

RESPIRATION 2

1- Muscles respiratoires

1-1- diaphragme

1-2- autres muscles

2- Plèvre

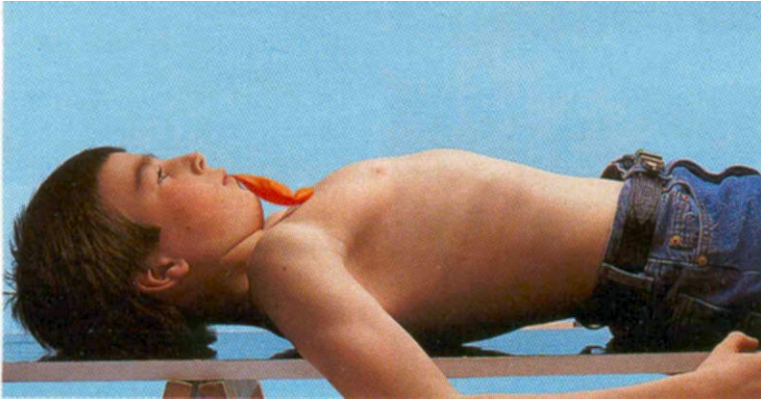
3- Mouvements respiratoires

4- Explorations de la fonction respiratoire

5- Echanges gazeux pulmonaires

MECANIQUE VENTILATOIRE

Les mouvements respiratoires

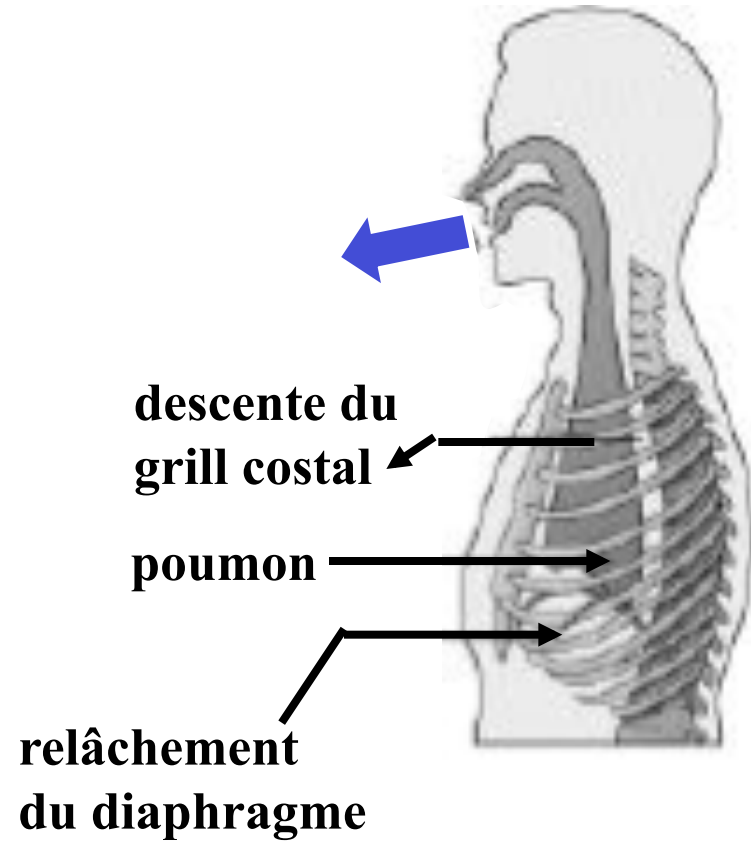
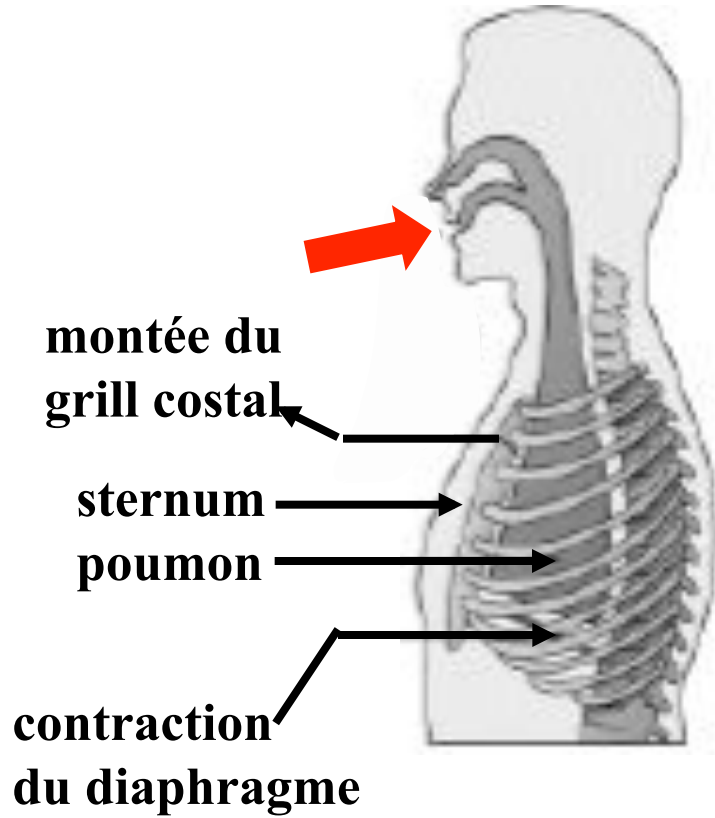


Pendant l'inspiration, le ballon se dégonfle, l'air entre dans les poumons, la cage thoracique s'élève.



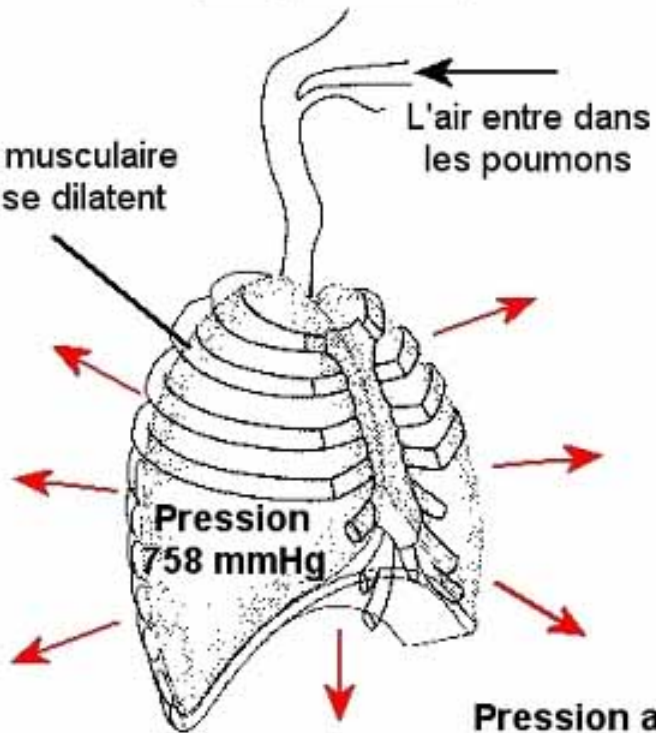
Pendant l'expiration, le ballon placé devant la bouche de cet enfant se gonfle, l'air sort des poumons, la cage thoracique s'abaisse.

Mouvements respiratoires



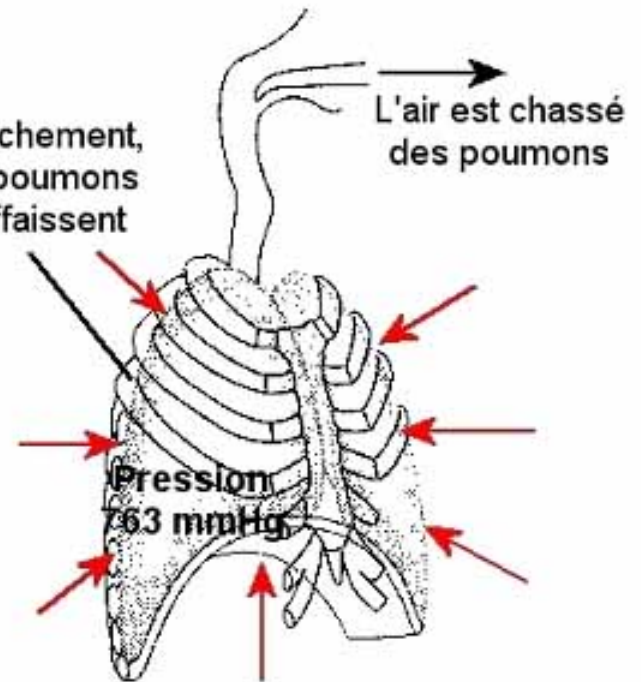
Inspiration

Contraction musculaire
Les parois se dilatent



Expiration

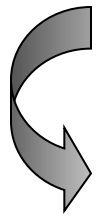
Relâchement,
les poumons
s'affaissent



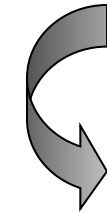
Mécanique ventilatoire

Ventilation pulmonaire : **inspiration et expiration**

Processus entièrement mécanique :



variations de volume



variations de pression

écoulement des gaz.

loi de Boyle-Mariotte

$$P1.V1 = P2.V2$$

Les muscles respiratoires

**Muscles inspiratoires
principaux:**

**Diaphragme +++
Intercostaux externes
Scalènes**

**Muscles inspiratoires
accessoires:**

**Sternocléïdomastoïdiens
Intercostaux externes**

Muscles expiratoires:

**Muscles de la paroi abdominale
Intercostaux internes**

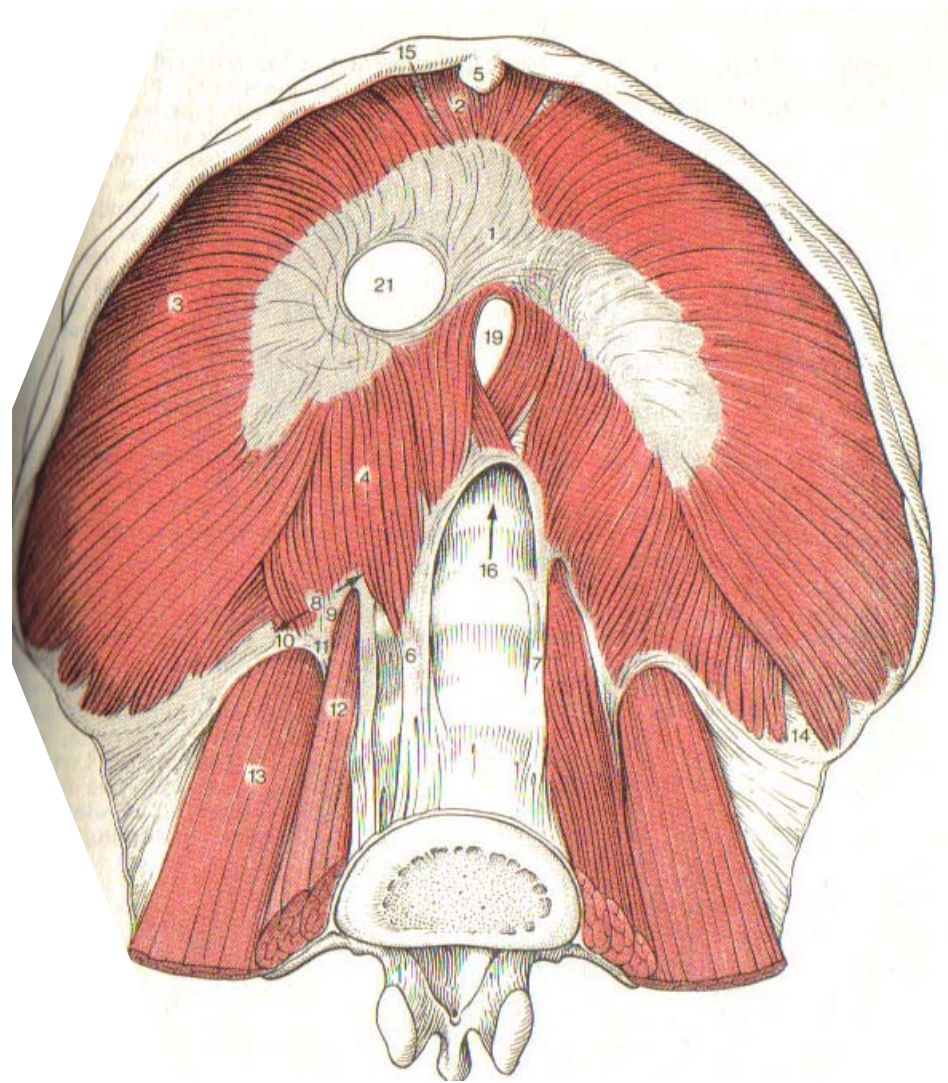
LE DIAPHRAGME

Ventiler = travail d'endurance

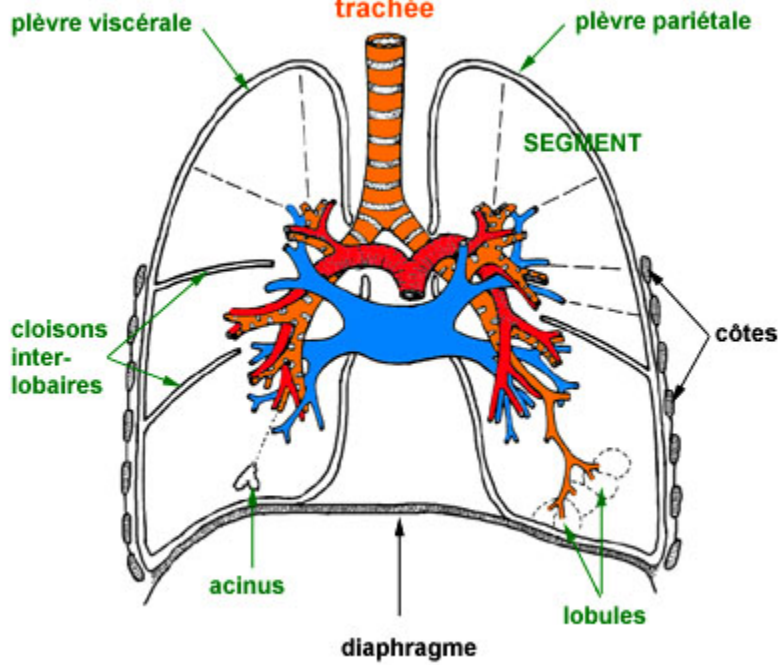
Chez l'adulte, la composition est pratiquement la suivante:

- 40% des fibres sont de type lent et oxydatif, très résistantes à la fatigue**
- 30% sont de type rapide et oxydatif-glycolytique, assez résistantes à la fatigue**
- 30% sont de type glycolytique, fatigables**

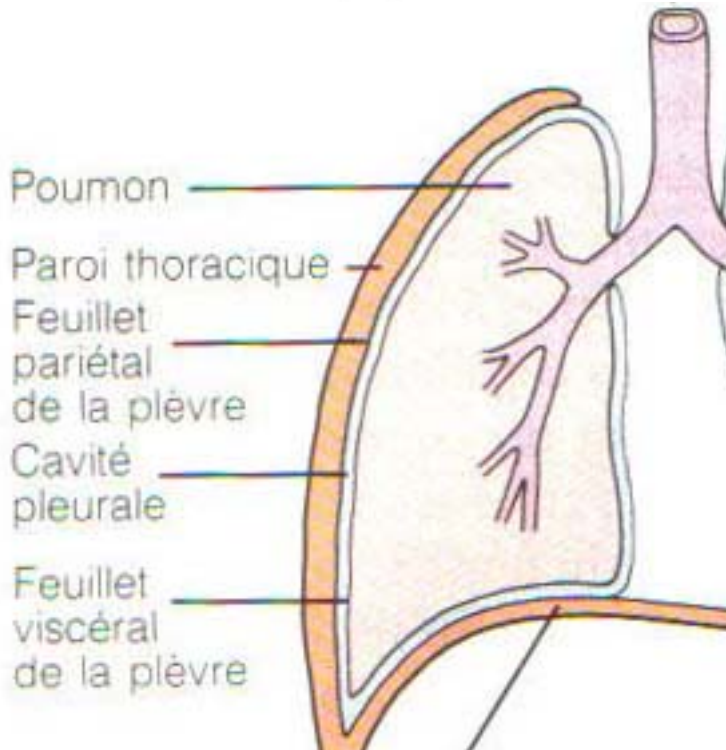
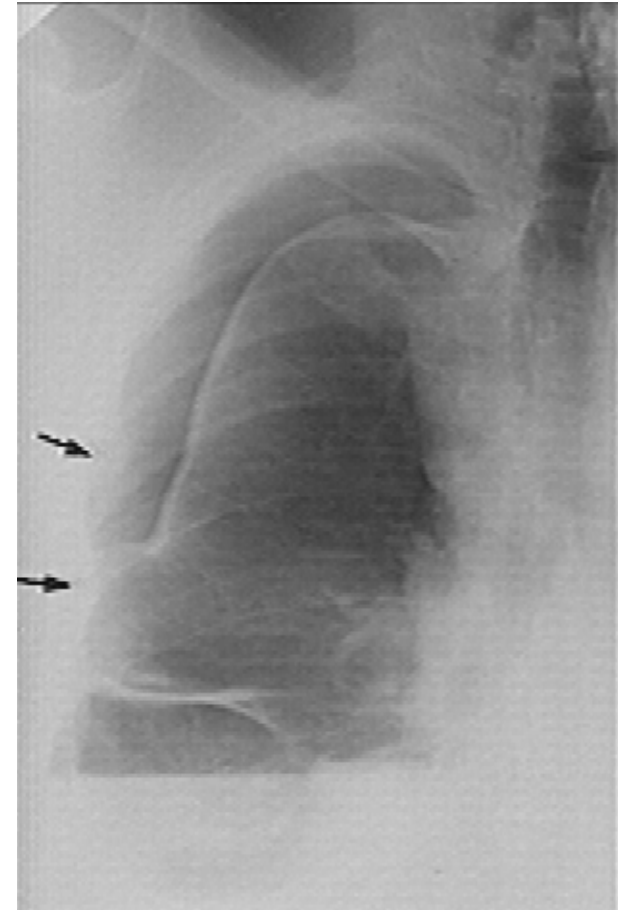
Muscle richement vascularisé



La surface du diaphragme est d' environ 300 à 400 cm². Quand il se contracte, il s' abaisse de 1 cm, le volume mobilisé est donc de 300 à 400 ml, ce qui représente la majeure partie du volume mobilisé au cours de l'inspiration normale de repos (500 ml).



LA PLEVRE



Hydro-Pneumothorax après ponction évacuatrice
Épaississement de la plèvre viscérale
et de la plèvre pariétale

La plèvre

séreuse formée de deux feuillets:

feuillelet pariétal

feuillelet viscéral

Séparés par la **cavité pleurale** contenant le

liquide pleural (liquide lubrifiant permettant le glissement des deux feuillets l'un sur l'autre en éliminant au maximum les frictions)

Altérations de la plèvre :

- Inflammation : pleurésie
 - ⇒ glissement des deux feuillets difficile
- Pneumothorax : décollement des deux feuillets
 - ⇒ Poumon se « dégonfle »

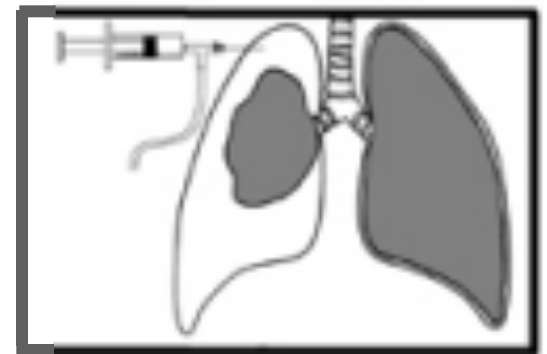
PNEUMOTHORAX



petit PNO: l' air est localisé entre le poumon et la paroi thoracique



grand PNO: une partie de l' air pousse le poumon et le coeur et le coeur



traitement d' un grand PNO: drainage par aspiration (vide)

Pression dans la cavité thoracique


les pressions inspiratoires sont toujours exprimées par rapport à la pression atmosphérique.

Exemple :

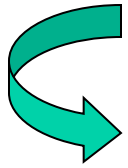
- **pression de - 4 mmHg**
- **inférieure de 4 mmHg à la pression atmosphérique**
- **$760 - 4 = 756$ mmHg**
- **Une pression respiratoire de 0 est égale à la pression atmosphérique.**

La pression **intra-alvéolaire** : s'équilibre toujours avec la pression atmosphérique.

La pression **intra-pleurale** : - 4 mmHg

- 
- **Pression négative** : poumon est tiré, maintenu dilaté.
 - Accroché à la cage thoracique
 - Mouvement cage thoracique : mouvement de l'air

Si la pression pleurale était positive



Poumon force sur la cage thoracique



Cycle respiratoire impossible

Inspiration = processus actif

= contraction des muscles inspiratoires

le **diaphragme** se contracte

↳ il s'abaisse

↳ la hauteur de la cage thoracique augmente
(1 cm x 500 cm² = 500 ml)

les **muscles intercostaux** se contractent :

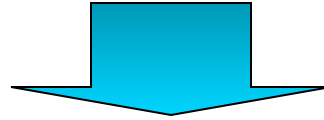
↳ élève la cage thoracique, pousse le sternum
en avant

↳ augmente le diamètre de la cage thoracique

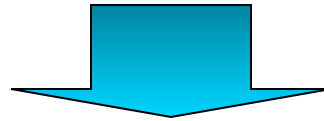


le volume de la cage thoracique augmente

l'augmentation du volume de la cage thoracique



↳ la pression alvéolaire diminue
($PV=cste$)



**l'air pénètre dans les
poumons**

Force motrice :

Muscles respiratoires

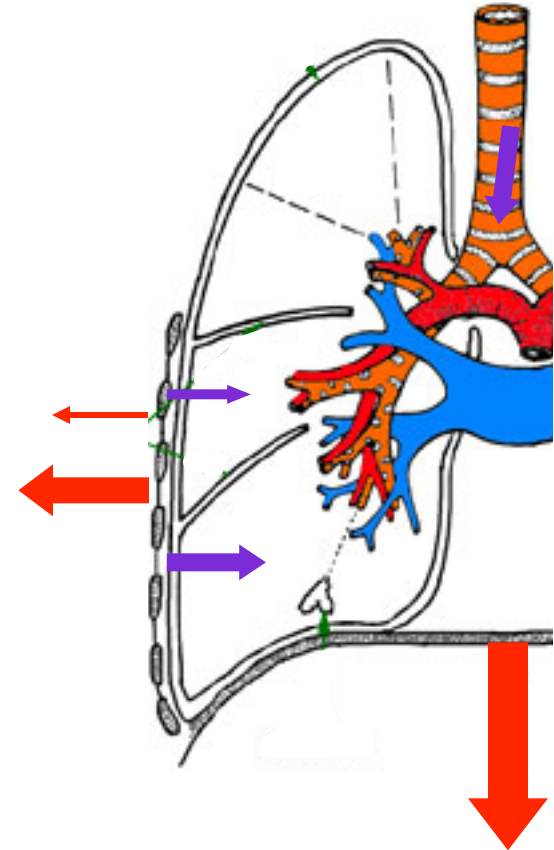
Forces résistantes :

Résistance des voies aériennes à l'écoulement de l'air

Élasticité du système

Inertie du système

(EP: élasticité paroi; Ep: élasticité poumon)



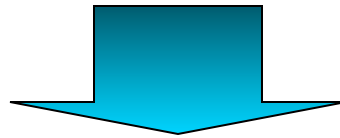
$$EP + FMI > Ep + RDVA + RVT$$

Fin inspir:
 $EP + FMI = Ep$
 $RDVA = RVT = 0$

Expiration = processus passif : relâchement des muscles respiratoires

Relâchement des muscles respiratoires:

- le système respiratoire revient sur lui-même
- volume de la cage thoracique diminue
- la pression augmente



l'air sort des poumons

Force motrice :

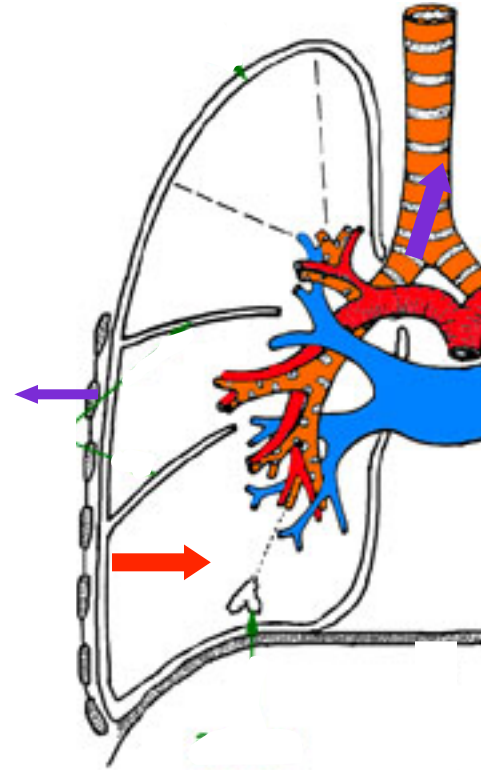
Élasticité du système
poumon-thorax

Forces résistantes :

Résistance des voies
aériennes à

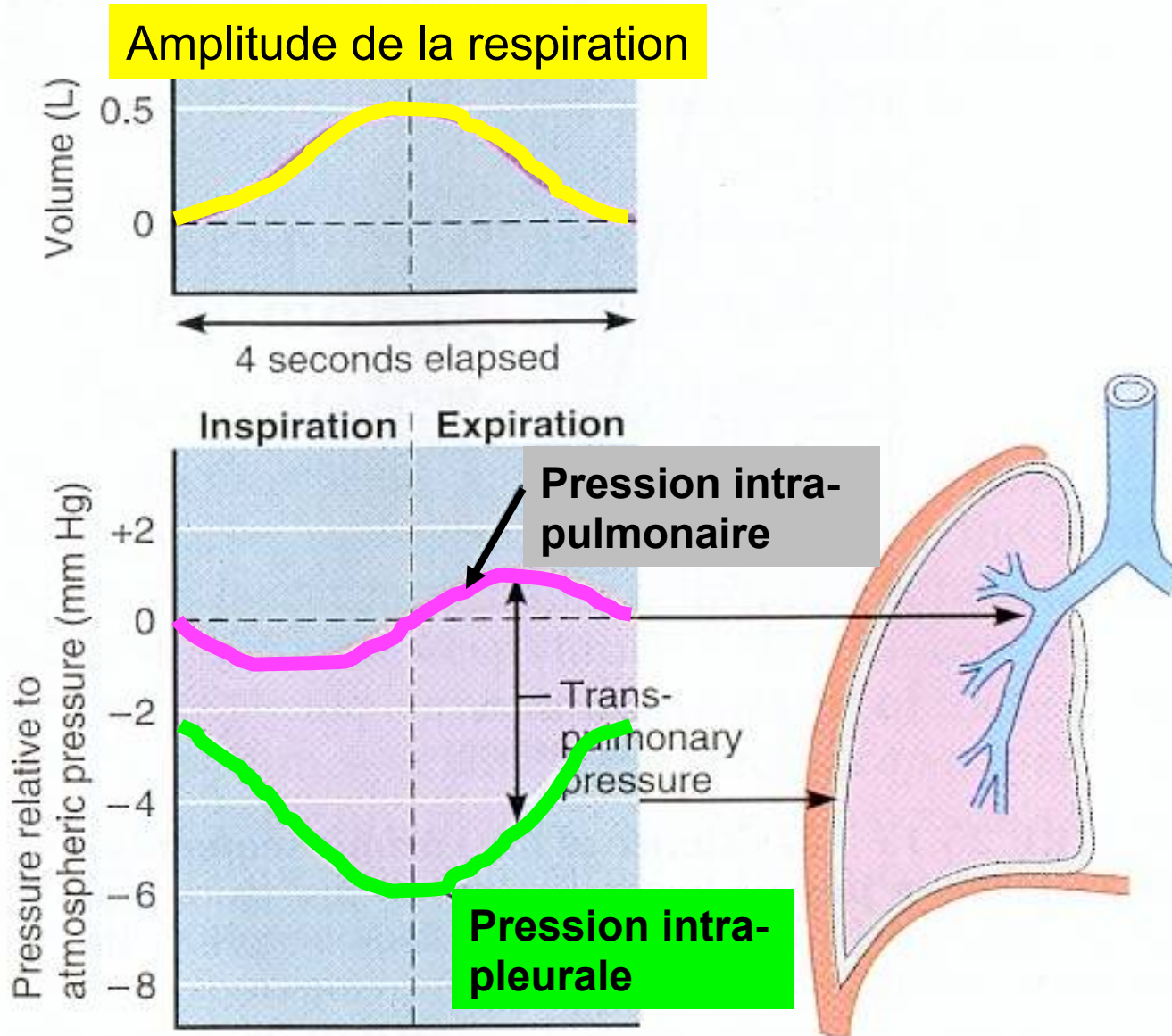
l'écoulement
de l'air

Inertie du système



$$E_p > R_{DVA} + R_{VT}$$

Variations de pression pendant la respiration



Explorations de la fonction respiratoire

Pourquoi ?

Faire un diagnostic

**Surveiller l' évolution de la
fonction respiratoire (croissance)**

**Evaluer l' efficacité d' un traitement
et/ou la compliance**

Dans quels cas ?

ASTHME ou équivalent +++

BPCO +++

Emphysème +++

DDB

Séquelles prématurité

Mucoviscidose

Dyskinésie ciliaire...

**Syndrome
OBSTRUCTIF
(± distension)**

Dans quels cas ?

Pneumopathie interstitielle
Lobectomie, Pneumonectomie
Maladies rhumatismales,
Maladies inflammatoires
Cardiopathies,
Traumatisme, PNO, Atélectasie
Maladies Neuromusculaires
Traitements oncologiques
Déformations thorax et/ou rachis
Obésité

**Syndrome
RESTRICTIF**

**Syndrome
MIXTE**

Quand ?

L' EFR doit effectuée à distance

↪ d' une crise d' asthme et d' un épisode infectieux

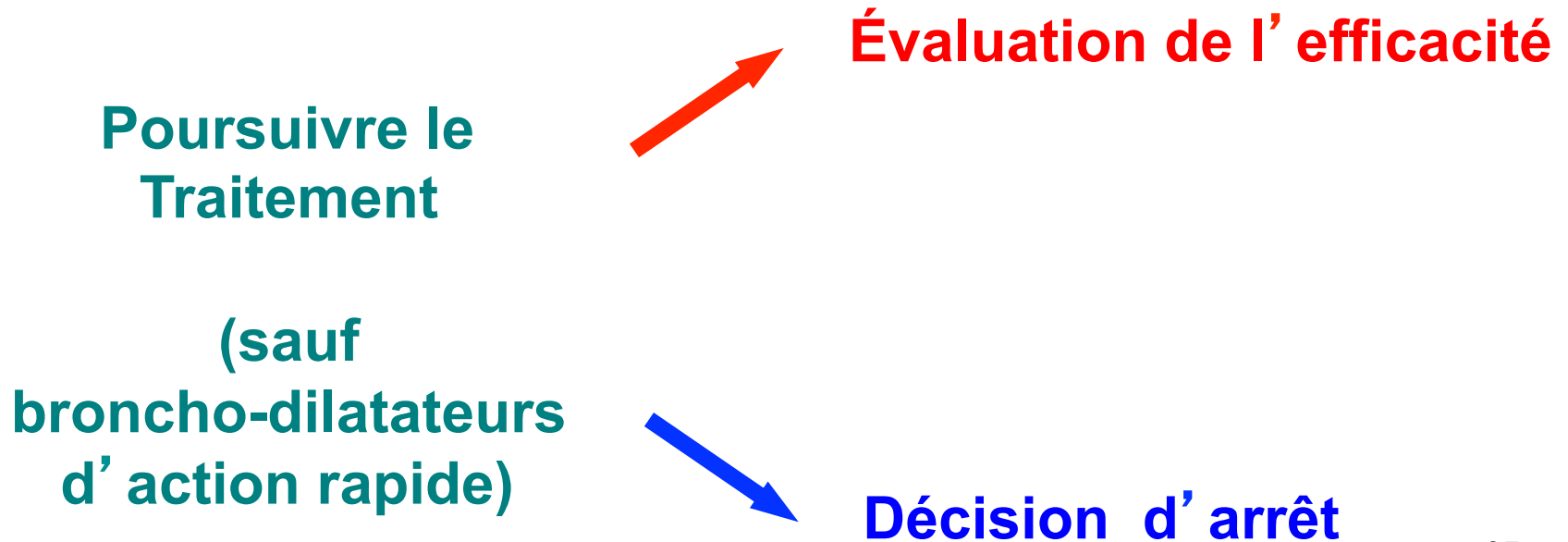
↪ d' une exposition à un antigène spécifique
à la fumée de cigarette



bilan initial

Arrêt des traitements

SUIVI du patient



Comment ?

SPIROMETRIE

DEP

PLETHYSMOGRAPHIE

COURBE D/V

RESISTANCES

**± BRONCHO-
PROVOCATION**



± REVERSIBILITE

**± EPREUVE
D'EFFORT**

GAZOMETRIE

Les valeurs mesurées sont comparées à des résultats théoriques selon l'âge, le sexe, la taille, le poids (la race ?)

Normalité: jusqu' à 80% des valeurs théoriques

Mesure du Débit Expiratoire de Pointe

= débit expiratoire maximum obtenu au cours d'une expiration forcée



↪ évalue l'état fonctionnel respiratoire

↪ apprécie la sévérité d'une crise

↪ apprécie l'efficacité d'un traitement

Mais → très effort-dépendant

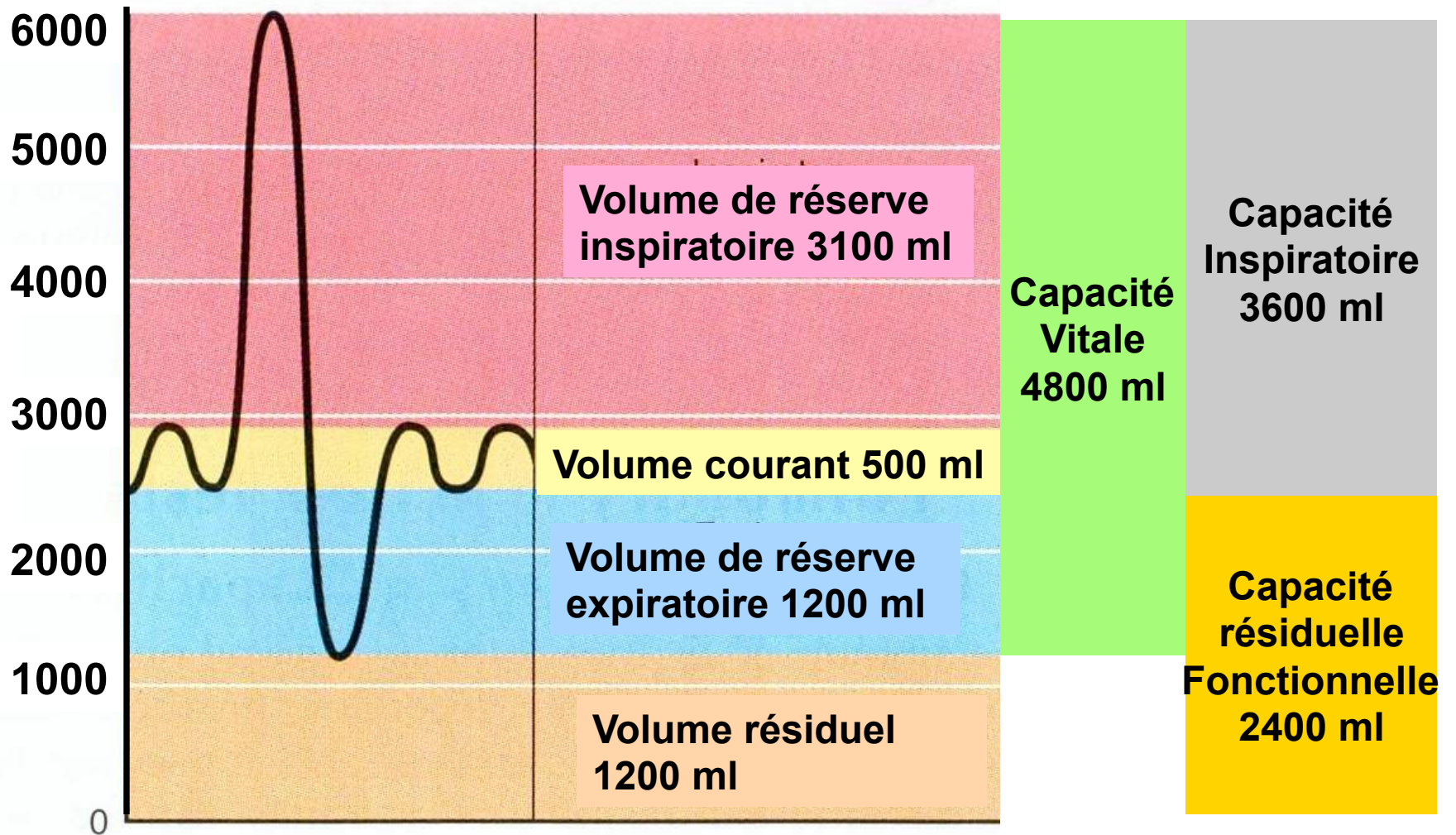
→ n'évalue que l'état des gros troncs bronchiques

Méthode de référence : spirométrie

Permet la mesure des volumes et débits respiratoires



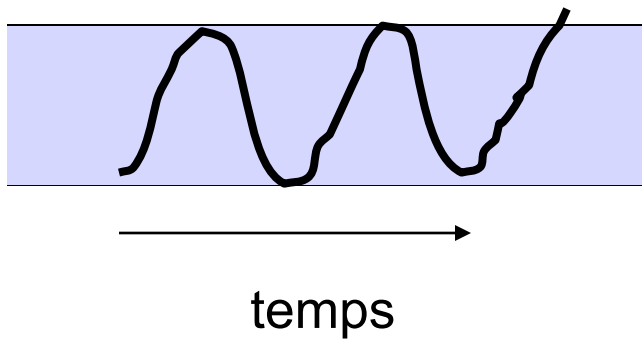
La courbe obtenue : temps/volume (millilitres)



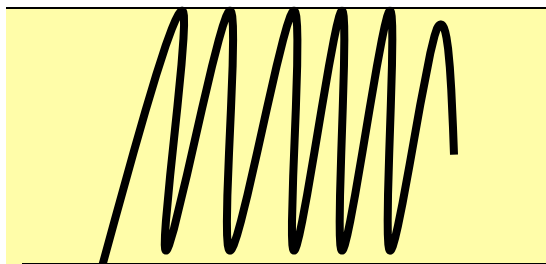
| | | |
|--|---------|---|
| Volume courant (V_C, V_T) | 500 ml | Quantité d'air inspirée ou expirée à chaque respiration au repos |
| Capacité vitale (CV) | 4800 ml | Quantité maximale d'air qui peut être expirée après un effort inspiratoire maximal |
| Volume de réserve inspiratoire (VRI) | 3100 ml | Quantité d'air qui peut être inspirée avec un effort après une inspiration courante |
| Volume de réserve expiratoire (VRE) | 1200 ml | Quantité d'air qui peut être expirée avec un effort après une expiration courante |
| Volume résiduel (VR) | 1200 ml | Quantité d'air qui reste dans les poumons après une expiration forcée |

| | | |
|---|---------|--|
| Capacité inspiratoire (CI) | 3600 ml | Quantité maximale d'air qui peut être inspirée après une expiration normale $CI = V_c + V_{RI}$ |
| Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) | 2400 ml | Volume d'air qui reste dans les poumons après une expiration courante : $CRF = V_R + V_{RE}$ |
| Capacité pulmonaire totale (CPT) | 6000 ml | Quantité maximale d'air contenue dans les poumons après une inspiration maximale : $CPT = V_C + V_{RI} + V_{RE} + V_R$ |

repos



exercice



↗ Vc et ↗ FR

La ventilation

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

Homme adulte repos:

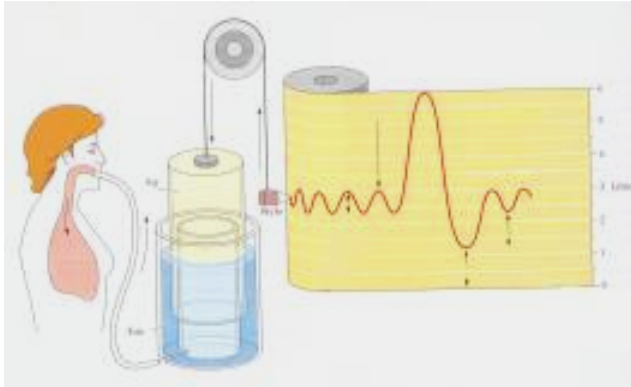
$$V_E = 0,5 \times 12 = 6 \text{ l.min}^{-1}$$

Homme adulte exercice:

$$V_E = 1,5 \times 30 = 45 \text{ l.min}^{-1}$$

$$V_{E\max} = 140 \text{ l.min}^{-1}$$

La SPIROMETRIE



Syndrome obstructif ?

Paramètres dynamiques

- ventilation/min
- CVF
- VEMS et VEMS/CV
- DEMM25/75

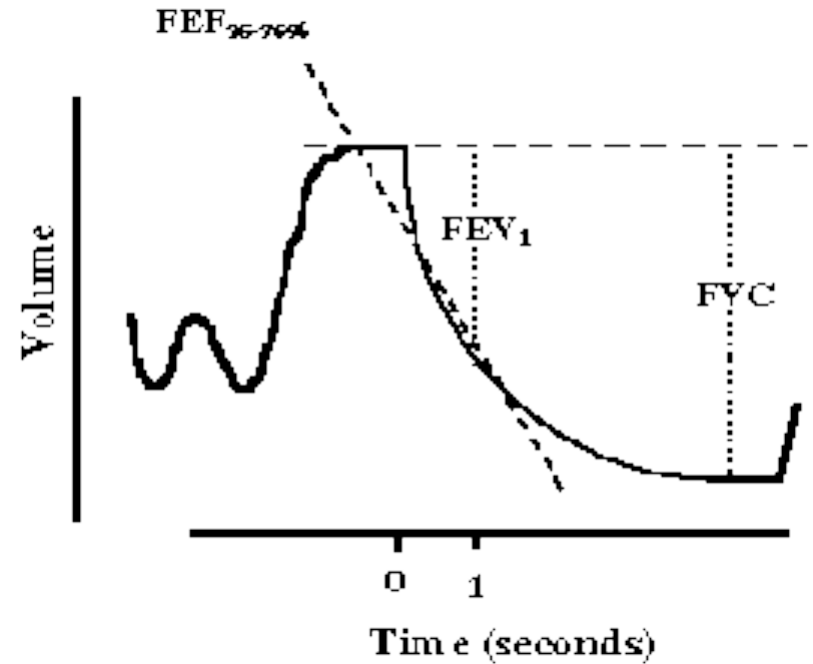
obstruction bronchique ?

VEMS

VEMS/CV

DEM25/75

comparés à des
valeurs théoriques
selon age, poids,
taille



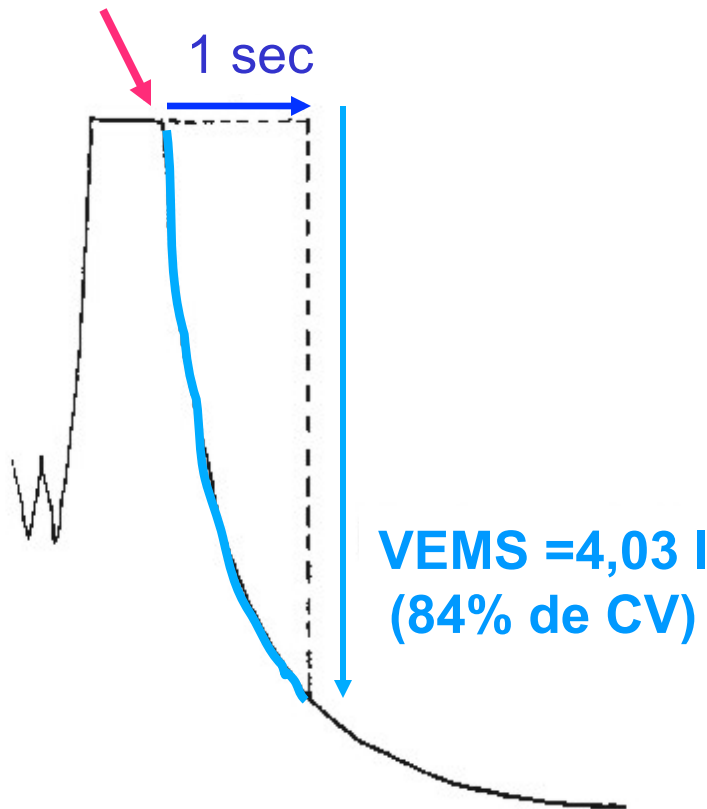
Si DEM25/75 \searrow 15-20% : obstruction des
bronches

périphériques

Si débits expiratoires \searrow 15-20% : obstructif

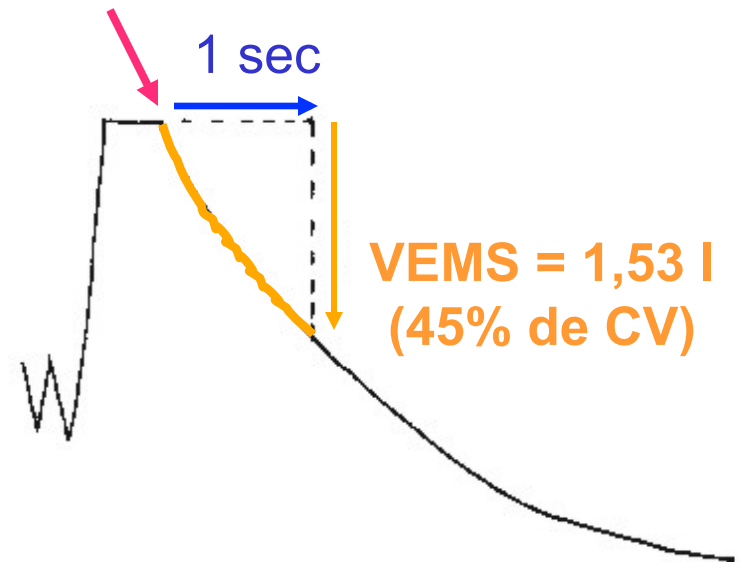
VEMS : volume maximal expiré pendant la première seconde d'une expiration forcée

Début de l'expiration



Normal

Début de l'expiration

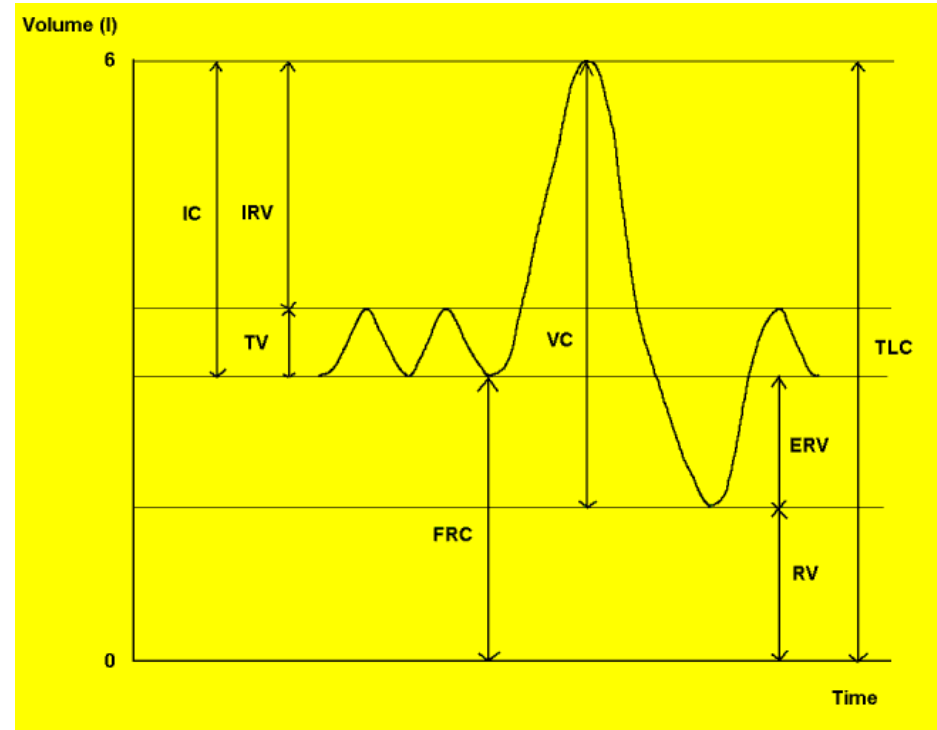


Obstruction (asthme)

restriction ?

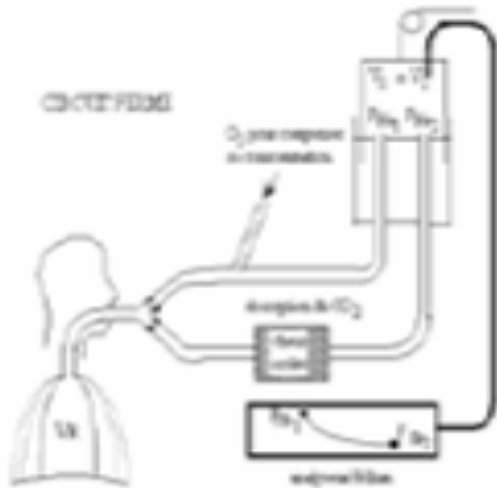
Paramètres statiques

- volume courant
- volume résiduel
- capacité vitale lente
- capacité résiduelle fonctionnelle (He)



CRF ↗ 20% : signe de distension alvéolaire

Evaluation du volume résiduel



Le sujet est connecté à un spiromètre de volume V_{SPIR} connu contenant une concentration connue d'He, à la fin d'une expiration normale (CRF= VR + VRE)

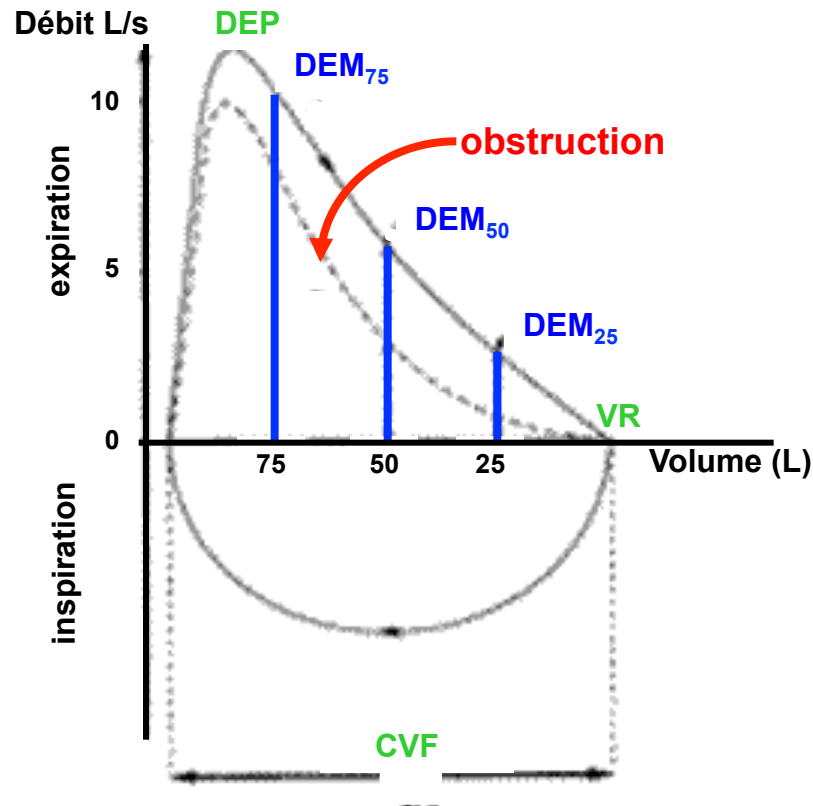
$$V_{SPIR} \cdot C1 = Vx \cdot C2$$

$$Vx = VR + VRE$$

$$VR = \frac{V_{SPIR} \cdot C1}{C2} - VRE$$

Courbe DEBIT / VOLUME

Forme +++



Si débits expiratoires \searrow 15-20% : \$ obstructif

Si DEM₂₅ , DEM₅₀ \searrow 15-20% : obstruction des bronches distales

La PLETHYSMOGRAPHIE



↳ Spirométrie

↳ Volume Gazeux Thoracique

↳ Résistances des Voies
aériennes (Raw)

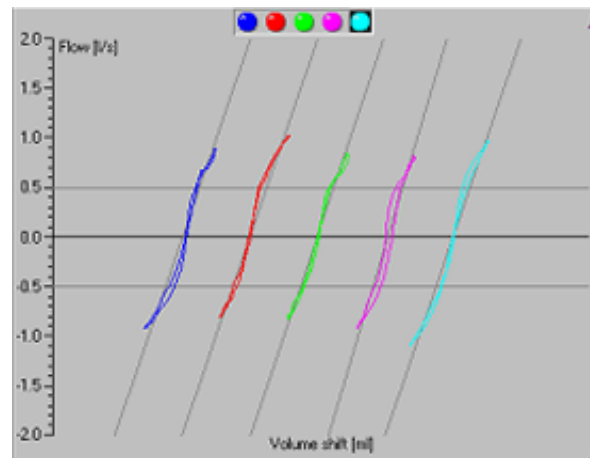


Résistances des voies aériennes mesurées par pléthysmographie

Résistance = rapport entre une variation de
pression et un débit

$$R = \Delta P / \dot{V}$$

À t° constante, selon la loi $PV=cste$, la variation de volume pulmonaire
se mesure à partir de la variation de pression dans la cabine



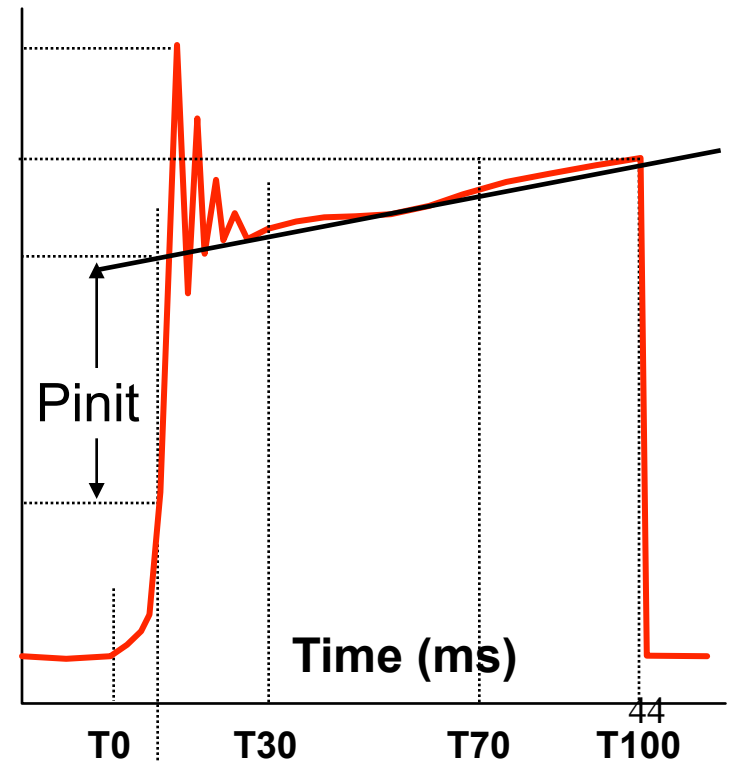
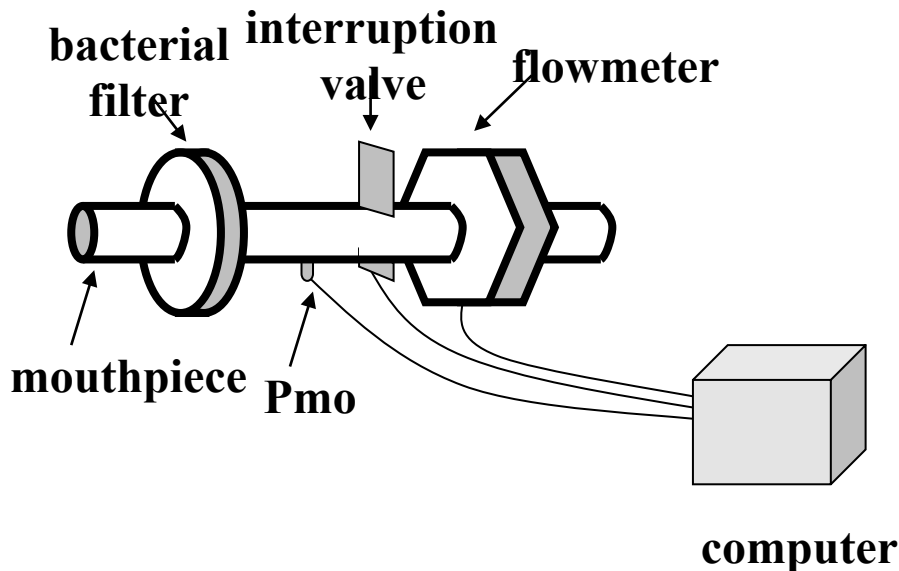
Résistances du système respiratoire

Par interruption de débit

Lors d'une occlusion brève, la pression alvéolaire s'équilibre rapidement avec la pression buccale

Occlusion de 100 ms

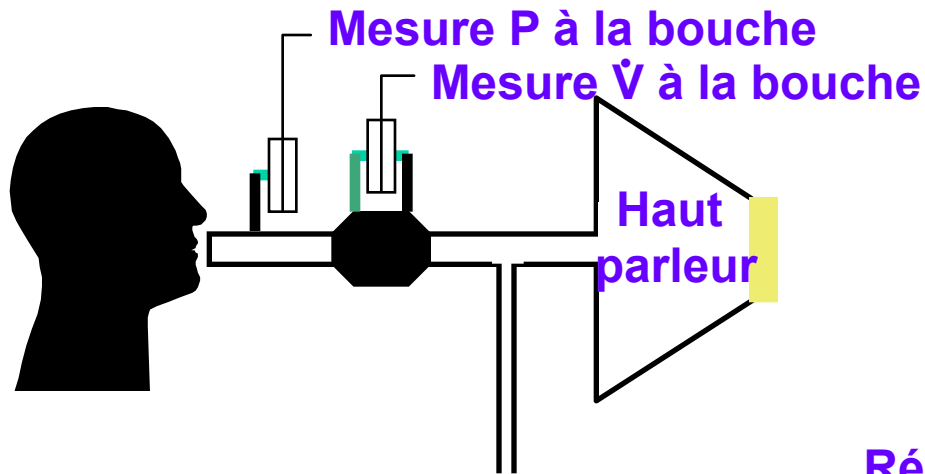
≠ algorithmes proposés selon le moment où la pression alvéolaire est mesurée



Résistances du système respiratoire

Par oscillations forcées

Application de faibles variations de pression sinusoïdales au système respiratoire à l'aide d'un générateur externe et mesure de variations de débit ; fréquences de 4 à 50 Hz

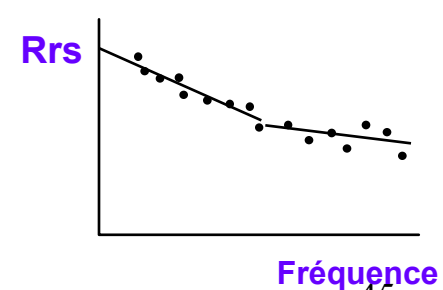
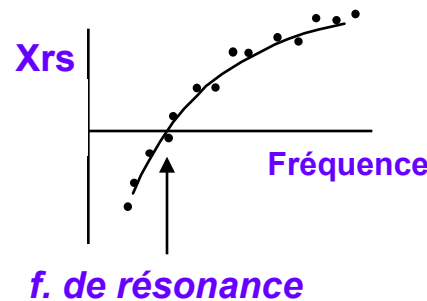
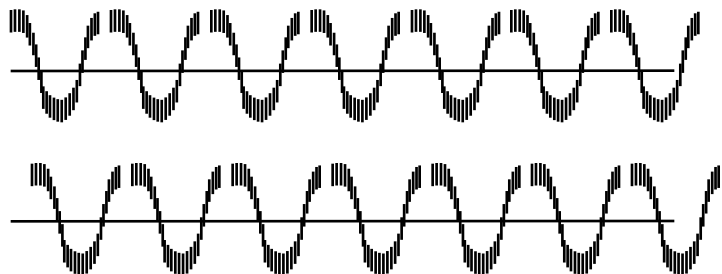


Analyse de Fourier
Pour chaque fréquence
relation P- \dot{V}

déphasée en phase

Réactance

Résistance





Ces examens permettent de diagnostiquer:

-Un syndrome restrictif



**réduction des paramètres statiques
(volumes)**

-Un syndrome obstructif

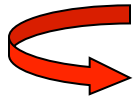


**réduction des paramètres dynamiques
(débits)**

-Un syndrome mixte

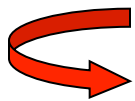
-Sujet normal

En cas d'obstruction:



utilisation d'un bronchodilatateur = test de réversibilité

En cas de résultats normaux mais de signes cliniques évocateurs d'une maladie asthmatique



utilisation d'un bronchoconstricteur = test de bronchoprovocation

TESTS DE REVERSIBILITE = BRONCHODILATATION

En cas de \searrow de 15 à 20% des débits expiratoires
 \nearrow de 50% des résistances

B2-stimulants :

* Salbutamol

* Terbutaline

Anticholinergiques:

* Bromure d'ipratropium

200 μ g Salbutamol

500 μ g Terbutaline

250 μ g Brom. Ipratropium

Mesures à 5, 10, 15 min

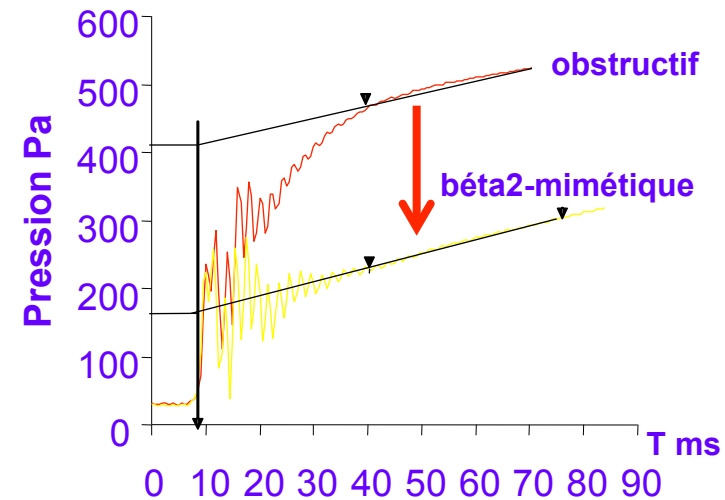
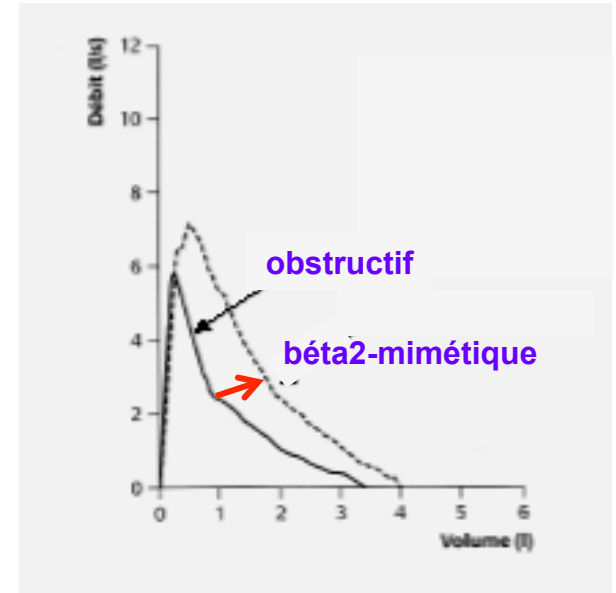


TESTS DE REVERSIBILITE = BRONCHODILATATION

↪ Réversibilité (partielle, complète) si :

↗ de 12-15% des débits expiratoires

↘ de 40-50% des résistances



TESTS DE BRONCHOPROVOCATION = HRB

Si résultats ventilatoires normaux
mais clinique évocatrice

Aspécifiques, Pharmacologiques



Métacholine (Carbachol)

Inhalation de doses croissantes de Métacholine (de 25 μg à 1500 μg)

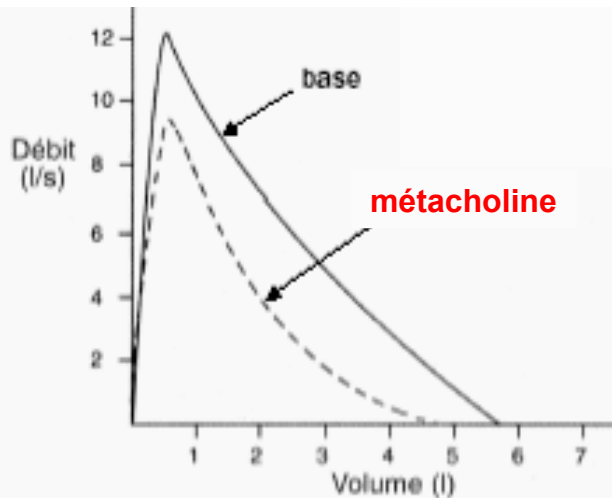
Mesure, après 3 min,

- ↪ soit du VEMS
- ↪ soit des Résistances
- ↪ (\pm PtcO₂)

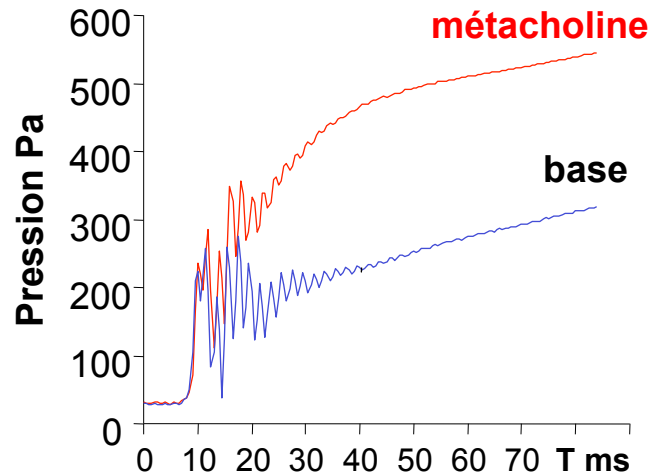
TESTS DE BRONCHOPROVOCATION = HRB

HRB Cholinergique si :

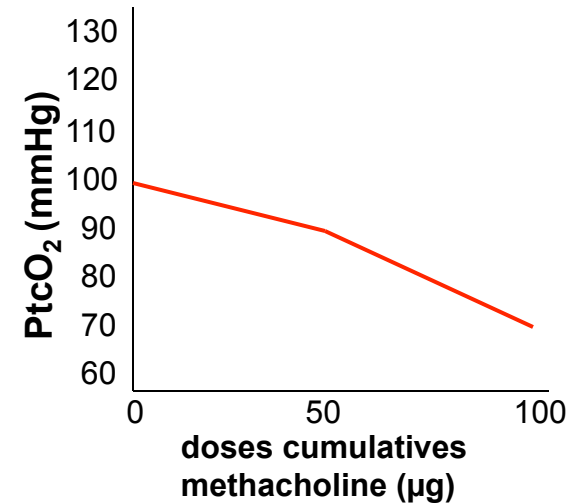
VEMS \searrow 20%



Résistances \nearrow 50%



PtcO₂ \searrow 20%



TESTS DE BRONCHOPROVOCATION = HRB

Lorsque ces seuils sont atteints:

- ↪ arrêt du test
- ↪ inhalation d' un bronchodilatateur
- ↪ contrôle du retour à la normale des paramètres

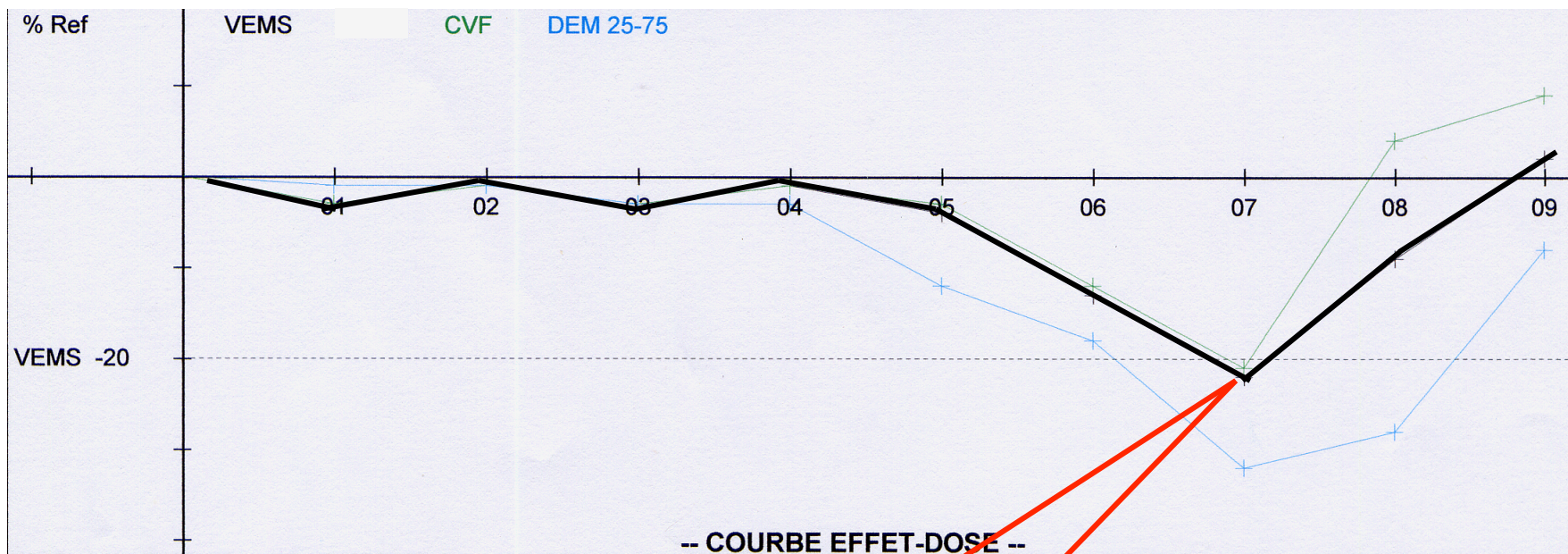


Durée du test : imprévisible

+ la dose provoquant

la \searrow de 20% du VEMS et/ou de $PtcO_2$
ou l' \nearrow de 50% des résistances

est faible + l' HRB est sévère



| Index | ATS | Nom du produit : | Dose : | Heure | VEMS | Rint | CVF | DEM 25-75 |
|-------|-------|------------------|-----------|-------|------|------|------|-----------|
| Ref | v 3.4 | | | 09:48 | 1.17 | | 1.17 | 2.04 |
| 01 | | | | 09:47 | 1.13 | -3 | 1.13 | 2.02 |
| 02 | v 1.6 | Métacholine | 25.00 µg | 09:51 | 1.16 | -1 | 1.16 | 2.01 |
| 03 | | Métacholine | 25.00 µg | 09:56 | 1.14 | -3 | 1.14 | 1.98 |
| 04 | v 0.0 | Métacholine | 75 µg | 10:04 | 1.16 | -1 | 1.16 | 1.98 |
| 05 | v 0.0 | Métacholine | 200 µg | 10:10 | 1.12 | -4 | 1.13 | 1.80 |
| 06 | v 0.0 | Métacholine | 400 µg | 10:15 | 1.02 | -13 | 1.03 | 1.67 |
| 07 | v 0.0 | Métacholine | 800 µg | 10:19 | 0.91 | -22 | 0.92 | 1.39 |
| 08 | v 0.0 | Ventoline | 200.00 µg | 10:32 | 1.07 | -9 | 1.22 | 1.47 |
| 09 | v 0.0 | Ventoline | 400 µg | 10:43 | 1.19 | +2 | 1.27 | 1.87 |

PD20 = 800 µg Metacholine

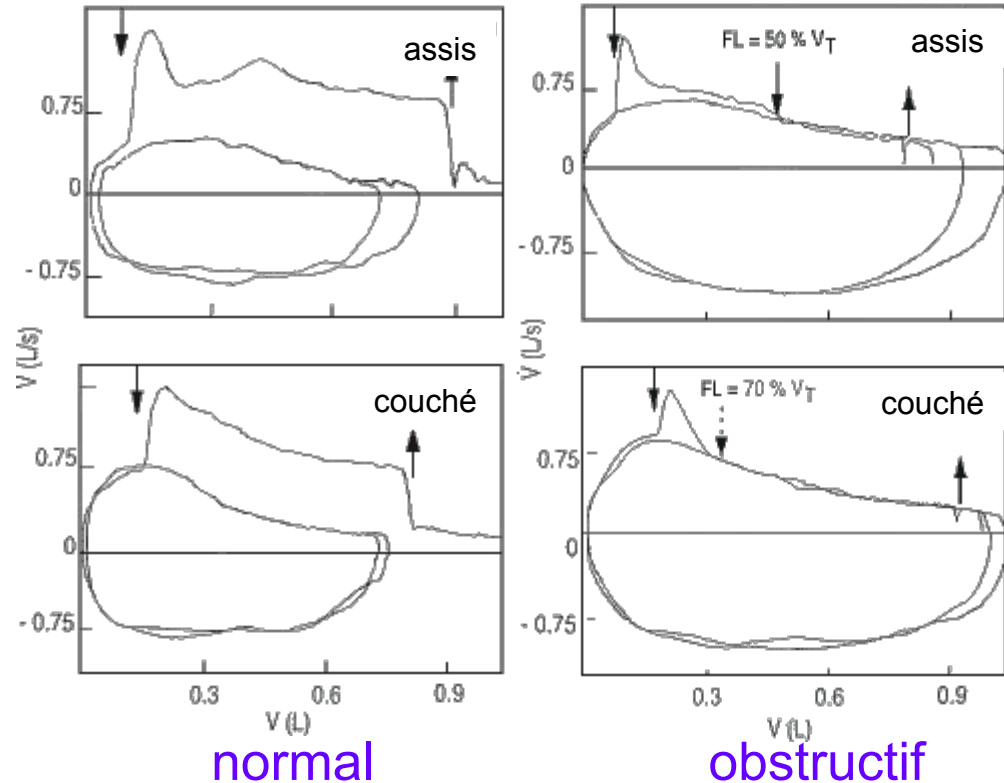
Réversibilité après 400 µg Salbutamol et ≈ 20 min.



Tous les tests de provocation doivent toujours se faire en milieu hospitalier

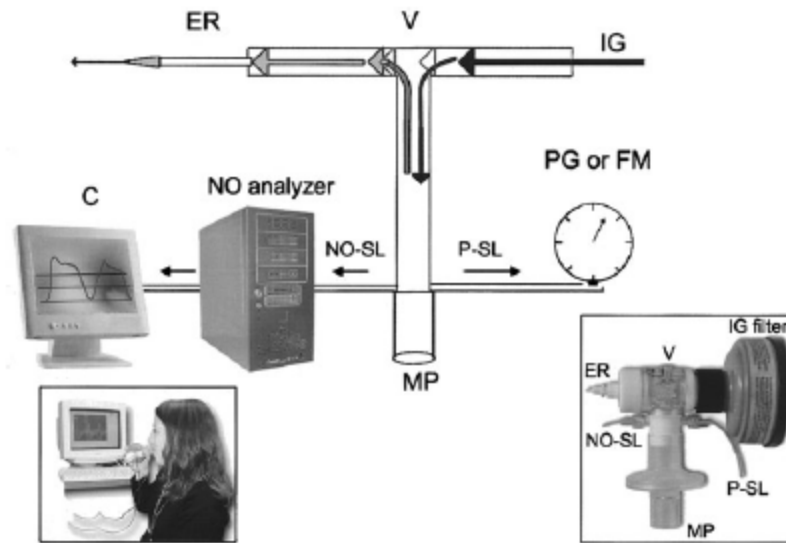
NEP

Negative Expiratory Pressure



On applique une pression négative à la bouche pendant l'expiration normale et on compare les tracés (+++ BPCO, Dyspnée)

MESURE DU NO EXPIRE



Pléthysmographie du nourrisson



Gazométrie artérielle

Si les résultats ventilatoires sont trop perturbés



(Rare, chez l'enfant)

Caractéristiques de l'air alvéolaire

L' air alvéolaire

Propriétés des gaz

1ère lettre

P : pression

V : volume

\dot{V} : débits

F : fraction

2ème lettre : indique le lieu

A : alvéole

a : sang artériel

V : sang veineux

I : air inspiré

ex: PAO_2 : pression partielle de l'oxygène dans l'air alvéolaire

L'air alvéolaire

Loi de Dalton

1) La pression totale exercée par un mélange de gaz = somme des pressions exercées par chacun des constituants.

$$P = PO_2 + PCO_2 + PN + PH_2O$$

2) La pression partielle de chaque gaz, est directement proportionnelle à la fraction du gaz dans le mélange.

Exemple :

-au niveau de la mer :

$$P_{\text{atmos}} = 760 \text{ mmHg.}$$

$$F_{\text{airO}_2} = 20,9 \% = 0,209$$

$$P_{\text{airO}_2} = F_{\text{airO}_2} \times P_{\text{atmos}}$$

$$**P_{\text{airO}_2} = 0,209 \times 760 = 159 \text{ mmHg}**$$

-en altitude, 8600 m :

$$P_{\text{atmos}} = 245 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{airO}_2} = 245 \times 0,209 = **51,3** \text{ mmHg}$$

Loi de Henry

Passage d'un gaz entre deux compartiments :
du milieu où le gaz a la plus forte pression partielle vers le compartiment où il a la plus faible pression partielle.

Les échanges gazeux entre le milieu alvéolaire et le milieu sanguin se font en fonction des pressions partielles des différents gaz présents.

Composition des gaz dans les voies aériennes supérieures

Dans les voies aériennes, l'air inspiré est saturé en vapeur d'eau :

$$P_{IO_2} = F_{IO_2} \times (P_{atm} - P_{H_2O})$$

P_{H_2O} estimé à 42 mmHg

$$P_{IO_2} = 0,209 \times (760 - 42) = \mathbf{150} \text{ mmHg}$$

P_{IO_2} : pression partielle de l'oxygène dans l'air inspiré

Composition des gaz alvéolaires

$PAO_2 < PIO_2$ pourquoi ?

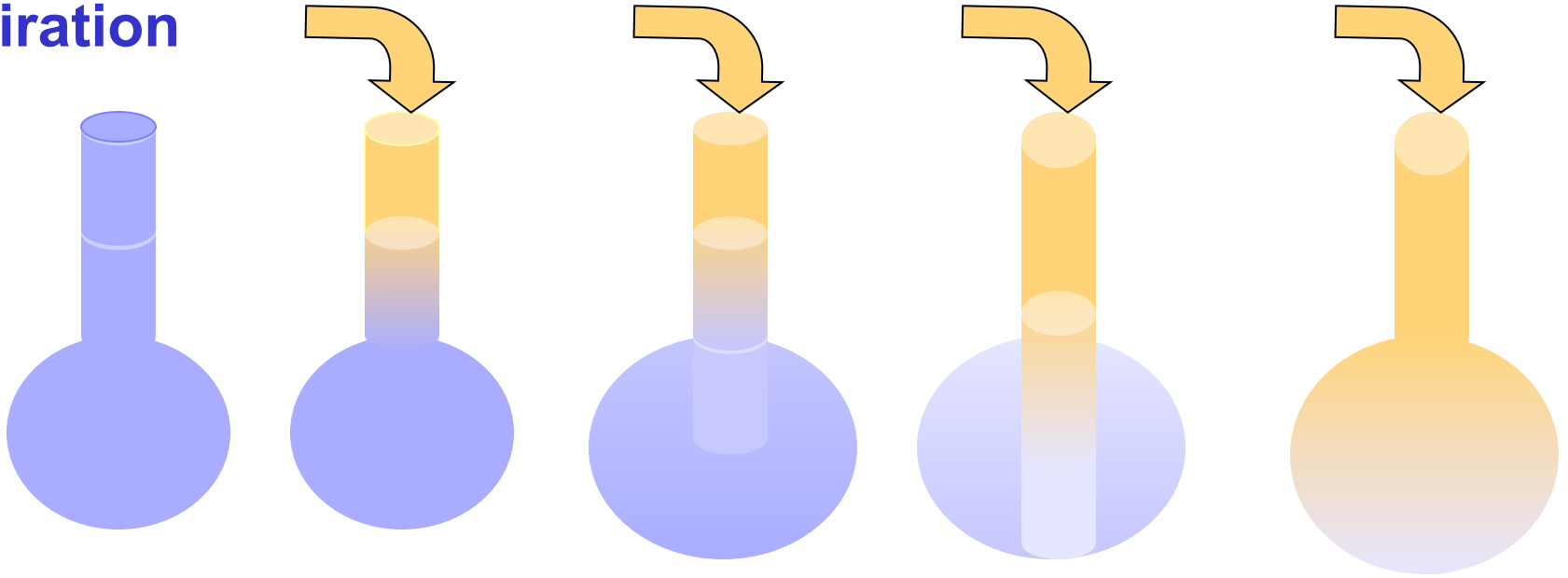
A cause de l'air qui reste piégé dans la zone de conduction (Volume = 150 ml chez l'adulte) du poumon à la fin d'une expiration = espace-mort

$PAO_2 = 110$ mmHg

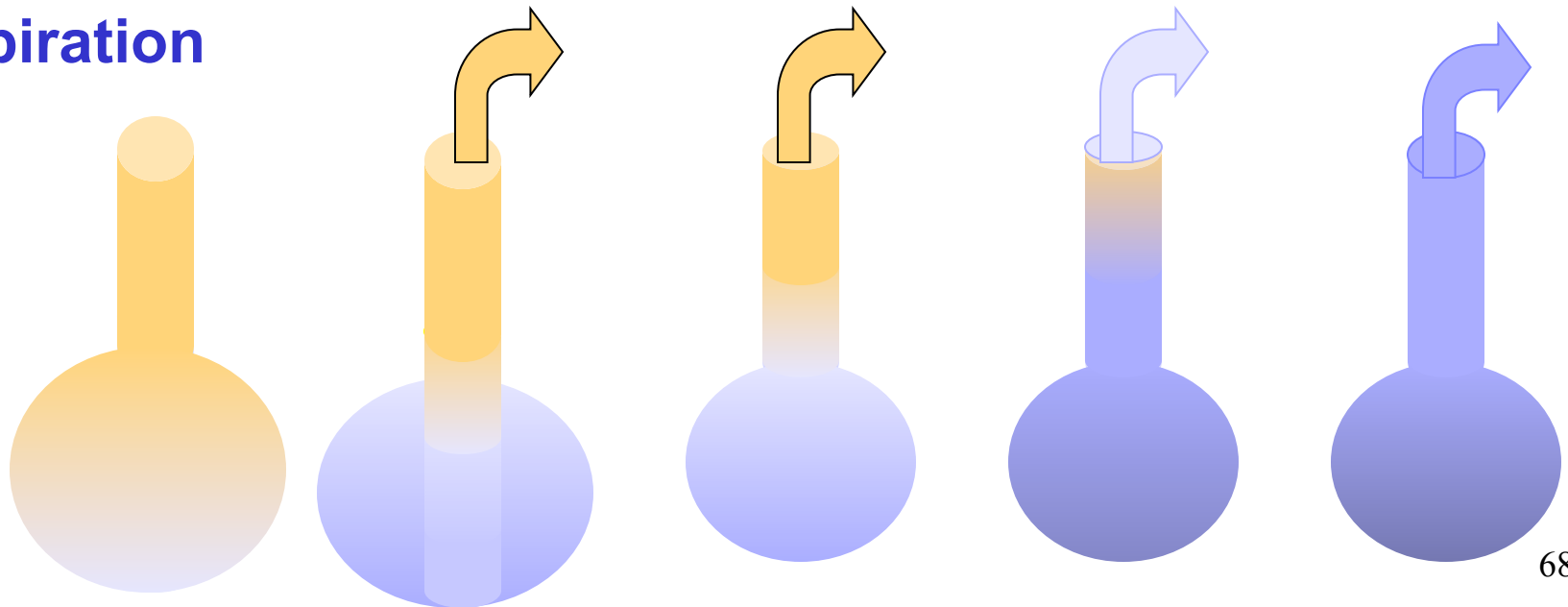
$PACO_2 = 40$ mmHg

Composition des gaz alvéolaires

Inspiration



Expiration



Importance de la ventilation alvéolaire



façon dont les alvéoles sont ventilées

$$\dot{V} = V_T \times fr$$

$$\dot{V}_1 = 0,6 \times 10 = 6 \text{ l/min}$$

$$\dot{V}_2 = 0,2 \times 30 = 6 \text{ l/min}$$

$$\dot{V}_A = (\dot{V} - V_D) \times fr \quad V_D : \text{volume de l'espace mort} = 0,15 \text{ ml}$$

$$\dot{V}_{A1} = (0,6 - 0,15) \times 10 = 4,5 \text{ l/min}$$

$$\dot{V}_{A2} = (0,2 - 0,15) \times 30 = 1,5 \text{ l/min}$$

\dot{V} est la même, mais pas la \dot{V}_A

Données **indispensables** à savoir

Diapos: 5-7
11, 14
16-21
31-34
37,39, 40, 48
65, 69

Le reste est à connaître aussi....!!