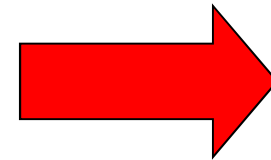
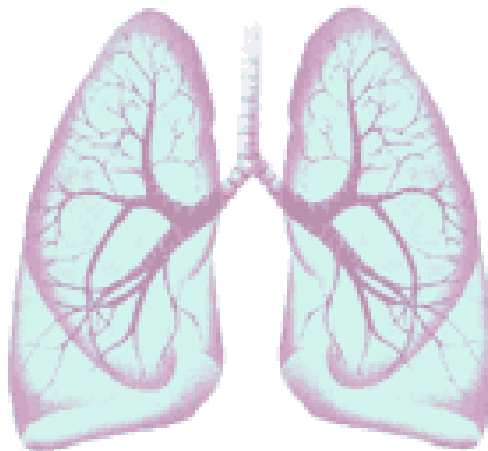
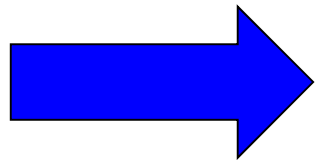


**RAPPELS DES LOIS PHYSIQUES
SE RAPPORTANT A LA VENTILATION
ET AUX ECHANGES GAZEUX**

L'air atmosphérique est composé de 3 gaz principaux :

- l'azote (aucune influence sur la respiration)**
- 21 % d'O₂**
- 0,03% de CO₂**



Sang désoxygéné :

- 54% de CO₂**
- 14% d'O₂**
- autres gaz**

Sang oxygéné :

- 20% d'O₂**

Physique des gaz

Propriétés physiques des gaz:

- ils exercent une pression
- mouvements continus de leurs molécules
- rôle important de la température
- forces d'attraction entre les molécules (nulles pour les gaz et importantes pour les liquides)

Ils sont régis par certaines lois physiques

↳ La pression totale d'un mélange de gaz est la somme des pressions de chacun des gaz (loi de Dalton)

En air sec, pour une pression atmosphérique de 760 mmHg:

78% de la pression totale sont dus à N_2
21% « O_2

La pression partielle d'un gaz atmosphérique =
 $P_{atm} \times \% \text{ du gaz dans l'atmosphère}$

Mais, les pressions partielles des gaz dans l'air diffèrent en fonction de la quantité de vapeur d'eau dans l'air car la pression de cette vapeur d'eau diminue la contribution relative des autres gaz

les pressions partielles des gaz dans l'air

Gaz et son % dans l'air	P en air sec à 25°C	P en air à 25°C et 100% d'humidité	P en air à 37°C et 100% d'humidité
Azote 78%	593 mmHg	574 mmHg	556 mmHg
Oxygène 21%	160 mmHg	155 mmHg	150 mmHg
Gaz carbonique 0,033%	0,25 mmHg	0,24 mmHg	0,235 mmHg
Vapeur d'eau	0 mmHg	24 mmHg	47 mmHg

↪ Les gaz, seuls ou en mélange, se déplacent des zones de haute pression vers les zones de basse pression

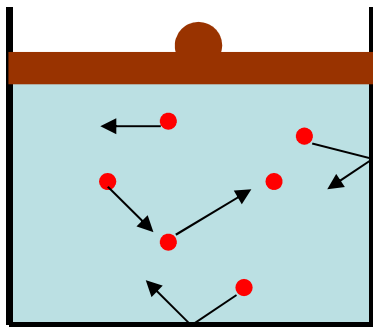
C'est ainsi que l'oxygène se déplace des zones de haute pression (= alvéoles) vers les zones de basse pression (capillaires)

Et vice versa pour le CO₂

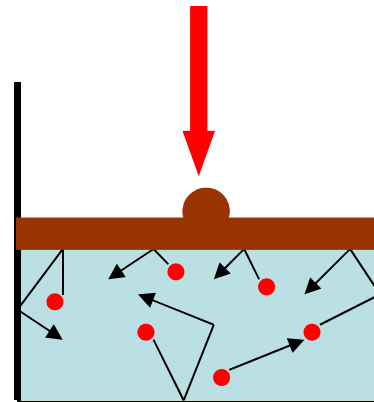
↪ Si le volume d'un récipient contenant un gaz change, la pression du gaz changera en sens inverse (loi de Boyle)

La pression exercée par un mélange gazeux dans un réservoir clos est créée par les collisions des molécules entre elles et contre les parois du réservoir. Si la taille du réservoir \diamond , les collisions deviennent plus fréquentes et la pression \Rightarrow

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



$$V_1 = 1,0 \text{ L}$$
$$P_1 = 100 \text{ mmHg}$$



$$V_2 = 0,5 \text{ L}$$
$$P_2 = 200 \text{ mmHg}$$

Dans le système respiratoire:

↳ quand le volume thoracique \Rightarrow (inspiration), la pression alvéolaire \diamond et l'air s'écoule dans le système respiratoire

↳ quand le volume thoracique \diamond (expiration), la pression alvéolaire \Rightarrow et l'air s'écoule vers l'atmosphère

VENTILATION

En physiologie, les volumes respiratoires peuvent être mesurés sous 3 conditions:

- **STPD** (standard temperature and pressure dry) soit à 0°C, et 101,3 kPa, le gaz étant sec
- **BTPS** (body temperature and pressure saturated) soit à 37°C, et à la pression ambiante, le gaz étant saturé d'eau à 37°C
- **ATPS** (ambient temperature and pressure saturated) soit à la température et à la pression ambiante, le gaz étant saturé d'eau à la température ambiante

Les mesures de la fonction respiratoire sont généralement effectuées en ATPS (Température et pression ambiante, saturé) et on les convertit en BTPS (Température et pression corporelle, saturé) et plus rarement en STPD (Température et pression standard, sec), grâce à des formules qui tiennent compte de la t° et de la pression

Ex: à t = 15°C et P = 101,3 kPa

$$V_{\text{BTPS}} = 1,128 V_{\text{ATPS}}$$

$$V_{\text{STPD}} = 0,732 V_{\text{ATPS}}$$

Diffusion et solubilité des gaz

La diffusion de l'O₂ et du CO₂ entre les alvéoles et les capillaires ou entre les capillaires et les cellules dépend de la **loi de diffusion de Fick**:

$$\text{Taux de diffusion} = \frac{\text{surface} \times \text{différence de concentration} \times \text{perméabilité de la membrane}}{\text{épaisseur de la membrane}}$$

On suppose que la perméabilité est constante donc les facteurs qui influencent la diffusion sont la surface, la différence de concentration, l'épaisseur de la membrane

Quand un gaz est au contact de l'eau et qu'il y a une différence de pression, les molécules de gaz se déplacent d'une phase à l'autre, de la pression la + élevée vers la + basse.

La facilité avec laquelle un gaz se déplace dans un liquide est sa solubilité.

Si un gaz est très soluble, beaucoup de molécules de gaz iront dans une solution à pression partielle de gaz faible.

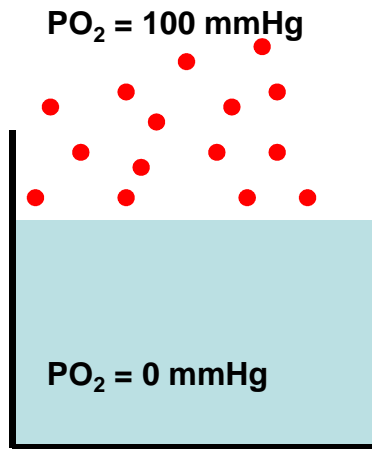
Avec les gaz peu solubles, même une pression partielle élevée n'entraînera la dissolution que de peu de molécules de gaz

➤ Loi de HENRY :

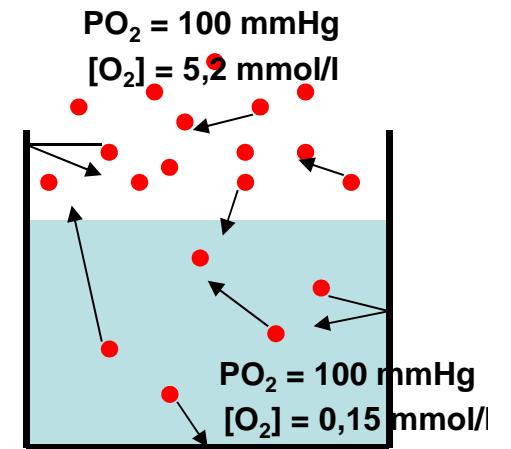
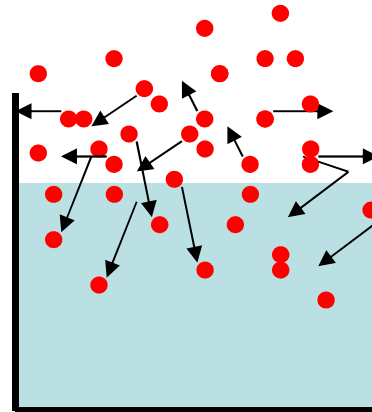
À température constante et à saturation, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide.

- Chaque gaz à un coefficient de solubilité dans un liquide.
- Le CO_2 possède la plus grande solubilité.

Oxygène

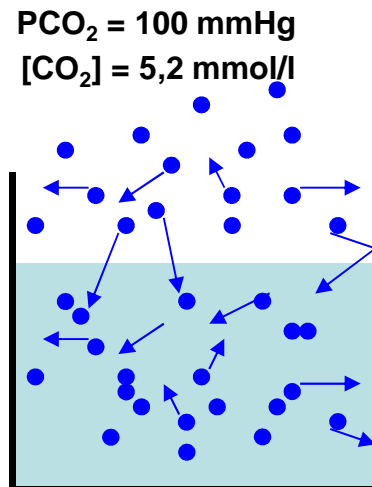


Pas d'oxygène dans la solution



A l'équilibre, la PO_2 dans l'air = la PO_2 dans l'eau
Mais les concentrations sont différentes car l' O_2 est peu soluble

Gaz carbonique



$PCO_2 = 100 \text{ mmHg}$
 $[CO_2] = 3,0 \text{ mmol/l}$

Quand le CO_2 est à l'équilibre à la même pression partielle, il y a davantage de CO_2 dissous

LES EXPLORATIONS FONTIONNELLES

Pourquoi ?

Faire un diagnostic

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

**Intérêt médico-légal:
Évaluation d'une incapacité
Détection et surveillance
d'une maladie professionnelle**

Bilan préopératoire

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

Quand ?

L'EFR doit effectuée à distance:

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

4 à 6 semaines

**d'une exposition
à un antigène spécifique**

1 semaine

à la fumée de cigarette

2 heures



bilan initial

<u>Arrêt des traitements</u>	<u>depuis</u>
bronchodilatateurs inhalés d'action rapide	8 h
bronchodilatateurs inhalés d'action lente	24 h
anticholinergiques inhalés	12 h
antihistaminiques	48 h
anti-leucotriènes corticoïdes inhalés } }	1 mois

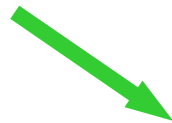
SUIVI du patient

**Poursuivre le
Traitement**

**(sauf broncho-dilatateurs
d'action rapide)**

Évaluation de l'efficacité

Décision d'arrêt



Comment ?

SPIROMETRIE

DEP

PLETHYSMOGRAPHIE

COURBE D/V

GAZOMETRIE

**± BRONCHO-
PROVOCATION**



± REVERSIBILITE

**± EPREUVE
D'EFFORT**

RESISTANCES

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

Dans quels cas ?

Ces examens permettent de diagnostiquer:

-Un syndrome obstructif

 réduction des paramètres dynamiques
(débits)

-Un syndrome restrictif

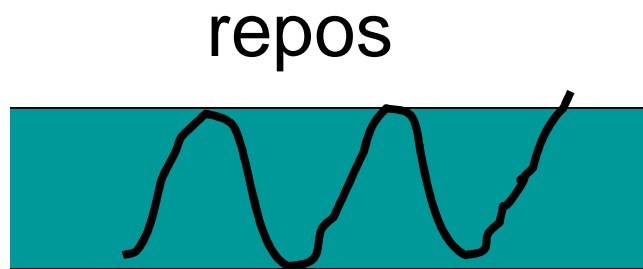
 réduction des paramètres statiques
(volumes)

-Un syndrome mixte

-Sujet normal

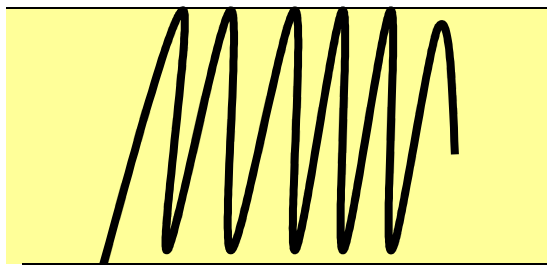
LE SYNDROME OBSTRUCTIF

Les Débits



temps

exercice



(Vc et (FR

La ventilation

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

Homme adulte repos:

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

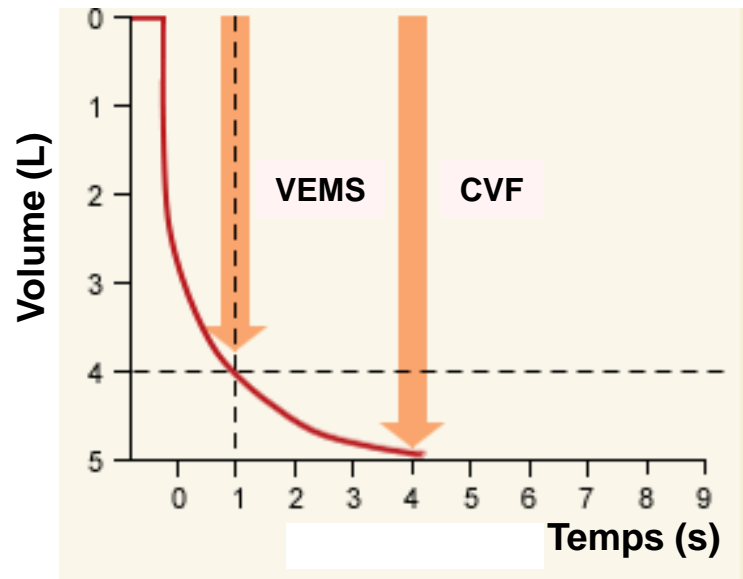
Homme adulte exercice:

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

$$\dot{V}_{max} = 140 \text{ l.min}^{-1}$$

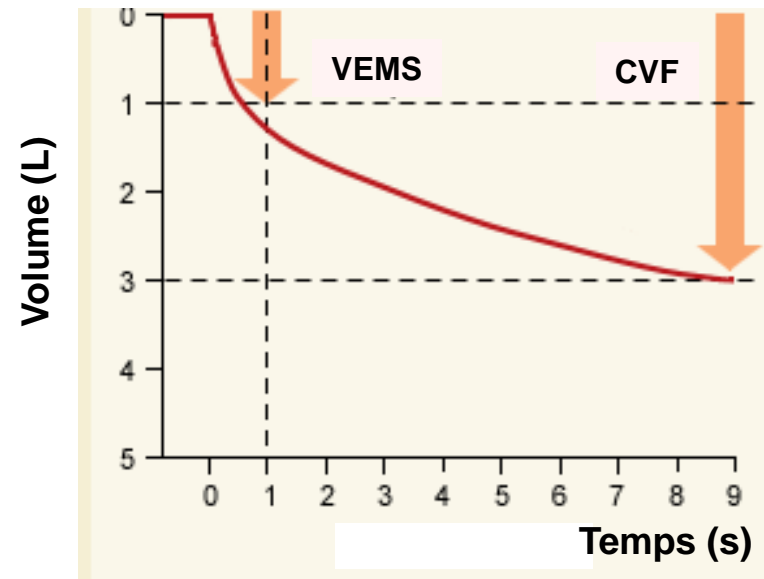
Le VEMS : volume expiratoire maximal seconde
= volume d'air maximal expiré dans la 1^e seconde d'une expiration forcée

Normal



VEMS = 4.0 L CVF = 5.0 L
Rapport de Tiffeneau
VEMS/CVF = 4.0/5.0 = 80%

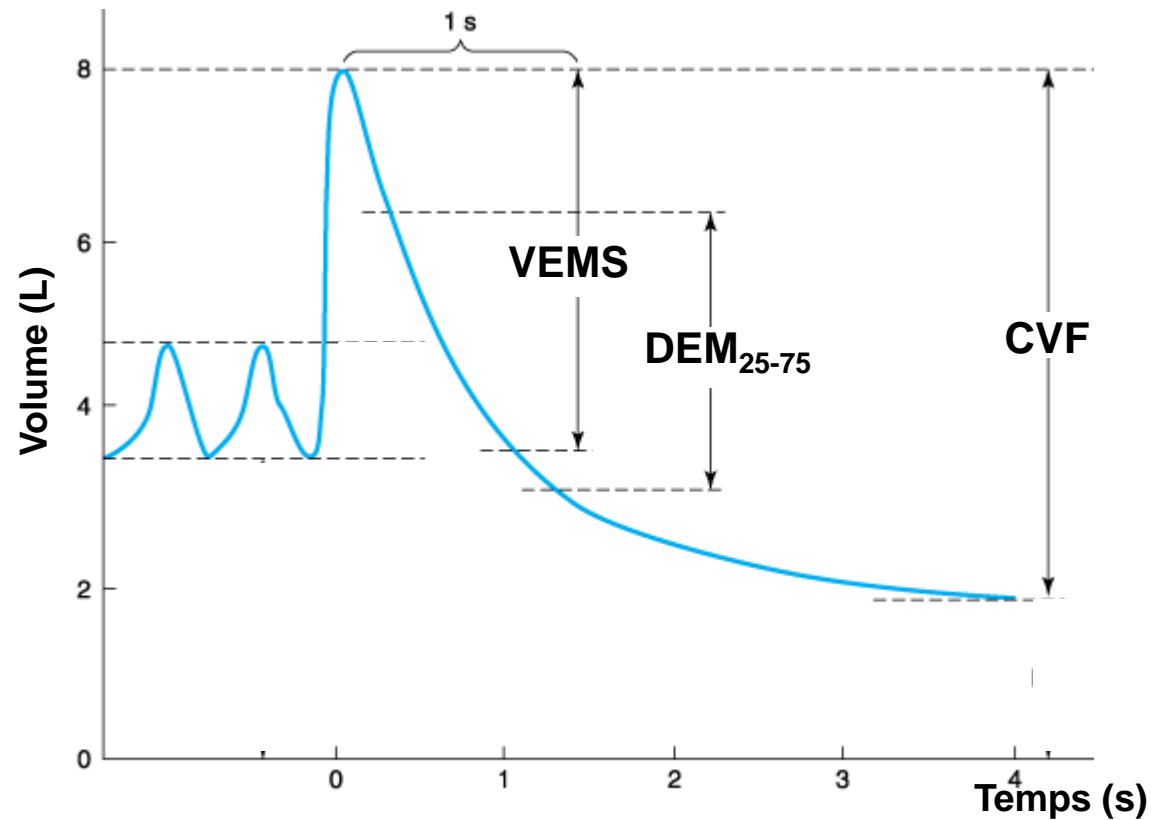
Obstructif



VEMS = 1.2 L CVF = 3.0 L
Rapport de Tiffeneau
VEMS/CVF = 1.2/3.0 = 40%

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

Le **DEM₂₅₋₇₅** = débit expiré entre 25 et 75% de la capacité vitale forcée

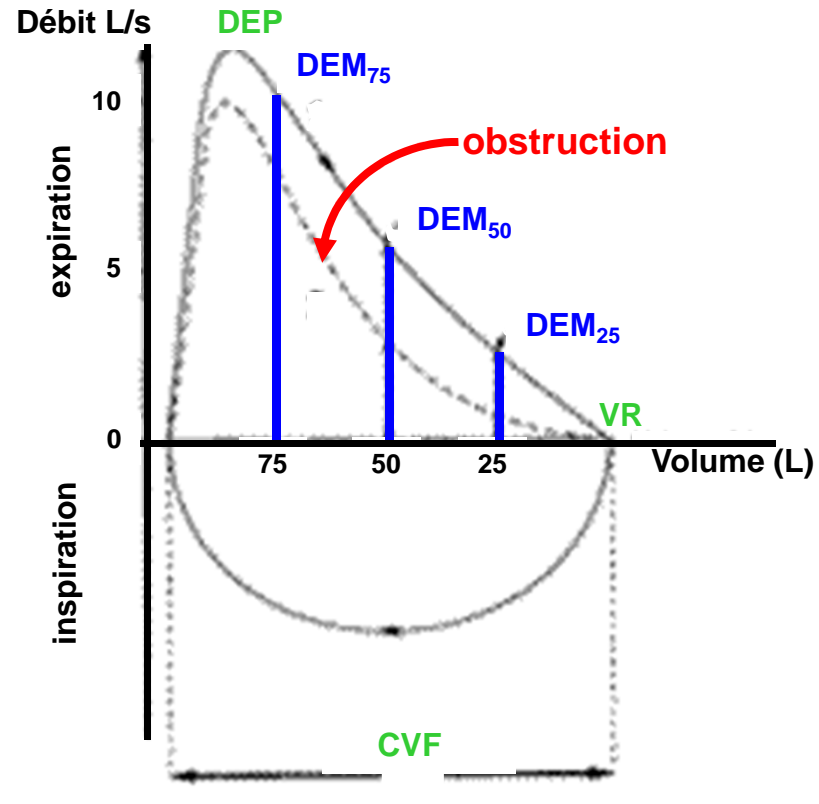


Copyright ©2006 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

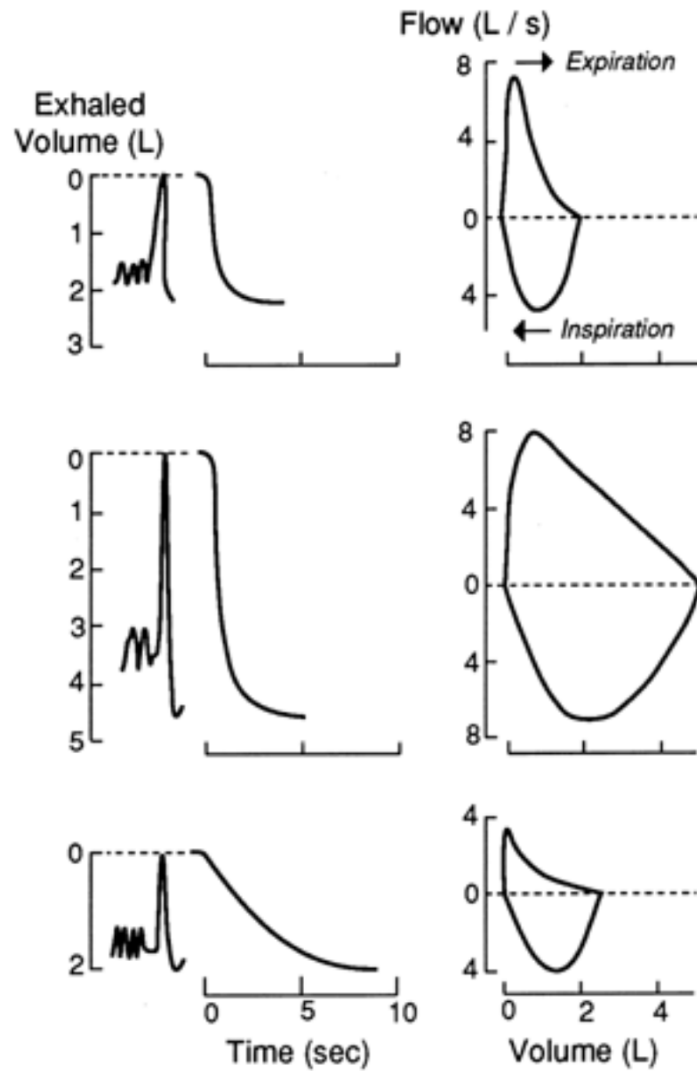
Si \diamond 15-20% : obstruction bronches périphériques

Courbe DEBIT / VOLUME

Forme +++



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



Restrictif

Normal

Obstructif

Dans quels cas ?

ASTHME (ou équivalent +)

Bronchopathies chroniques (BPCO)

Emphysème

Traitements

Mucoviscidose

DDB

Dyskinésie ciliaire

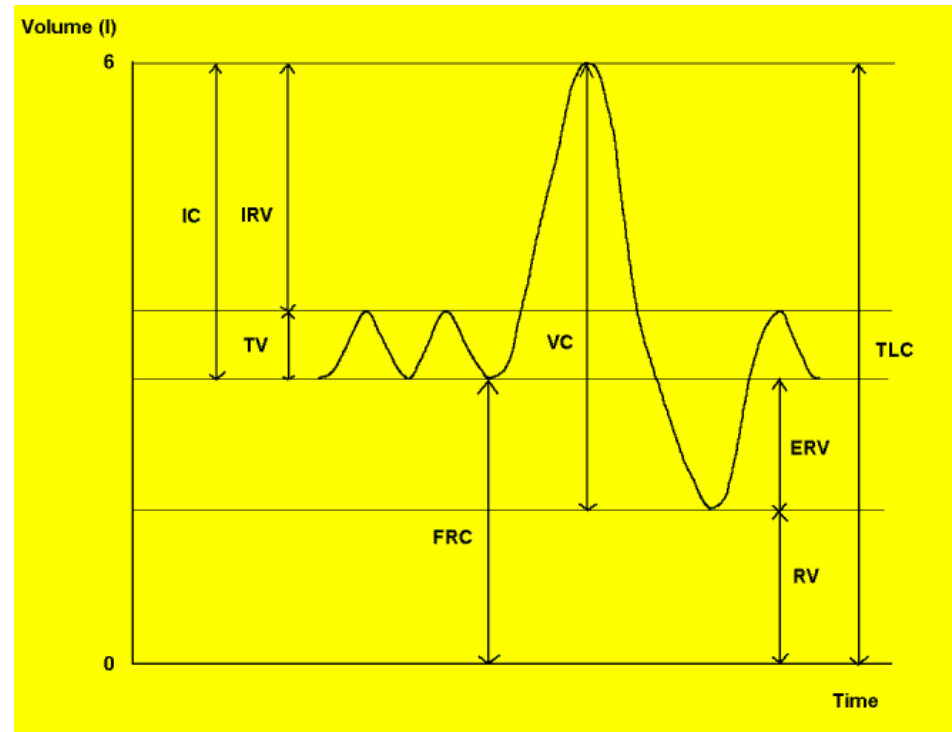
Séquelles prématurité...

**Syndrome
OBSTRUCTIF
(± distension)**

LE SYNDROME RESTRICTIF

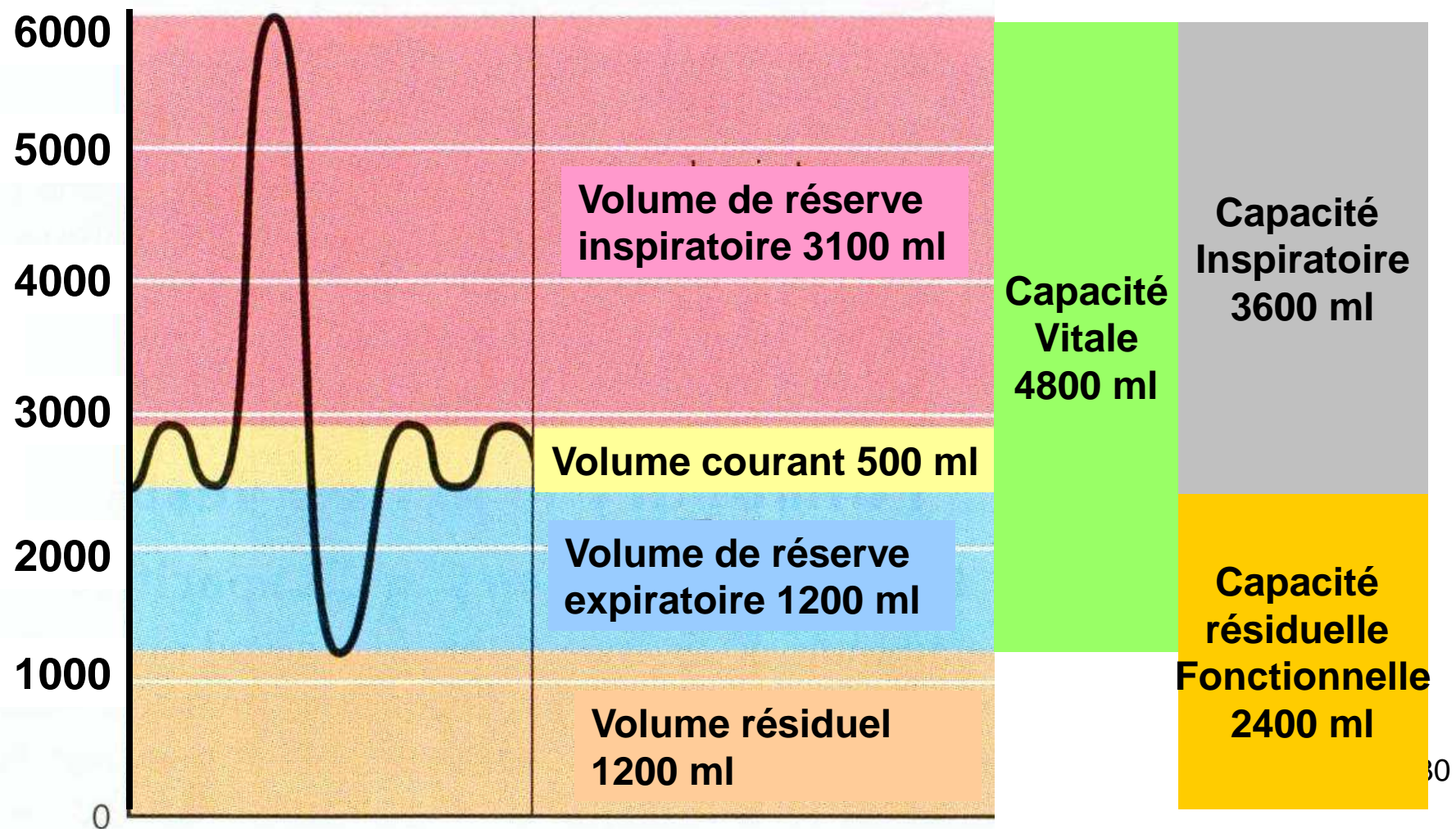
Paramètres statiques

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



LE SYNDROME RESTRICTIF

Les volumes et les capacités



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 $CI = Vc + VRI$
Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)	2400 ml	Volume d'air qui reste dans les poumons après une expiration courante : $CRF = VR + VRE$
Capacité pulmonaire totale (CPT)	6000 ml	Quantité maximale d'air contenue dans les poumons après une inspiration maximale : $CPT = VC + VRI + VRE + VR$

Evaluation du volume résiduel

Le sujet est connecté à un spiromètre de volume V_{SPIR} connu, contenant une concentration connue d'He.

Mesure basée sur le principe:

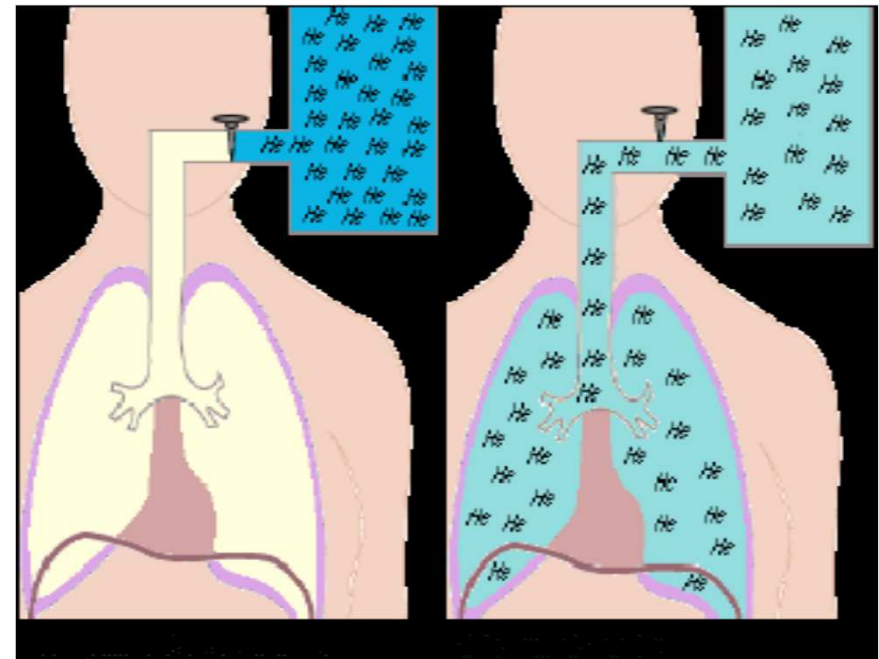
$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

$$V_{\text{SPIR}} \times C1 = \text{CRF} \times C2$$

A la fin d'une expiration normale:

$$\text{CRF} = \text{VR} + \text{VRE}$$

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



Dans quels cas ?

Obésité

Déformations thorax et/ou rachis

Maladies rhumatismales

Maladies inflammatoires

Pneumopathies interstitielles

Traumatisme, PNO, Atélectasie

Lobectomie, Pneumonectomie

Traitements oncologiques

Cardiopathies

Maladies neuromusculaires

**Syndrome
RESTRICTIF**

**Syndrome
MIXTE**

Les longilignes !!



Facteur de correction racial: population noire africaine, asiatique : 90% de la valeur prédite pour population caucasienne

Différents types d'explorations

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

Méthodes de référence :

- spirométrie**

- pléthysmographie**

Permettent la mesure des volumes et des débits respiratoires



Spirométrie



Pléthysmographie

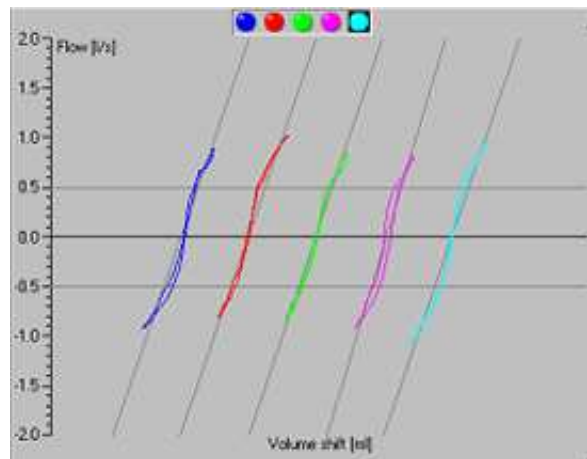
- Spirométrie
- RDVA
- VGT

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



sRaw

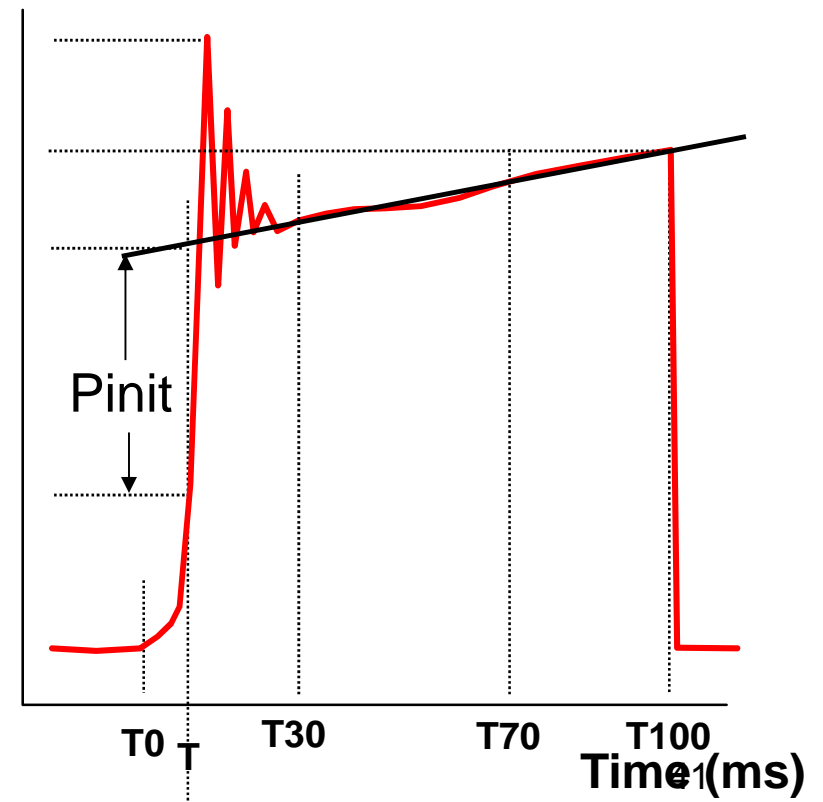
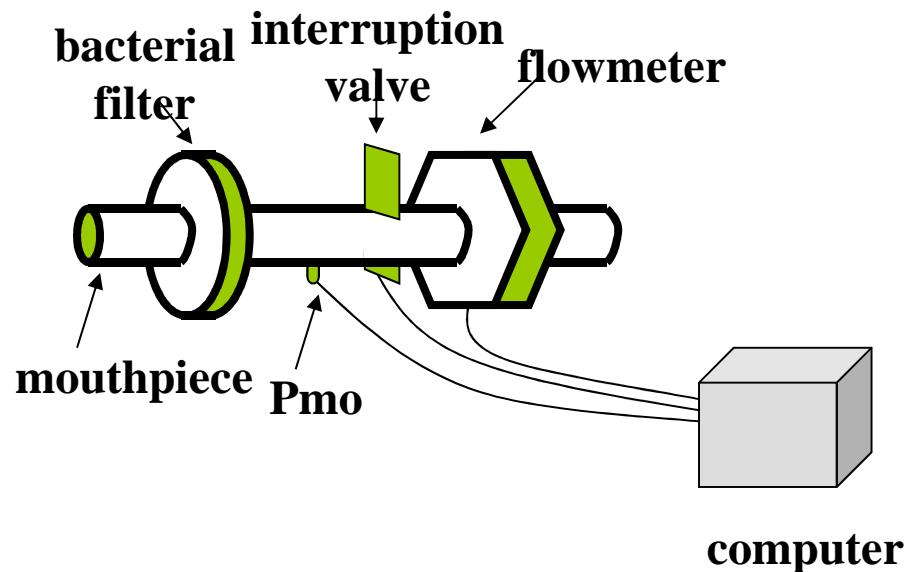
Résistances du système respiratoire

mesurées par interruption de débit

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

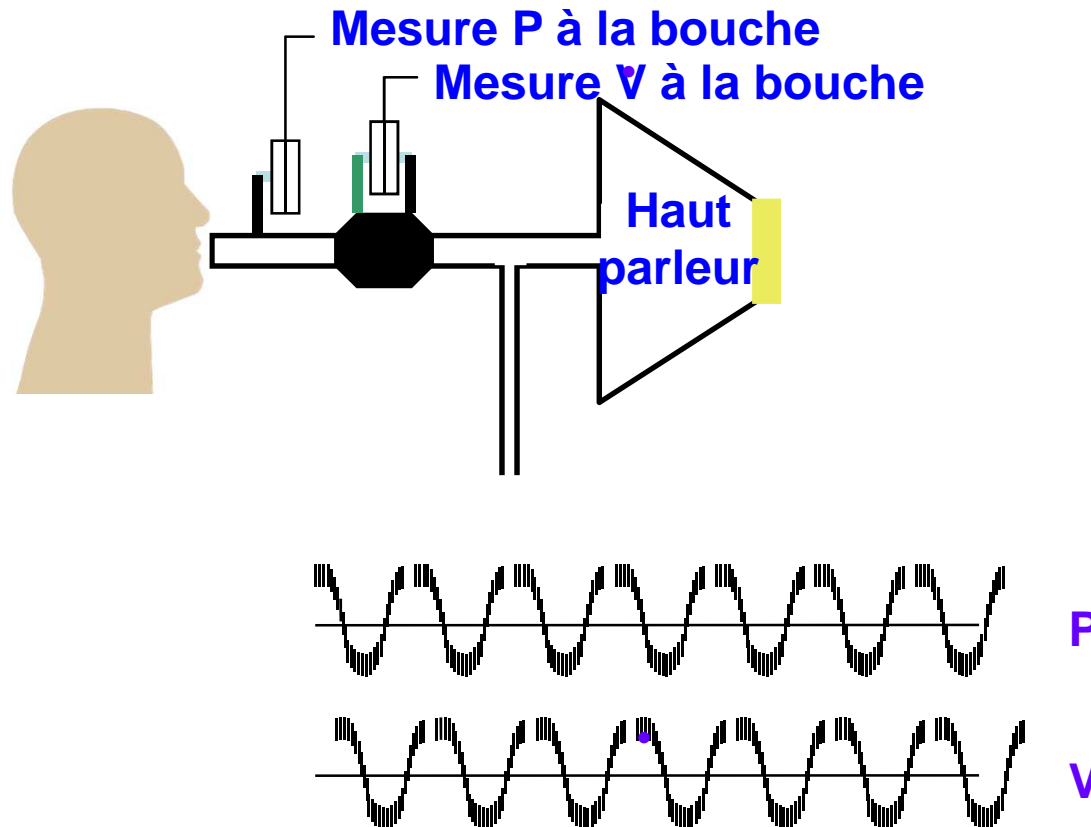
Occlusion de 100 ms

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



Résistances du système respiratoire mesurées 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





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 \diamond de 15 à 20% des débits expiratoires
 \Rightarrow de 50% des résistances

B2-stimulants :
Salbutamol
(Terbutaline)

Anticholinergiques:
Bromure d'ipratropium



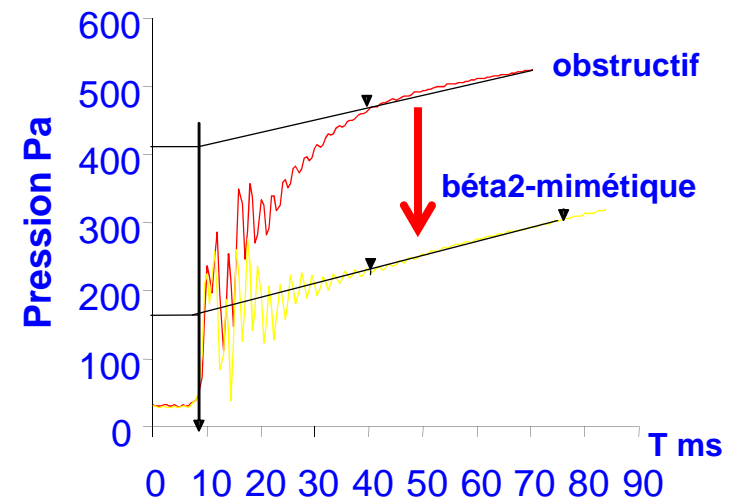
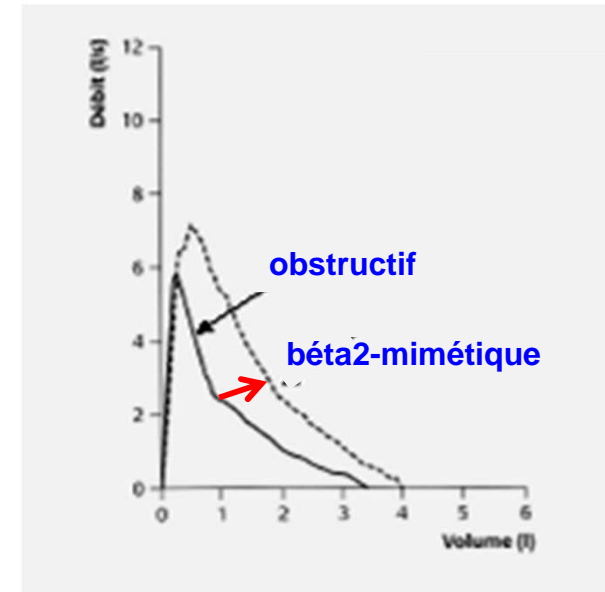
Mesures après 5, 10, 15 min

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

Mesure, après 3 min,

↪ **soit du VEMS**

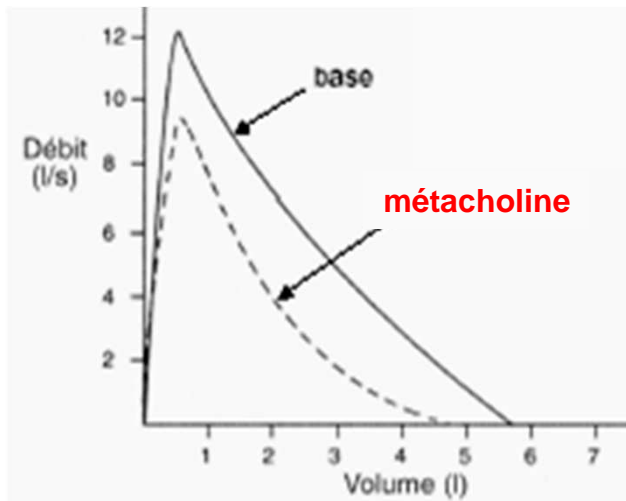
↪ **soit des Résistances**

↪ **(± PtcO₂)**

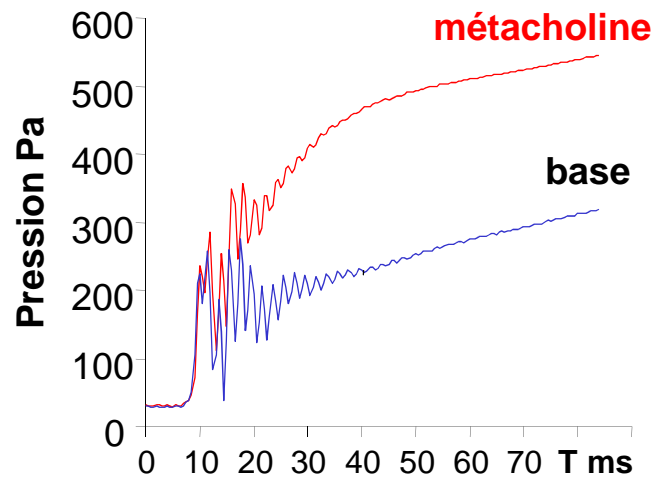
TESTS DE BRONCHOPROVOCATION = HRB

↳ HRB Cholinergique si :

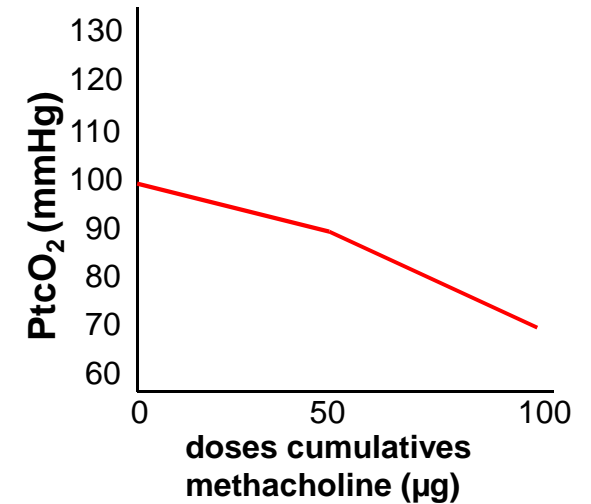
VEMS \diamond 20%



Résistances \Rightarrow 50%



PtcO₂ \diamond 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

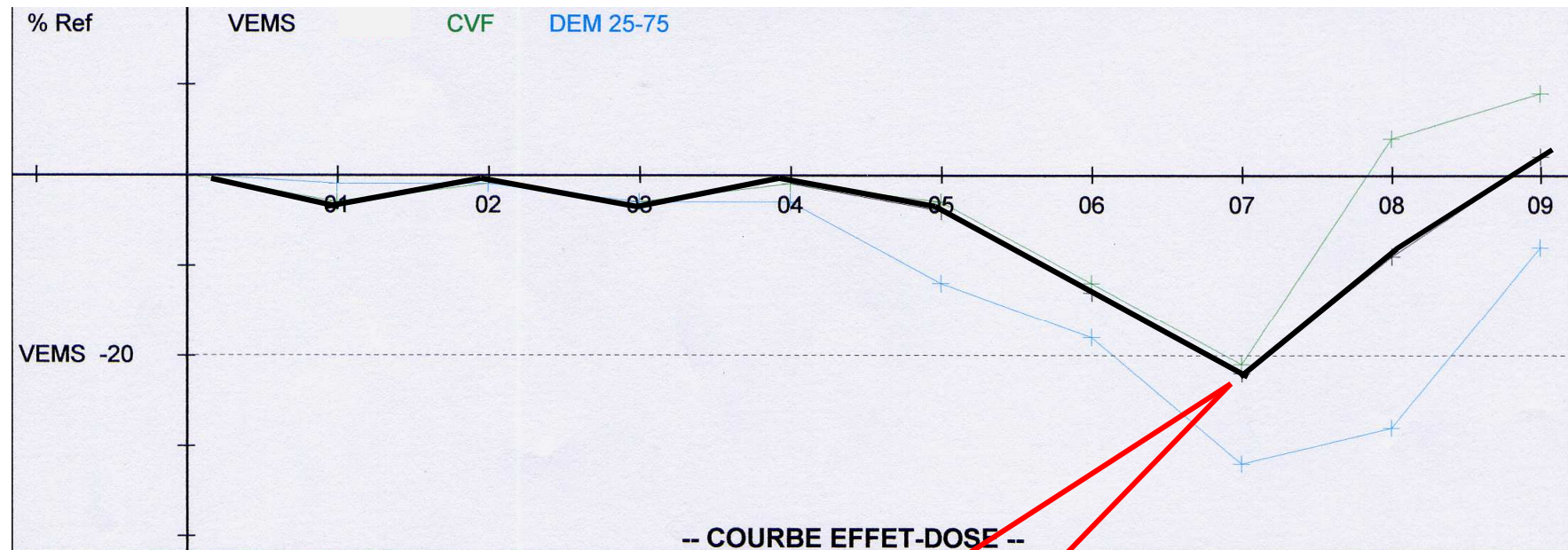


Durée du test : imprévisible

+ la dose provoquant

la \diamond de 20% du VEMS et/ou de $PtcO_2$
ou l' \Rightarrow 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 -1
02 v	1.6	Métacholine	25.00 µg	09:51	1.16	-1	1.16	2.01 -1
03		Métacholine	25.00 µg	09:56	1.14	-3	1.14	1.98 -3
04 v	0.0	Métacholine	75 µg	10:04	1.16	-1	1.16	1.98 -3
05 v	0.0	Métacholine	200 µg	10:10	1.12	-4	1.13	1.80 -12
06 v	0.0	Métacholine	400 µg	10:15	1.02	-13	1.03	1.67 -18
07 v	0.0	Métacholine	800 µg	10:19	0.91	-22	0.92	1.39 -32
08 v	0.0	Ventoline	200.00 µg	10:32	1.07	-9	1.22	1.47 -28
09 v	0.0	Ventoline	400 µg	10:43	1.19	+2	1.27	1.87 -8

PD20 = 800 µg Metacholine

Réversibilité après 400 µg Salbutamol et ≈ 20 min.

TESTS DE BRONCHOPROVOCATION

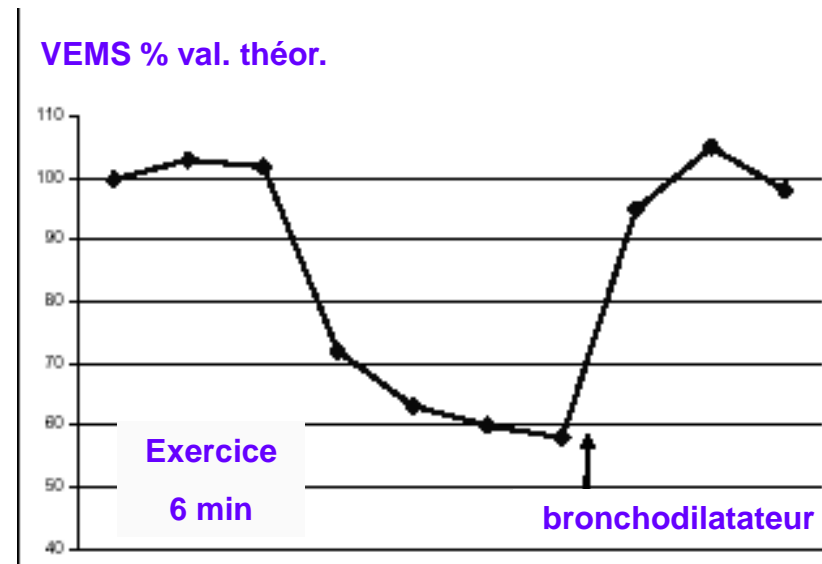
Spécifiques, Epreuve d'effort



- Minimum de 6 (à 10) min d'exercice: par paliers jusqu'à 80% FCmaxi, pendant 2 à 3 min
- Mesure du VEMS avant et après l'effort et pendant la récupération (5, 10, 15 et + si nécessaire)

↪ HRB si:

◇ de 20% du VEMS

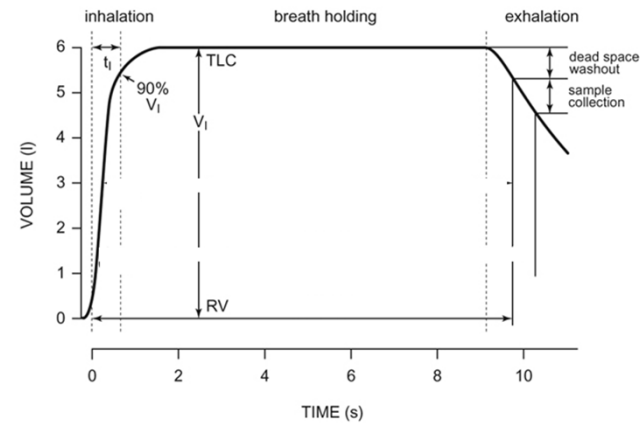
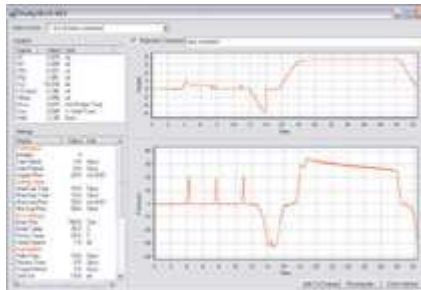




**Tous les tests de provocation doivent
toujours se faire en milieu hospitalier**

MESURE DU TRANSFERT DE CO

On mesure la décroissance de la concentration de CO dans l'alvéole entre le début et la fin de l'apnée.



Fibroses +++

La quantité d'O₂ qui traverse la membrane alvéolo-capillaire par unité de temps est:

$$\dot{V}O_2 = K \times s/e (PAO_2 - PcO_2)$$

K : facteurs physico chimiques

s : surface d'échanges

e : épaisseur de la membrane alvéolocapillaire

PAO₂ : pression alvéolaire en oxygène

PcO₂ : pression capillaire en oxygène

Et:

$$\dot{V}O_2 = DLO_2 (PAO_2 - PcO_2)$$

D'où:

$$DLO_2 = \frac{\dot{V}O_2}{(PAO_2 - PcO_2)}$$

On mesure la conductance de la membrane alvéolo-capillaire, cad ses propriétés à conduire l'oxygène.

En fait, quand on mesure la capacité de diffusion alvéolo-capillaire, on mesure la capacité de diffusion de la membrane alvéolaire et la capacité de diffusion des hématies dans le lit capillaire

$$\frac{1}{DL} = \frac{1}{Dm} + \frac{1}{\Theta Vc}$$

Θ : vitesse de diffusion dans 1 ml de sang/min/mmHg

Vc :volume du sang capillaire

La mesure du Vc est très difficile à effectuer √ utilisation du CO

On évalue la capacité de diffusion en mesurant la diffusion du CO car:

- ↪ se fixe sur l'Hb sur les mêmes sites que O₂**
- ↪ affinité x 200 (donc ~ pas de CO dans les capillaires)**

TOXICITE

- ↪ si 0,1% de CO dans air**
 - Ⓜ 50% Hb se lie au CO**
 - Ⓜ transport d'O₂ ◇**

Chez l'homme, en air ambiant:

DLCO ~ 23 ml/min/mmHg

DmCO ~ 34 ml/min/mmHg

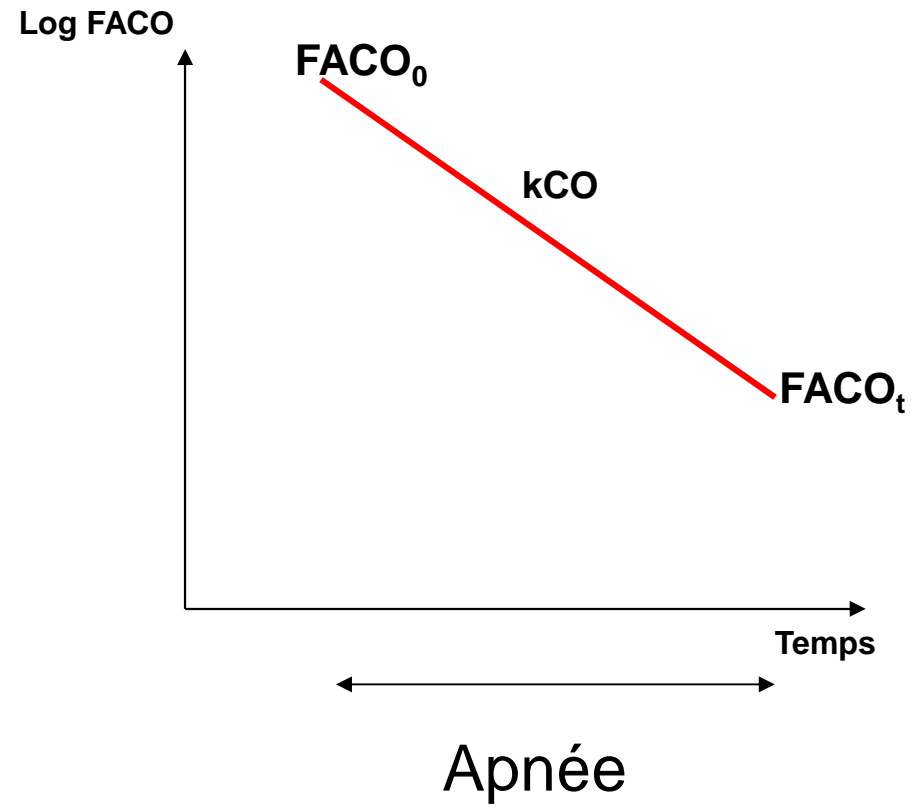
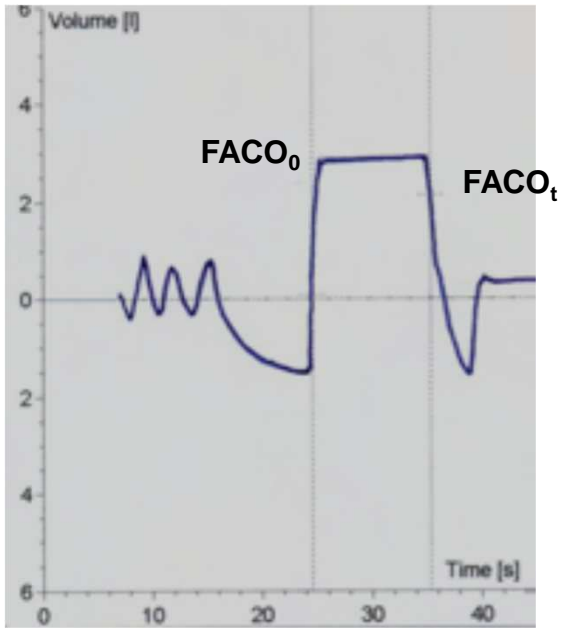
Vc ~ 98 ml

La diffusion augmente naturellement avec:

- l'hématocrite
- le débit cardiaque
- la masse corporelle

Elle diminue avec:

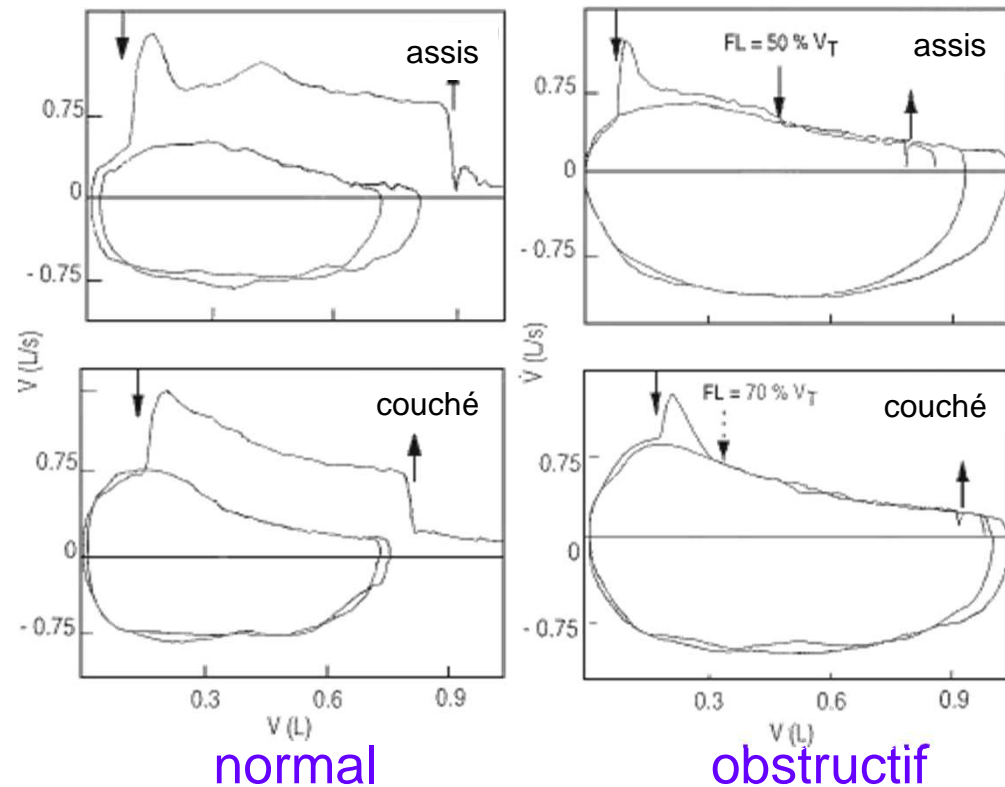
- l'âge
- certaines pathologies interstitielles



Autres explorations

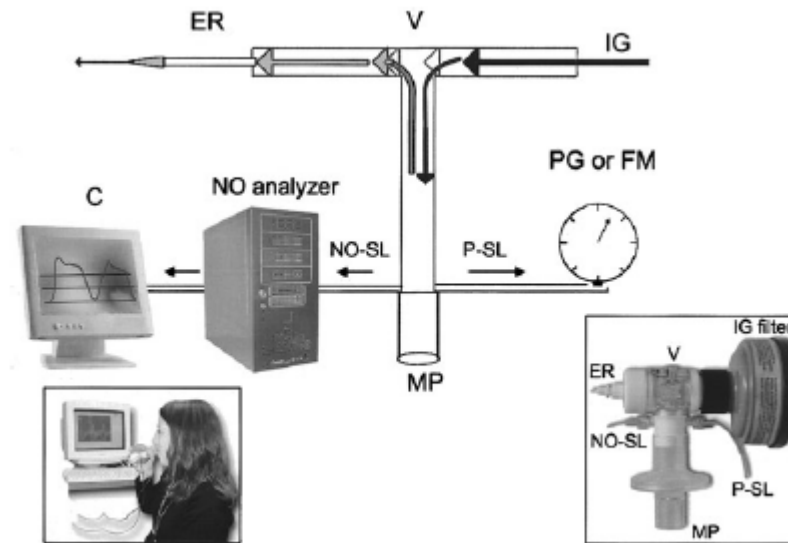
NEP

Negative Expiratory Pressure



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

MESURES DU NO EXPIRE ET DU NO NASAL

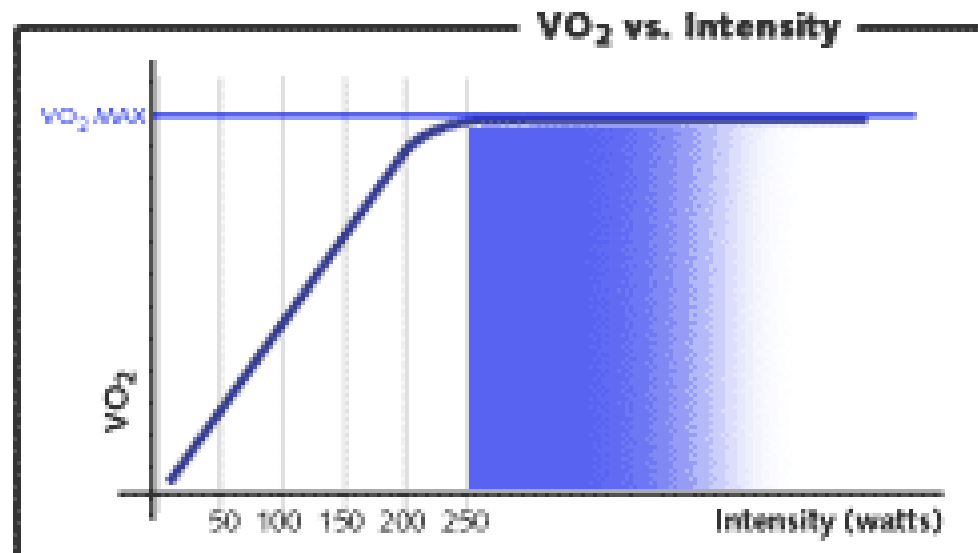


Permet de mettre en évidence l'inflammation bronchique et/ou nasale et de contrôler l'efficacité d'un traitement anti-inflammatoire (corticoïdes inhalés) dans la maladie asthmatique

L'effondrement du NO nasal est caractéristique de la dyskinésie ciliaire.

VO₂max

- Aptitude aux sports
- Surveillance du sportif
- Manifestations fonctionnelles d'effort:
 - Dyspnée
 - Palpitations
 - Douleurs thoraciques
 - Malaises
 - Céphalées
- Asthme
- Cardiologie (TdR, anomalies ECG, HTA)
- Réhabilitation



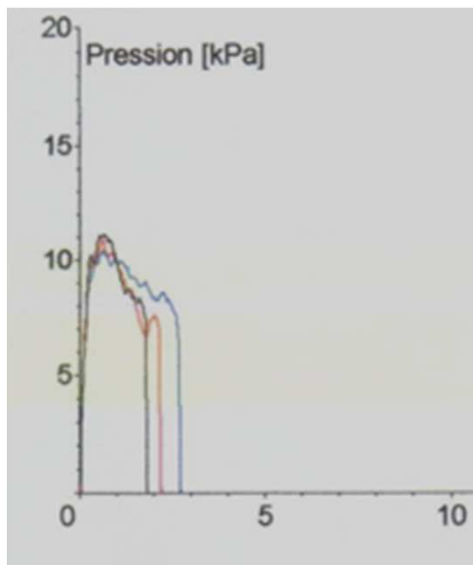
PI max, PE max, SNIFF test

PI max : Inspiration maximale contre une valve à partir du VR ou de la CRF

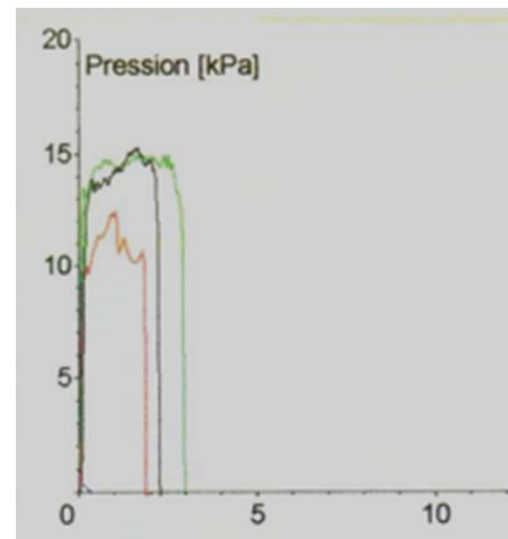
PE max : Expiration maximale contre une valve à partir de la CPT

Permet de mesurer la force des muscles respiratoires (mais manoeuvre difficile à faire à un stade évolué de la maladie)

PImax

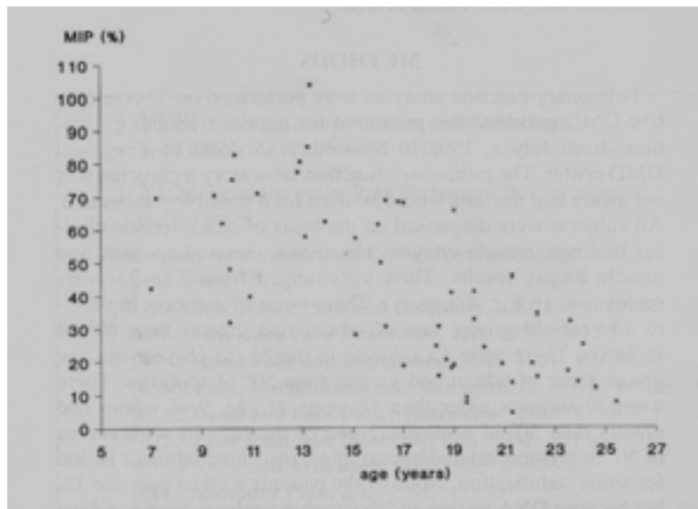


PEmax

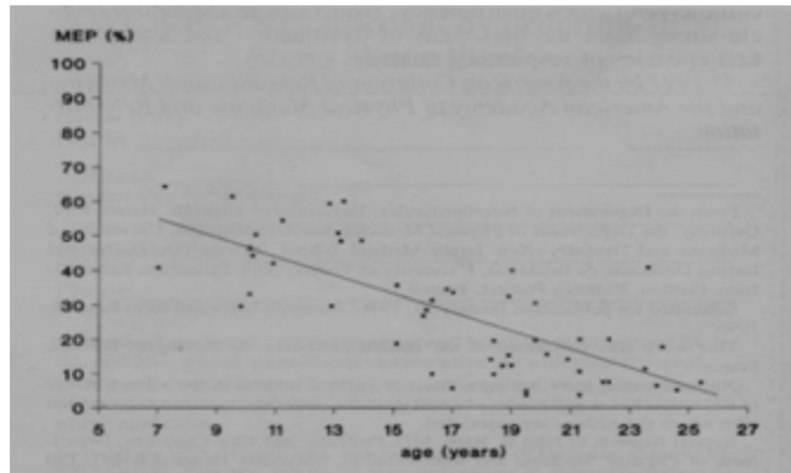


Ex: dans la myopathie de Duchenne

PI_{max}



PE_{max}



Hahn et al. Arch Phys Med Rehabil, 1997; 78 : 1-5

SNIFF test

Mesure de la pression nasale lors d'une manoeuvre de reniflement faite par la narine opposée, bouche fermée

Permet de mesurer la force des muscles respiratoires et particulièrement du diaphragme (mais manoeuvre difficile à faire à un stade évolué de la maladie)



Pléthysmographie du nourrisson

