{cste}$ , c'est la  $P^\circ \text{ alv}$  qui  $\Delta$

Les  $\Delta P^\circ \text{ alv}$  sont créées par les mvts de la cage thoracique : mvts respi

## But de la ventilation pulmonaire : la ventilation alvéolaire

### La ventilation alvéolaire:

- Volume de gaz inspiré qui atteint effectivement les alvéoles/minute
- Elle seule assure les échanges gazeux et elle caractérise donc l'efficacité de la Ventilation pulmonaire

$$V_E = V_c \times FR$$

$$V_{A(l/min)} = (V_c - V_{EMA}) \times FR$$

Homme adulte repos:

$$V_{A(l/min)} = (0,5 - 0,15) \times 12 = 0,350 \times 12 = 4,2 \text{ L/min}$$

## Facteurs influençant la $V_{alv}$ :

### 1) FR

(+) elle ↗ , + la respiration est superficielle

 (-) La  $V_{alv}$  est efficace

$$V_c = 0,5 \text{ L}$$

$$FR = 12 \text{ mvts/min}$$

$$V_{alv} = (0,5 - 0,15) \times 12 = 4,2 \text{ L/min}$$

---

$$V_c = 0,25 \text{ L}$$

$$FR = 24 \text{ mvts/min}$$

$$V_{alv} = (0,25 - 0,15) \times 24 = 2,4 \text{ L/min}$$

### 2) CRF

Volume d'air contenu dans les poumons à la fin d'une expiration normale.

- C'est le volume dans lequel va se diluer la  $V_{alv}$
- + la CRF est grande → - la  $V_{alv}$  sera efficace

## D) ECHANGES GAZEUX ALVEOLO-CAPILLAIRES

- échanges gazeux → au niveau des capillaires
- le sang s'équilibre avec l'air alvéolaire.

Transfert des gaz de l'alvéole pulmonaire → intérieur des hématies du sang capillaire pulmonaire et transfert inverse

→ Comparaison air inspiré / air expiré  
des fractions de gaz

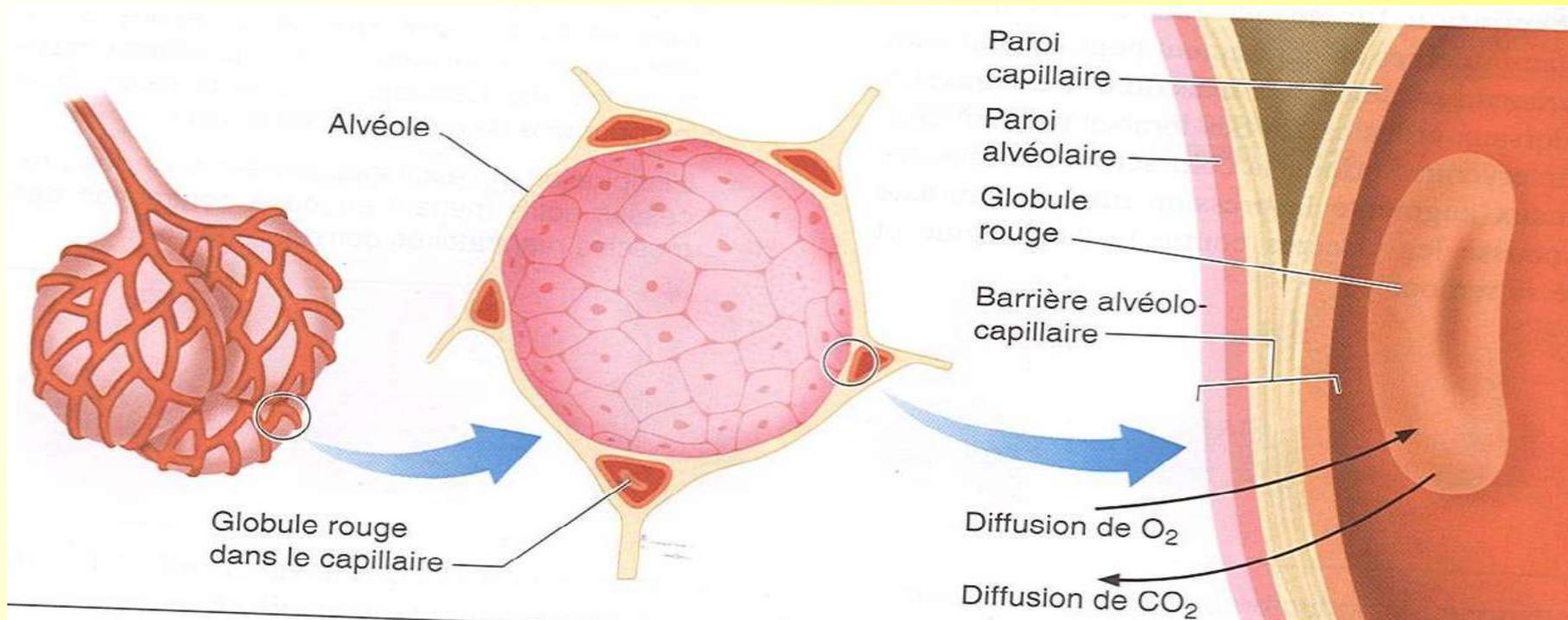
GAZ	AIR INSPIRE	AIR EXPIRE
O <sub>2</sub>	21%	17%
CO <sub>2</sub>	0%	4%
N <sub>2</sub>	79%	79%

→ Comparaison sang veineux / sang artériel

GAZ	SG VEIN C <sub>v</sub>	SG ART C <sub>a</sub>
O <sub>2</sub>	15 ml	20 ml
CO <sub>2</sub>	54 ml	49 ml
N <sub>2</sub>	1 ml	1 ml

Les transferts des gaz s'effectuent par diffusion purement physique à travers la membrane alvéolo-capillaire en fonction d'un gradient de  $P^{\circ}$  de part et d'autre de la membrane

→ phénomène passif qui ne consomme pas d'énergie



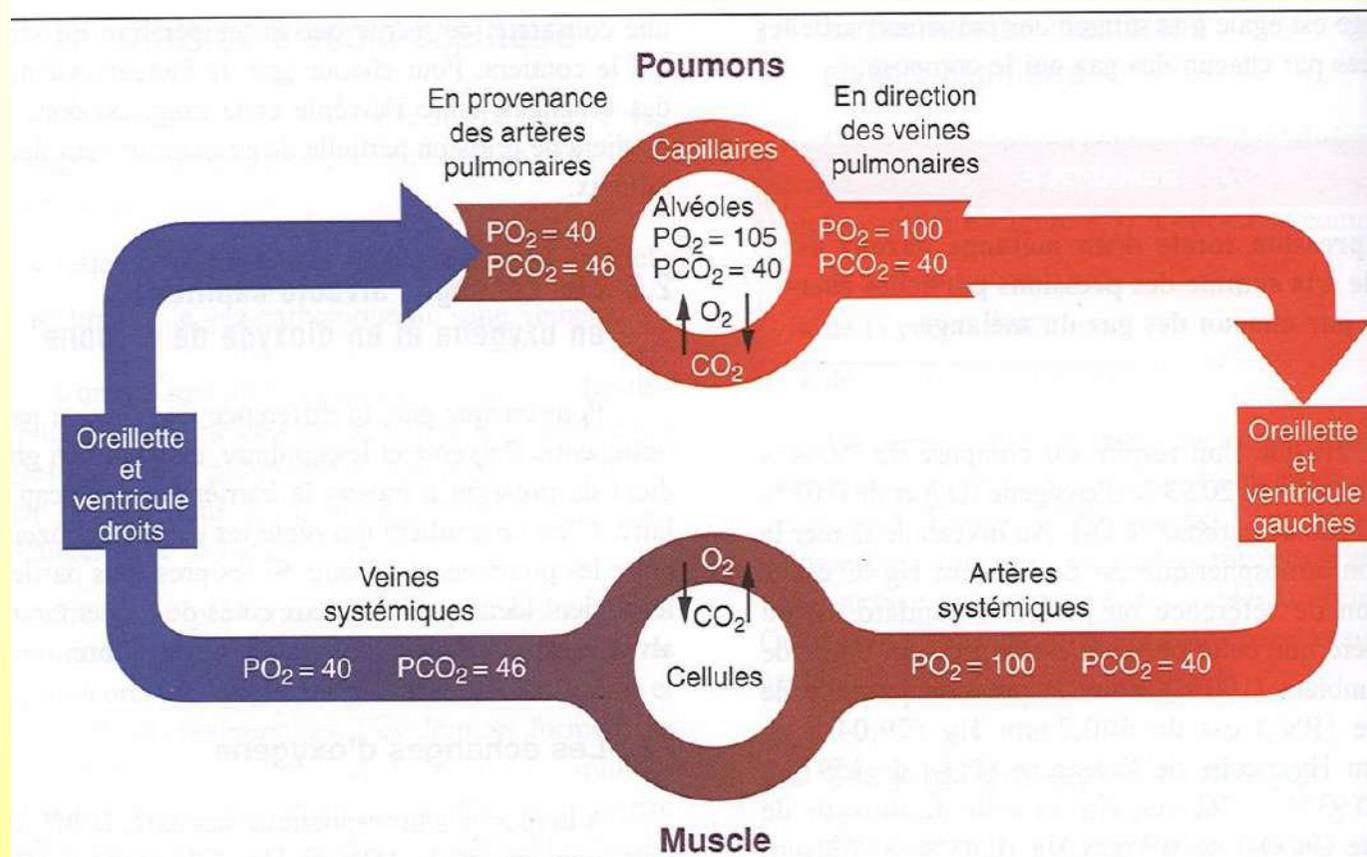
Le gaz se déplace de la zone de haute  $P^{\circ}$  vers la zone de basse  $P^{\circ}$

O<sub>2</sub> : alvéoles → sang

CO<sub>2</sub> : sang → alvéoles

A la sortie, il y a pratiquement un équilibre entre alvéole et sang.

La diffusion des gaz cesse quand la P° partielle dans les capillaires sont pratiquement égales à celles qui se trouvent dans les alvéoles.



Échange pulmonaire est très adapté car

- Gradient de  $P^o$  convenable
- DL favorable → membrane peu épaisse
  - surface d'échange importante

## E) TRANSPORT DES GAZ PAR LE SANG

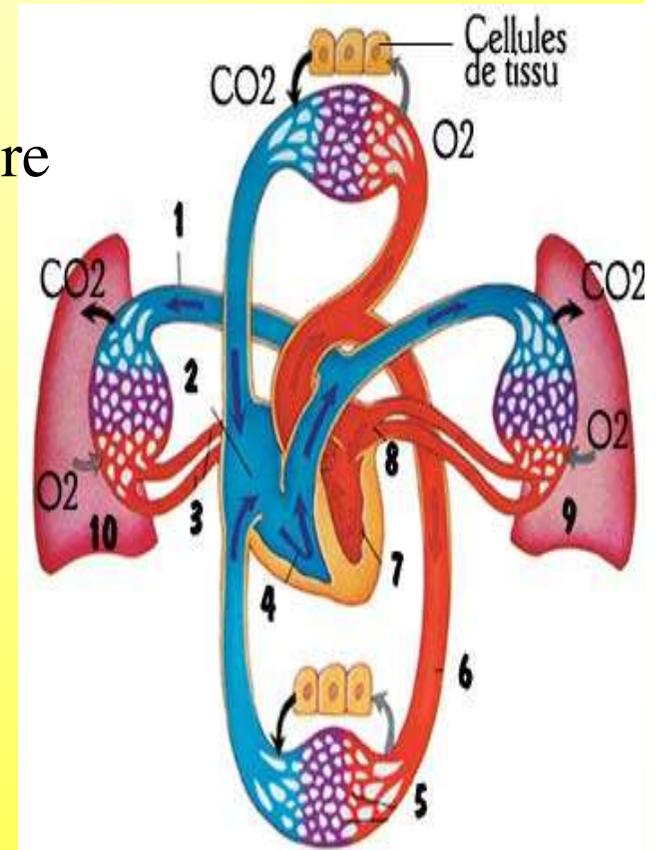
→ Le sang sert d'intermédiaire entre les poumons et les tissus et inversement

- Au niveau Poumons : le sang s'artérialise
- Au niveau des tissus : sang cède l' $O_2$  et récupère le  $CO_2$

Le sang transporte 3 gaz :  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$

Sous 2 formes :

- Forme dissoute = dissolution
- Forme combinée = combinaison chimique



# Transport de l'O<sub>2</sub>

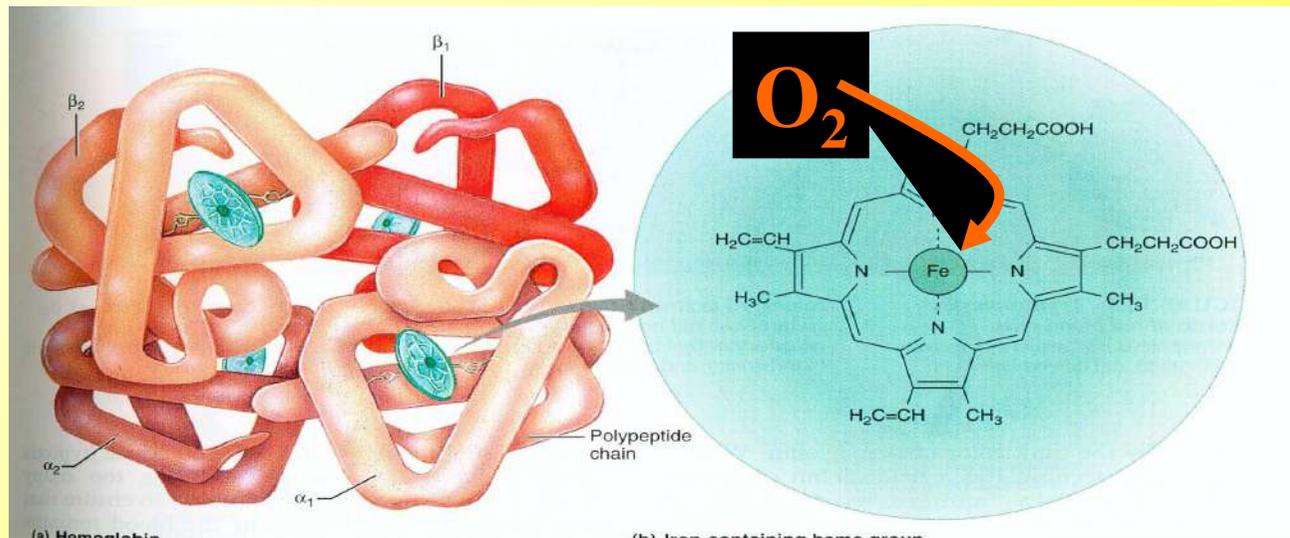
## 1) Forme dissoute

Forme dissoute : Rôle capital : constitue forme intermédiaire obligatoire

- 1) entre l'O<sub>2</sub> libre alvéolaire et l'O<sub>2</sub> combiné à l'Hb
- 2) entre l'O<sub>2</sub> combiné à l'Hb et l'O<sub>2</sub> cellulaire

## 2) Forme combinée

Liée à l'hémoglobine (Hb) dans les GR : **98% de l'O<sub>2</sub>**



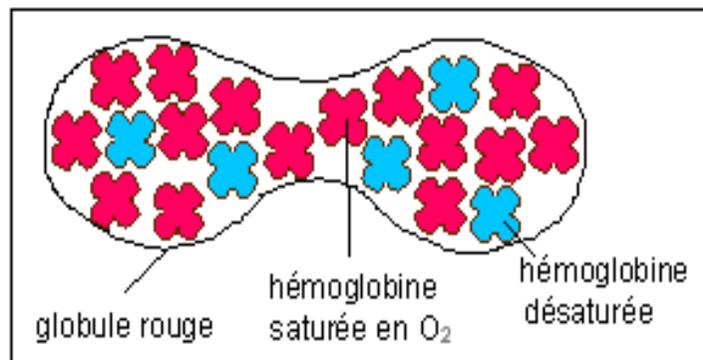
Paramètre fondamental : Saturation de l'Hb en O<sub>2</sub> : S<sub>a</sub>O<sub>2</sub> = 95 à 97 %



Quantité d'O<sub>2</sub> réellement fixée à l'Hb

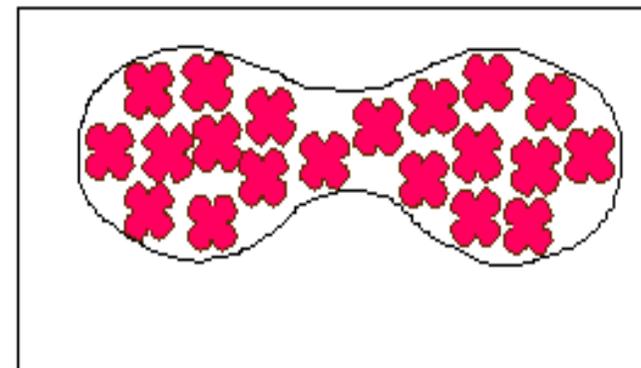
Capacité de transport d'O<sub>2</sub> = quantité maxi fixable

- Dans les conditions normales : S<sub>a</sub>O<sub>2</sub> = 19,7/ 20,80 x 100= 95%
- Dans le sang artériel d'un sujet normal, l'Hb est donc pratiquement saturée en O<sub>2</sub> (Si toute l'Hb est oxygénée → S<sub>a</sub>O<sub>2</sub> = 100%)



Cas 1 : Hb saturée : 15  
Hb désaturée : 5

$$S_{aO_2} = \frac{15}{15 + 5} = 75\%$$



Cas 2 : Hb saturée : 20  
Hb désaturée : 0

$$S_{aO_2} = \frac{20}{20 + 0} = 100\%$$

## Facteurs de transport

→ Étude de l'insuffisance d'1 facteur : en l'absence de  $\Delta$  des autres facteurs

### 1) $P_{O_2}$

Si sang caract artérielles :

$$P_{CO_2} = 40 \text{ mmHg}$$

$$PH = 7,4$$

$$T^\circ = 35^\circ\text{C}$$

$$Hb = 15 \text{ g /100 ml de sang}$$

soumis à  $P_{O_2}$  croissante:

- 1) La quantité d' $O_2$  dissoute ↗  
Kllement à la  $PO_2$
- 2) La quantité d' $O_2$  combinée à l'Hb  
 $\Delta$  avec la  $PO_2$  selon une courbe sigmoïde

Quantite d'oxygène  
dissoute (ml/100 ml de sang)

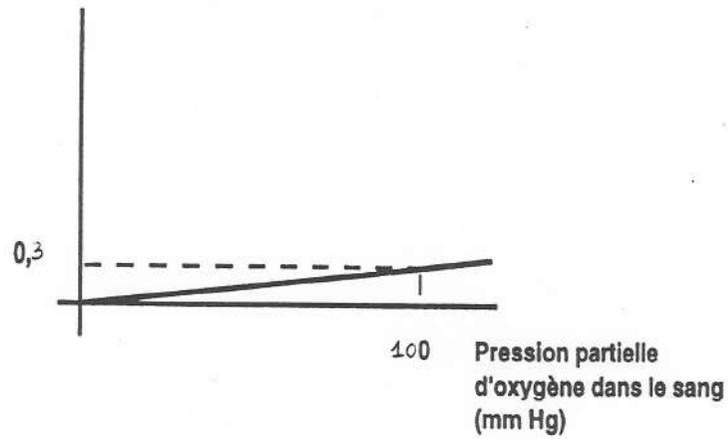
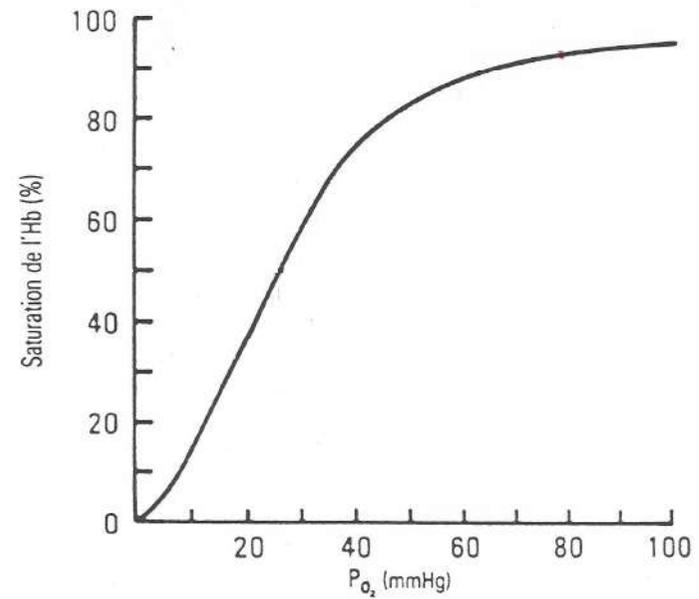
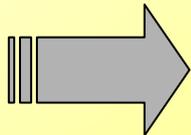


Figure 28 - QUANTITE D'O<sub>2</sub> DISSOUE EN FONCTION  
DE LA PRESSION PARTIELLE D'O<sub>2</sub>



COURBE DE DISSOCIATION DE L'O<sub>2</sub>



Courbe de dissociation de l'Hb (courbe de Barcroft)

## Courbe de dissociation de l'Hb

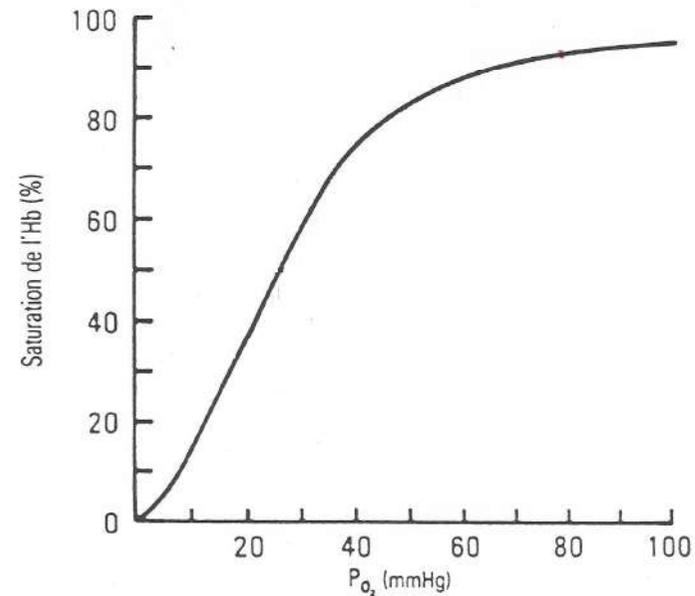
➤ Pour des  $PO_2$  élevées :

Faible  $\Delta$  de  $PO_2$  ➔ que de faibles  $\Delta$  de contenu en  $O_2$  dans le sang

➤ Pour des  $PO_2$  faibles :

Faible  $\Delta P_{O_2}$  ➔ fortes  $\Delta$  du contenu d' $O_2$  dans le sang

$PO_2 = 40$  mmHg ➔ (courbe verticale) :  
facilite de libération d' $O_2$  au niveau des  
tissus



COURBE DE DISSOCIATION DE L'O<sub>2</sub>

La courbe traduit l'affinité de l'Hb pour l'O<sub>2</sub>

- à  $P_{O_2}$  élevées ➔ affinité ↗ ➔ Hb capte  $O_2$  (Poumon)

- à  $P_{O_2}$  basses ➔ affinité ↘ ➔ Hb libère  $O_2$  (Tissus)

## 2) $P_{CO_2}$ , pH et $T^\circ$

Quand, dans le sang :

$PCO_2 \nearrow$ ,  $pH \searrow$ ,  $T^\circ \nearrow$

→ Courbe se déplace vers droite et le bas

→ L'affinité Hb pour  $O_2 \searrow$

→ Le sang transporte – d' $O_2$

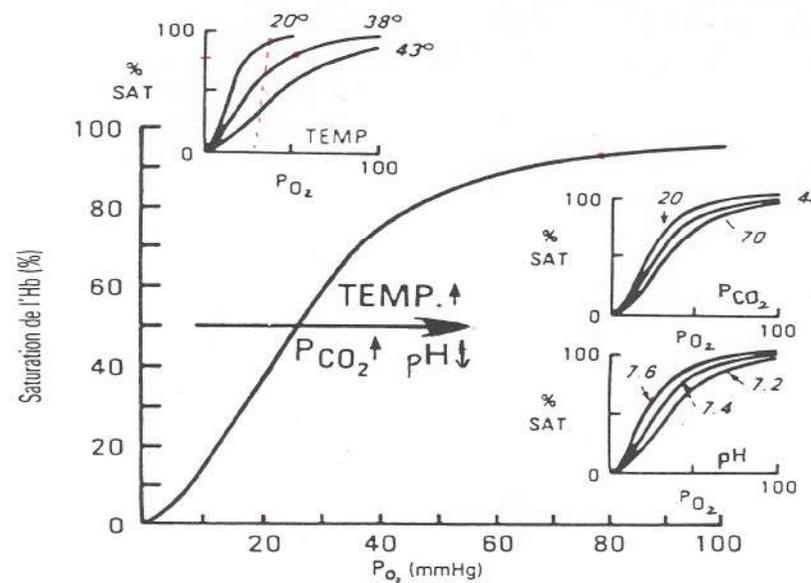


Figure 30 - Déplacement vers la droite de la courbe de dissociation de l' $O_2$  par un accroissement de  $PCO_2$ , de la température et une diminution du pH.

# Transport de CO<sub>2</sub>

## 1) Forme dissoute

Rôle capital car c'est la forme intermédiaire indispensable entre la forme combinée dans GR et dans le plasma et la forme gazeuse alvéolaire

## 2) Forme combinée

*Bicarbonates*

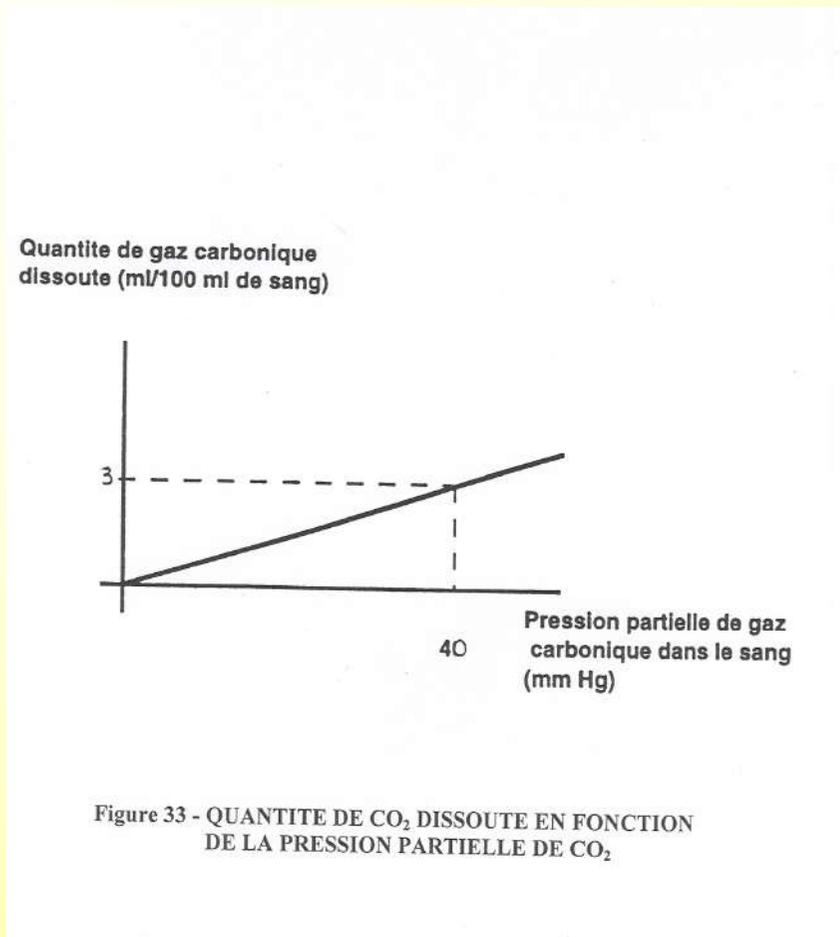
*Composés carbaminés*

## Facteurs de transport

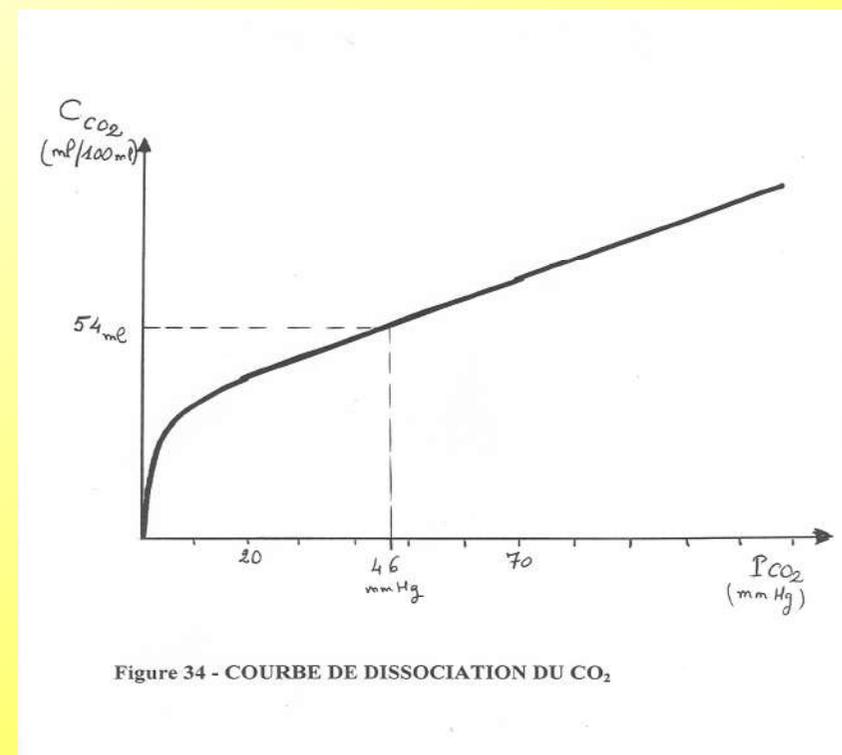
### 1) P<sub>CO2</sub>

Échantillon de sang ayant caract veineuses ( $PO_2 = 40\text{mmHg}$ ,  $PH = 7,35$ ,  $T^\circ = 38^\circ\text{C}$ ) soumis à  $P_{CO_2}$  croissantes

1) La quantité de  $CO_2$  dissoute  $\nearrow$   
Kllement à la  $PCO_2$



2) La quantité de  $CO_2$  combinée  $\Delta$  avec la  $PCO_2$  selon une courbe non sigmoïde



## 2) $P_{O_2}$ , pH et $T^\circ$

Quand dans le sang :  $PO_2 \nearrow$ , pH  $\nearrow$  et  $T^\circ \searrow$

→ Décalage de la courbe vers la droite :  $C_{CO_2} \searrow$  : le sg transp (-) de  $CO_2$

Si on prend 2 échantillons de 100ml de sang

Sang artériel :  $P_{O_2} = 100\text{mmHg}$ ,  $PH = 7,41$ ,  $T^\circ = 35^\circ\text{C}$

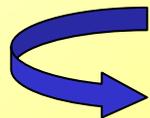
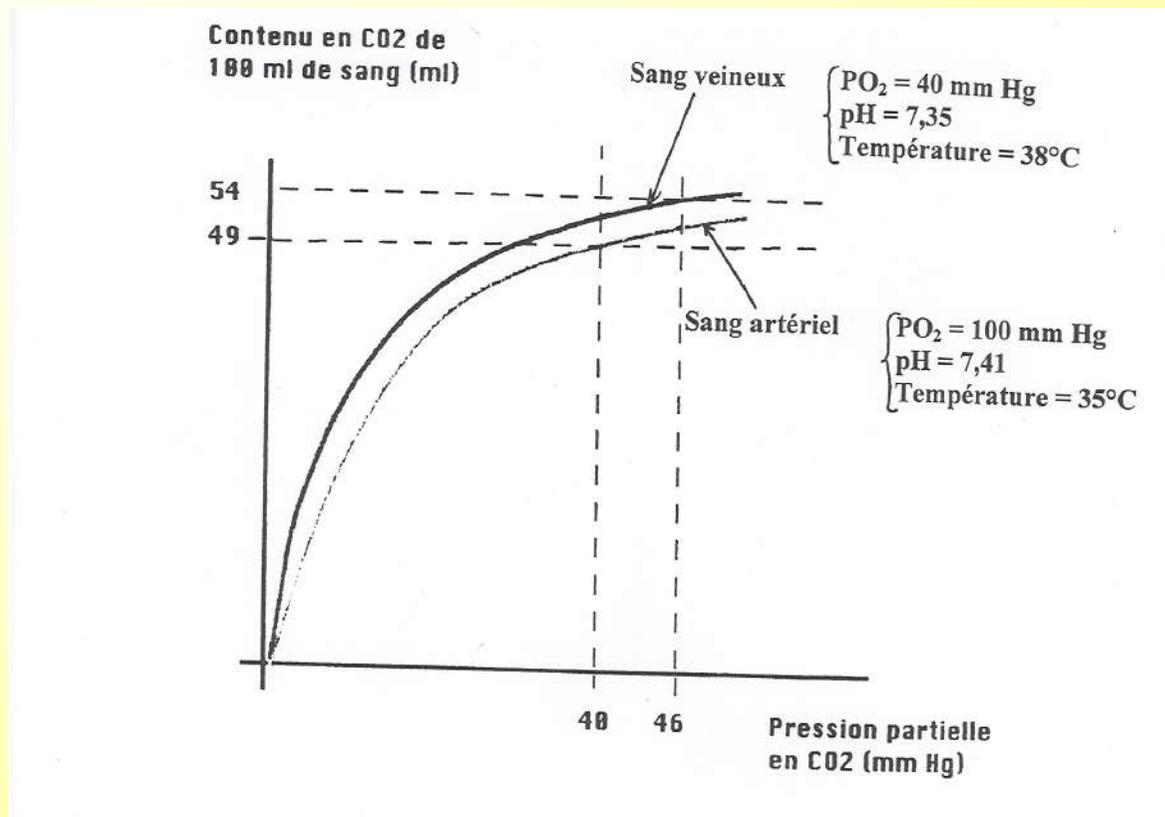
Sang veineux :  $P_{O_2} = 40\text{mmHg}$ ,  $PH = 7,35$ ,  $T^\circ = 38^\circ\text{C}$

Les 2 échantillons soumis à  $P_{CO_2}$  croissantes

→ mesure contenu en  $CO_2$  des échantillons pour chaque valeur de  $P_{CO_2}$

→ Courbe de sg artériel est légèrement décalée vers la droite/à celle du sg veineux

→ Pour 1 même  $PCO_2$ , le sg veineux transporte + de  $CO_2$  que le sg artériel



Ce phénomène : Effet Haldane

# Adaptations respiratoires à l'exercice

## Adaptations accessoires

- **Bronchodilatation:** + d'air rentre dans les poumons.
- **↗ de la diffusion alvéolo-capillaire :**

A l'exercice, ↗ quantité d'O<sub>2</sub> qui traverse la mb alvéolo-capillaire car :

- ↗ Surface d'échange gazeux alvéolo-capillaire,
  - ↗ du nombre d'alvéoles fonctionnelles,
  - ↗ du nombre et dilatation des capillaires

• ↗  $\neq P^{\circ}$  partielle des gaz à travers la mb :

- ↗  $PA_{O_2}$  avec l'intensité de l'exercice par ↗  $V_E$

- Repos : 100 mmHG

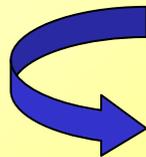
- Exo : 110 – 115 mmHg (exo max)

- ↘  $Pv_{O_2}$  avec l'intensité de l'exercice par ↘ retour  $O_2$

des muscles vers poumons

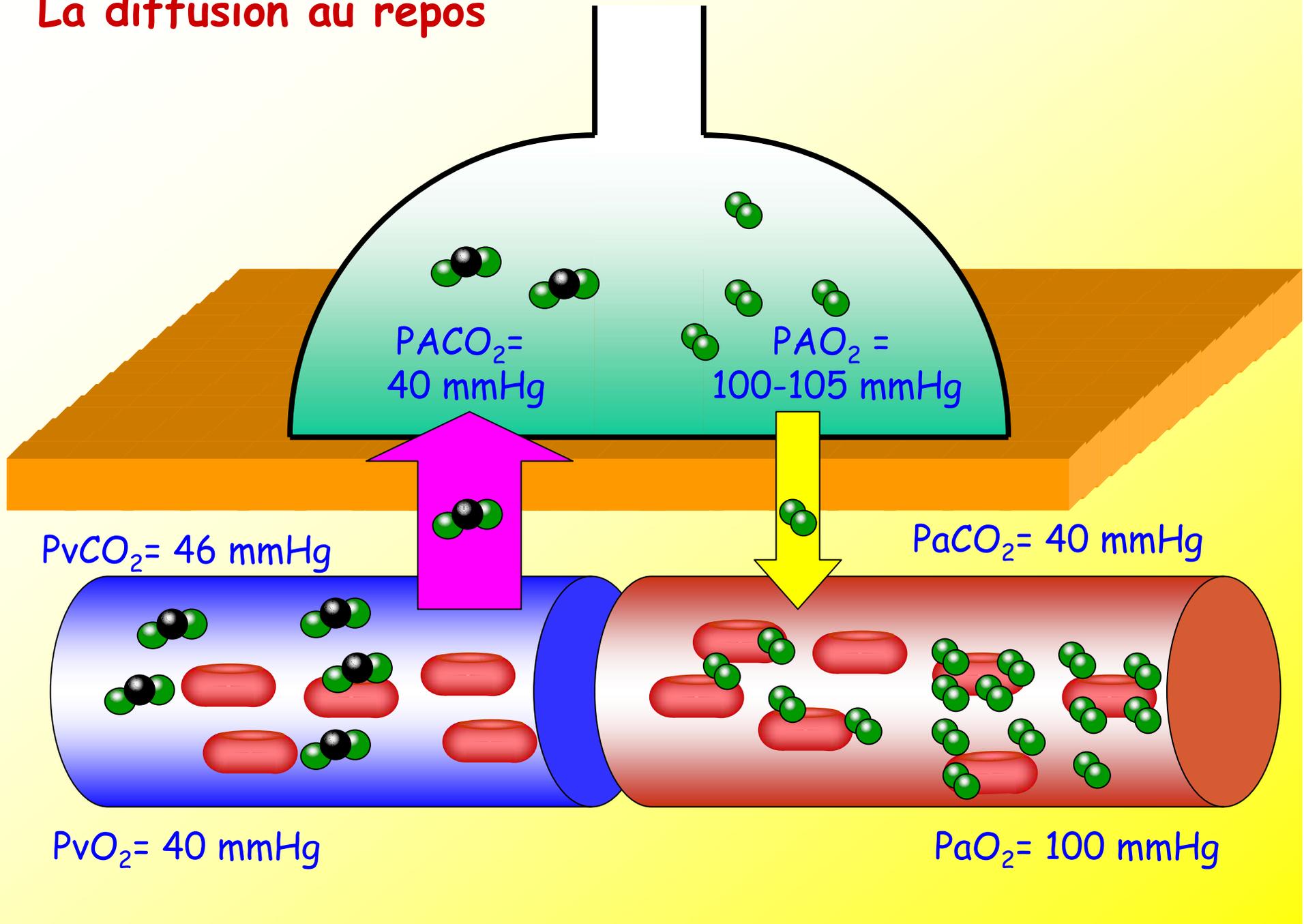
- Repos : 40 mmHg

- Exo : 10 mmHg (exo max)

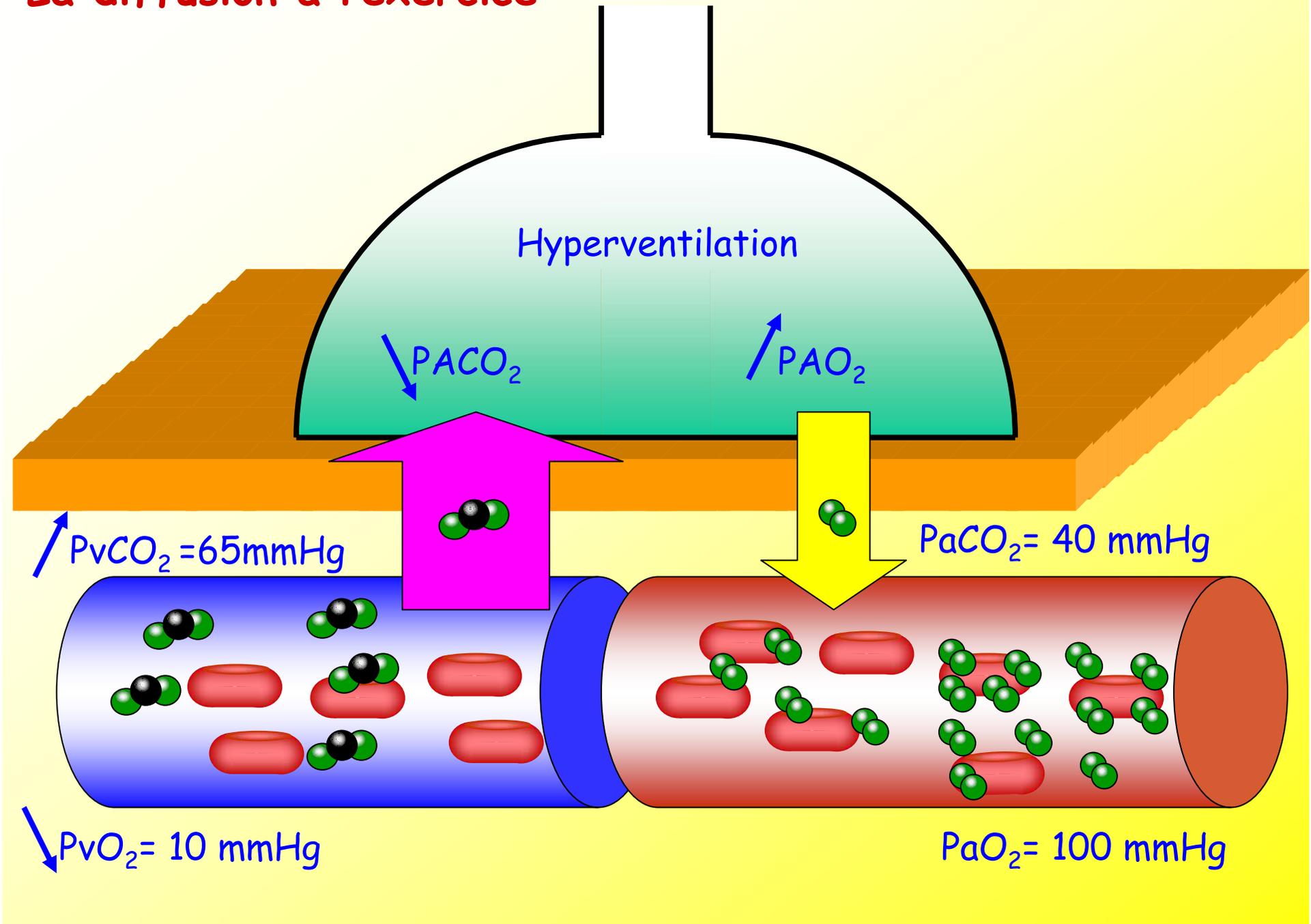


↗ gradient de  $P^{\circ}$

# La diffusion au repos

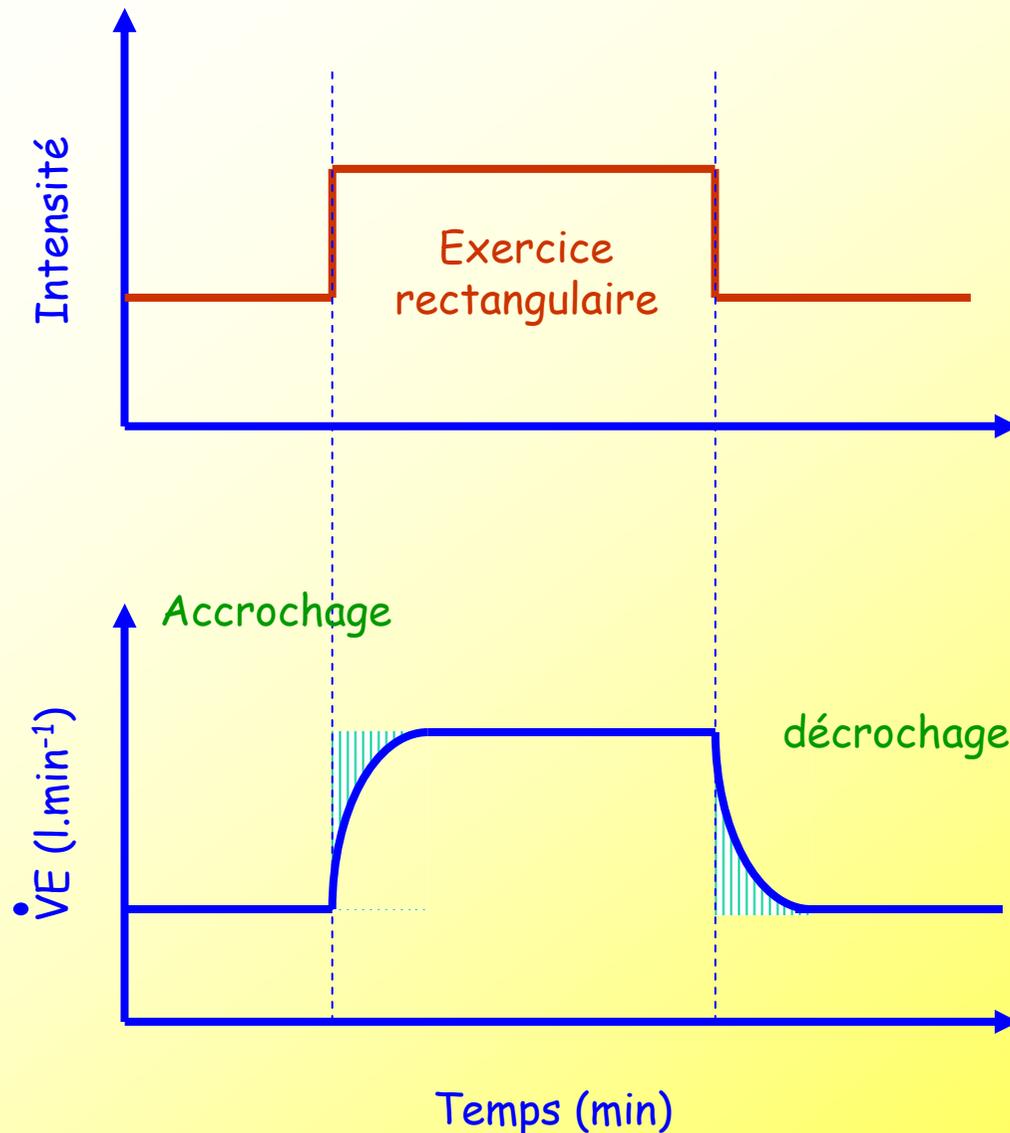


# La diffusion à l'exercice



Adaptation principale : ↗  $V_E$

Évolution de  $V_E$  lors d'un exo à I cste

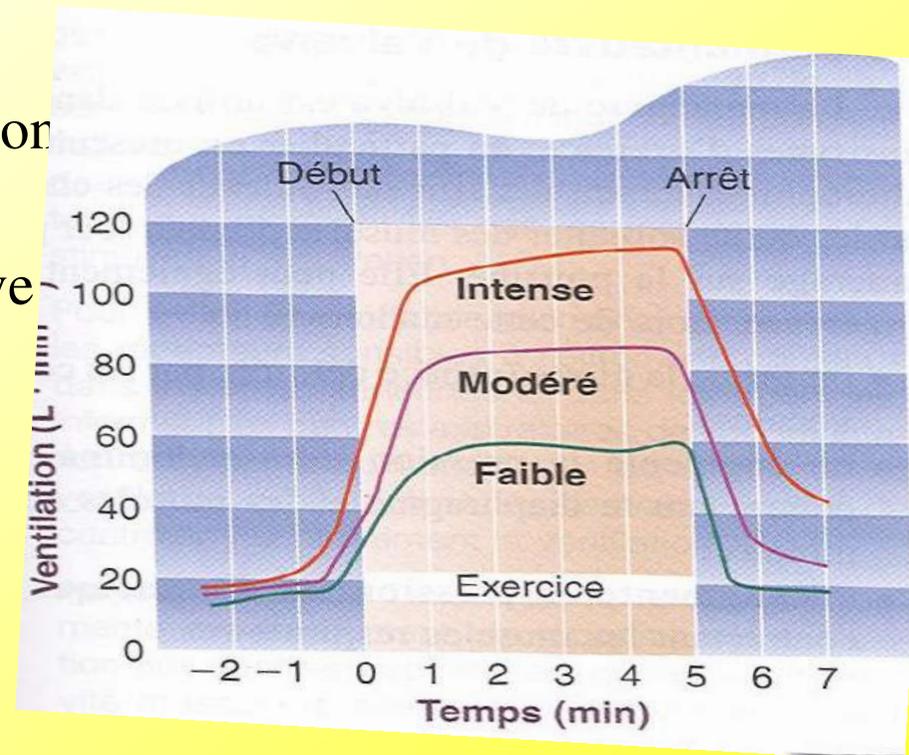


La  $V_E$  augmente immédiatement, pour se stabiliser au niveau requis par l'effort en cours. Dès la fin de l'effort,  $V_E$  diminue immédiatement pour reprendre en quelques minutes sa valeur pré exercice.

## Évolution de $V_E$ lors d'un exo à I cste

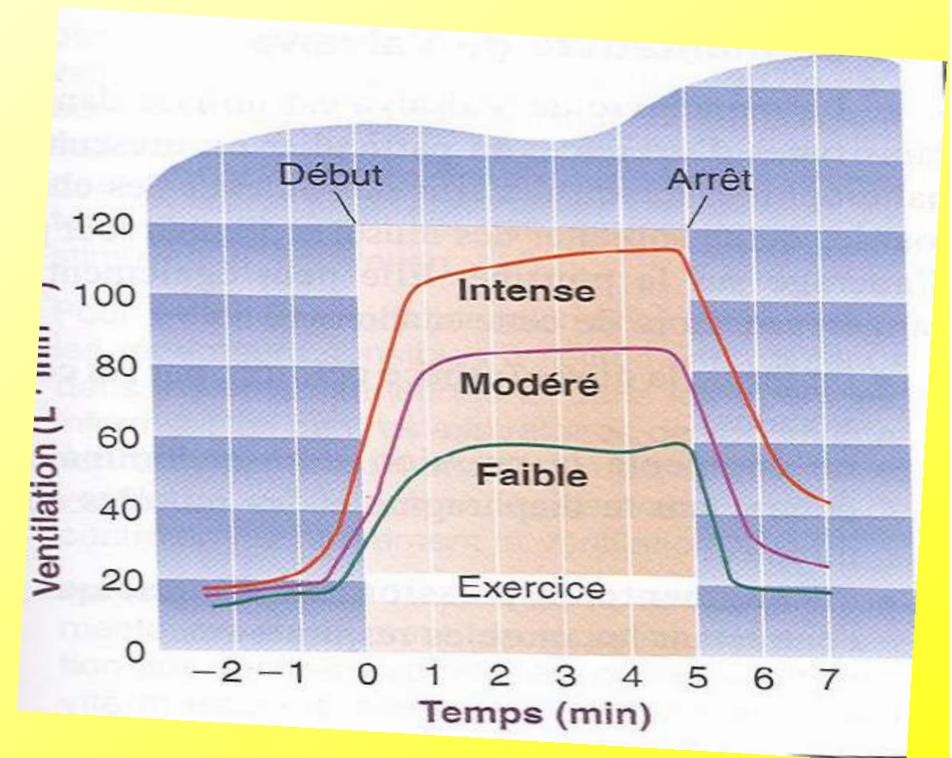
On distingue 5 phases :

- Phase d'**accrochage ventilatoire** :  
↗ instantanée de  $V_E$  puis stabilisation pdt 15 à 20 s.
- Phase d'**installation** : ↗ progressive  $V_E$
- **Plateau** (3-4 min) si on est sous le seuil ventilatoire (SV). Si  $I > SV$ , pas de plateau
- Arrêt de l'exo : **décrochage ventilatoire** : ↘ brusque de  $V_E$
- Retour progressif au repos (qq min).



Effet de l'I de l'exo :

- + tps pour atteindre le plateau ↗,
- + plateau est haut,
- + le délai de retour au repos ↗



## Évolution de $V_E$ lors d'un exo à I croissante

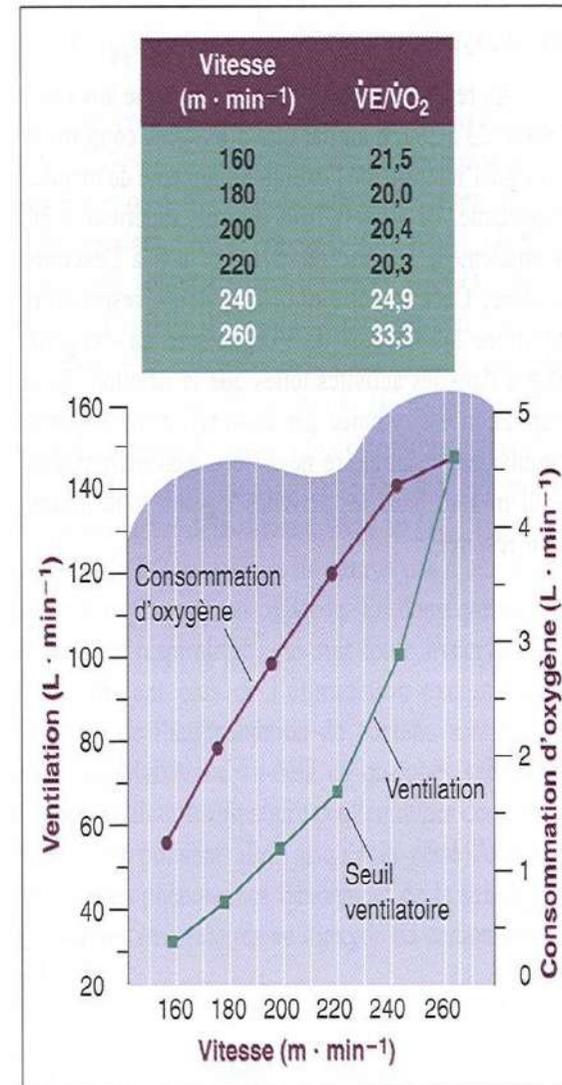
De 0 à 50%  $VO_{2max}$  :  $\nearrow V_E$  proportionnelle à l'I de l'exo.

De 50 % à 70 % de  $VO_{2max}$  :

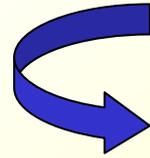
- 1ère cassure de la courbe : **1er seuil ventilatoire (SV1)**
- $V_E \nearrow$  proportionnellement + que l'I de l'exo.

De 70% de  $VO_{2max}$  à 100% :

- 2ème cassure de la courbe,
- $V_E \nearrow$  proportionnellement + que l'I de l'exo.



$VO_{2max}$  atteint alors que  $V_E$  peut encore ↗



$$VO_{2max} \neq V_{E_{max}}$$

$V_E$  ne constitue pas 1 facteur limitant l'aptitude à effectuer un exo

$V_{E_{max}}$  ne constitue pas 1 facteur limitant l'aptitude à effectuer un exo

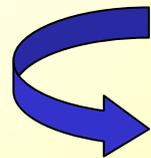
$V_E$  repos = 6 à 8 l/min;  $V_{E_{max}}$  = 100 à 120 l/min : sujets modérément ent

$V_{E_{max}}$  = 150 à 200 l/min : sujets très ent

↗  $V_E$  : ↗  $V_c$  et FR

↗  $V_c$  : avec I exo (essentiellement aux dépens du VRI)

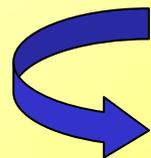
$V_c$  repos : 0.5 l ; ↗ jusqu'à 50% CV (CV : 6 à 8 l chez très ent)



↗  $V_c$  : 6 à 8 fois valeur de repos

↗ FR : avec I exo

FR repos : 12 à 16 mvt/min; exo : 40 à 50 mvt/min



↗ FR : 3 à 4 fois valeur de repos

Adaptations : avec prédominance de l'  $\nearrow$   $V_c$  : favorable au maintien de la  $V_{alv}$

Mécanismes de l'adaptation ventilatoire :

### MécanoR de l'app locomoteur

Situés au niv des tendons et articulations; interviennent lors des phases d'accrochage et décrochage

- phase d'accrochage : mobilisation de l'articulation au début de l'exo : + mécanoR : + CR :  $\nearrow$   $V_E$
- phase de décrochage : arrêt de l'exo : interruption de l'activité motrice : - mécanoR : - CR :  $\searrow$   $V_E$

## Composition physico-chimique du sang

Action directe sur CR ou par l'I des chémoR aortiques et carotidiens

A l'exo : + CR par :

↗ PCO<sub>2</sub>

↘ pH : facteur principal : production ac lactique par

muscle : ↘ pH : ↗ VE : lutte contre acidose

↗ température centrale

↗ adrénaline

# Bon courage



## LIENS UTILES 🙌

### Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

