



Systeme Respiratoire et plongée

**ÉCOLE D'APPLICATION DE
SÉCURITÉ CIVILE**

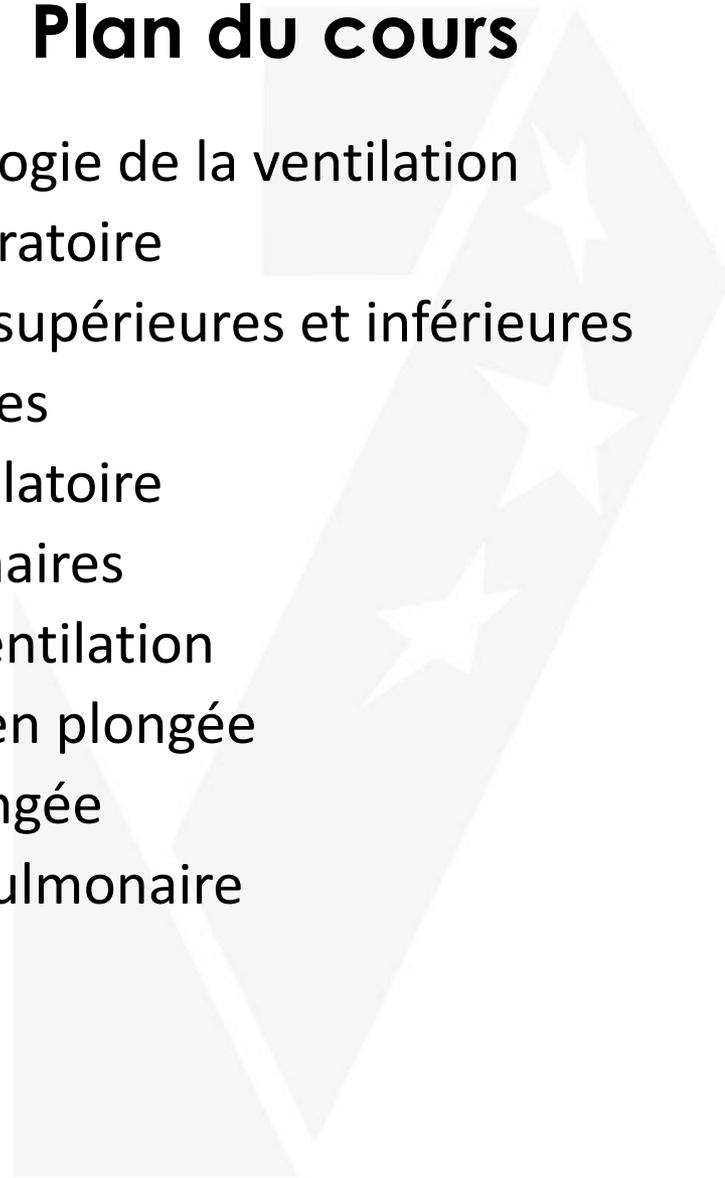
Plongée

Version 2020



Plan du cours

- Anatomie et physiologie de la ventilation
 - La fonction respiratoire
 - Voies aériennes supérieures et inférieures
 - Poumons, alvéoles
 - Mécanique ventilatoire
 - Volumes pulmonaires
 - Contrôle de la ventilation
 - Consommation en plongée
- Risques liés à la plongée
 - La surpression pulmonaire
 - L'essoufflement
 - La panne d'air
 - La noyade
- Bibliographie



La fonction respiratoire

- Métabolisme aérobie :

Matière organique + O₂ → énergie + chaleur
+ CO₂ + H₂O

- Fournir l'O₂ selon le besoin :

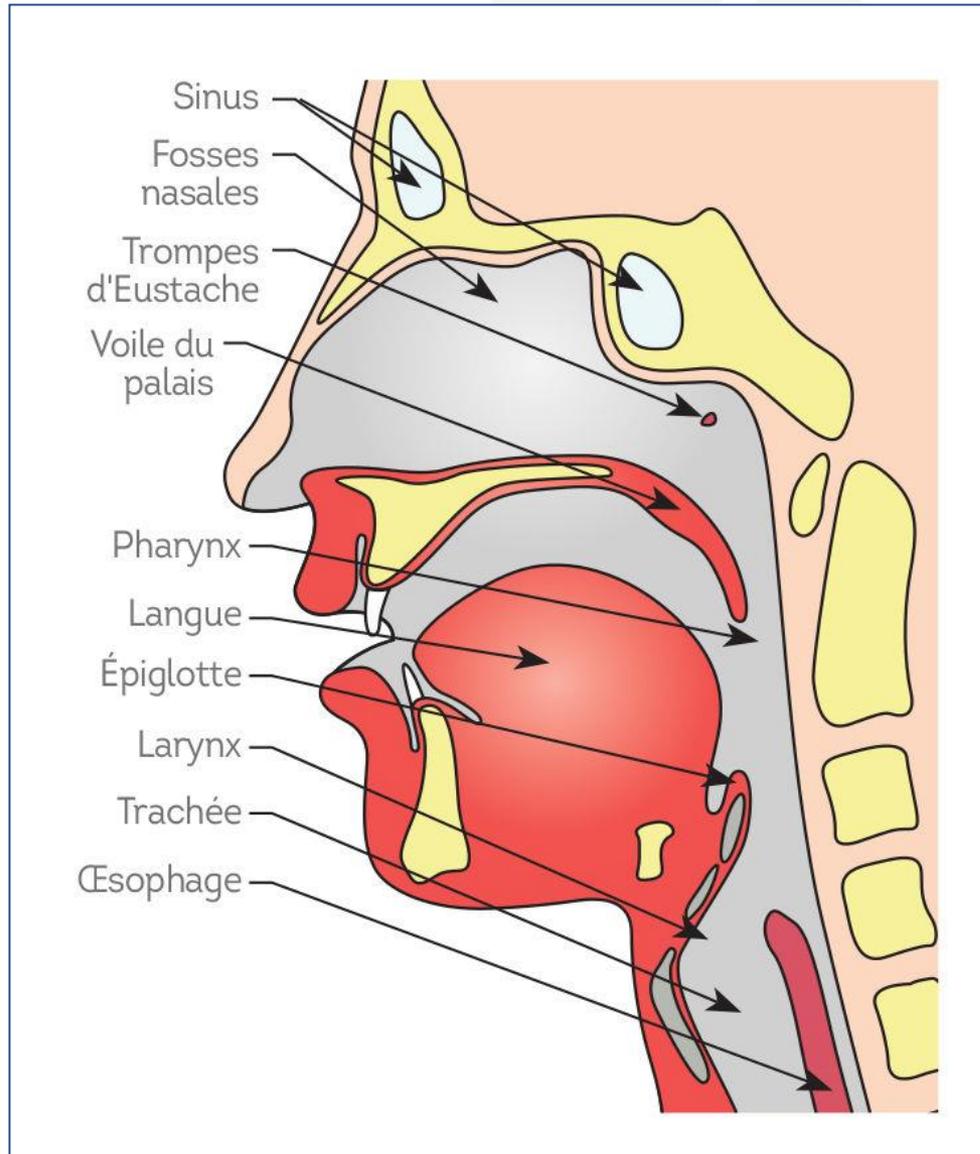
– au repos : 0,2 à 0,3 litre/min

– exercice musculaire intense : 4 litres/min (**x 20**)

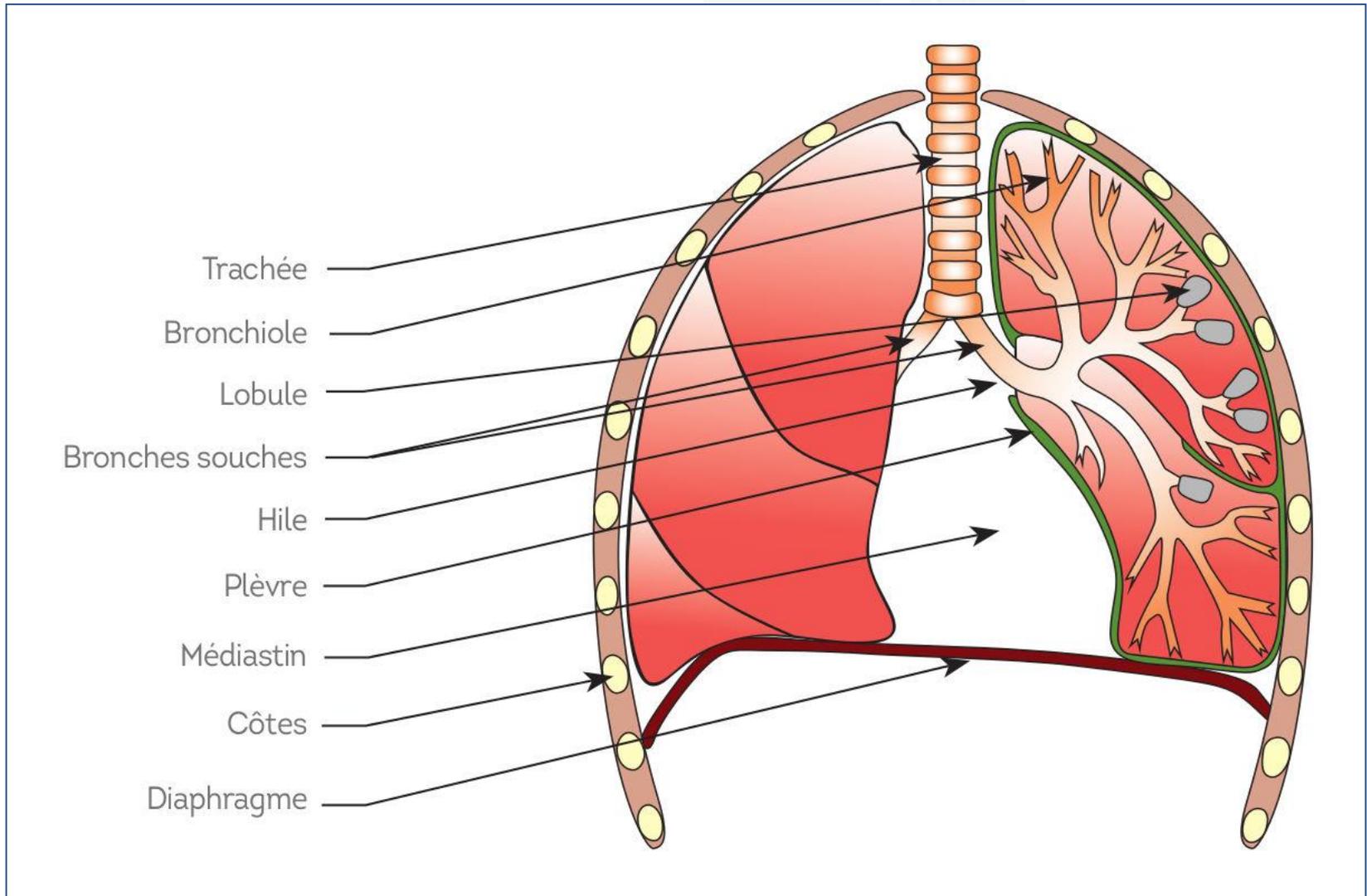
⇒ Nécessité d'une régulation (adaptation)

- Éliminer le CO₂ produit

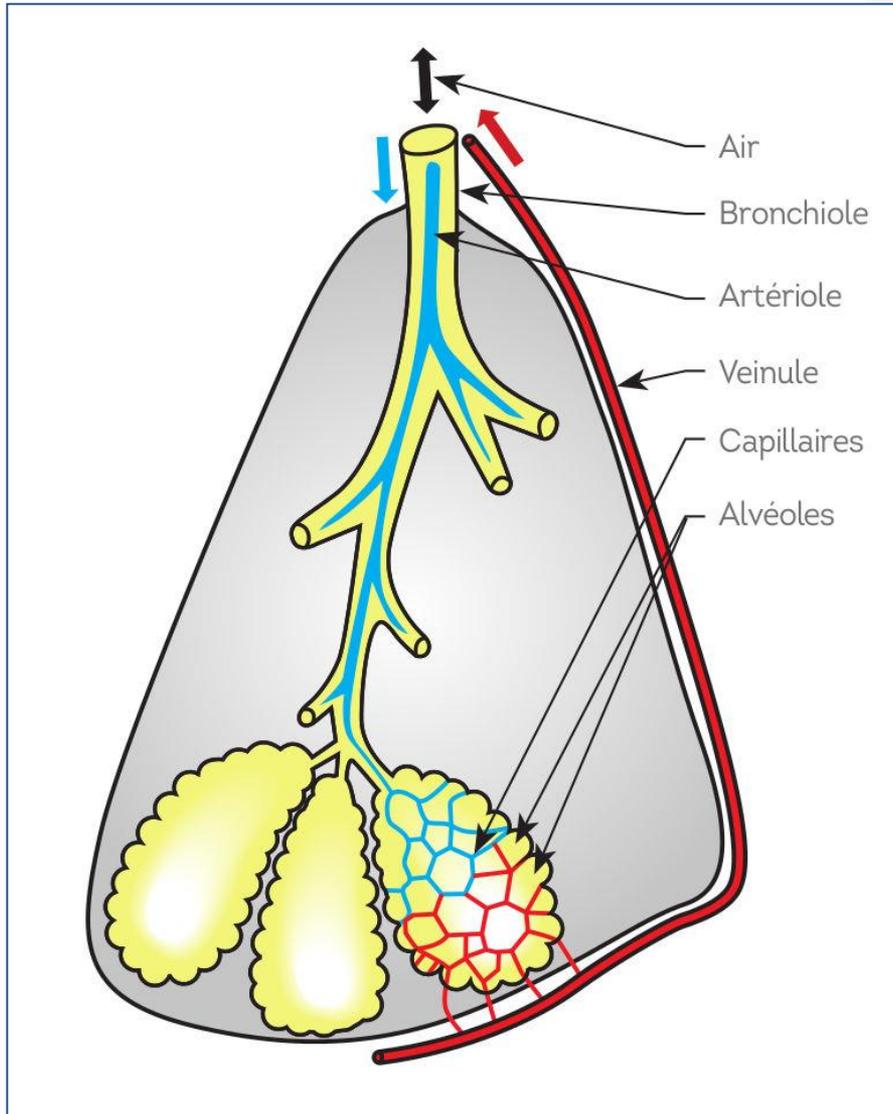
Les voies aériennes supérieures



Les poumons

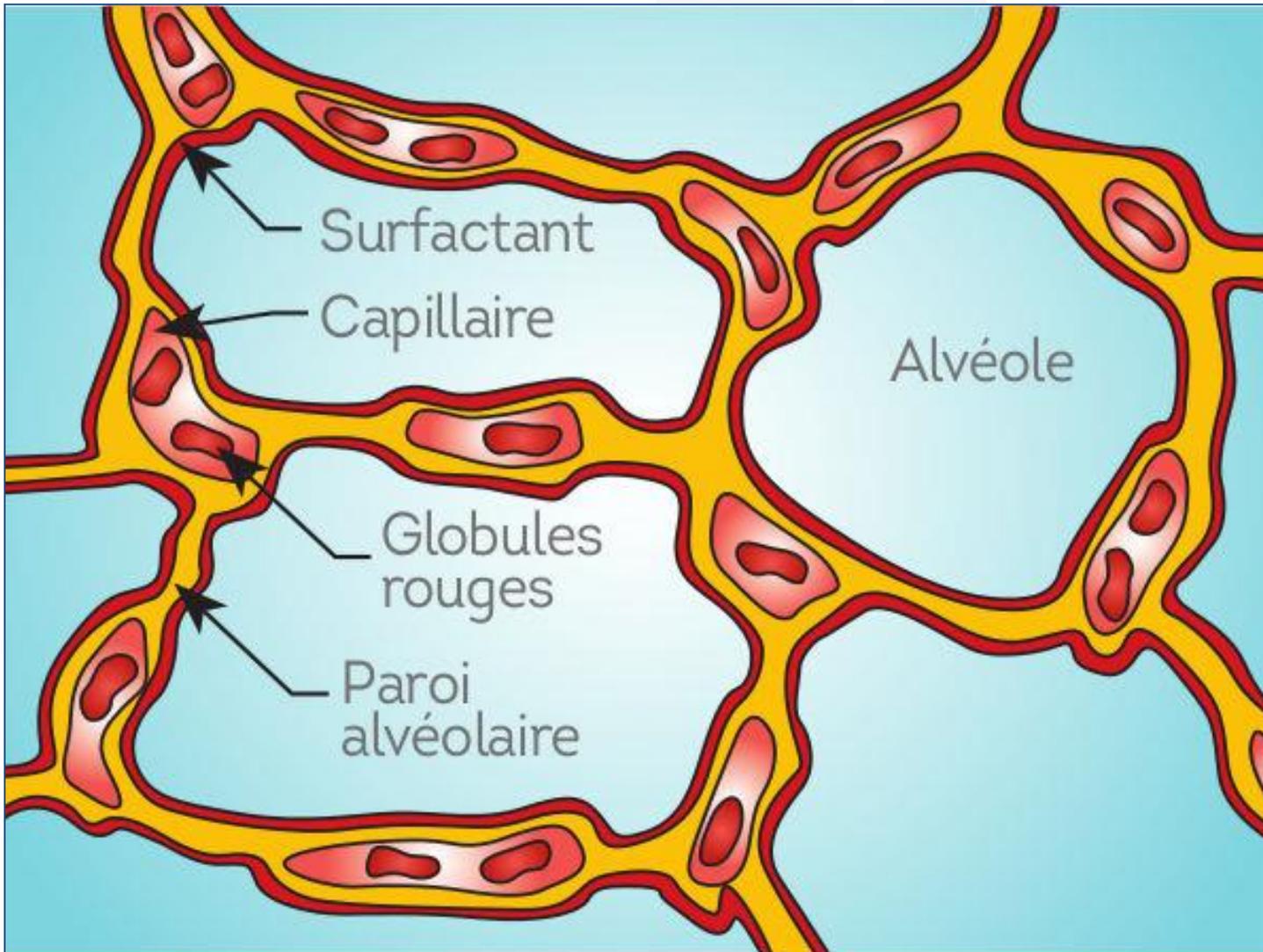


Détail d'un lobule



- Surface alvéolaire ≈ 150 à 200 m^2
- Faible élasticité chez l'enfant
- Épithélium, surfactant
- Artérioles, veinules et capillaires
- Shunts pulmonaires : alvéoles perfusées mais non ventilées
- Espace mort physiologique : alvéoles ventilés mais non perfusés

Alvéoles en coupe

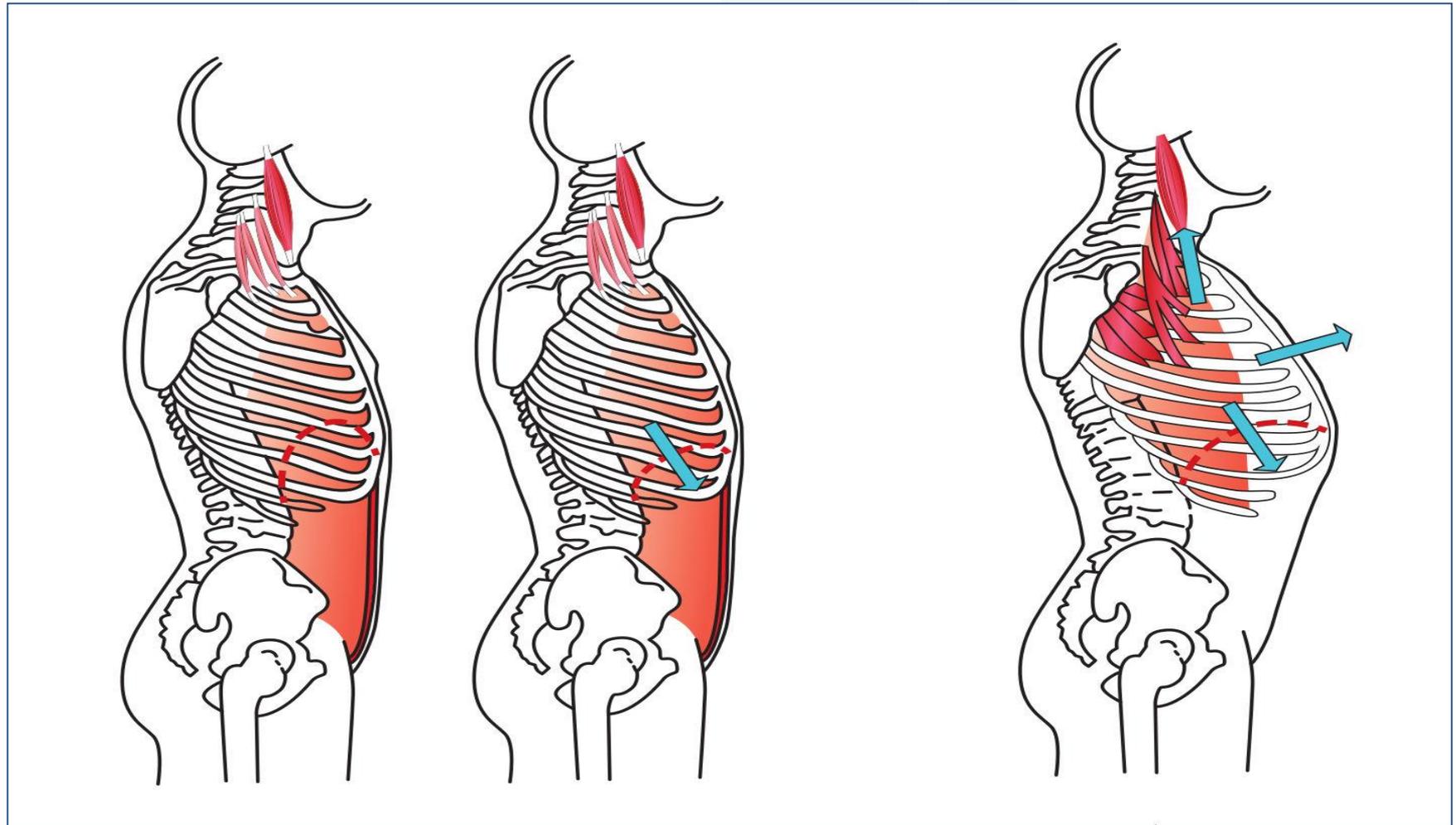


Muscles de la ventilation

- **Le diaphragme** : inséré sur les vertèbres lombaires, les côtes et le sternum
- **Les éleveurs des côtes** (pectoraux, grand dentelé, scalènes et SCM)
- **Les inter-costaux** : insérés entre les côtes
- **Les différents abdominaux** (T, PO, GO, GD)
- **Les abaisseurs des côtes** (triangulaire du sternum, carré des lombes, petit dentelé inférieur)

⇒ **Ces muscles font varier le volume des poumons : l'air entre car le volume des poumons augmente et sort car il diminue !!!**

La mécanique ventilatoire



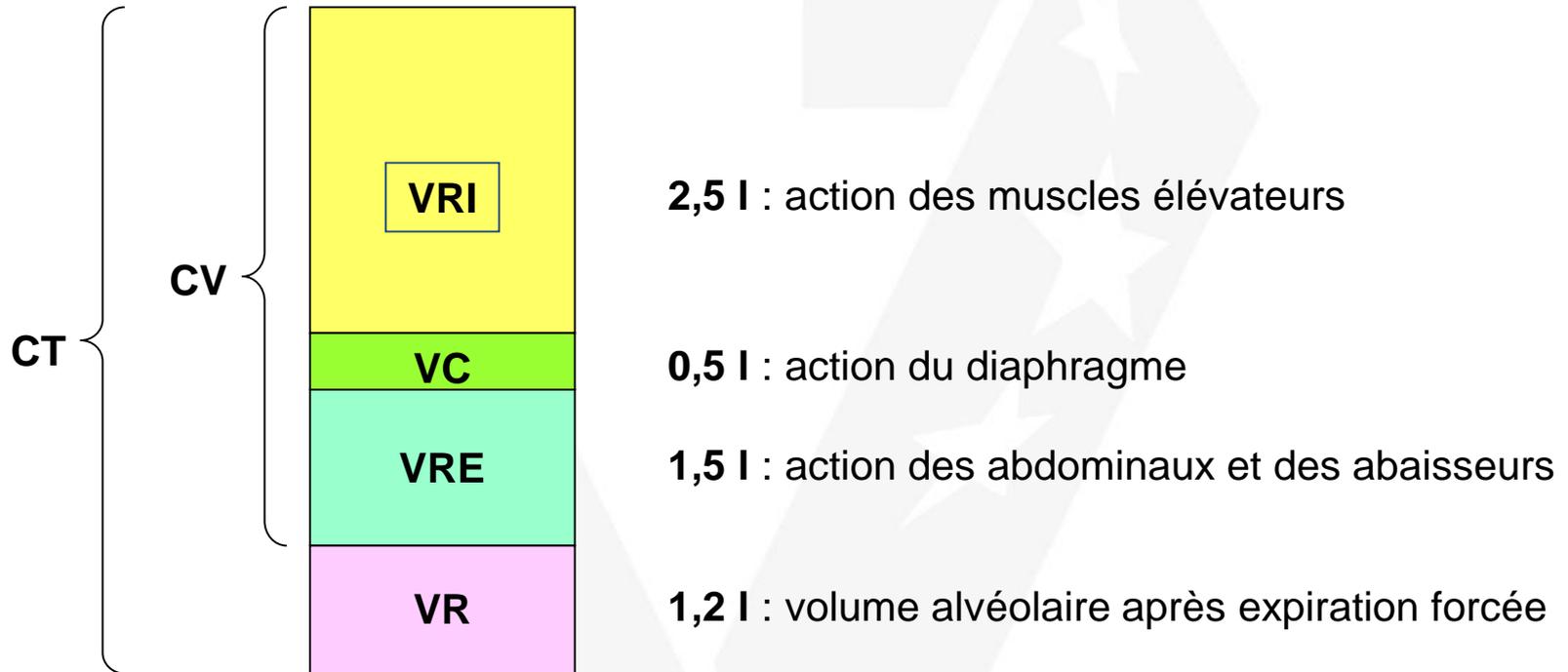
repos

inspiration VC

inspiration VRI



Les volumes pulmonaires

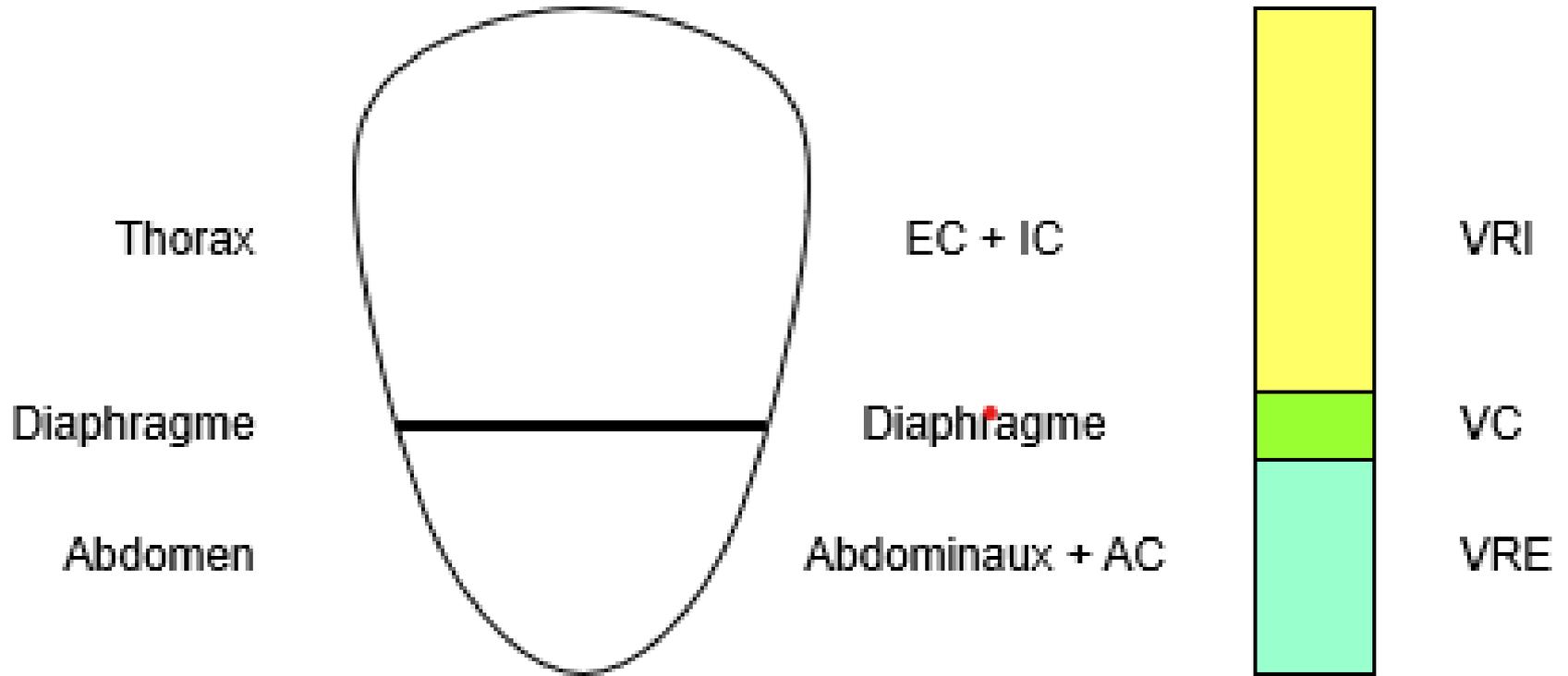


⇒ **La CV** varie en fonction du sexe, de la taille et de l'âge

⇒ **Espaces morts** : zones ventilées sans échanges :

- Anatomique : nez, bouche, pharynx, trachée (env. 150 ml)
- Physiologique : alvéoles ventilées mais non perfusées

Muscles et soufflet



L'élasticité pulmonaire ramène le volume pulmonaire au point bas du VC

⇒ **l'expiration de VC est passive**

Ventilation en plongée

- ↗ **espace mort (détendeur)** ⇒ ↗ fréquence ventilatoire
- ↘ élasticité pulmonaire par reflux central de la circulation sanguine (effet de l'apesanteur en immersion) ⇒ ↗ travail ventilatoire
- ↘ volume courant (15 à 20%)
- ↗ densité de l'air ⇒ ↗ travail ventilatoire (pertes de charge)
- ↗ résistance inspiratoire et expiratoire
 - ⇒ expiration active
 - ⇒ ↗ travail ventilatoire
- ↘ du débit ventilatoire maximum et du VEMS (volume expiratoire maximum par seconde)
 - ⇒ insuffisance respiratoire à l'effort
- ↗ stress, surtout chez les débutants ⇒ réflexe inspiratoire
- ⇒ la ventilation est naturellement plus haute en plongée

Ventilation dans le volume courant

dans l'eau

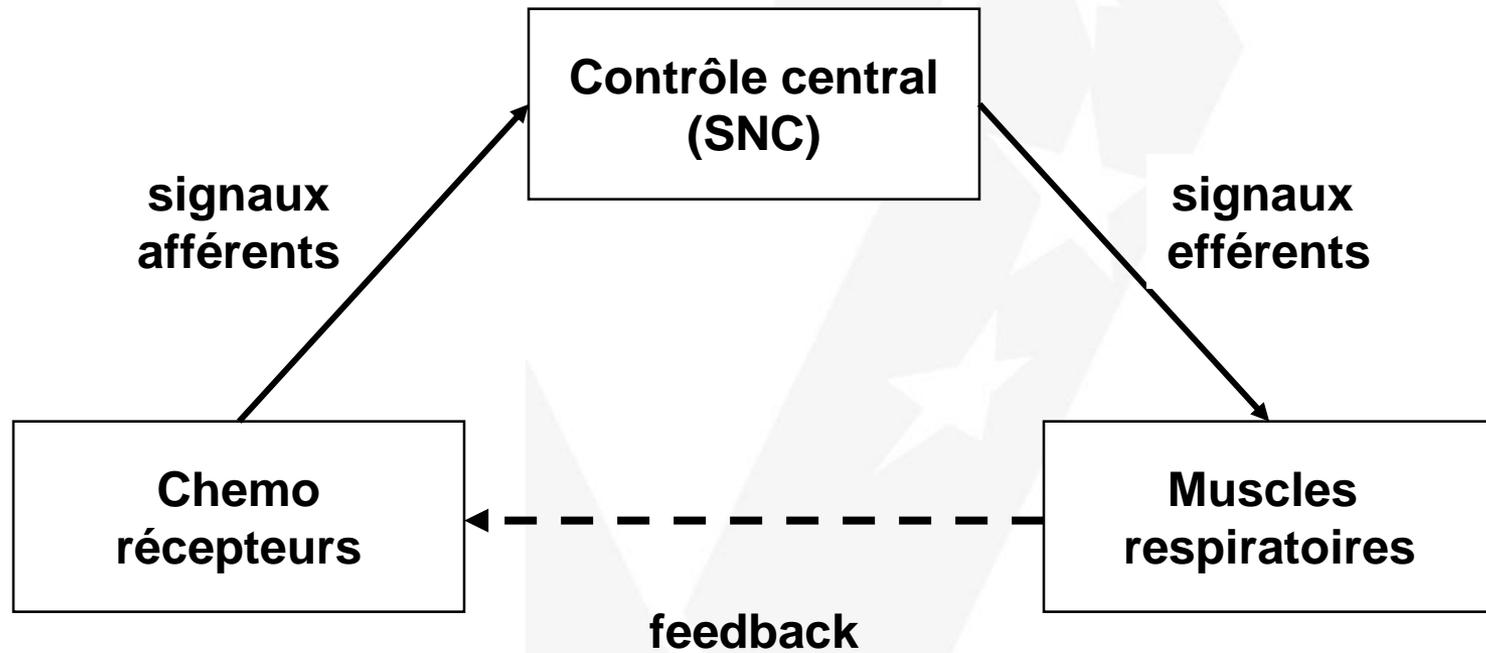
dans l'air



⇒ débit instantané $\approx 3 \times$ débit moyen

⇒ Impact sur le matériel (débit du détendeur)

Contrôle de la ventilation

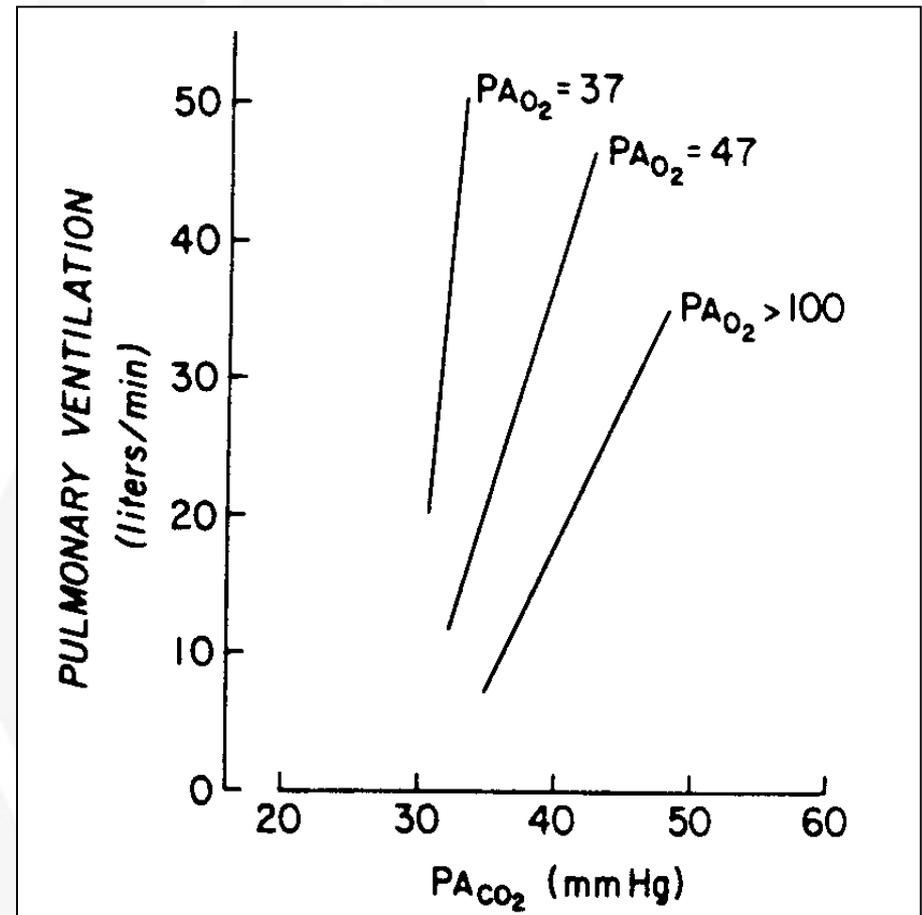


Chémorécepteurs

- Aortiques et carotidiens :
 - Localisés à la bifurcation des carotides (à proximité de la crosse de l'aorte), et au niveau du cou
 - Stimulés par :
 - ↳ ppO_2 artérielle (hypoxémie) : joue un rôle important en haute altitude
 - ↗ $ppCO_2$ artérielle (hypercapnie)
 - ↳ pH sanguin artériel (acidose)
- Centraux :
 - Localisés dans le bulbe rachidien
 - Stimulés par :
 - ↳ pH du liquide céphalorachidien

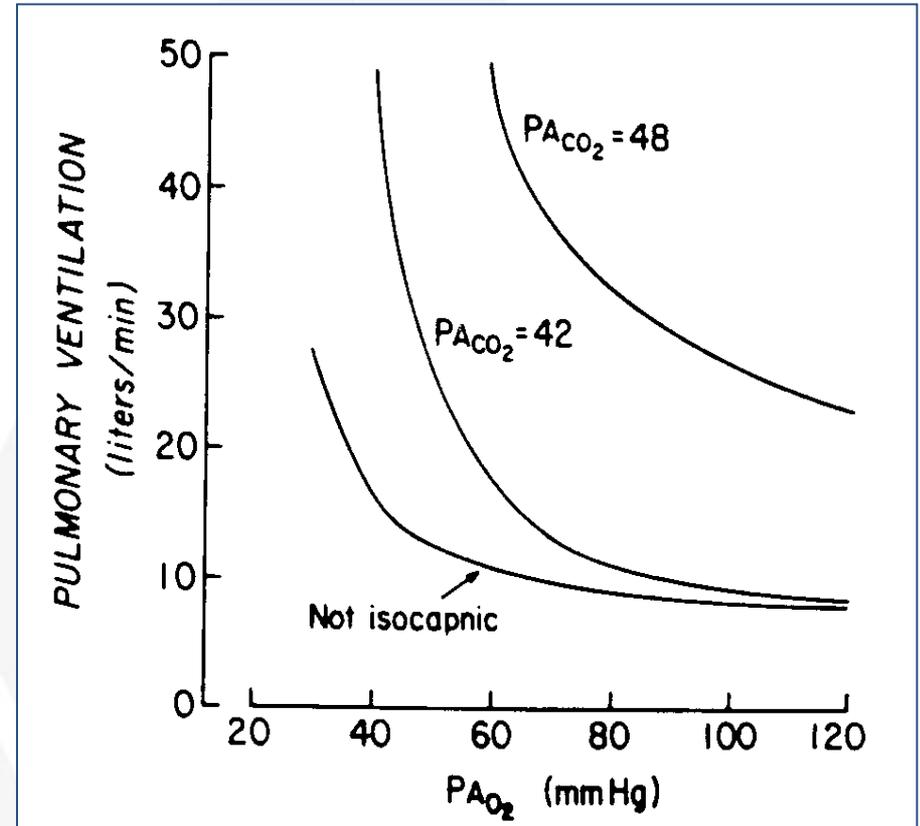
Réponse des récepteurs à la $ppCO_2$

- Linéaire : ventilation augmente si $ppCO_2$ augmente
- Importante : quelques mmHg seulement = augmentation marquée de la ventilation
- Influencé par ppO_2 : augmentation encore plus marquée si hypoxémie en plus...
- **Principal pilote de la ventilation**



Réponse respiratoire à la ppCO₂

- Hyperbolique : plus la ppO₂ diminue, plus la réponse sera marquée
- Ne fonctionne qu'en situation d'hypoxie : devient significative seulement si ppO₂ < 60 mmHg
- Influencée par la ppCO₂
- **La ppO₂ est le système d'alarme!!!**
- Stimulation drastique de la respiration en cas d'hypoxie...



Réponse respiratoire au pH

- Normalement liée à la $ppCO_2$
- L'acidose stimule la ventilation
- L'acidose respiratoire stimule les chémorécepteurs périphériques et centraux

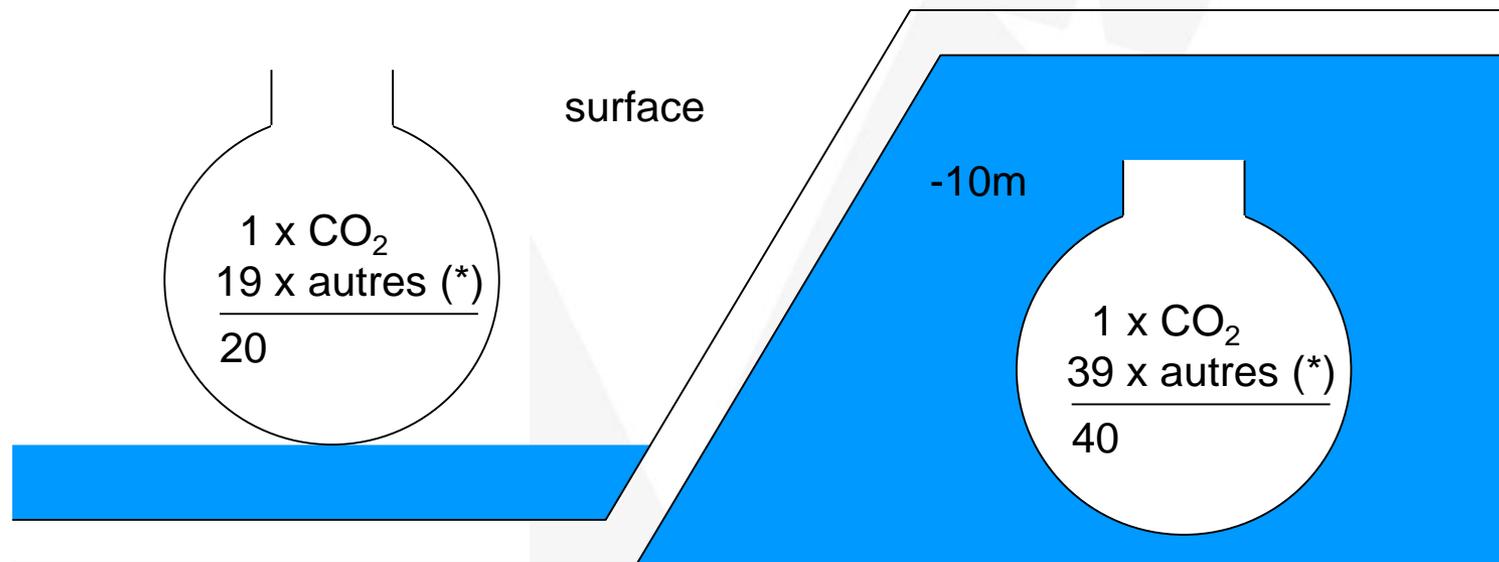
Composition de l'air alvéolaire (mmHg, %)

Prof. Pression	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O
surface 1b	571 75,2%	102 13,4%	40 5,3%	47 6,2%
-10m 2b	1172 77,1%	261 17,2%	40 2,6%	47 3,1%
-40m 5b	2973 78,2%	740 19,5%	40 1,1%	47 1,2%
3000m 0,7b	391,2 73,5%	53,8 10,1%	40 7,5%	47 8,8%



Consommation en plongée

Régulation : $ppCO_2 = 40 \text{ mmHg} = 0,05 \text{ bar}$



$$ppCO_2 = 0,05 \text{ b} = 1 \text{ b} \times 1/20$$

$$ppCO_2 = 2 \text{ b} \times 1/40 = 0,05 \text{ b}$$

→ La $ppCO_2$ ne dépend que de la production de CO_2

(*) : $N_2 + O_2 + H_2O$

Consommation en plongée

- La p_p est la pression qu'aurait le gaz s'il occupait seul le volume disponible
- En scaphandre, la p_{pCO_2} alvéolaire ne dépend donc que du CO_2 produit
- La ventilation maintient la p_{pCO_2} constante à environ 40mmHg
- Le rythme ventilatoire ne dépend donc que du CO_2 produit (et pas de la profondeur)

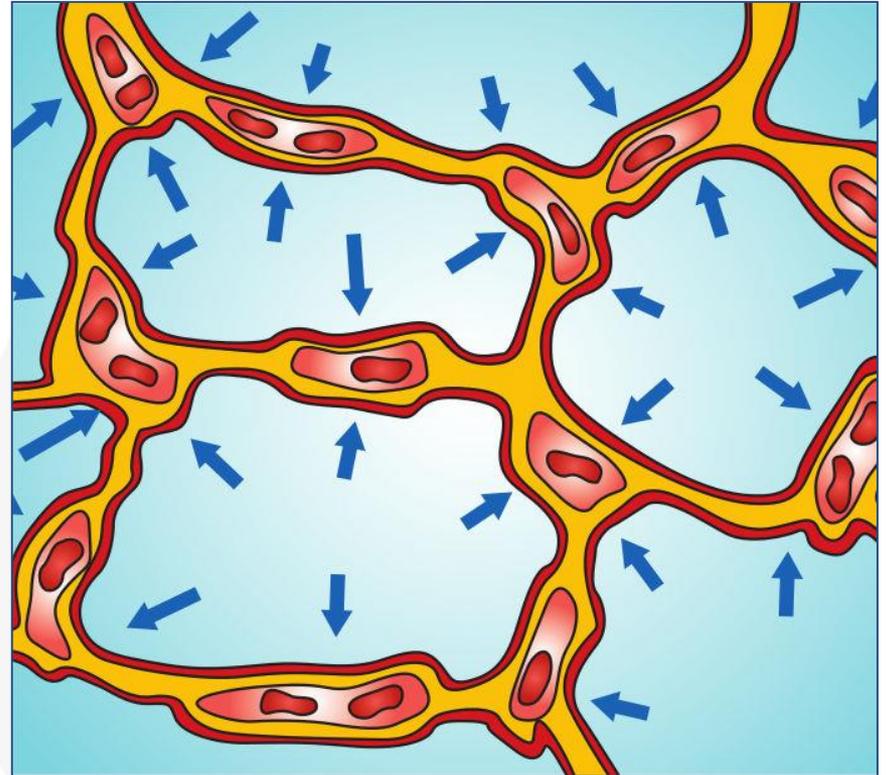
Consommation en plongée

- Régulation : \searrow ppO₂ sans objet en plongée à l'air \Rightarrow \nearrow ppCO₂
 - À rythme ventilatoire constant, ppCO₂ ne dépend que de la production de CO₂ et pas de la profondeur
 - Tant que l'organisme régule : ppCO₂ est constant (quelque soit la profondeur)
 - Le débit ventilatoire n'est déterminé que par la production de CO₂
 - **La consommation volumique ne dépend que de l'effort fourni**
- Notion de normo-litre (normo-L) : conditions "normales" de température et de pression = 0°C, 1 atm (1,013 bar)
 - En plongée, on néglige la correction de température
- Un plongeur consommant 15 L/min en surface consomme 15 L/min à 10m (2b), soit 30 normo-L/min (ou 30 L/min ramenés à la pression atmosphérique)

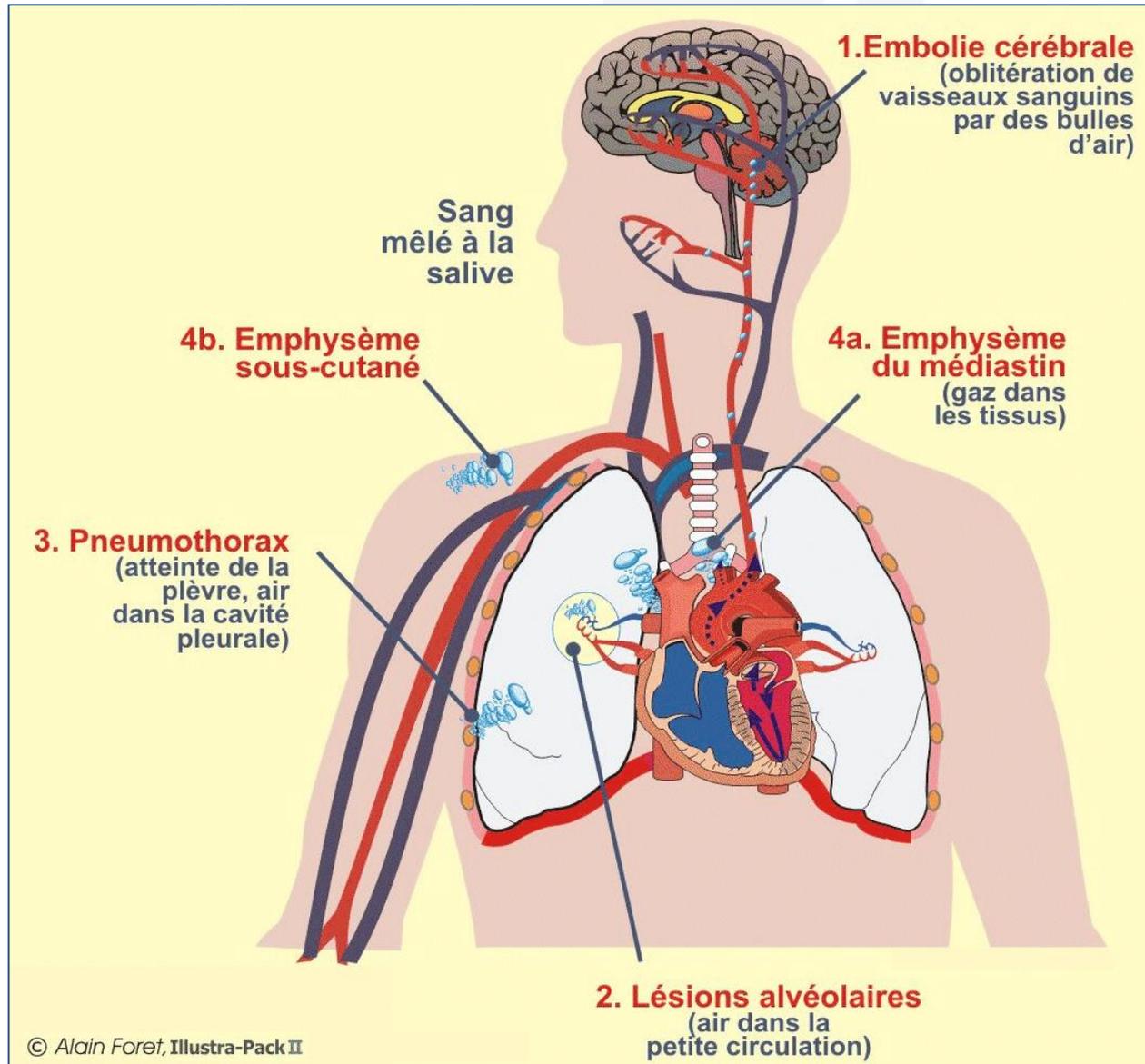
Les risques liés à la plongée

La suppression pulmonaire : mécanisme

- Écrasement de la barrière alvéolo-capillaire
- Effraction d'air alvéolaire dans la circulation pulmonaire
- Bulles artérielles : aorte, carotides
- Lésions alvéolaires
- Lésions pleurales : comblement de la dépression pleurale



La suppression pulmonaire : symptômes



La suppression pulmonaire : Comportement du Guide palanquée

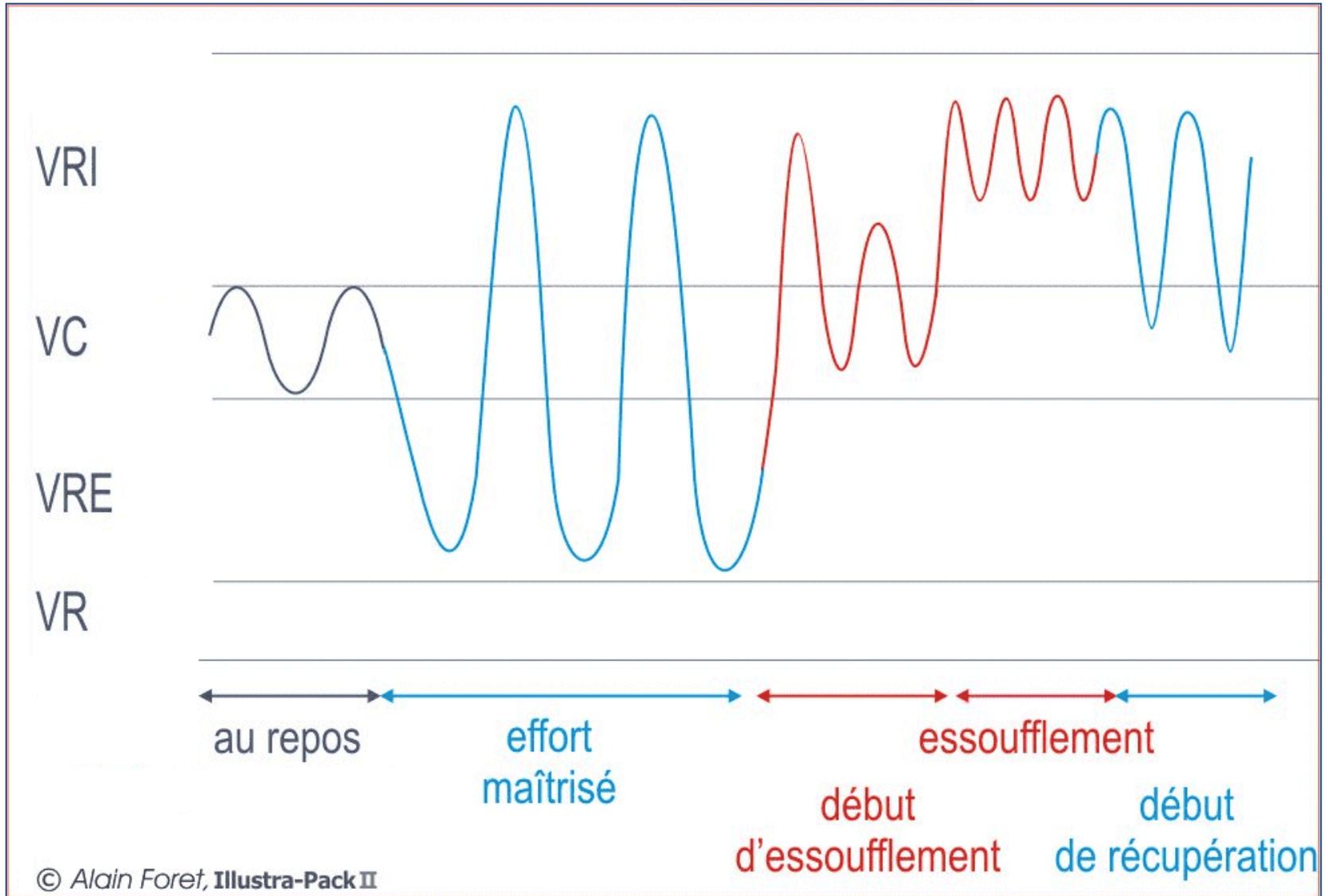
Prévention

- Vitesse de remontée
- Surveillance (adaptation aux conditions)
- Vigilance à l'approche de la surface
- Pas d'efforts lors de la remontée
- Intervention
- Prévenir les secours
- O₂
- Aspirine (500mg) et eau douce

L'essoufflement : mécanisme

- Équilibre : élimination de CO_2 = production de CO_2
 \Rightarrow ppCO_2 alvéolaire = 40mmHg
- Essoufflement : élimination de CO_2 < production de CO_2
- Facteurs augmentant la production de CO_2 :
 - Efforts :
 - Propulsion
 - Sustentation
 - Ventilation (densité de l'air)
 - Froid
- Facteurs diminuant l'élimination de CO_2 :
 - Expiration active (moins efficace)
 - Stress (\searrow expiration, \nearrow fréquence, \searrow amplitude)
 - Pneumothorax, OAP
- Cercle vicieux : $\nearrow \text{CO}_2 \Rightarrow \nearrow$ inspiration (muscles inspiratoires)
 $\Rightarrow \nearrow$ fréquence $\Rightarrow \searrow$ expiration $\Rightarrow \nearrow \text{CO}_2 \Rightarrow$ stress $\Rightarrow \dots \Rightarrow$
asphyxie !

Essoufflement et ventilation



Essoufflement

Comportement du Guide de palanquée

Prévention

- Vérifier le lestage
- Pas de précipitation avant la plongée (surtout avec des débutants)
- Laisser récupérer avant l'immersion
- Prendre en compte les conditions
- Surveiller l'attitude et la production de bulles
- Intervention
- Arrêt des efforts
- Rééquilibrer
- Maintenir le détendeur
- Communiquer, rassurer
- Remonter
- Majorer la décompression

La panne d'air

- **Consommation ↗ avec :**
 - Profondeur
 - Efforts
 - Stress
 - Froid
 - Fatigue
 - tabac, l'alcool
 - Digestion
 - Surcharge pondérale
- ⇒ **Hygiène de vie (REAC)**
- ⇒ **Attention à la plongée juste après un gros repas arrosé !!!**
- ⇒ **Apprendre à expirer**
- ⇒ **Technique de palmage (dorsal)**

La panne d'air

Comportement du Guide de palanquée

En surface

- Palmage dorsal, gilet à demi gonflé, détendeur en main : ventilation plus aisée qu'en ventral, pas de consommation du stock d'air de la bouteille
- Forcer sur l'expiration afin d'éviter un essoufflement
- S'assurer que les plongeurs ont récupéré avant de vous immerger : pas de ventilation haletante
- S'assurer que les plongeurs ont bien purgé tout l'air du gilet au moment de l'immersion
- Ne pas lutter contre le courant s'il y en a : mettre une ligne de vie, se déhaler sur le mouillage

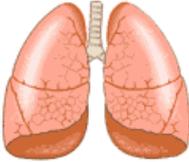
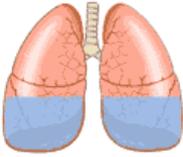
En plongée

- Pas de sur lestage
- Vérifier les manomètres une fois arrivé au fond
- Surveiller régulièrement les manomètres (consignes sur la demi-pression et la réserve)

La noyade : mécanisme

- Asphyxie consécutive à une submersion des VAS avec intrusion d'eau dans l'estomac (2 à 5L) et éventuellement dans les poumons (10 à 20cL)
- Noyade primaire : submersion accidentelle des VAS pendant le cycle ventilatoire
- Noyade secondaire : syncope puis reprise réflexe de la ventilation alors que les VAS sont submergées
- Troubles neurologiques consécutifs à l'anoxie cérébrale
- Troubles respiratoires : OAP, destruction du surfactant
- Troubles sanguins (hémolyse)
- Hyper / hypo-volémie
- Risque de SP
- Risque d'ADD

Classification des noyades

Stades					
1. Aquastress	+	+	+	+/-	-
2. Petit hypoxique	+	+/-	+	+/-	+/-
3. Grand hypoxique	+/-	+/-	+	+	+/-
4. Anoxique	-	-	-	+	+



La noyade

Comportement du Guide de palanquée

Prévention

- Pas de surlestage
- Surveiller la mise à l'eau
- Utilisation du gilet en surface
- Approche surface

Intervention

- Prévenir les secours (à partir du stade 2)
- O₂
- Réchauffer
- Rassurer (si conscient)

Bibliographie

- Plongée, santé, sécurité – X. Fructus, R. Sciarli – Ed. Ouest-France (1992)
- La plongée sous-marine à l'air – Ph. Foster – PUG (1993)
- Guide de préparation au BEES1 – J. Caja, M. Mouraret, A. Benet – Vigot (1994)
- Code Vagnon plongée secourisme – D. Jeant – Ed. du Plaisancier (1994)
- La respiration – D. Pignier – PUF (1998)
- Le corps humain – B. Anselme – Nathan (2002)
- Plongée plaisir niveau 4 – A. Foret, P. Torres – Gap (2002)
- Respiration : anatomie, geste respiratoire – B. Calais-Germain – Ed. DésIris (2005)
- Encyclopædia Universalis – collectif
- Sécurisez votre plongée – M.Coulange – JJ.Grenaud Ellieps (2008)



ENTENTE-ECASC
ETABLISSEMENT PUBLIC
www.valabre.com

