

# L'essoufflement en hyperbarie

- Résultat d'une
  - désadaptation du rythme respiratoire
  - due aux contraintes ventilatoires imposées par la
  - respiration en hyperbarie
- ≠ d'une augmentation d'apport de dioxyde de carbone : intoxication.

# Plan

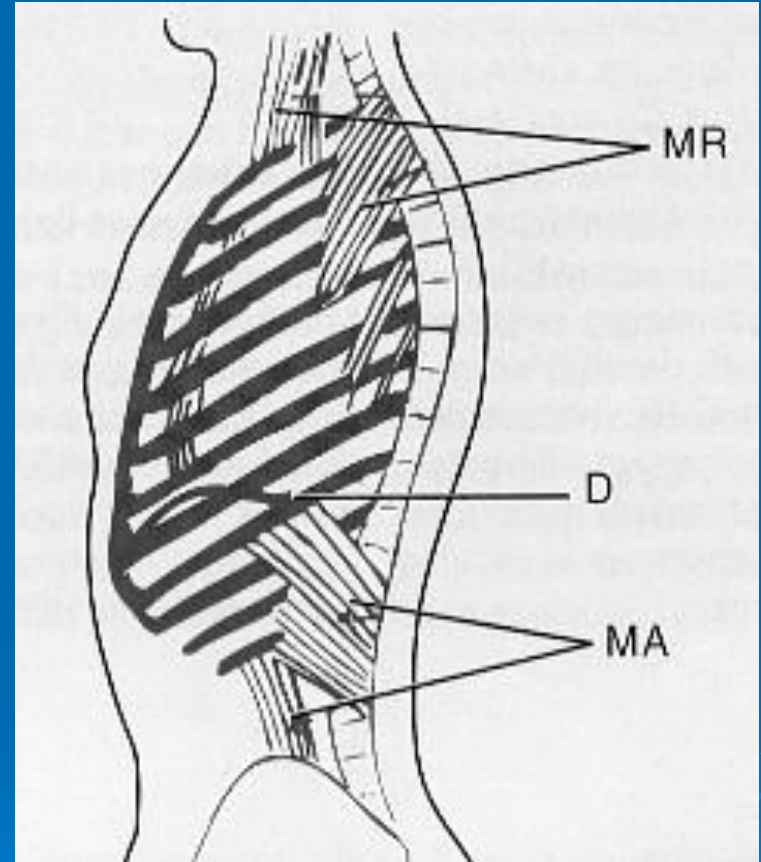
- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant

# L'inspiration

- Diaphragme : muscle inspirateur principal

## Mécanisme

- Les muscles inspiratoires dits "accessoires" Intercostaux inspiratoires et scalènes
  - sont indispensables à l'action du diaphragme.



# L'expiration

- Est une phase passive.

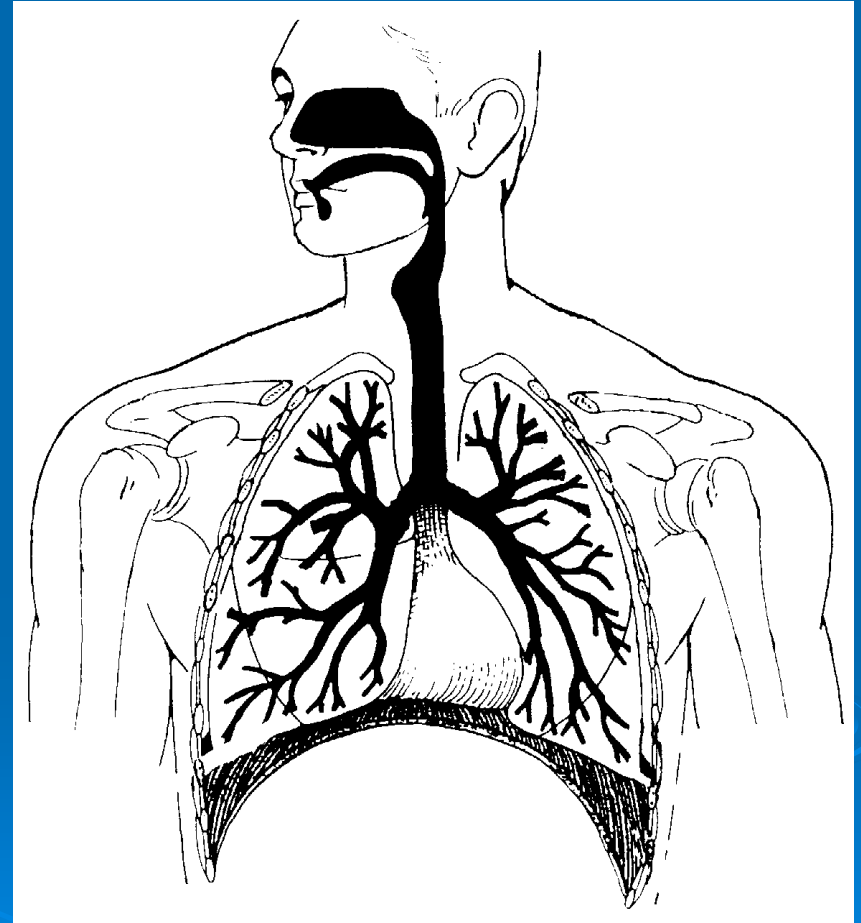
## Mécanisme

- En fait, le diaphragme a un rôle freinateur.
  - Les muscles expirateurs (grands droits, intercostaux internes), sont utilisés à l'effort



# L'espace mort

- Ne participe pas aux échanges gazeux
- VD : égal à environ 0,15 l.
- Contenu dans le Volume Courant (VT).



# Analyse dynamique de la ventilation

- Grâce à la mesure des débits ventilatoires.
- *Débit Ventilatoire Alvéolaire (VA)*
  - volume d'air parvenant aux alvéoles en une minute.
    - $VA = (VT - VD) \times Fr.$
- *Débit Expiratoire Maximum à la Première seconde (VEMS)*
  - mesuré lors d'une expiration active forcée.
- *Débit Expiratoire (VE)*
  - volume d'air expiré pendant une minute.

# Plan

- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant

# A l'effort

Augmentation des débits (jusqu'à 20 fois).

Modification de l'écoulement des gaz laminaire → turbulent  
→ **Efficacité ventilatoire diminuée**

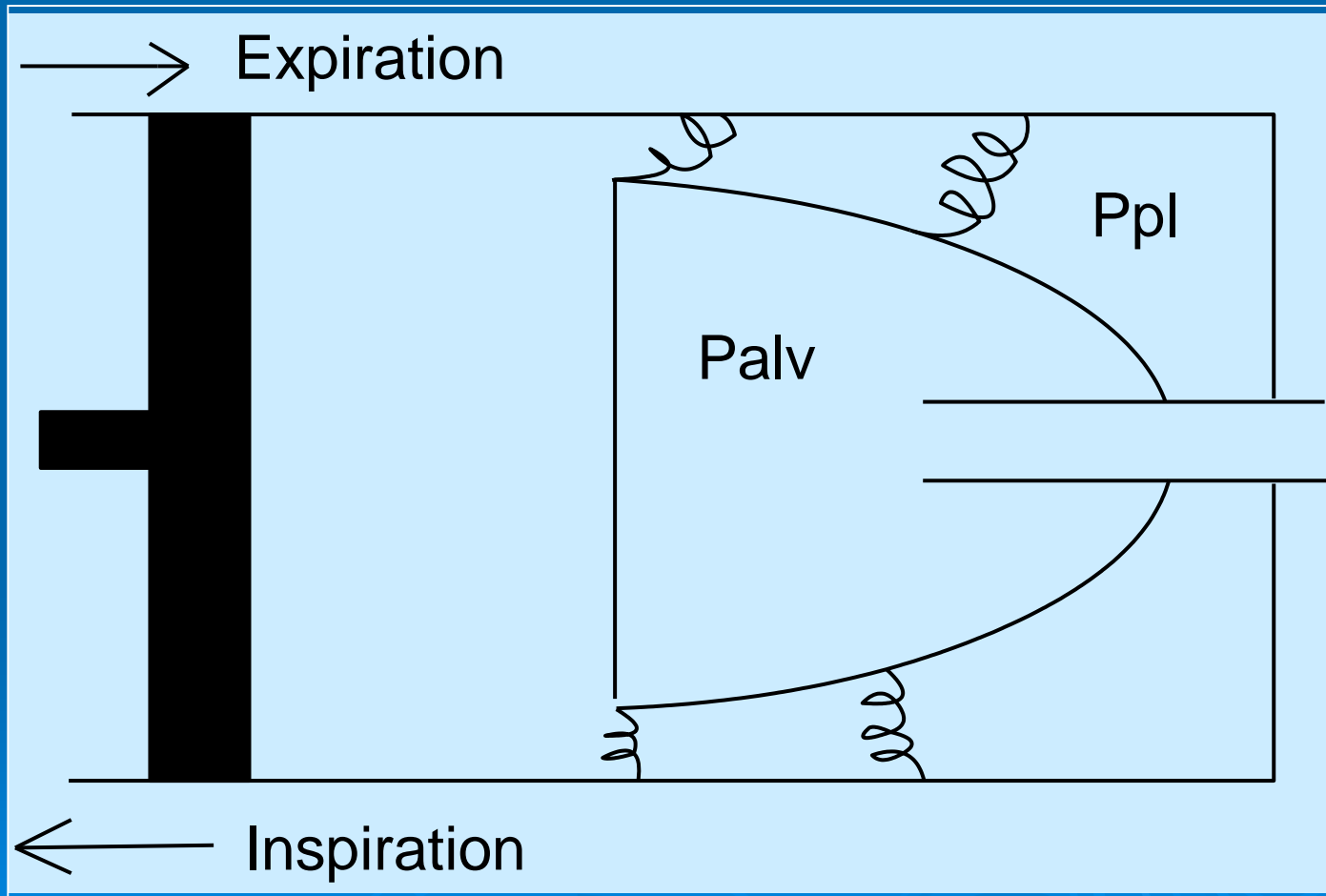
A l'expiration, les conduits diminuent leur calibre

↓  
Baisse des débits expiratoires.

Pour maintenir les débits au niveau requis, les muscles ventilatoires doivent augmenter l'amplitude et la fréquence des contractions

Augmentation du travail avec risque de fatigue musculaire.

# Volume de fermeture



# En hyperbarie

↗ De P. ambiante

→ ↗ de masse  
volumique des gaz

→ ↗ de masse  
volumique des gaz  
et ↗ des débits

↘ Résistances à  
l'écoulement

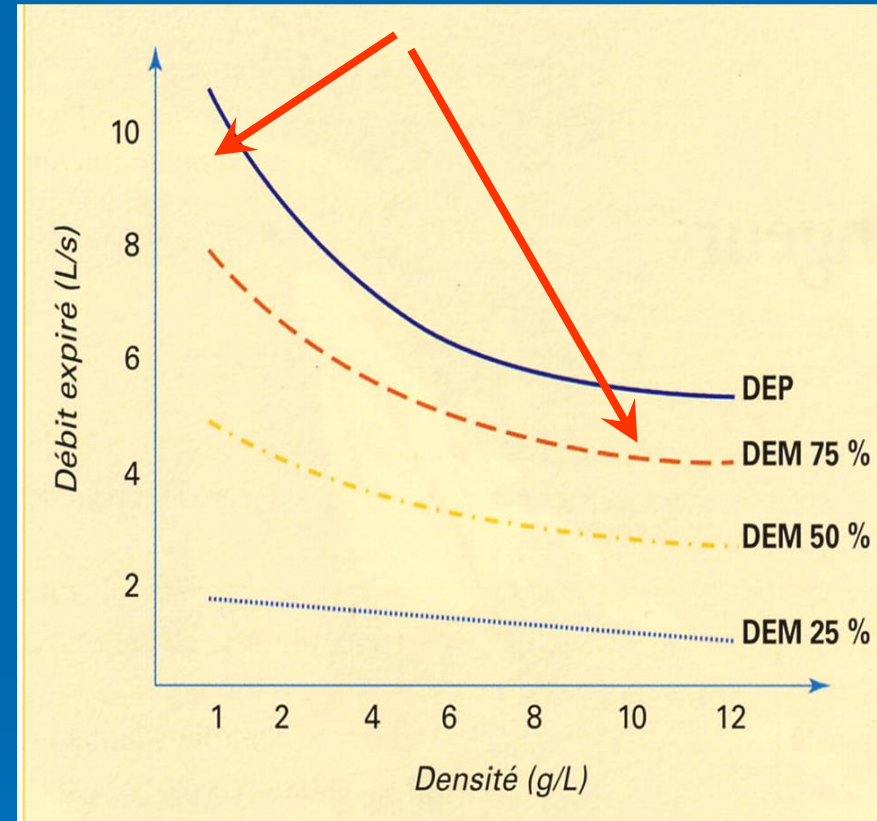
- $M/V$  de l'air en surface = 1,29g/l
  - À 40m  
 $1,29 \times 5 = 6,45\text{g/l}$   
(= héliox à 300m)



Les débits sont limités

# Baisse des débits expiratoires

- Le DEM 85, chute de 9 l/s en surface à 4 l/s à 70 mètres à l'air,
- A 30 mètres, la ventilation maximum volontaire (MVV) est égale à la moitié de celle en surface,
- A une profondeur de 52 mètres le VEMS est diminué de moitié.



- **des sujets sains** présentent, en plongée, les mêmes débits ventilatoires que des sujets dits "**insuffisants respiratoires**".

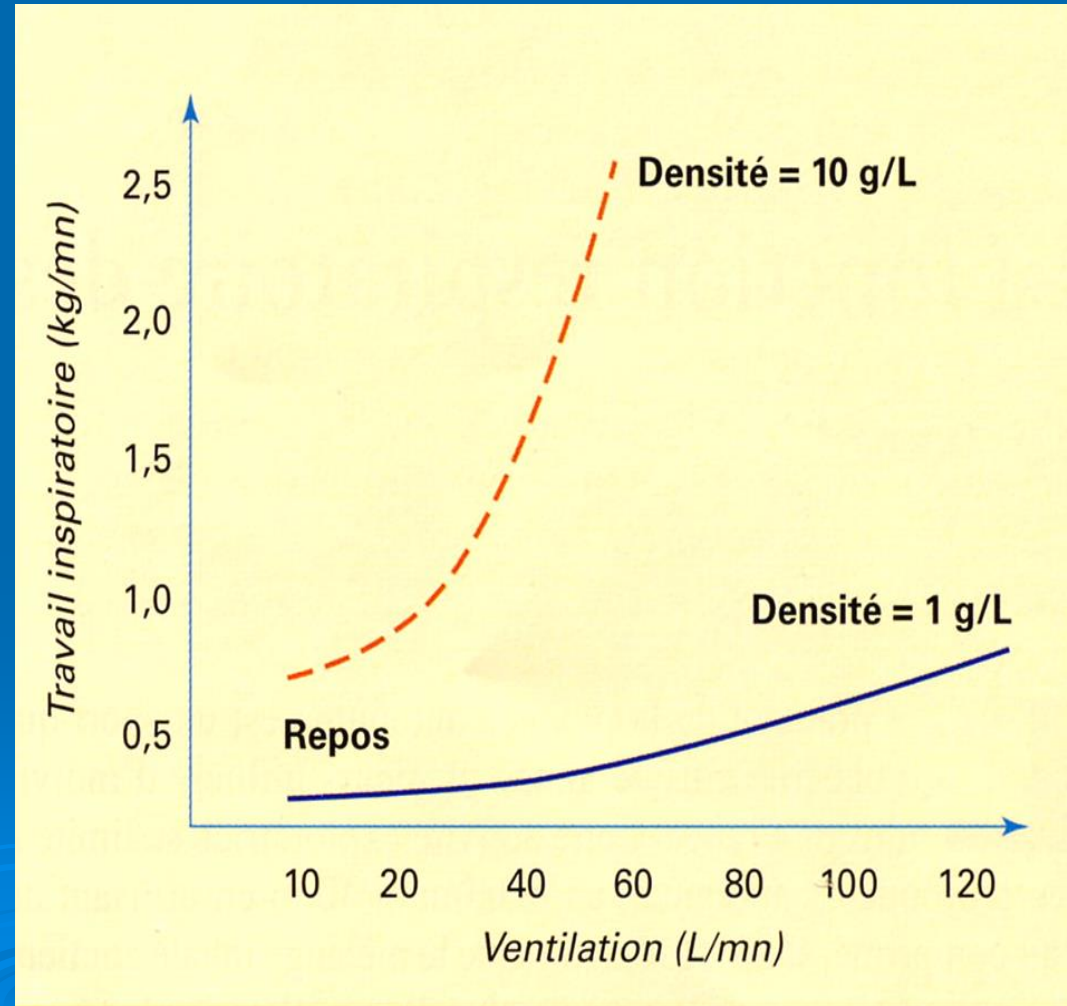


# Baisse des débits inspiratoires

- Les débits inspiratoires sont eux aussi diminués
- L'énergie dépensée par les muscles inspiratoires pour tenter de maintenir ces débits est importante,
  - la fatigue de ces muscles (en plongée) dépend de leur endurance.

# Travail ventilatoire et profondeur

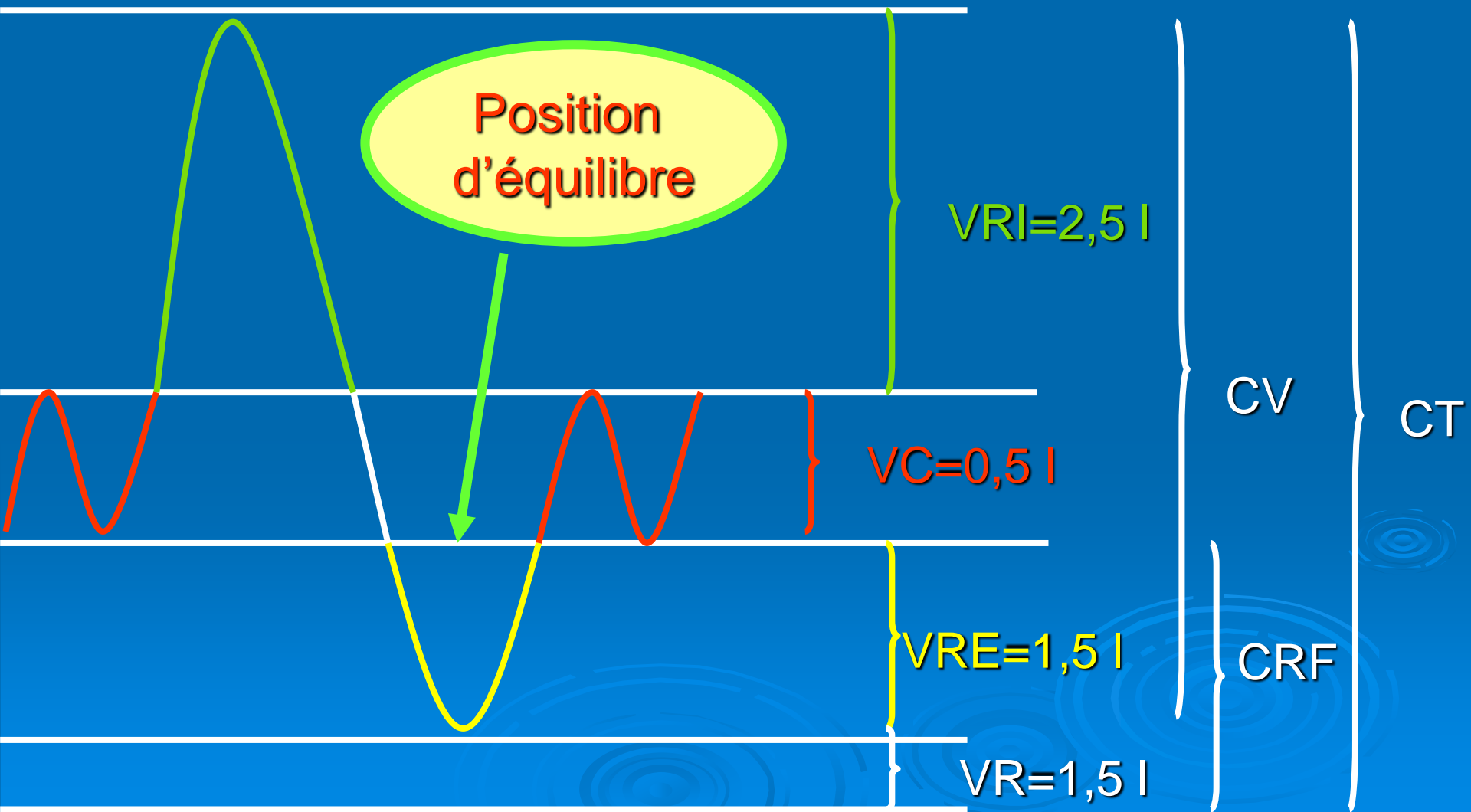
Le travail ventilatoire augmente avec la profondeur



# Plan

- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant

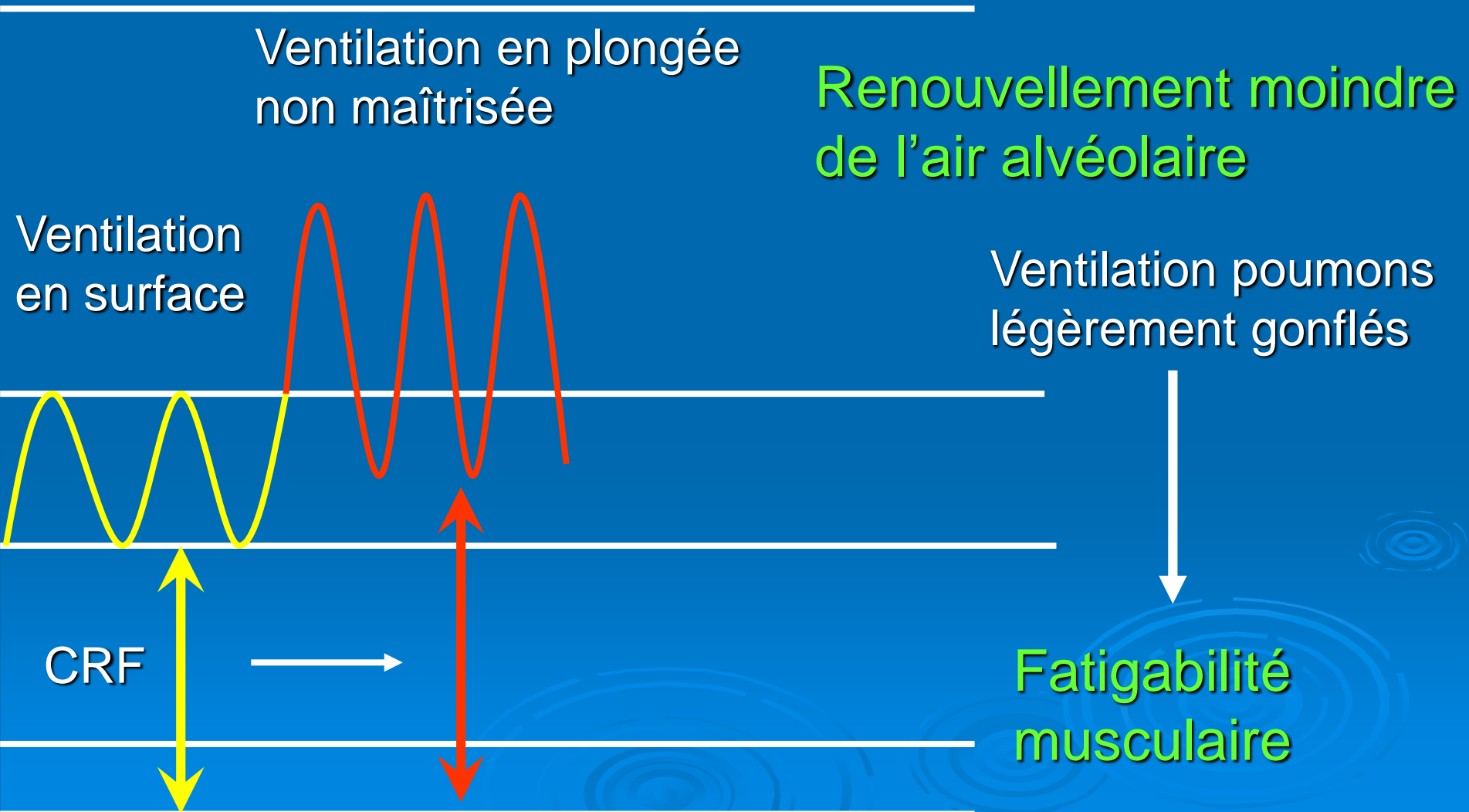
# Les volumes pulmonaires



# La Capacité Résiduelle Fonctionnelle

- égale à environ
  - 6 fois le volume courant,
  - environ 17 fois le volume d'air renouvelé
- permet de maintenir presque constante la composition du gaz alvéolaire.
  - Les variations à chaque inspiration et à chaque expiration sont négligeables

# Modifications des volumes en plongée



# Plan

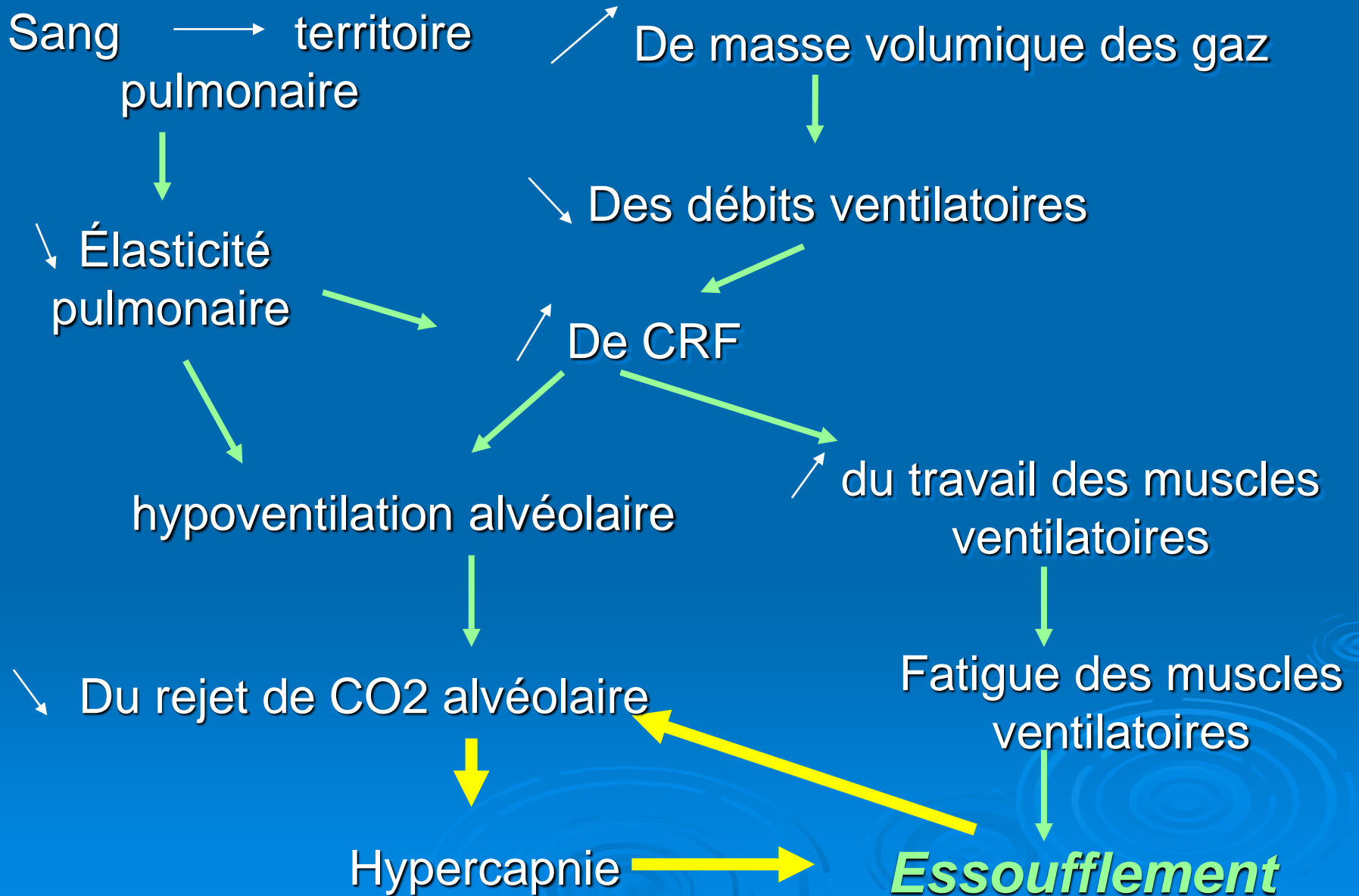
- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant



# Influence de la contre-pression externe

- Afflux sanguin dans le thorax(700ml)
- Le tissu pulmonaire est ainsi rendu moins "élastique"

# Récapitulatif



# Contraintes ventilatoires en plongée

Lutte contre le froid  
Efforts  
Stress

- Consommation accrue d'oxygène et production accrue de CO<sub>2</sub>

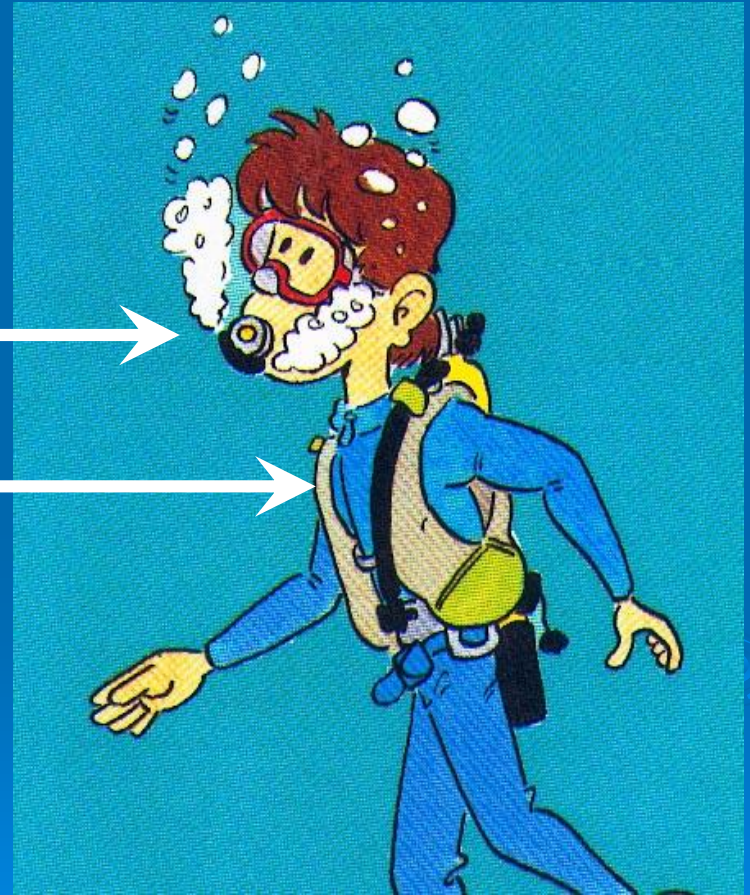
# Différences de pression entre la bouche et les poumons

Point moyen thoracique

P



30 cm d'H<sub>2</sub>O



# Influence de la position de la tête

## ➤ *Tête en haut*

- La ventilation se fait en pression négative,
- Inspiration difficile,
- Diminution des volumes gazeux pulmonaires,
- A l'effort, fatigue musculaire du fait du travail inspiratoire,

## ➤ *Tête en bas*

- La ventilation se fait en pression positive
- Inspiration trop facile, expiration laborieuse,
- Augmentation des volumes gazeux,
- A l'effort, risque de fatigue du fait du travail expiratoire.

# Plan

- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant



Ventilation normale :  $0,5l \times 16 = 8l/min$

# Calcul de l'effet espace mort

Volume mort

Volume utile :  $(0,5 - 0,15) \times 16 = 5,6l/min$

Ventilation + ample et + lente :  $1l \times 8 = 8l/min$

Volume utile :  $(1 - 0,15) \times 8 = 6,8l/min$

Avec tuba :  $(0,5 - 0,15 - 0,15) \times 16 = 3,2l/min$

Volume du  
tuba

Ventilation + lente et + ample :  $(1 - 0,15 - 0,15) \times 8 = 5,6l/min$

Pour conserver une ventilation alvéolaire correcte :  
modifier la ventilation, par augmentation du volume  
courant (VT).



$V_A = 0,7 \times 8 = 5,6 \text{ l/min}$

$V_A = 0,85 \times 8 = 6,8 \text{ l/min}$

**FR = 16**

0,5l

0,15l

0,35l

0,15l

0,15l

0,2l

1l

0,15l

0,85l

0,15l

0,15l

0,7l

**5,6l**

**3,2l**

**FR = 8**

L

➤ E  
p

➤ M

➤ A  
C

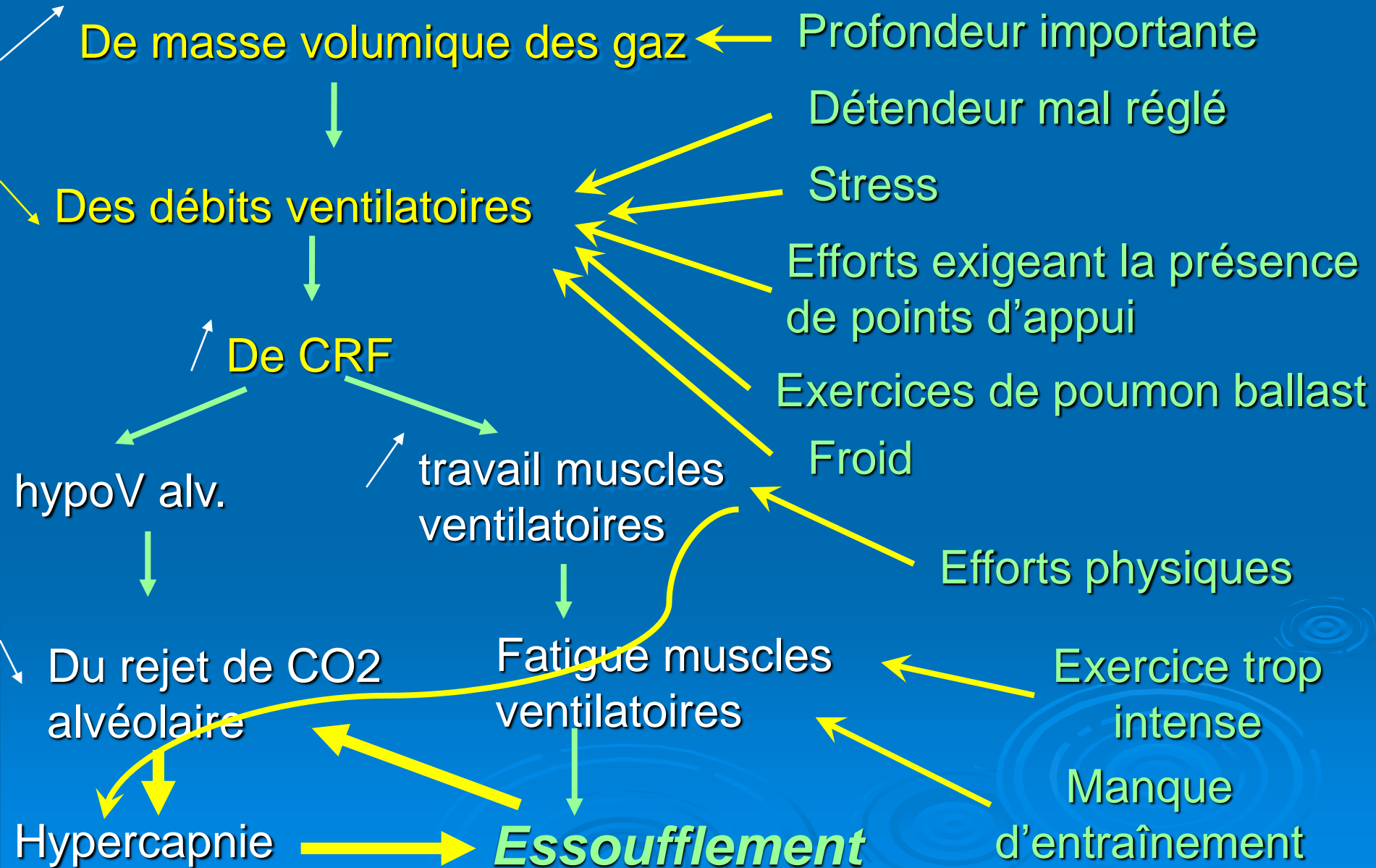


S

S



# Facteurs favorisants



# Plan

- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant

# Signes et Dangers

## ➤ Symptômes

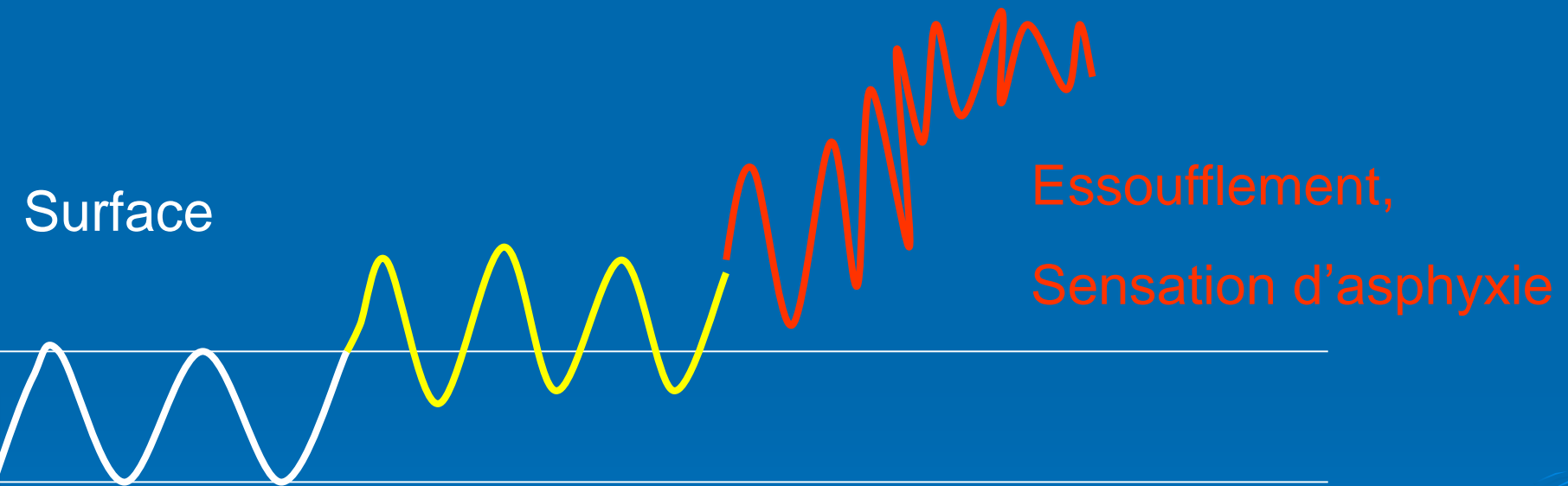
- Sensation de manque d'air,
- accélération de la fréquence ventilatoire,
- sensation d'inefficacité
- tentative d'augmentation de l'inspiration.
- Au maximum, ventilation seulement de l'espace mort

## ➤ Conséquences

- Recherche d'air par tous les moyens :
  - remontée panique vers la surface,
  - arrachage du détendeur.



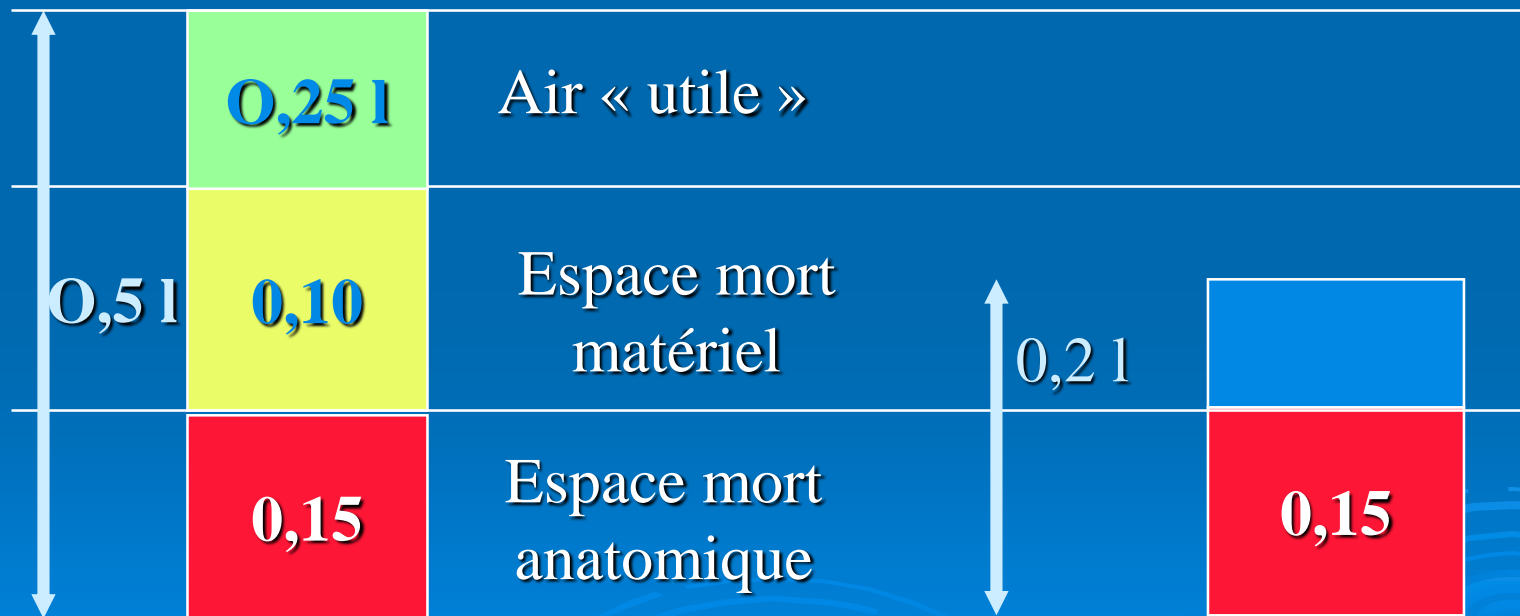
# Évolution de la ventilation lors de l'essoufflement



Plongée non  
maîtrisée

Essoufflement,  
Sensation d'asphyxie

# Ventilation inefficace





# Conséquences

Essoufflement

Panique

Hypoxie  
Hypercapnie

Hypoventilation  
alvéolaire

Absence  
d'expiration

Inhalation  
d'eau

Narcole

Echanges gazeux  
perturbés

Surpression  
pulmonaire

Noyade

Accident de  
décompression



# Plan

- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant

# Conduite à tenir

Remonter la victime le plus efficacement possible

- en la calmant
- en lui évitant tout effort.
- En se protégeant soi même (intervention de côté ou de dos)

# Prévention

- Limiter les efforts
- Avoir du bon matériel
- Savoir s'équilibrer
- Apprendre à maîtriser sa ventilation
- Entraînement en endurance
- Lutte contre le froid
- Comportement du GP

# Limiter les efforts

- Préparation calme
- Trajet limité en surface
- Descente calme et lente
- Déplacement économe au fond (technique)
- Ne jamais lutter contre le courant
  - Au besoin se servir de ses mains (inciter à vider son stab)
  - Main courante a poste avant la mise à l'eau

# Matériel et stabilisation

- Détendeur de bonne qualité avec effort inspiratoire limité, pas d'obstacle à l'expiration
  - Régulièrement révisé et entretenu
- Lestage adapté
- Stabilisation maîtrisée
- S'aider du gilet lors des déplacements verticaux

# Apprendre à maîtriser sa ventilation

- L'inspiration doit être plus profonde et plus

lente  
Amplitude  
augmentée

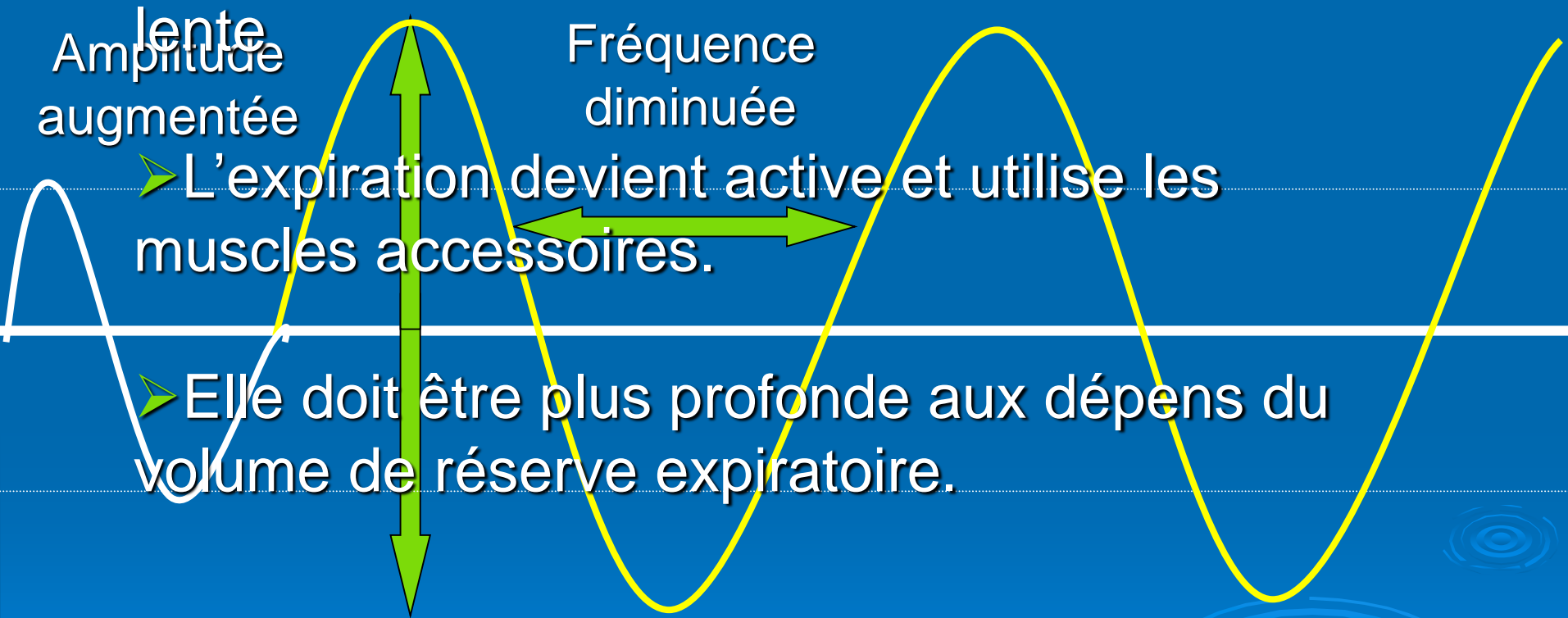
Fréquence  
diminuée

- L'expiration devient active et utilise les muscles accessoires.

- Elle doit être plus profonde aux dépens du volume de réserve expiratoire.

Ventilation aux dépens  
du volume de réserve expiratoire

Rejet de gaz  
carbonique



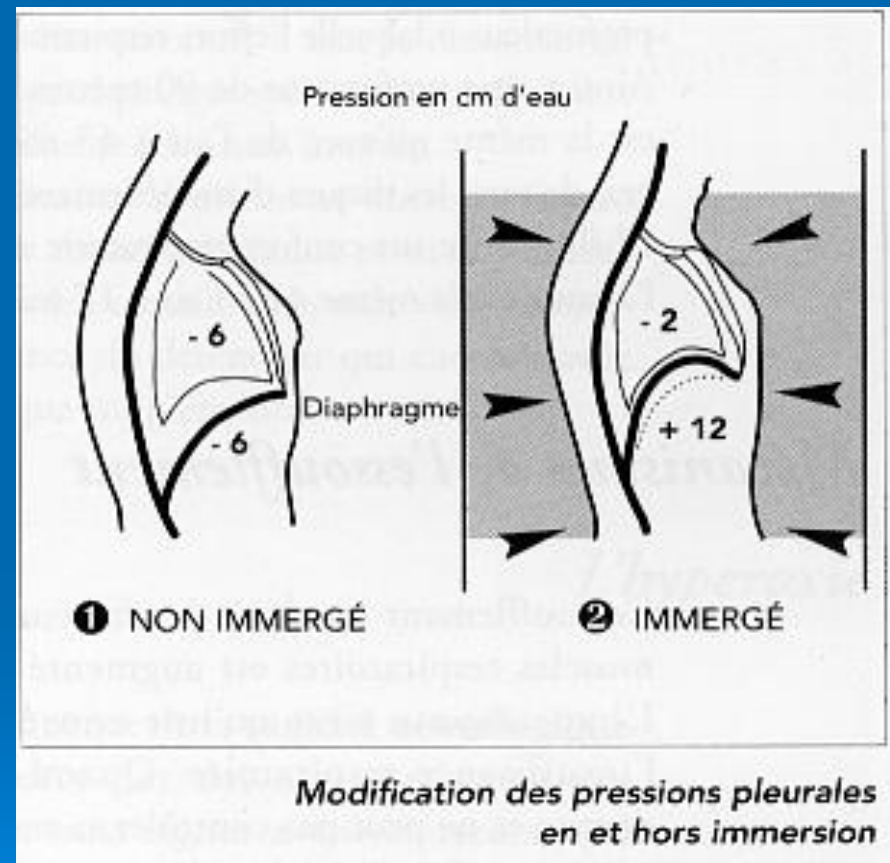


# L'entraînement en endurance

- Par une pratique régulière
  - De toutes les activités physiques
  - De la ventilation contre résistance
    - plongée
    - Natation

# Contraintes de l'immersion

- Pressions mesurées en fin d'expiration
- Gradient nul dans l'air
- Augmentation des pressions et des résistances à vaincre à l'inspiration



# L'entraînement en endurance

- améliore :
  - le contrôle ventilatoire,
  - l'aptitude et la résistance à la fatigue des muscles respiratoires.
  - l'apprentissage.
    - de la perception des sensations liées au travail ventilatoire,
    - du contrôle du rythme ventilatoire.
- fatigue musculaire moindre pour des efforts respiratoires plus grands

# Lutte contre le froid


- Combinaison adaptée
- Alimentation adaptée
  - Avant la plongée
  - Après la plongée



# Comportement du guide de palanquée.

- Vérifier l'équipement et corriger
- Descente le long du mouillage en tournant le dos au fond
  - photo de la ventilation des plongeurs que l'on accompagne
  - appréhender toute accélération ou modification de celle-ci.
- Diminution des facteurs de stress.
  - Rassurer
  - Être présent et proche dans l'eau
- Donner un rythme adapté
- Palmer doucement
- Savoir s'orienter et éviter les longs trajets

# Respecter une progressivité.

- Dans la profondeur
  - Dans les niveaux de stress
  - Dans les types de plongées
  - Dans l'autonomie
- 

# Adaptations physiologiques du plongeur entraîné

- Adaptations progressives
  - Meilleure tolérance à l'hypercapnie
  - adaptations modulées des récepteurs et des centres nerveux aux informations reçues
- amélioration des volumes pulmonaires mesurés
- Échanges gazeux mieux adaptés



# Plan

- Mécanique ventilatoire et analyse dynamique
- Baisse des débits
  - A l'effort (notion de volume de fermeture)
  - En hyperbarie
- Les volumes pulmonaires
- Contraintes ventilatoires dues au milieu
- Contraintes ventilatoires dues au matériel
  - Effet espace mort
  - ergonomie
- L'essoufflement et ses dangers
- Conduite à Tenir et Prévention
- Particularités chez l'enfant

# La croissance chez de l'enfant

- Maturation pulmonaire : progressive tout au long de la croissance
  - Multiplication alvéolaire rapide jusqu'à 4 ans, puis ralentit et s'arrête à 8 ans
- Tissu élastique : peu abondant à la naissance
- Développement complet atteint que vers 18 ans.

# Conséquences

- Résistances dynamiques à l'écoulement diminuent avec l'accroissement de la taille
- Résistances périphériques plus élevées → expiration plus longue que inspiration avant 7-8 ans..
- Travail Ventilatoire plus élevé que chez l'adulte pour un même effort.

# Hypoxie physiologique du jeune

- Echanges gazeux perturbés, une partie des alvéoles ventilées n'est pas perfusée
- → tachypnée relative
  - respiration plus superficielle à niveau métabolique identique

# Volume de fermeture

- Situé dans le volume courant avant 7 ans.
- Augmenté par la mise sous pression
  - Risque non négligeable de  
Surpression Pulmonaire

FIN

Je vous remercie de votre attention