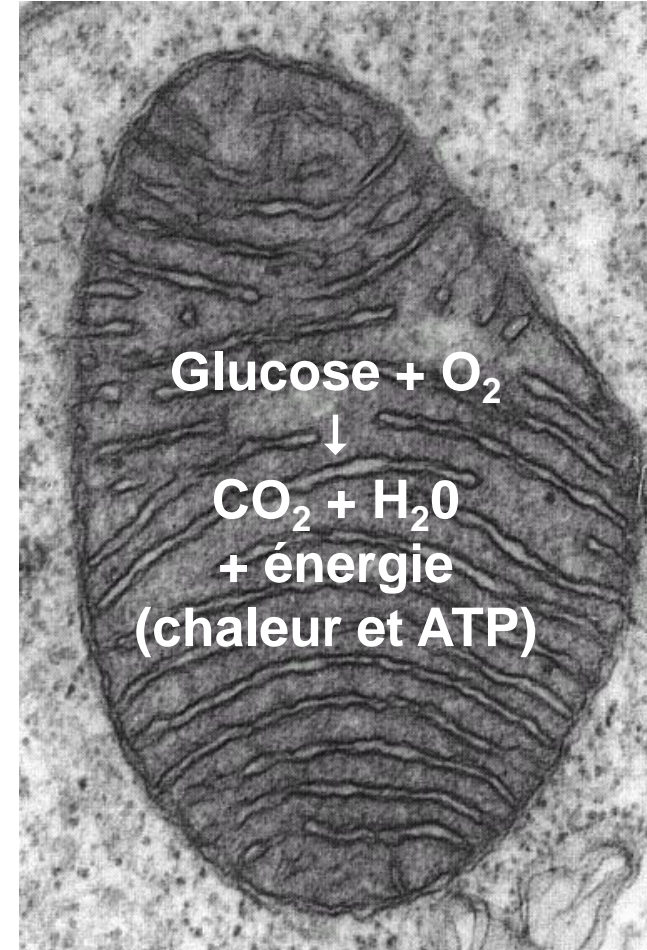


Physiologie respiratoire

Docteur Sandrine LAUNOIS-ROLLINAT

Introduction

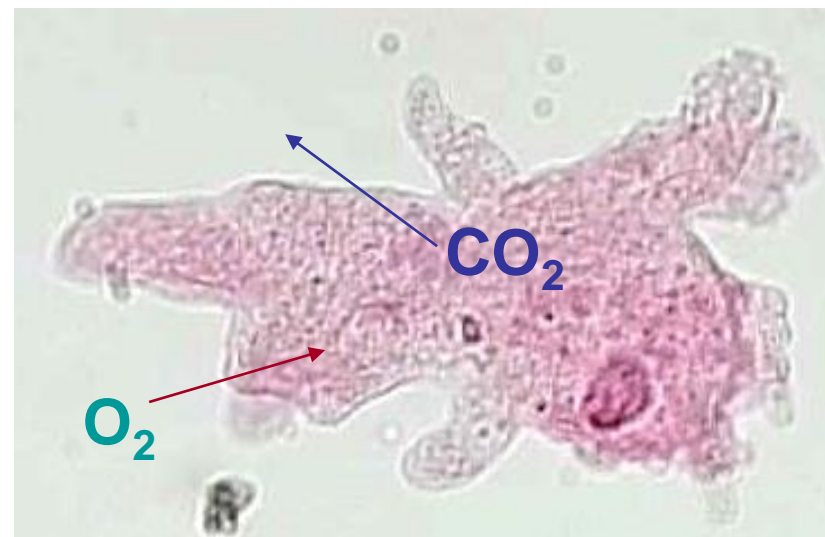
- La vie de la cellule nécessite de l'énergie
- L'énergie produite dans les mitochondries
 - consomme de l' O_2
 - produit du CO_2 } respiration cellulaire
- Au sens large, respiration = phénomènes qui concourent à assurer les échanges gazeux entre le milieu ambiant et la cellule vivante



Mitochondrie

Introduction

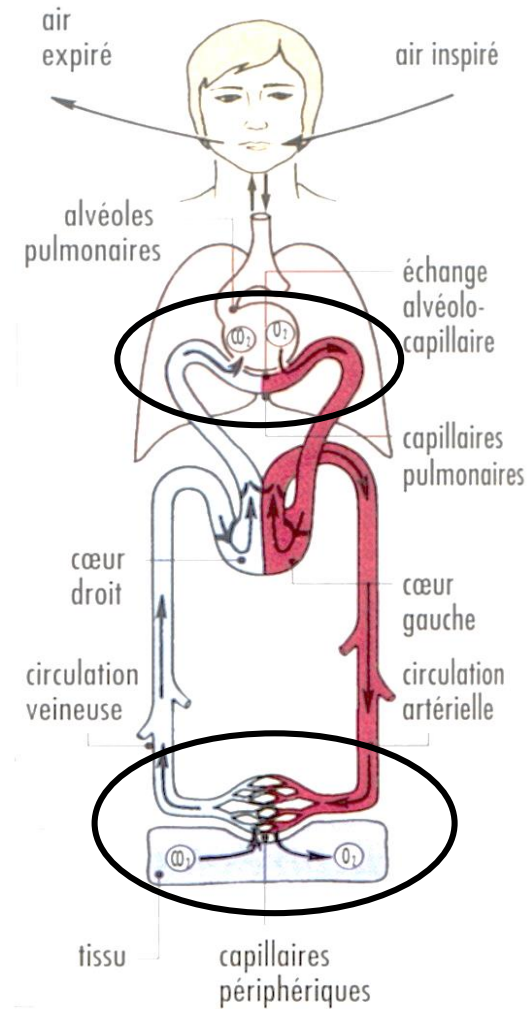
- Echanges chez les êtres unicellulaires
 - diffusion simple suffisante pour les échanges gazeux



Amibe

Introduction

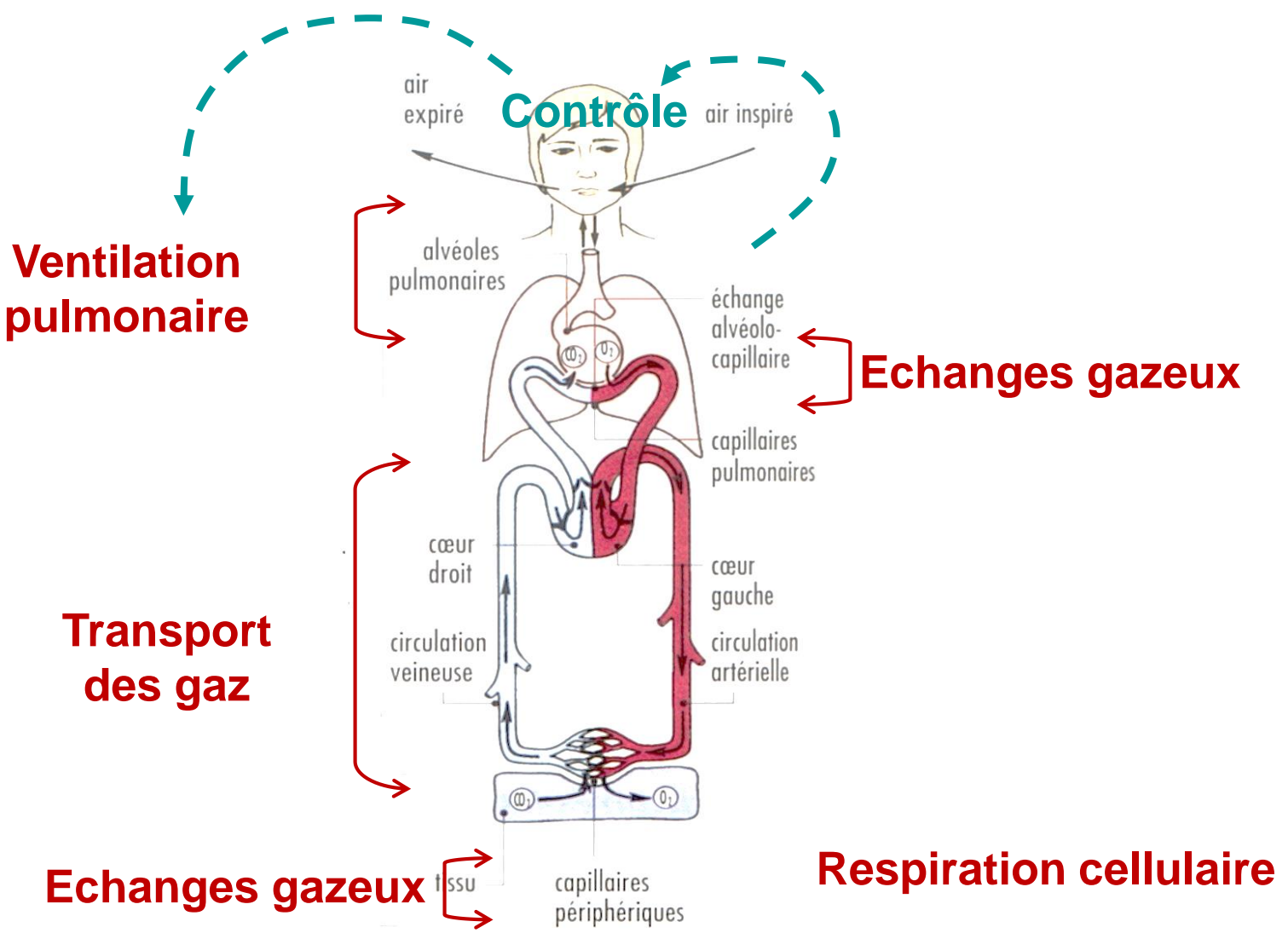
- Echanges chez les êtres pluricellulaires
 - diffusion simple inadaptée, nombreuses solutions
 - chez les mammifères
 - système fermé dans lequel circule le sang
 - en contact avec les tissus au niveau de réseaux capillaires où échanges par diffusion possibles
 - poumon = interface milieu ambiant/sang



Introduction

- Chez les mammifères, appareil respiratoire sophistiqué
- Rôles de l'appareil respiratoire
 - Oxygénation tissulaire
 - Elimination du gaz carbonique
 - Maintien du pH sanguin à une valeur normalemais aussi
 - Comportement
 - Défense
 - Métabolisme
 - Hémodynamique

Etapes de la respiration



Plan du cours

- Ventilation pulmonaire
 1. Air inspiré
 2. Le cycle respiratoire
 3. Les volumes pulmonaires
 4. Ventilation minute
 5. Propriétés mécaniques: élasticité et résistance
- Circulation pulmonaire
- Echanges gazeux
- Transports des gaz dans le sang
- Contrôle de la respiration
- Fonctions de l'appareil respiratoire
- Conclusions

Avertissement

- Les unités de pression
 - Système international: Pascal (Pa)
 - Météo: Bars, mm de mercure (mmHg)
 - Physiologie:
 - Pressions dans les vaisseaux: mmHg, cmHg
 - Pressions des gaz dans le sang: kPa

Conversion:

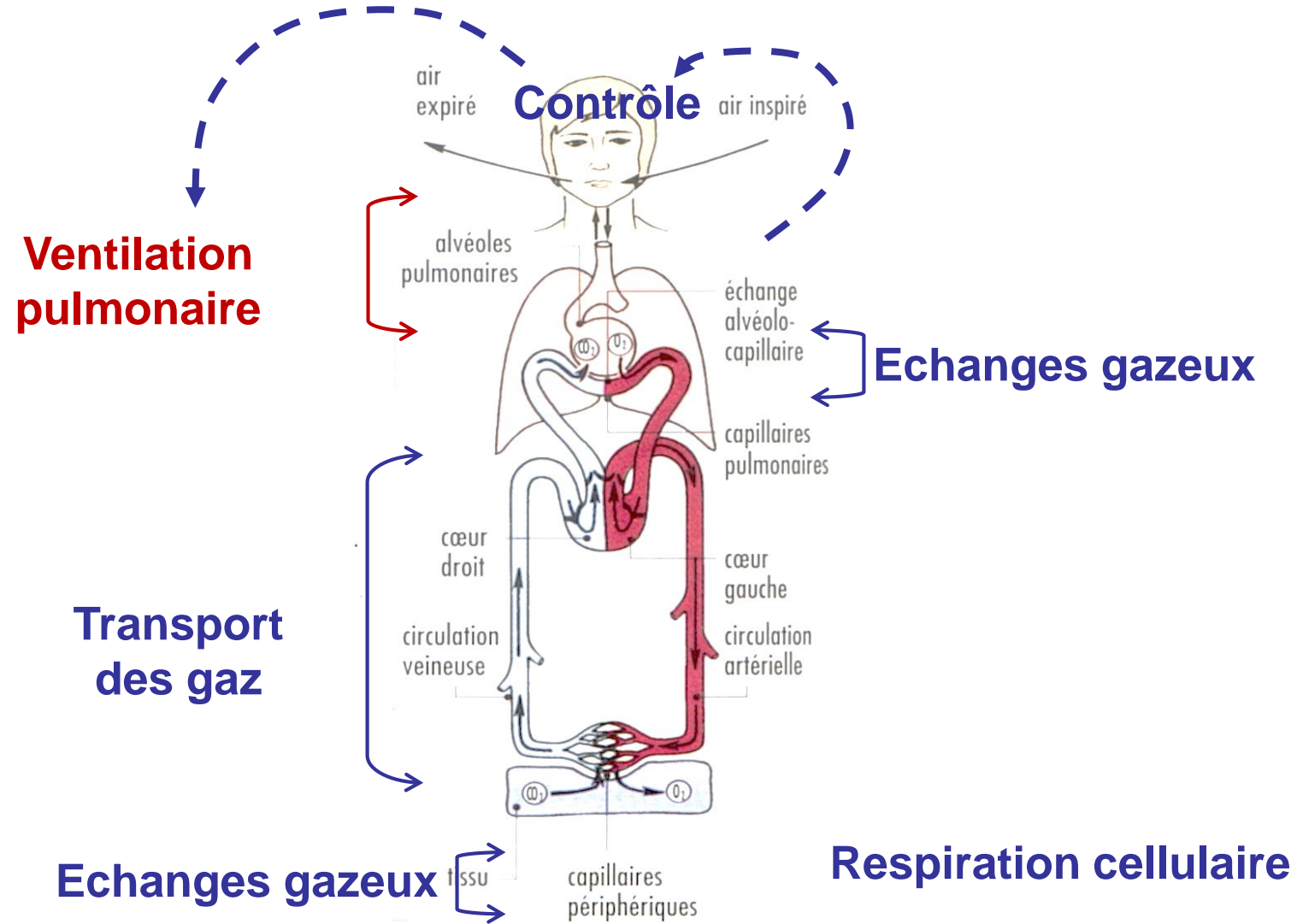
1kPa = 7,5 mmHg 1mmHg = 0,1333 kPa

<http://1000conversions.com/>

Ventilation pulmonaire

1. Air inspiré
2. Le cycle respiratoire
3. Les volumes pulmonaires
4. Ventilation minute
5. Propriétés mécaniques: élasticité et résistance

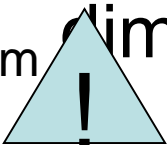
Etapes de la respiration



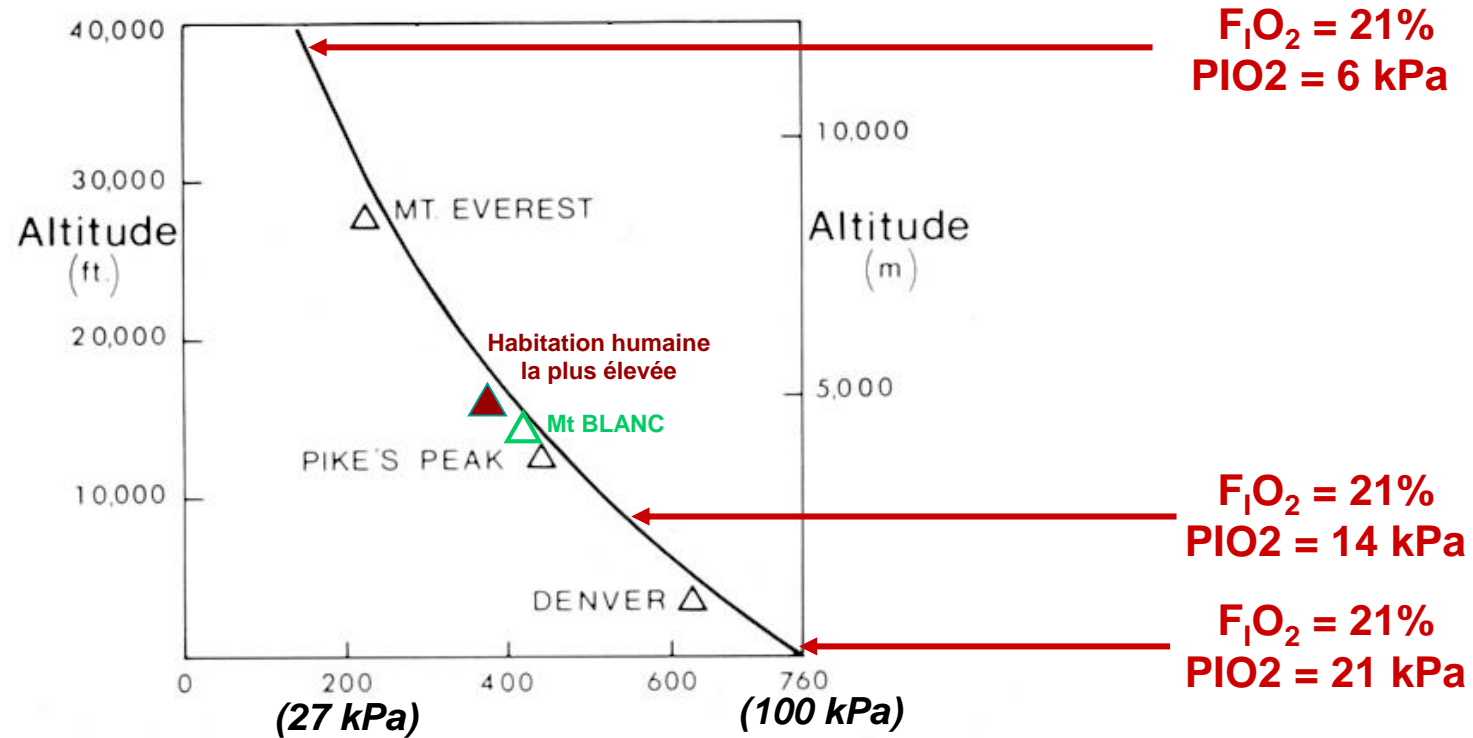
Ventilation pulmonaire: air inspiré

- Composition de l'air atmosphérique
 - Les différents gaz de l'atmosphère:
 - azote
 - oxygène
 - dioxyde de carbone
 - argon, néon, hélium, méthane, krypton, hydrogène
 - Leur concentration (« fraction ») simplifiée:
 - $F_{N_2} = 79 \%$
 - $F_{O_2} = 21 \%$
 - $F_{CO_2} = 0 \%$

Ventilation pulmonaire: air inspiré

- Pression d'un gaz = fraction x pression totale
- Pression totale = pression «atmosphérique» ou «barométrique»
- P_{atm} = poids de la colonne d'air par unité de surface en un lieu donné
- P_{atm} diminue avec l'altitude mais la fraction d'oxygène reste la même 

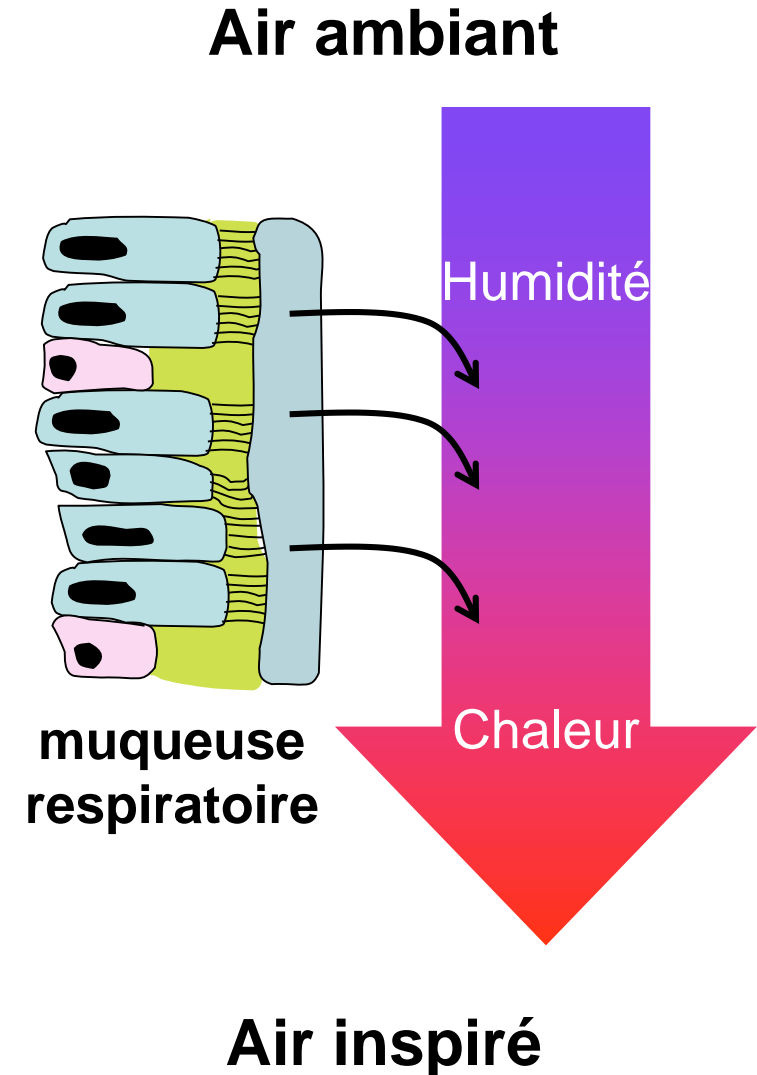
Ventilation pulmonaire: air inspiré



Pression atmosphérique (mmHg)

Ventilation pulmonaire: air inspiré

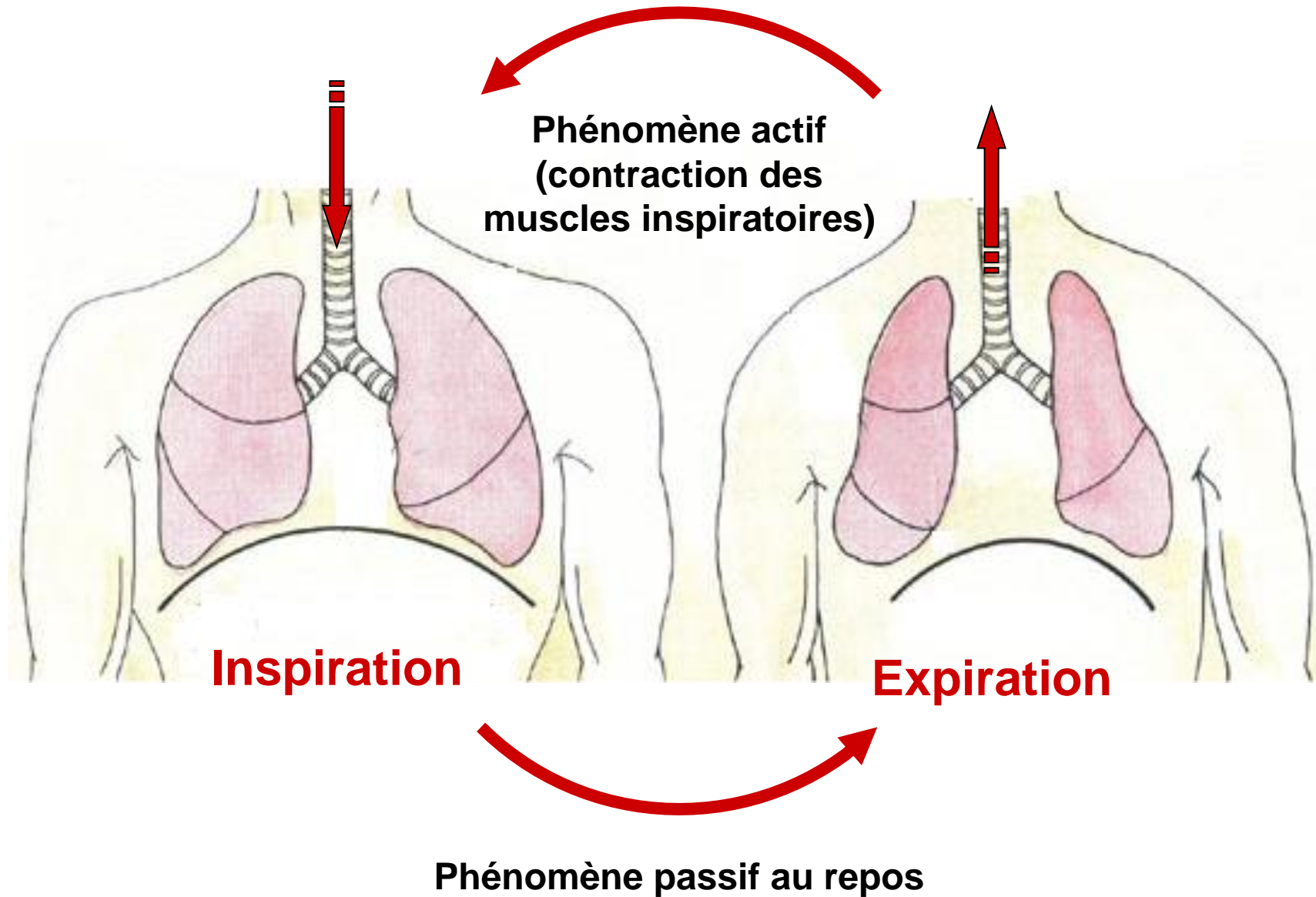
- Les voies aériennes supérieures conditionnent l'air inspiré
 - humidification
 - réchauffement
- A partir de la trachée
 - $T = 37^{\circ}\text{C}$
 - Air saturé en vapeur d'eau



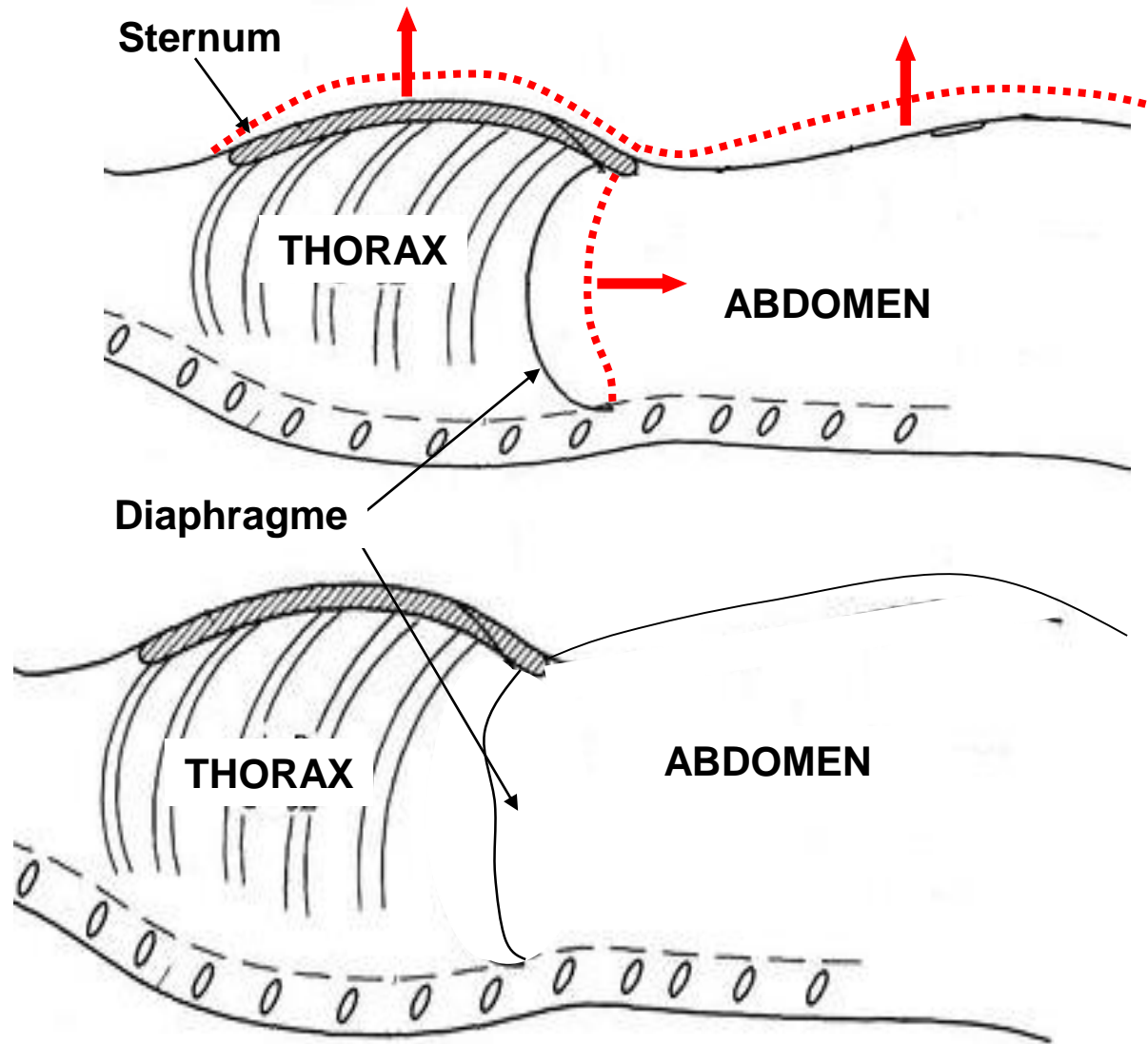
Ventilation pulmonaire: le cycle respiratoire

- Cycle respiratoire = inspiration + expiration
- Durée variable:
 - 4 à 5 secondes chez l'adulte au repos
 - 1 à 1,5 secondes chez le nouveau-né au repos
- Fréquence respiratoire: nombre de cycle par minute
 - 15 -20 chez l'adulte éveillé au repos
 - 40-50 chez l'adulte pendant exercice
 - 40-60 chez le nouveau-né au repos

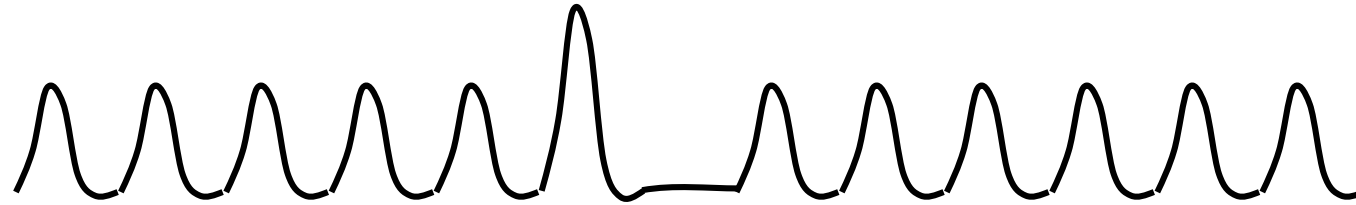
Ventilation pulmonaire: le cycle respiratoire



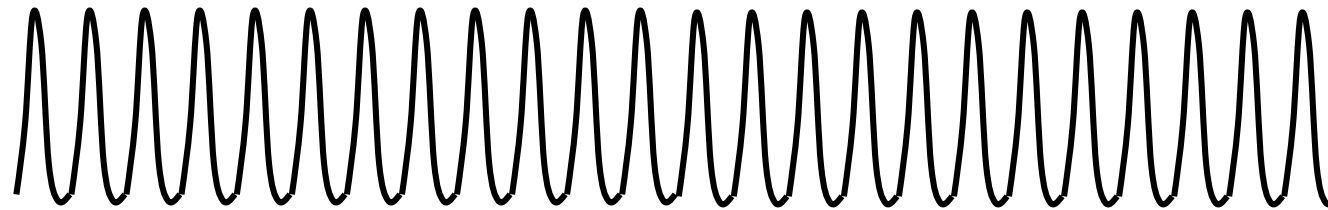
Ventilation pulmonaire: le cycle respiratoire



Ventilation pulmonaire: le cycle respiratoire



A. Rythme normal (+ soupir)



B. Tachypnée (exemple: exercice)



C. Apnée (exemple: syndrome d'apnées du sommeil)

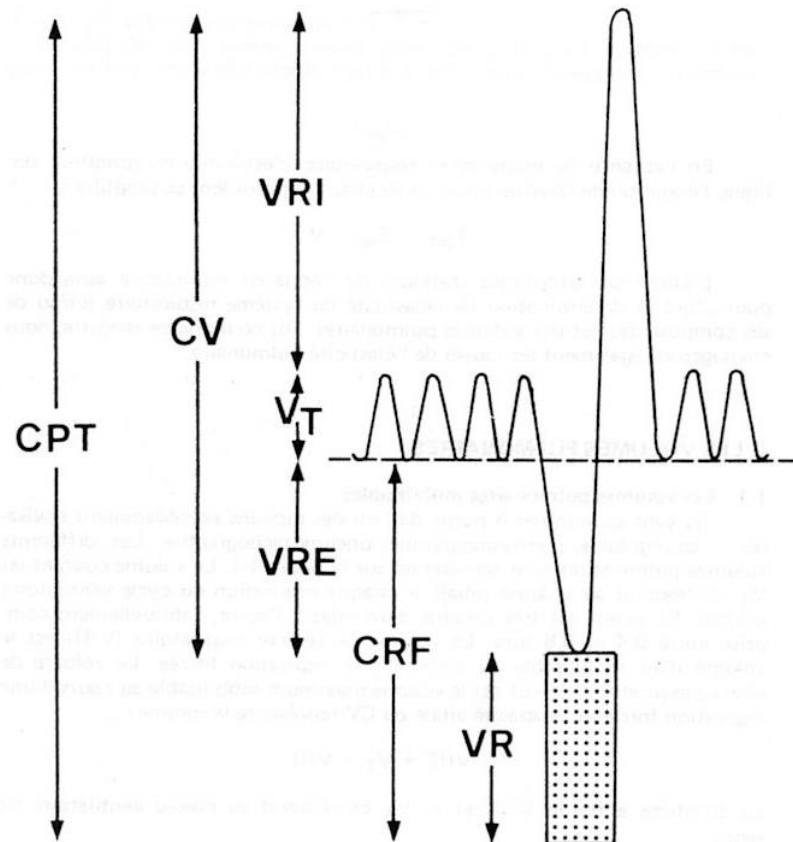


D. Respiration périodique (exemple: en altitude)

Ventilation pulmonaire: les volumes pulmonaires

- Les volumes pulmonaires
 - Au repos, un certain volume est inspiré puis expiré (= volume courant, V_T)
 - En cas de besoin, un volume supplémentaire peut être inspiré et expiré
 - A la fin d'une expiration maximale, il reste encore de l'air dans les poumons (= volume résiduel)
 - Volume des poumons: poumon droit $\approx 55\%$, poumon gauche $\approx 45\%$

Ventilation pulmonaire: les volumes pulmonaires



volume de réserve Inspiratoire V_{RI}	capacité inspiratoire	capacité vitale CV	capacité pulmonaire totale CPT
volume courant			
volume de réserve expiratoire V_{RE}	capacité résiduelle fonctionnelle CRF	volume résiduel VR	
volume Résiduel VR			

Ventilation pulmonaire: les volumes pulmonaires

- Les volumes et capacité pulmonaires sont mesurés au laboratoire d'Explorations Fonctionnelles Respiratoires



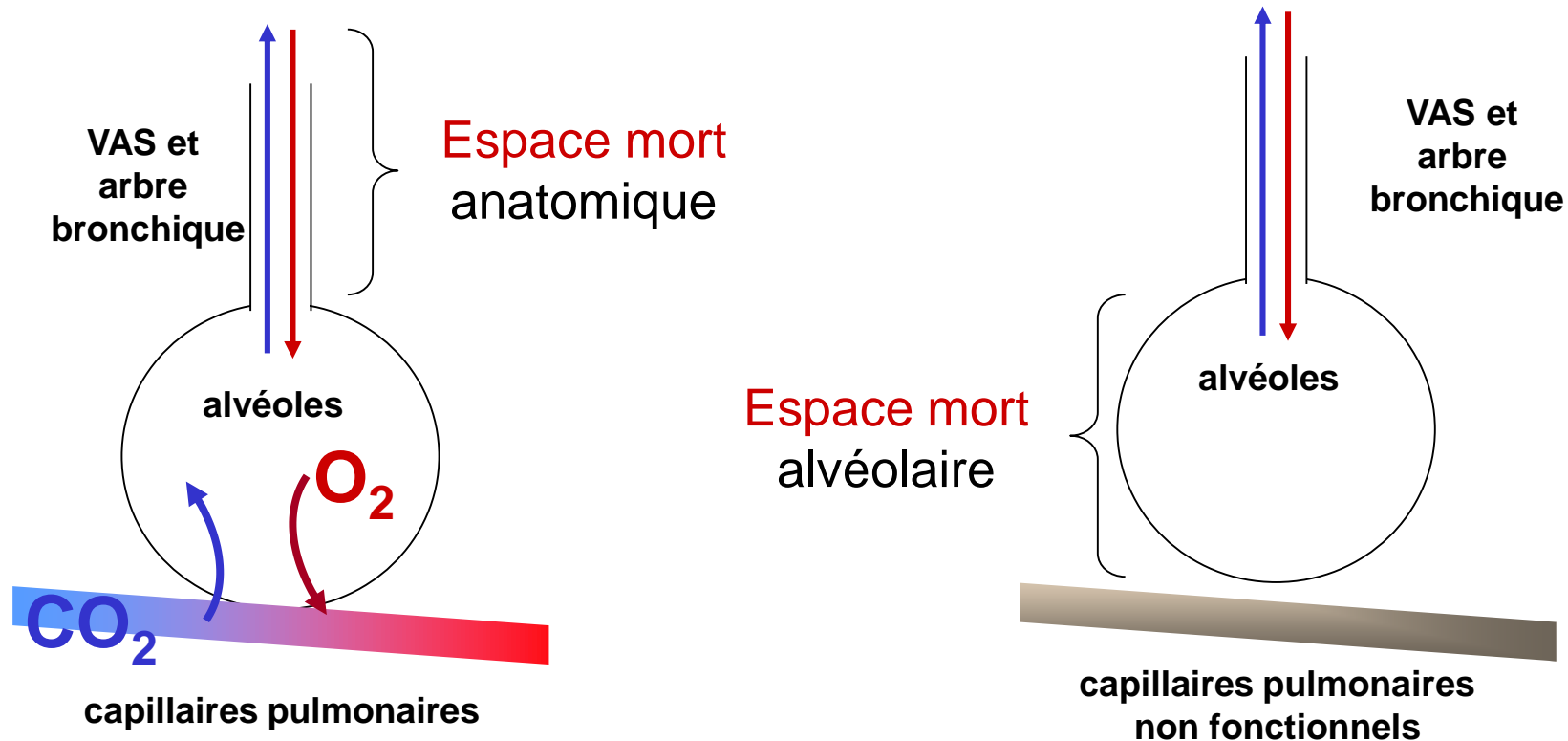
- Leur valeur est **variable** en fonction de
 - âge
 - sexe
 - taille
 - origine ethnique } → valeurs exprimées en % théorique
- Une mesure correcte des volumes pulmonaires nécessite la **coopération** du sujet

Ventilation pulmonaire: ventilation minute

- Ventilation minute = volume courant x fréquence respiratoire
- Ordre de grandeur de la ventilation minute
 - repos : 6 L/min
 - marche : 15 L/min
 - marche rapide : 30 L/min
 - montée d'escaliers : 30 à 40 L/min
 - vélo intensif : 60 à 100 L/min
 - course d'endurance : 60 à 100 L/min

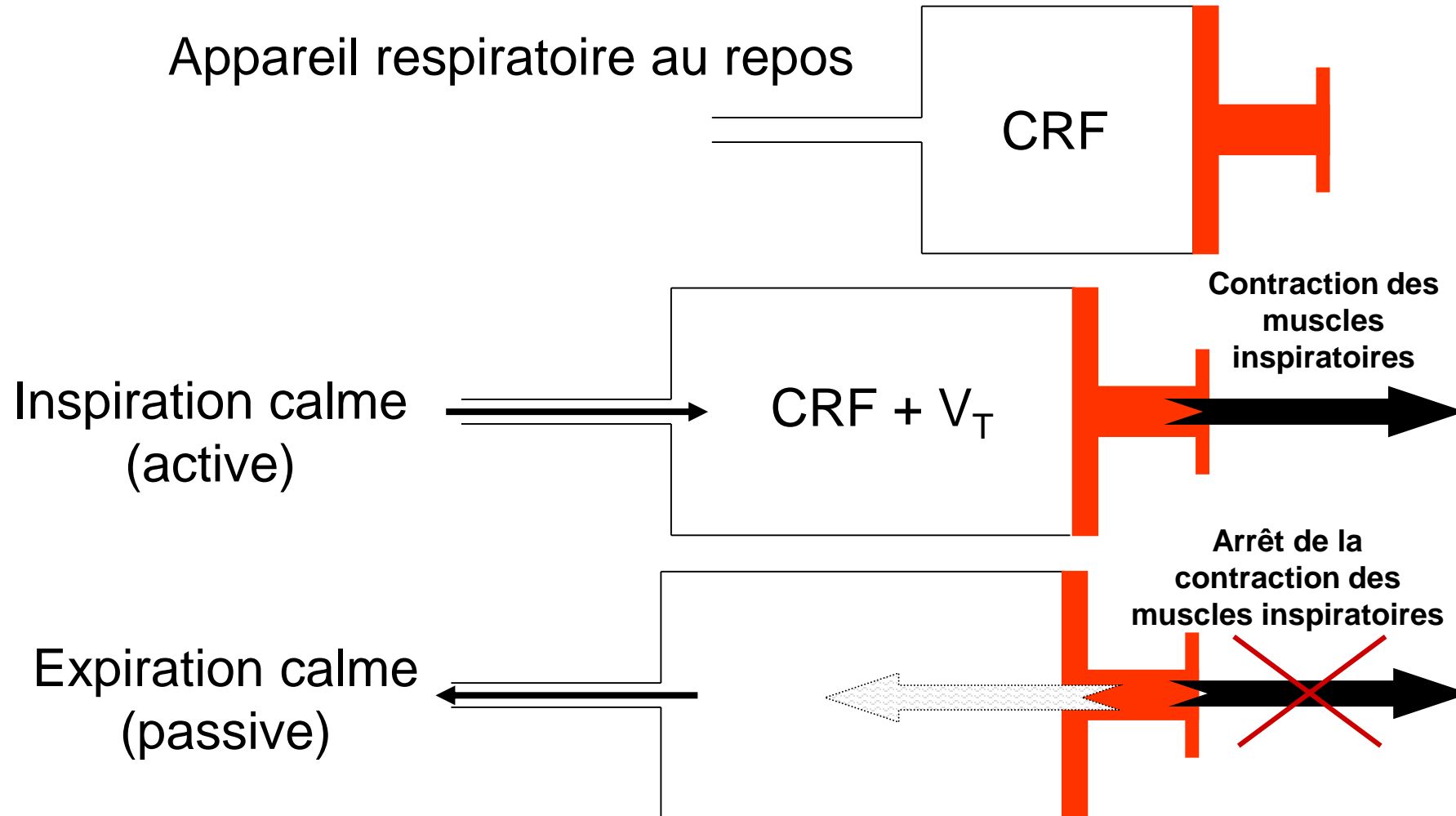
Ventilation pulmonaire: ventilation minute

- Tous l'air mobilisé par la ventilation pulmonaire ne participe pas aux échanges gazeux: *espace mort*



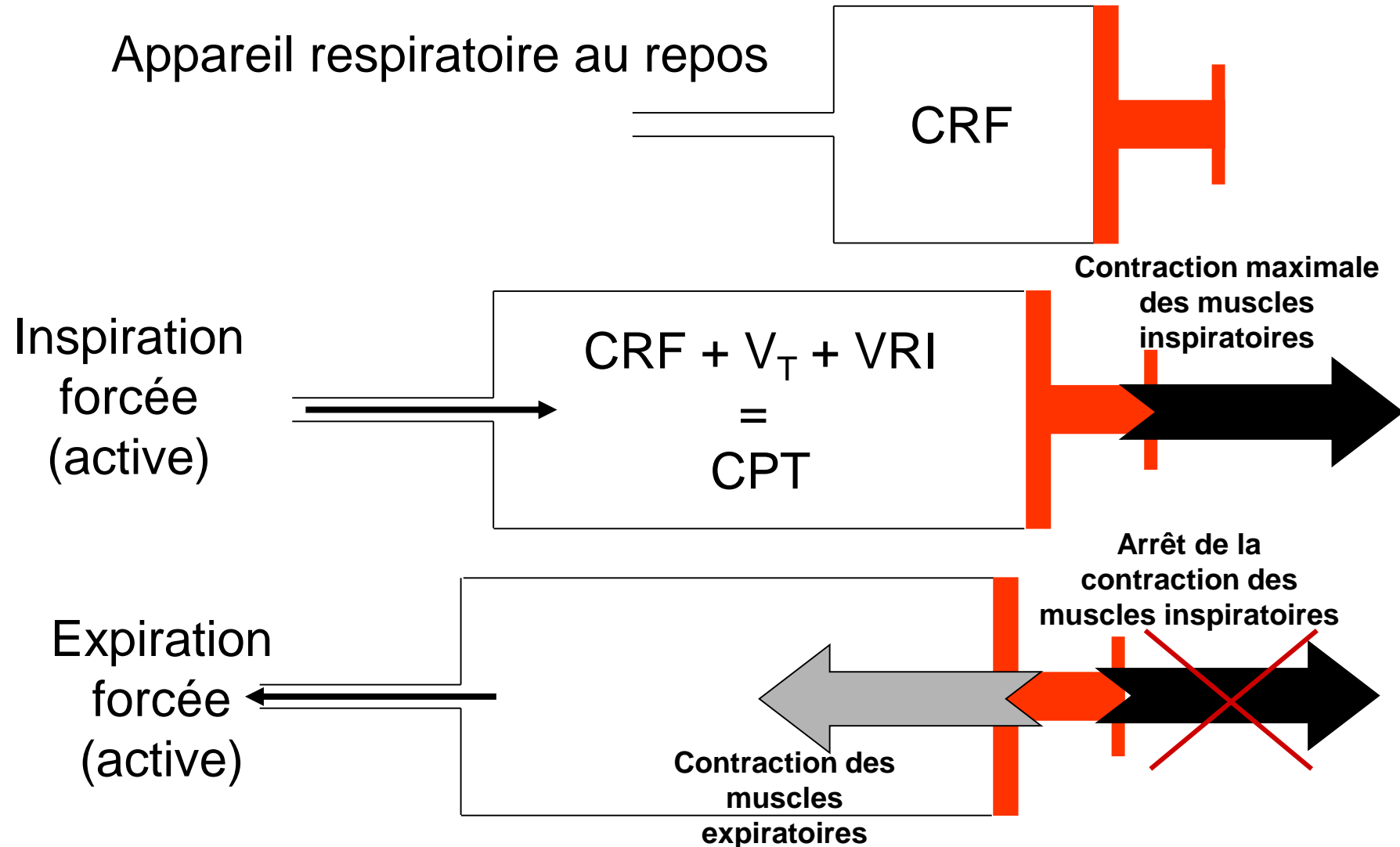
Ventilation pulmonaire: ventilation minute

Comment l'air est-il mobilisé au cours du cycle respiratoire?



Ventilation pulmonaire: ventilation minute

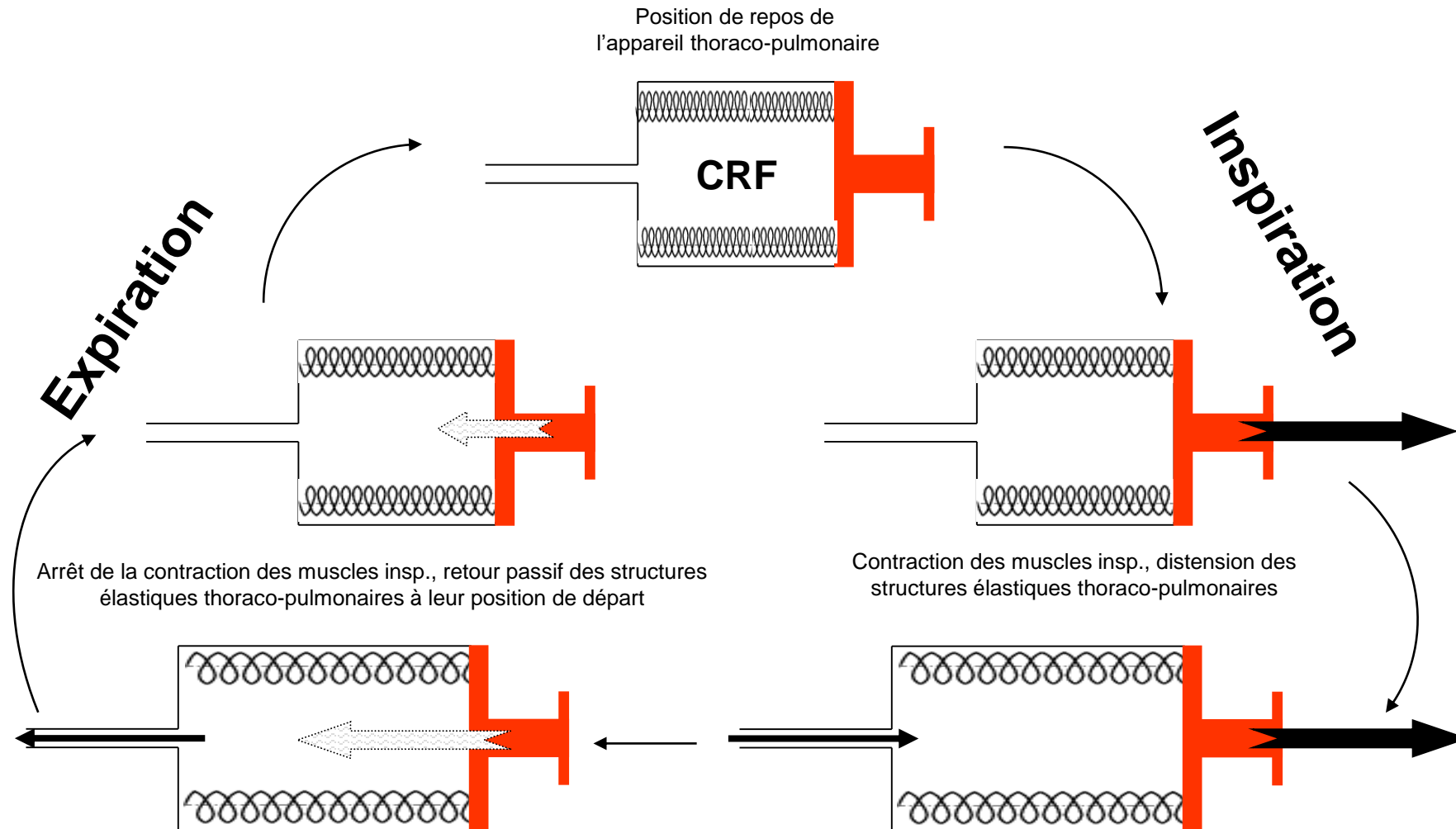
Comment l'air est-il mobilisé au cours du cycle respiratoire?



Ventilation pulmonaire: propriétés mécaniques

- Le système poumon-cage thoracique est une structure *élastique*
- Lors de l'inspiration calme
 - les muscles inspiratoires doivent vaincre cette élasticité pour faire pénétrer l'air dans les poumons
- Lors d'une expiration calme
 - arrêt de la contraction des muscles inspiratoires
 - la force de rétraction élastique du poumon ramène le système à sa position de repos, *sans contraction musculaire expiratoire*

Ventilation pulmonaire: propriétés mécaniques

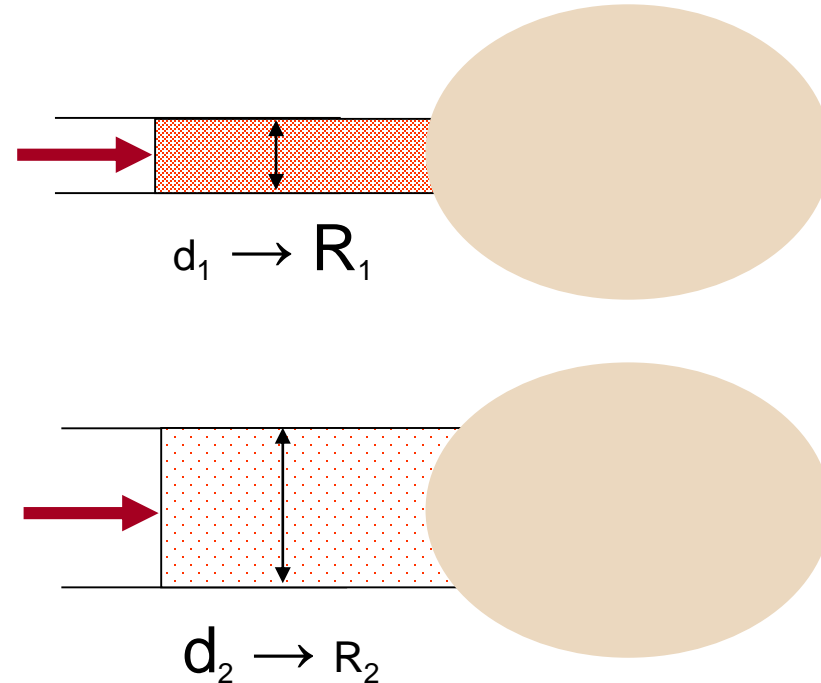


Ventilation pulmonaire: propriétés mécaniques

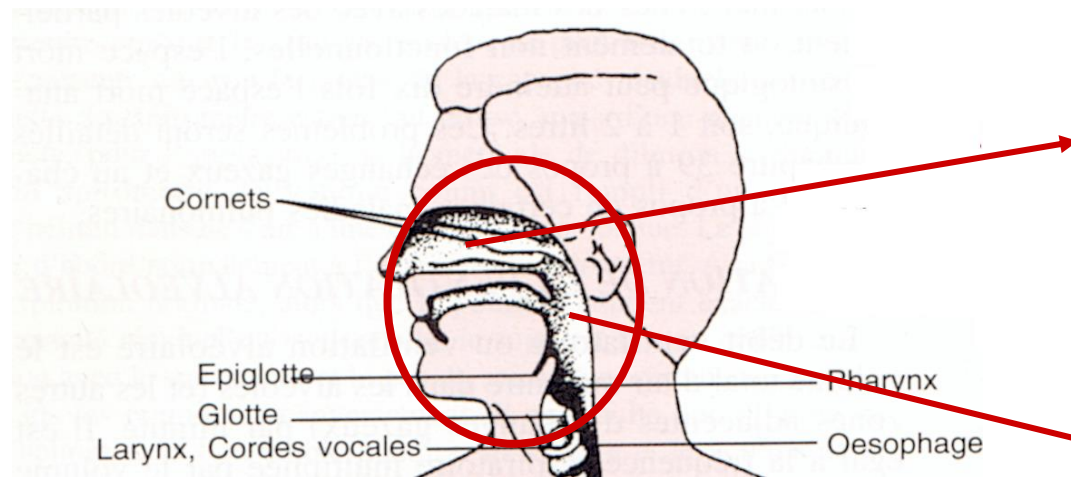
- Lorsque l'air circule dans les poumons, il rencontre une certaine **résistance**
- La contraction des muscles respiratoires doit vaincre cette résistance
- La résistance est normalement basse, elle peut s'élever dans certaines pathologies

Ventilation pulmonaire: propriétés mécaniques

- Résistance (R) au passage de l'air
 - proportionnelle au diamètre (d) des voies aériennes
 - présente à l'inspiration et à l'expiration
 - faible chez le sujet normal

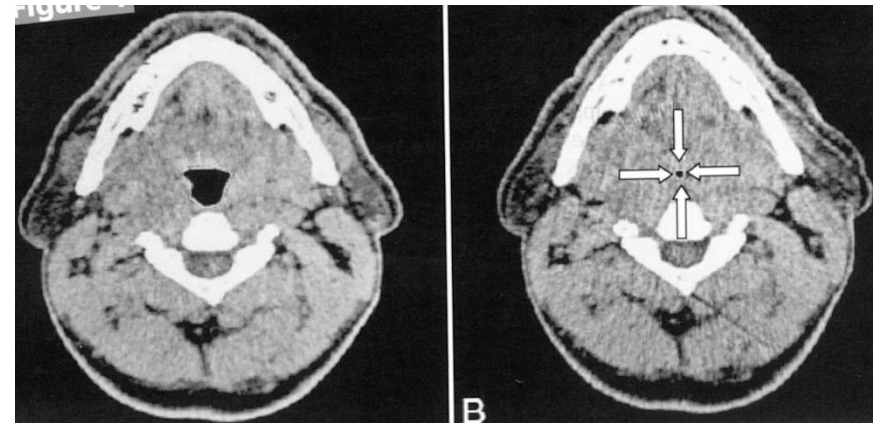


Ventilation pulmonaire: propriétés mécaniques



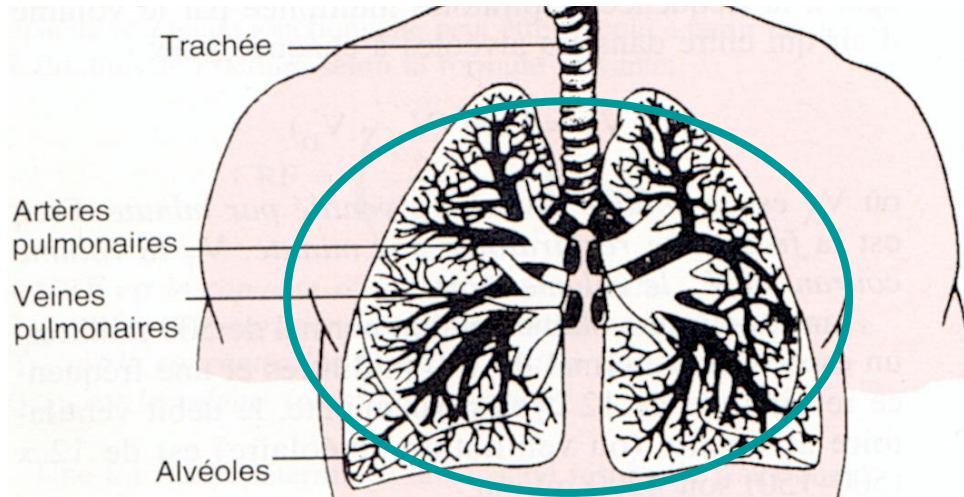
Rhinite allergique

Voies aériennes supérieures
Résistance au passage de l'air à
l'inspiration
Importance ++ pendant le **sommeil**
(ronflement, apnées du sommeil)



Rétrécissement pharyngé au cours d'une apnée obstructive du sommeil

Ventilation pulmonaire: propriétés mécaniques



Voies aériennes inférieures

Résistance au passage de l'air à l'**expiration**

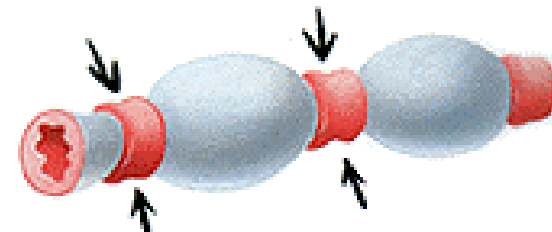
Importance ++ dans les troubles ventilatoires obstructifs (tabac, asthme)



Bronche normale



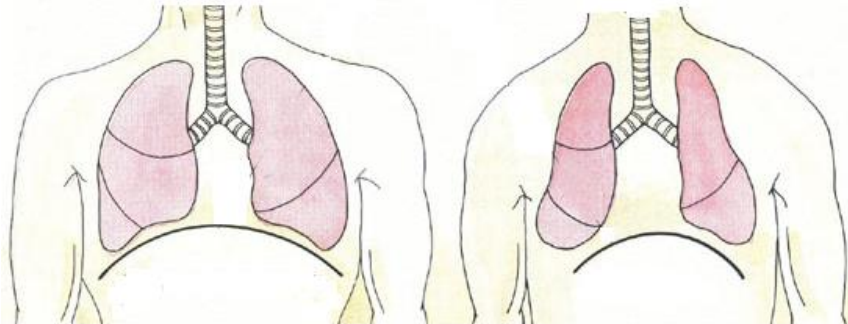
Bronche rétrécie par sécrétions et inflammation (Bronchite chronique)



Bronche rétrécie par contraction du muscle lisse (Crise d'asthme)

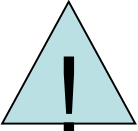
Ventilation pulmonaire: conclusions

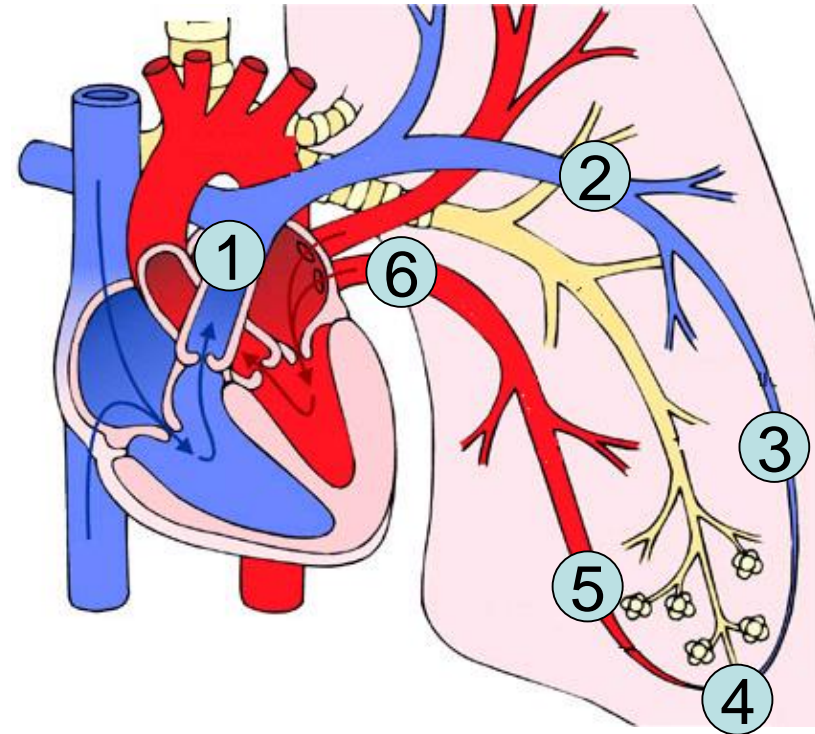
- Ventilation pulmonaire
 - Étape de la respiration la plus facilement modifiable pour adapter les échanges gazeux aux besoins
 - Modifications de la fréquence et de l'amplitude des mouvements respiratoires
 - Possibilité de palier à une défaillance par une ventilation mécanique



Circulation pulmonaire

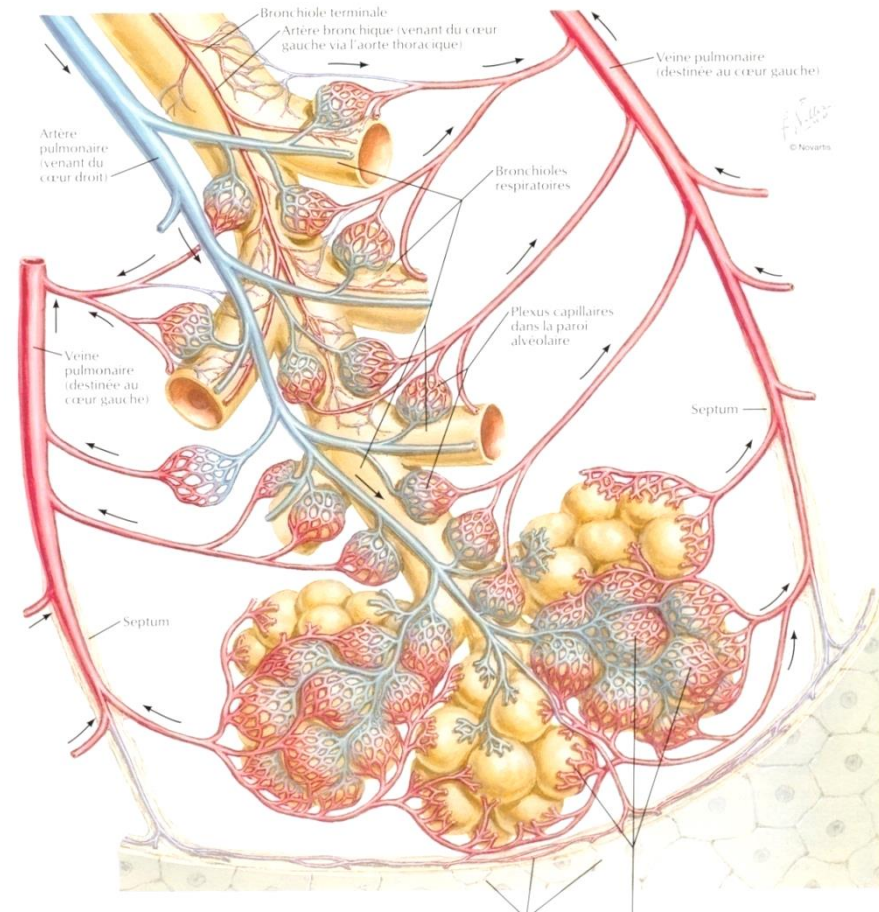
Circulation pulmonaire

- Tronc (1) puis branches de l'artère pulmonaire (2), artérioles (3), capillaires (4), veinules (5) puis veines pulmonaires (6)
- Tout le débit cardiaque passe par la circulation pulmonaire
-  Les artères pulmonaires contiennent du sang « veineux », les veines pulmonaires du sang « artériel »
- Fonction = échanges gazeux



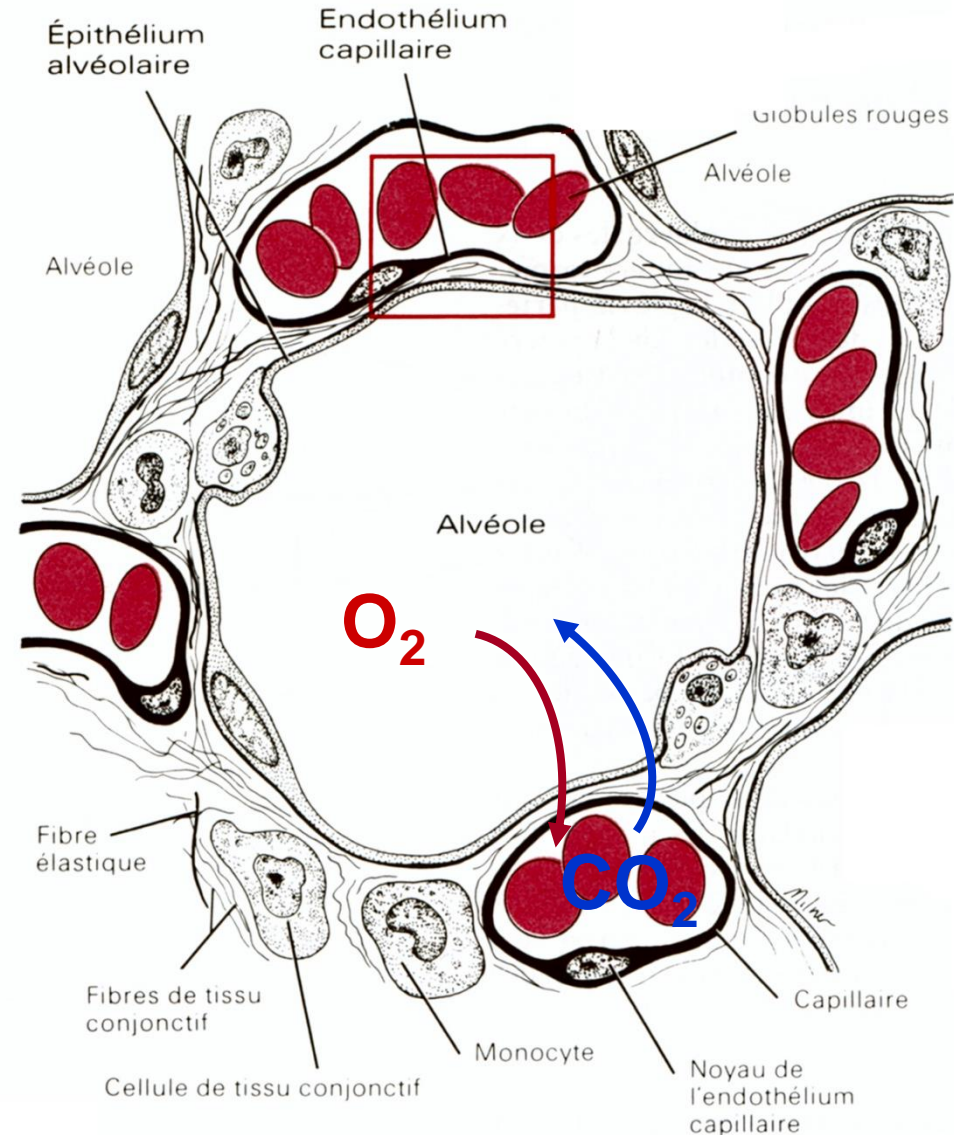
Circulation pulmonaire

- Les vaisseaux pulmonaires suivent étroitement l'arbre bronchique
- Les bronches ont leur propre circulation à visée *nutritive*
- Les capillaires pulmonaires recouvrent \approx 75% de la surface des alvéoles



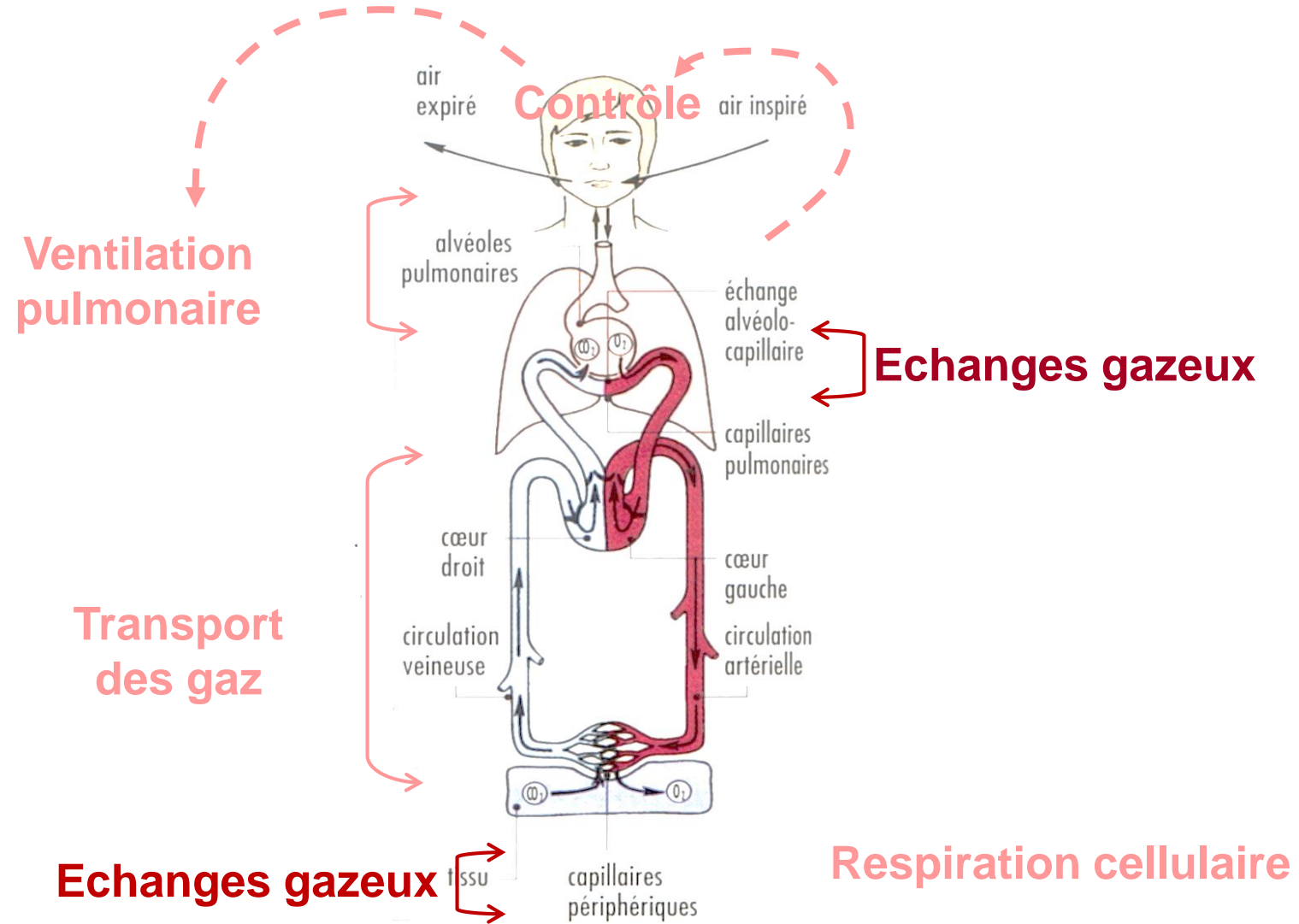
Circulation pulmonaire

- Entre l'air alvéolaire et le sang des capillaires pulmonaires, très courte distance
- Echanges par diffusion possible:
 - passage de l'O₂ de l'alvéole vers le sang
 - passage du CO₂ du sang vers l'alvéole



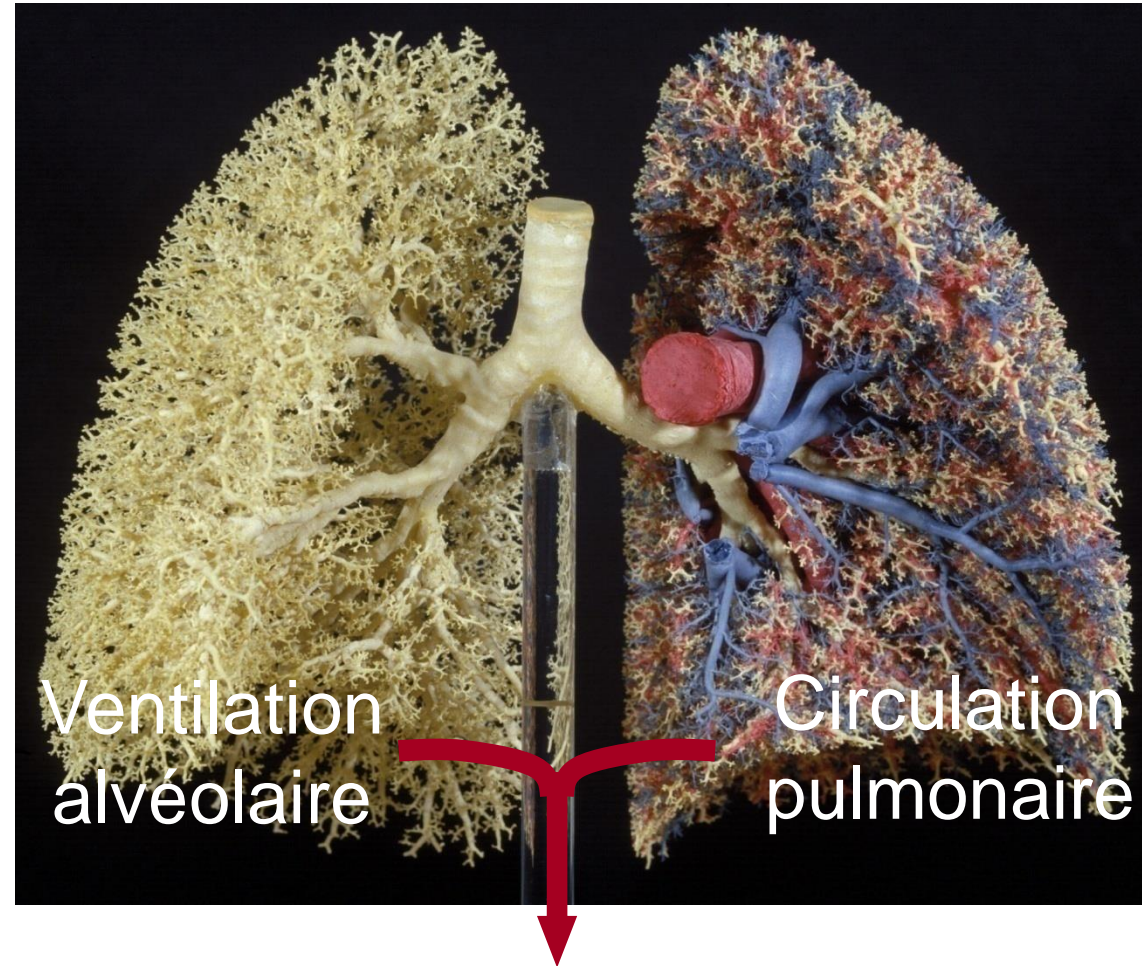
Echanges gazeux

Echanges gazeux



Echanges gazeux alvéolo-capillaires

Moulage de
l'arbre bronchique



Ventilation
alvéolaire

Circulation
pulmonaire

Moulage des
vaisseaux
pulmonaires

Echanges gazeux

Echanges gazeux alvéolo-capillaires

Echanges alvéolo-capillaires

Echanges gazeux

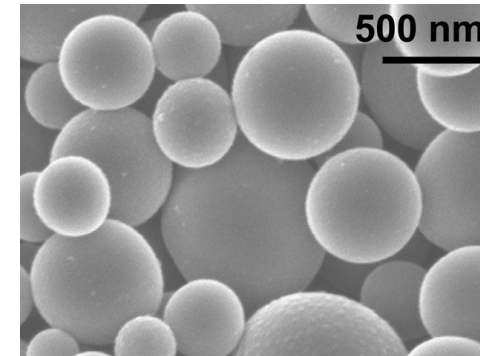
Oxygène
Dioxyde de carbone
Anesthésiques gazeux ou volatils
Toxiques (CO, alcool)



Ethylotest

Echanges non gazeux

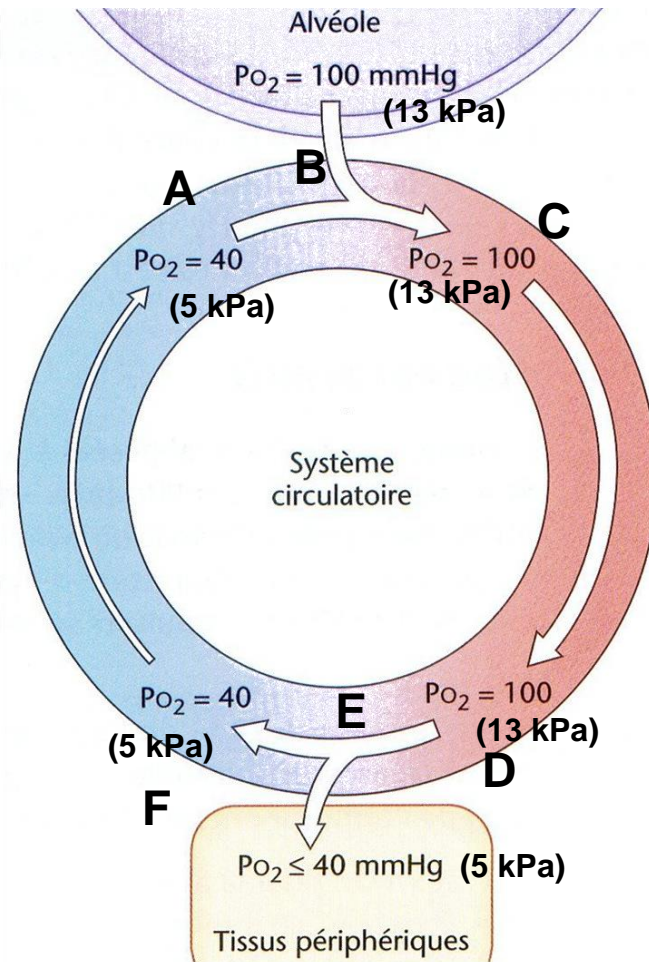
Cellules
Liquides
Particules



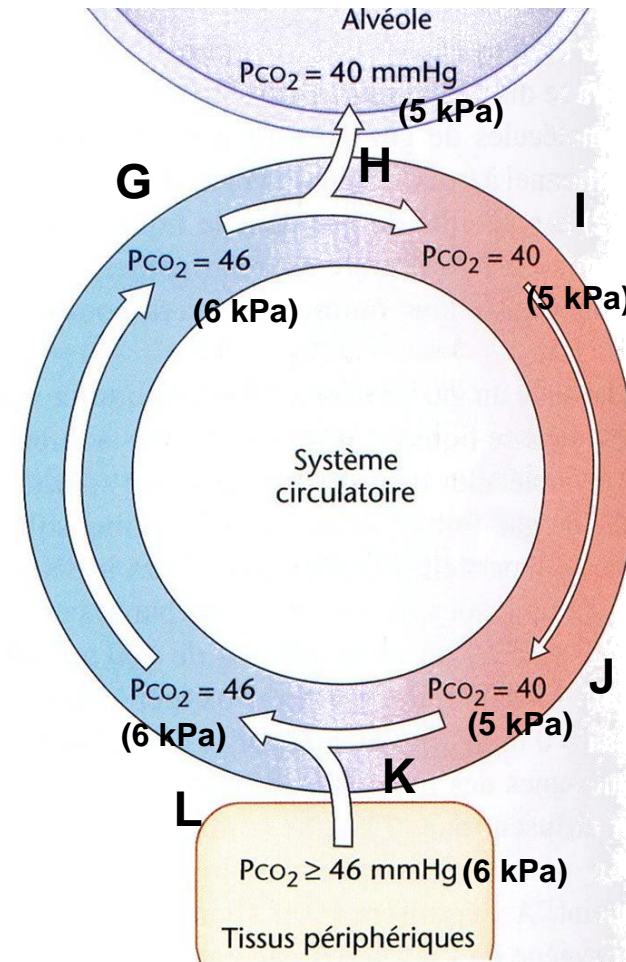
Nanoparticules de carbone

Echanges gazeux

Diffusion de l'O₂

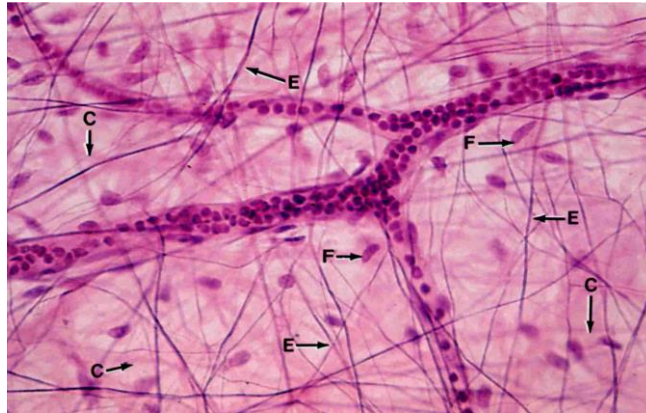


Diffusion du CO₂



Echanges gazeux tissulaires

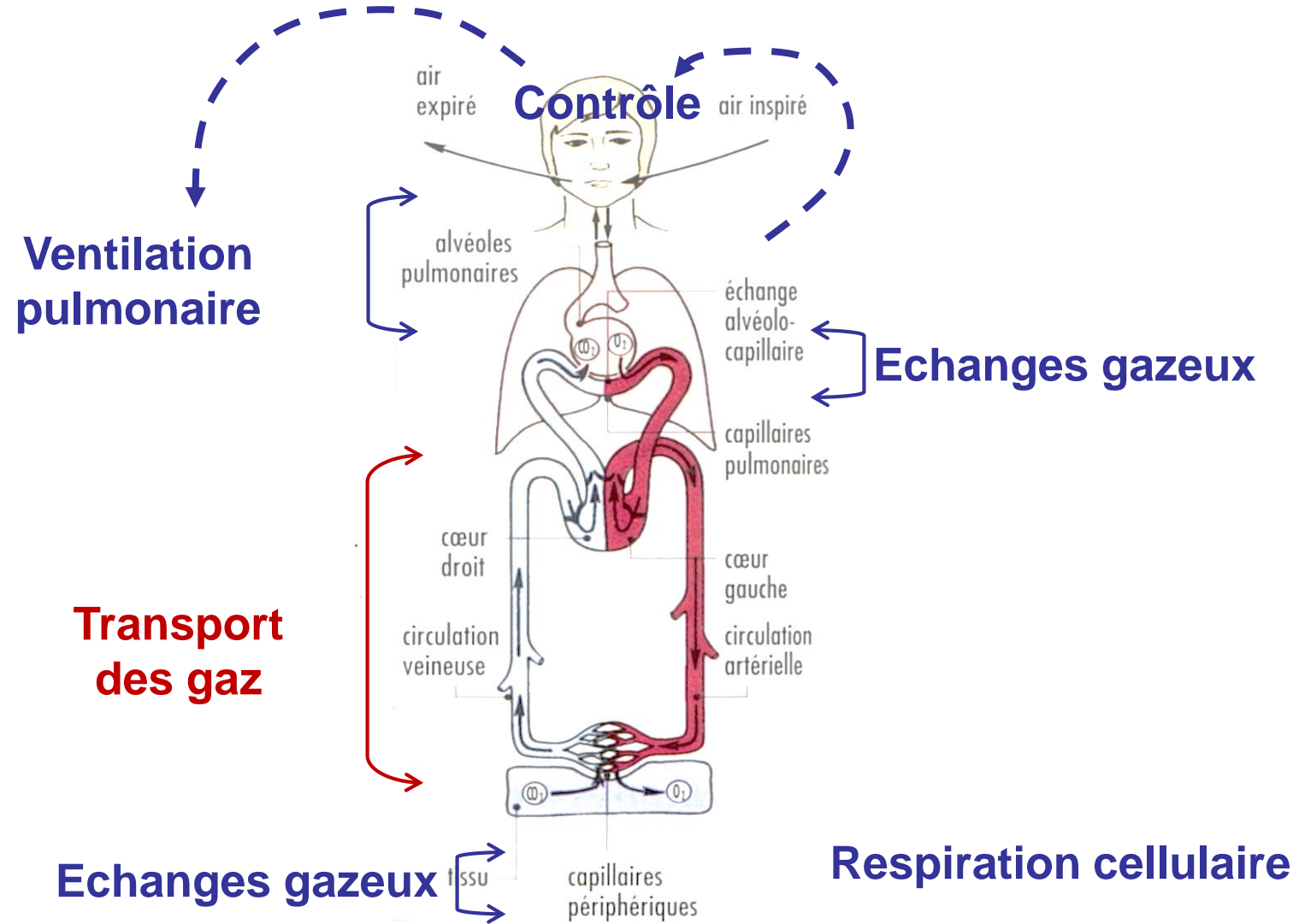
- Entre le sang des capillaires tissulaires et les cellules, très courte distance



- Echanges par diffusion possible:
 - passage de l'O₂ du sang vers les tissus
 - passage du CO₂ des tissus vers le sang

Transport des gaz dans le sang

Transport des gaz dans le sang



Transport des gaz dans le sang

- Le sang fixe l'O₂ et le CO₂ de manière **réversible**
- L'O₂ et le CO₂ sont transportés par la circulation sanguine
 - des poumons vers les tissus
 - des tissus vers les poumons

Transport des gaz dans le sang

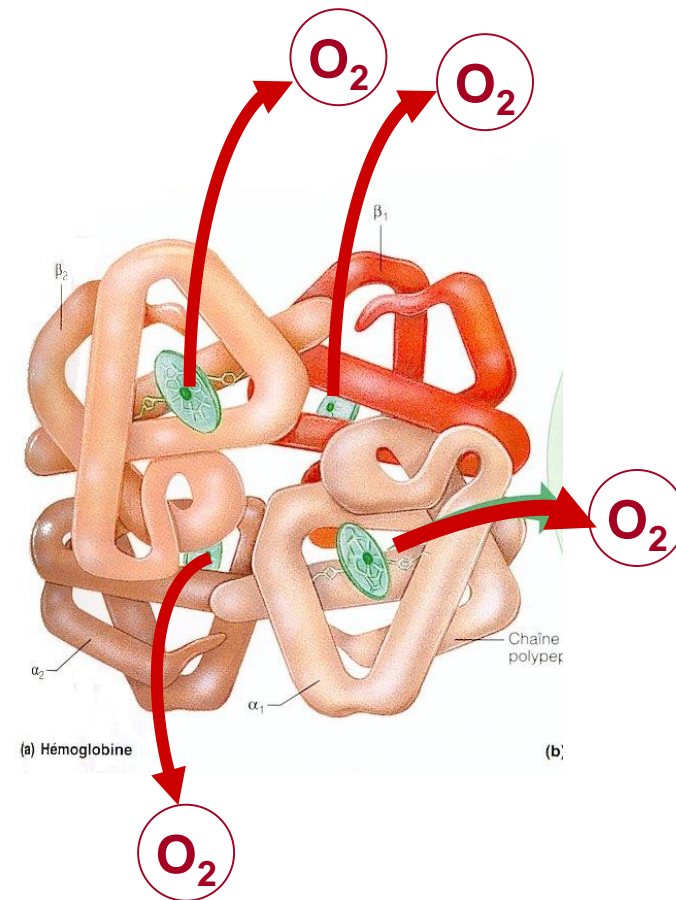
- O_2 et CO_2 (**gaz**) transportés en milieu **liquide** (plasma, cytoplasme du GR)
- Dans un liquide, un gaz peut être présent sous 2 formes:
 - **dissoute**
 - **combinée** à un transporteur ou après réaction chimique

Transport des gaz dans le sang

- Hémoglobine (Hb) = pigment respiratoire présent exclusivement dans les globules rouges
- Protéine transporteuse
 - **fixation** réversible et instable d'un ligand (ex. O₂ et CO₂) sur une site de fixation
 - **affinité** protéine-ligand plus grande au départ qu'à l'arrivée

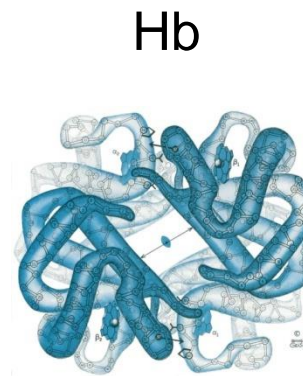
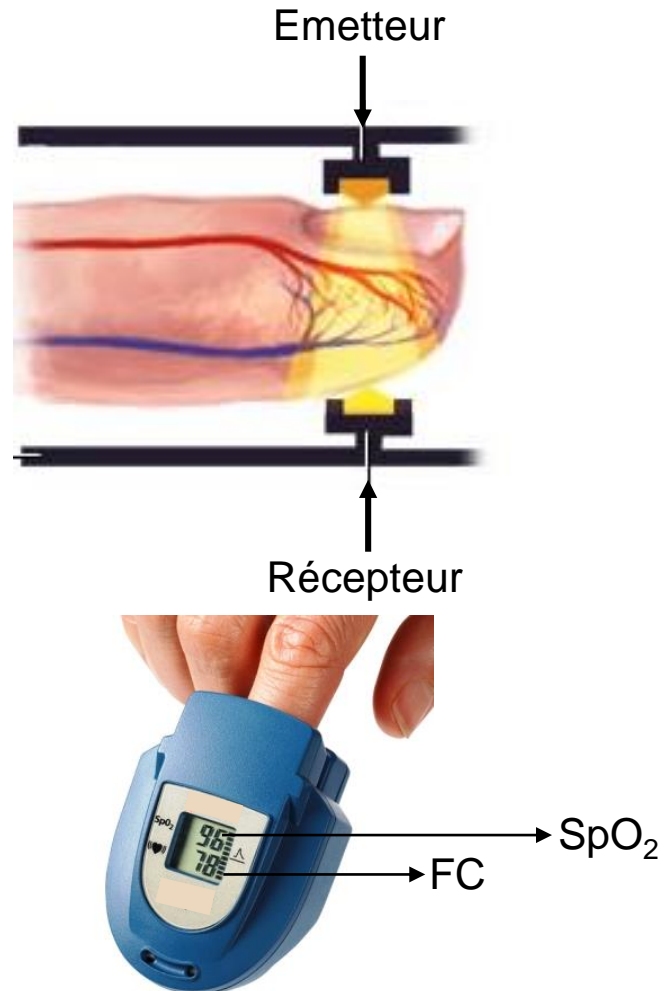
Transport des gaz dans le sang

- 1 molécule d'Hb = 4 chaînes comprenant un atome de fer qui fixe l'O₂
- 1 molécule d'Hb peut fixer de 0 à 4 molécules d'O₂
- La capacité *maximale* n'est pas atteinte systématiquement
- Saturation de l'Hb en O₂ = SaO₂
SaO₂ = (quantité d'O₂ lié à l'Hb/quantité maximale) x 100
- SaO₂ normale = 96-98%



Transport de l'oxygène

Mesure de la SaO_2 par oxymétrie de pouls (SpO_2)



absorption:
940 nm



absorption:
660 nm

Transport des gaz dans le sang

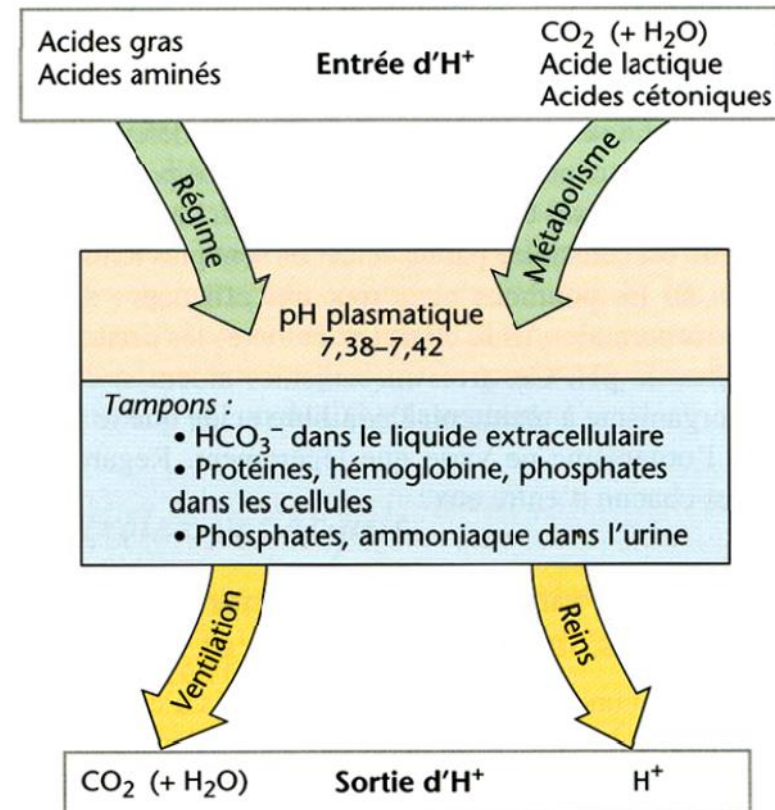
- Transport de l'**oxygène**
 - essentiellement sous forme combinée à un transporteur dans les globules rouges: l'hémoglobine ($\approx 97\%$)
 - faible quantité dissoute dans le plasma et le cytoplasme des globules rouges ($\approx 3\%$)

Transport des gaz dans le sang

- Transport du **gaz carbonique**
 - sous forme dissoute dans le plasma et le cytoplasme des globules rouges ($\approx 5-10\%$)
 - sous forme combinée:
 - après réaction chimique: bicarbonates ($\approx 60-65\%$), *production d'ions H^+*
 - combiné à l'hémoglobine ($\approx 30\%$)

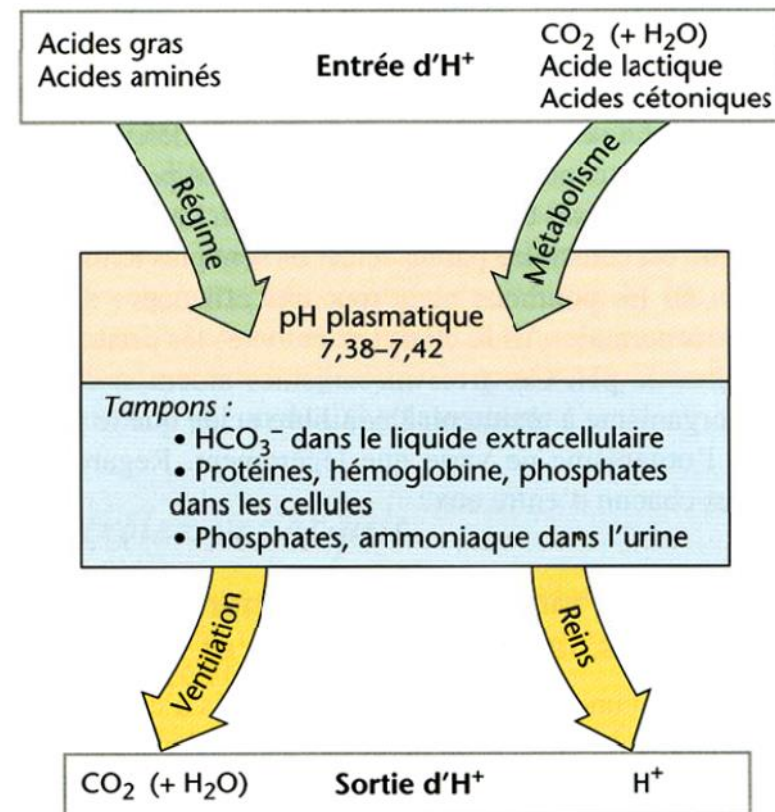
Transport des gaz dans le sang

- Le pH (« potentiel Hydrogène ») mesure la concentration d'ions H^+
- L'équilibre acido-basique est essentiel au fonctionnement correct de l'organisme (activité des protéines, des neurones, des canaux membranaires etc)



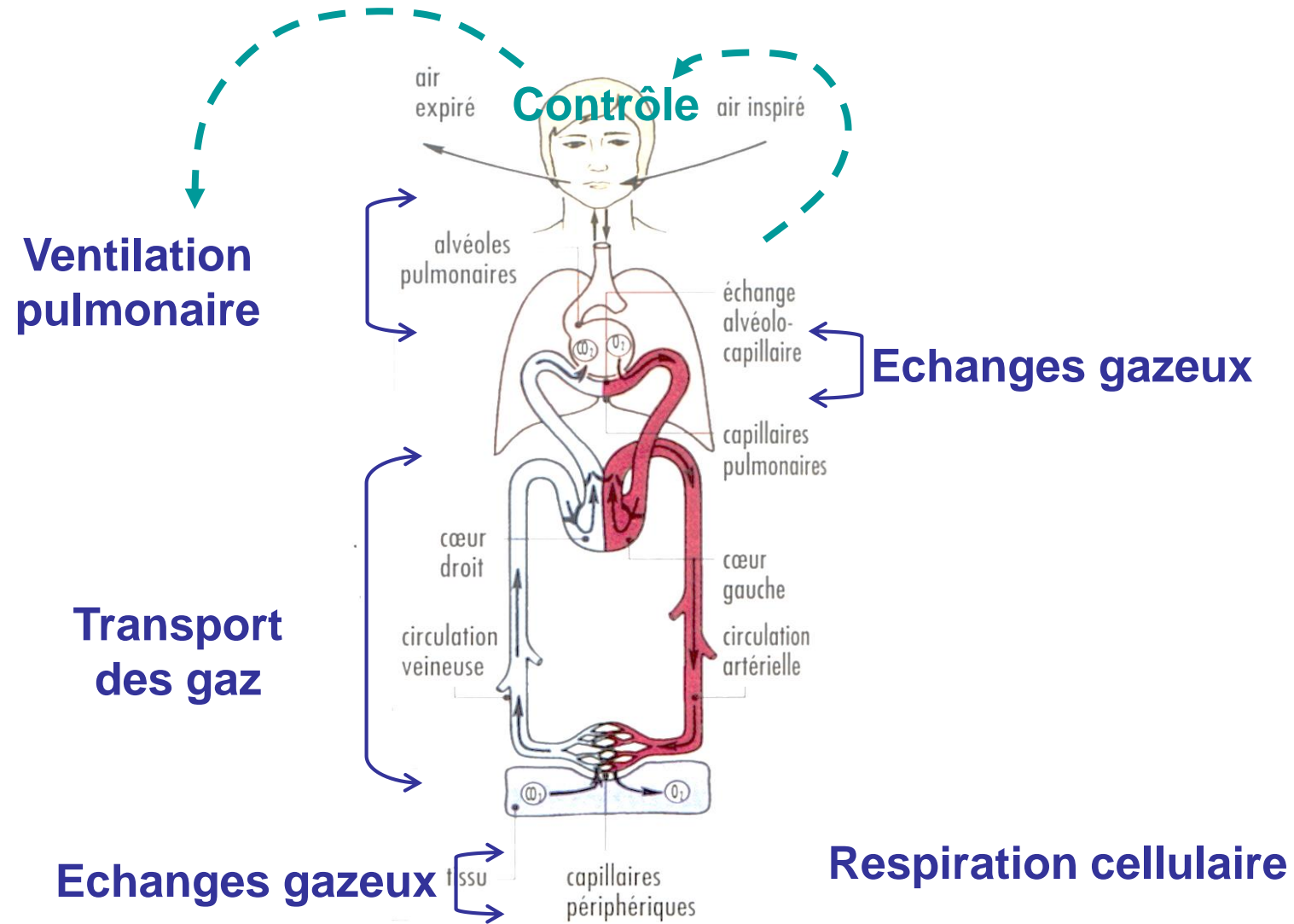
Transport des gaz dans le sang

- L'adaptation de l'organisme aux variations de pH se fait grâce
 - aux systèmes tampons (intra- et extra-cellulaires)
 - à l'appareil respiratoire (ventilation, PaCO₂)
 - au rein
- Rôle du CO₂:
$$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$$



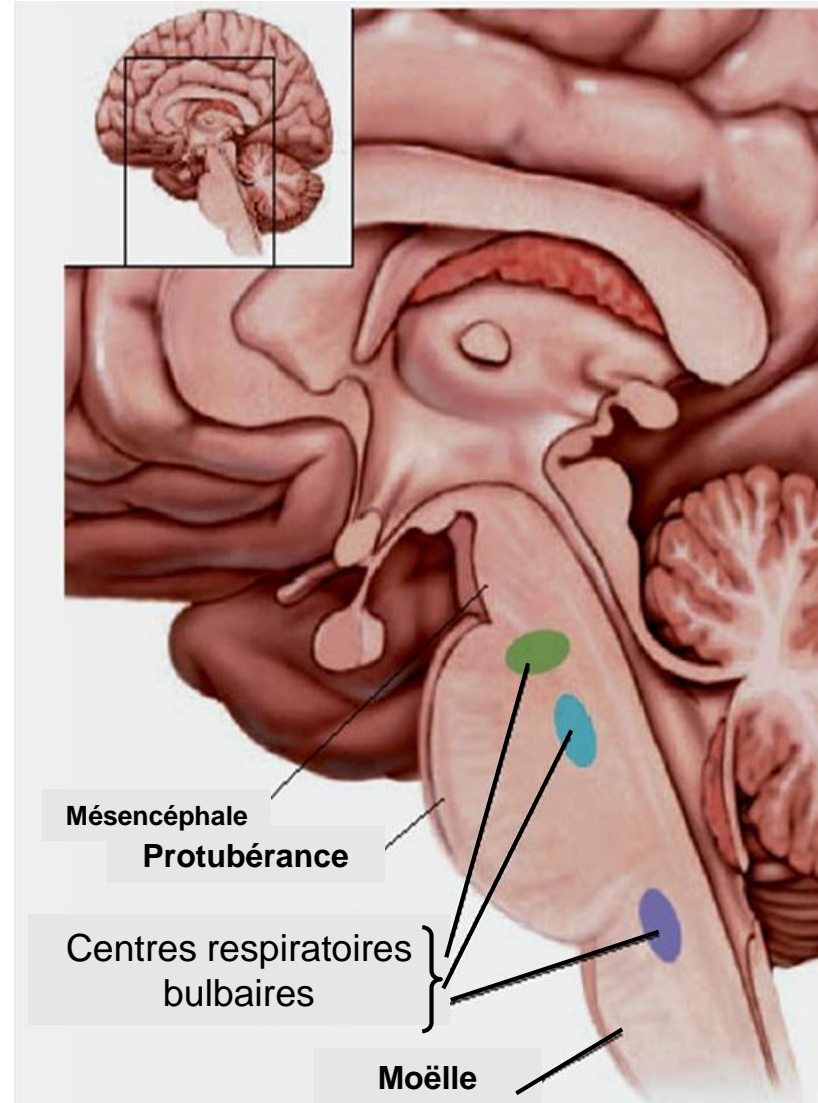
Contrôle de la respiration

Contrôle de la respiration

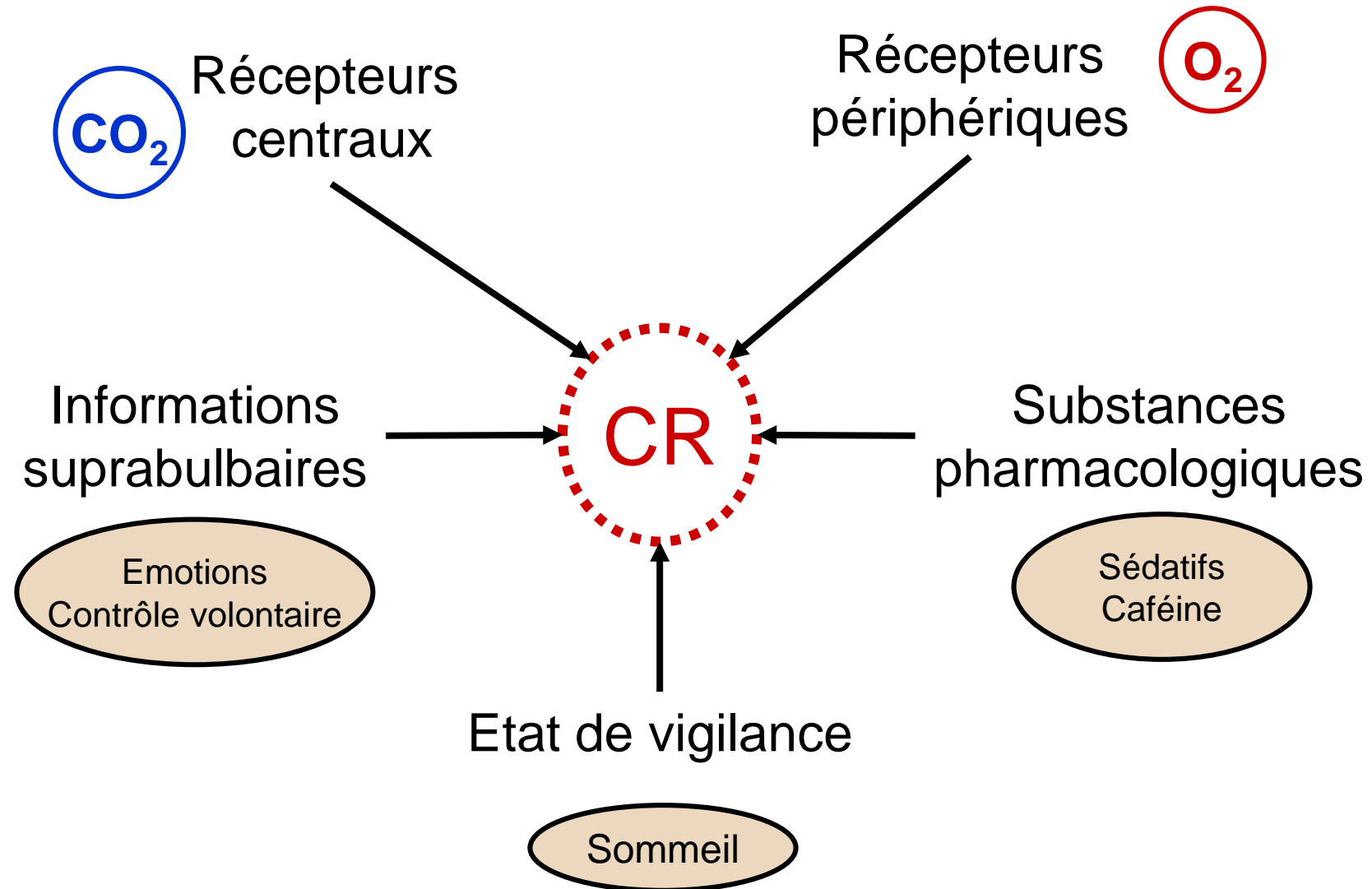


Contrôle de la respiration

- Activité respiratoire rythmique, automatique et permanente
- Prend naissance dans des réseaux neuronaux du tronc cérébral
- Modifiée par de multiples facteurs



Contrôle de la respiration



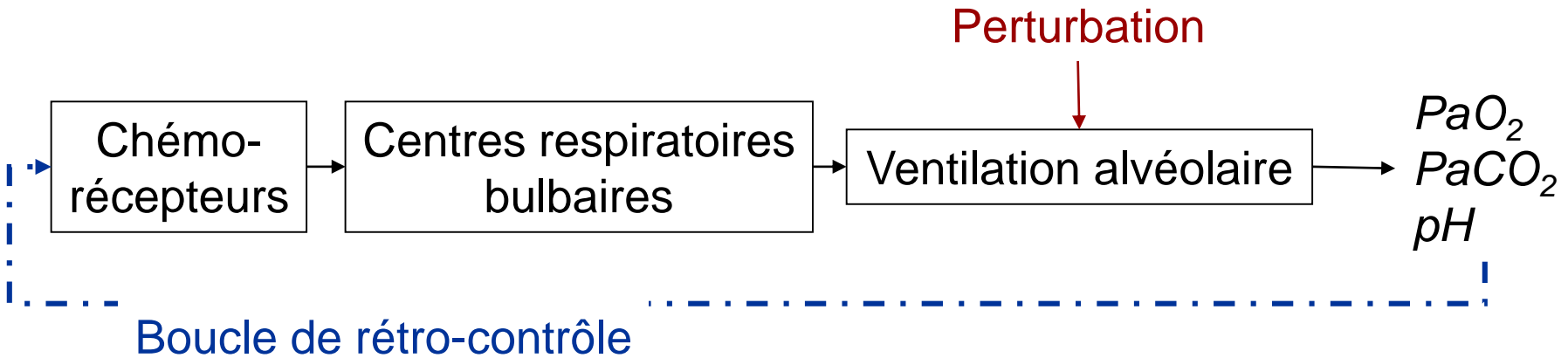
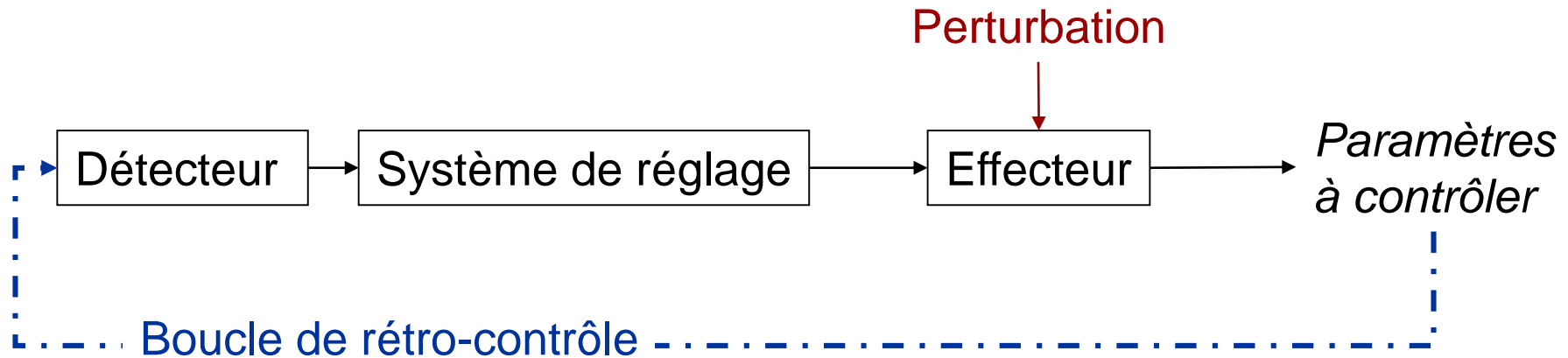
Contrôle de la respiration

- Automatisation respiratoire assuré par les centres bulbaires → alternance inspiration/expiration
 - **Inspiration**
 - activation des neurones inspiratoires du TC → contraction des muscles inspiratoires
 - **Expiration**
 - interruption de la stimulation par les neurones inspiratoires
 - ± stimulation des neurones expiratoires → contraction des muscles expiratoires

Contrôle de la respiration

- Ventilation du sujet normal adaptée
 - aux modifications des **besoins métaboliques**
 - à l'utilisation du système respiratoire pour des **activités non liées aux échanges gazeux**
 - aux modifications de la composition ou des pressions partielles de l'**air ambiant**
- Face à un **processus pathologique**, maintien des PO_2 et PCO_2
- Boucles de rétro-contrôle (feed-back) négatif

Contrôle de la respiration



Contrôle de la respiration

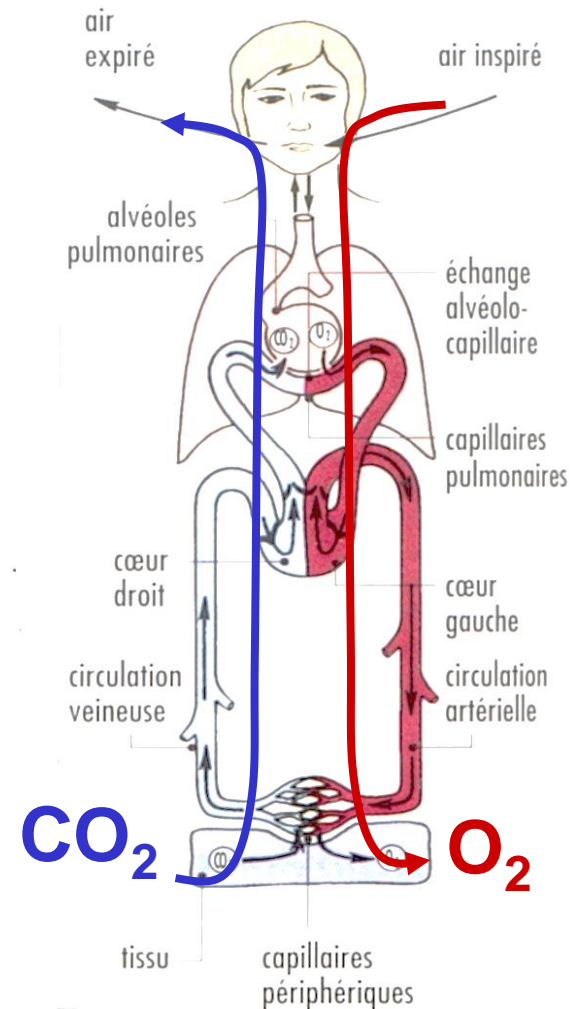
- PaO_2 et PaCO_2 doivent rester **constantes**
- Le système respiratoire réagit de telle manière que
 - si $\text{PaO}_2 \downarrow$ ou $\text{PaCO}_2 \uparrow \rightarrow$ Hyperventilation
 - si $\text{PaO}_2 \uparrow$ ou $\text{PaCO}_2 \downarrow \rightarrow$ Hypoventilation
 - si $\text{pH} \downarrow \rightarrow$ Hyperventilation

Ventilation = fréquence respiratoire x volume courant

Fonctions de l'appareil respiratoire

Fonctions de l'appareil respiratoire

- Rôles de l'appareil respiratoire (1)
 - Oxygénation tissulaire
 - Elimination du gaz carbonique
 - Maintien du pH sanguin à une valeur normale

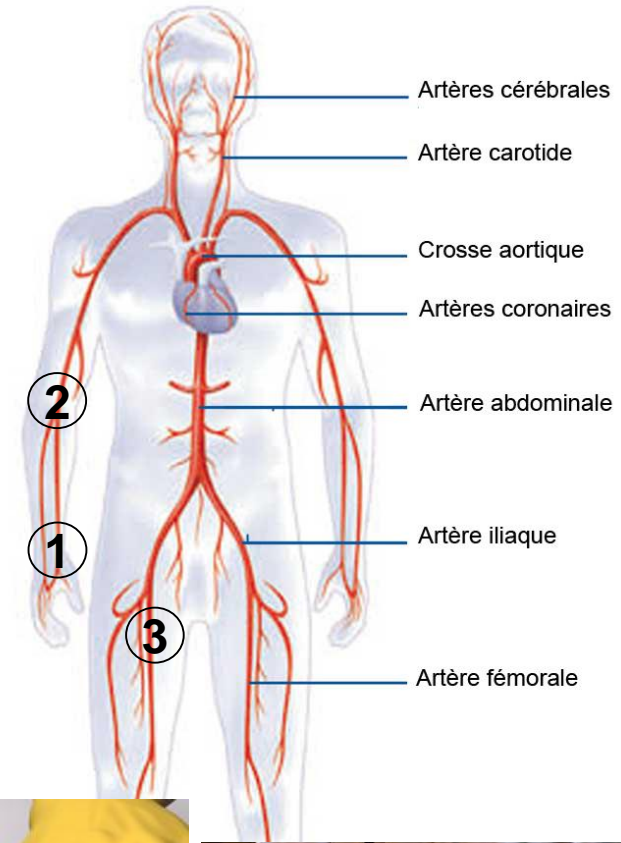


Fonctions de l'appareil respiratoire

- La fonction du système respiratoire est de permettre
 - l'oxygénation tissulaire
 - l'élimination du gaz carbonique
 - le maintien du pH à une valeur normale
- Cette fonction est appréciée par l'analyse des **gaz du sang** (= gazométrie artérielle)

Fonctions de l'appareil respiratoire

- Sang artériel normal
 - PaO_2^* = $12,6 \pm 0,5$ kPa
= 95 ± 5 mmHg
 - PaCO_2 = $5,3 \pm 0,3$ kPa
= 40 ± 2 mmHg
 - pH = $7,40 \pm 0,02$
 - SaO_2 = 98% (94-100)



*soustraire 1,3 kPa / 10 ans après 60 ans

Fonctions de l'appareil respiratoire

- Rôles de l'appareil respiratoire (2)
 - Phonation, hoquet, rires, bâillement
 - Défense de l'organisme (toux, éternuement, filtration des particules, système immunitaire...)
 - Fonction métabolique de la circulation pulmonaire
 - Filtre circulatoire
 - Réservoir sanguin



Conclusions

Conclusions

- Connaissances de base
 - Fonctionnement normal du système respiratoire
 - Adaptations à des situations particulières mais physiologiques (sommeil, altitude, plongée, sport)
- Application aux soins infirmiers
 - Constantes vitales
 - Physiopathologie des affections respiratoires
 - Mode d'action des traitements pharmacologiques et mécaniques

Pour aller plus loin

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées aux Instituts de Formation en Soins Infirmiers de la région Rhône-Alpes.

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits dans les Instituts de Formation en Soins Infirmiers de la région Rhône-Alpes, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.