

Explorations fonctionnelles respiratoires de l'adulte

Dr Frédérique Aubourg

Service de Physiologie-Explorations Fonctionnelles

Hôpital Cochin

Objectifs :

- Connaître les principaux volumes et débits mesurés
- Maîtriser les techniques de mesure, de calibration
- Evaluer la qualité des résultats rendus, repérer les causes d'erreur ou de mauvaise qualité

Plan :

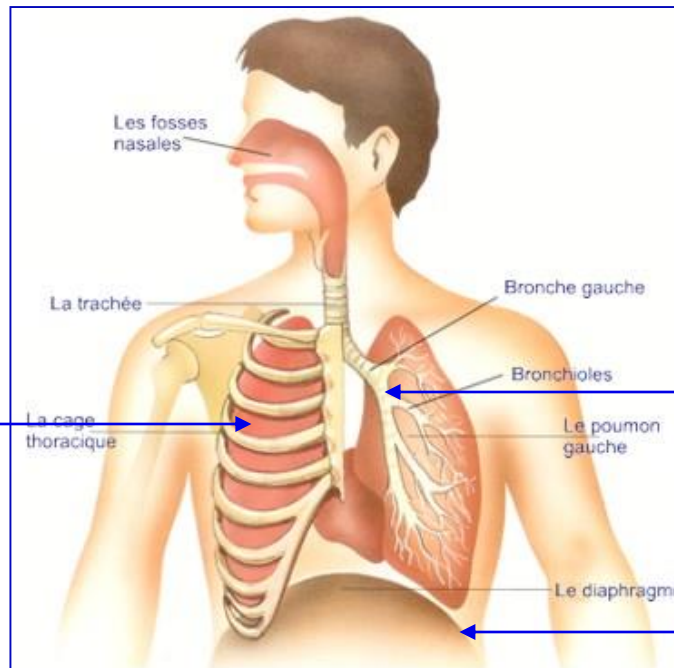
- Principaux volumes et débits mesurés
- Méthodes de mesure
- Réalisation pratique
- Résultats
- Exemples

Epreuves fonctionnelles respiratoires : généralités

Elles consistent à mesurer :

- les **volumes pulmonaires** qui reflètent schématiquement les propriétés du parenchyme pulmonaire, de la cage thoracique et des muscles respiratoires.
- les **débits bronchiques** qui traduisent essentiellement la fonction des voies aériennes

Atteinte du parenchyme :
fibrose,
emphysème, ...



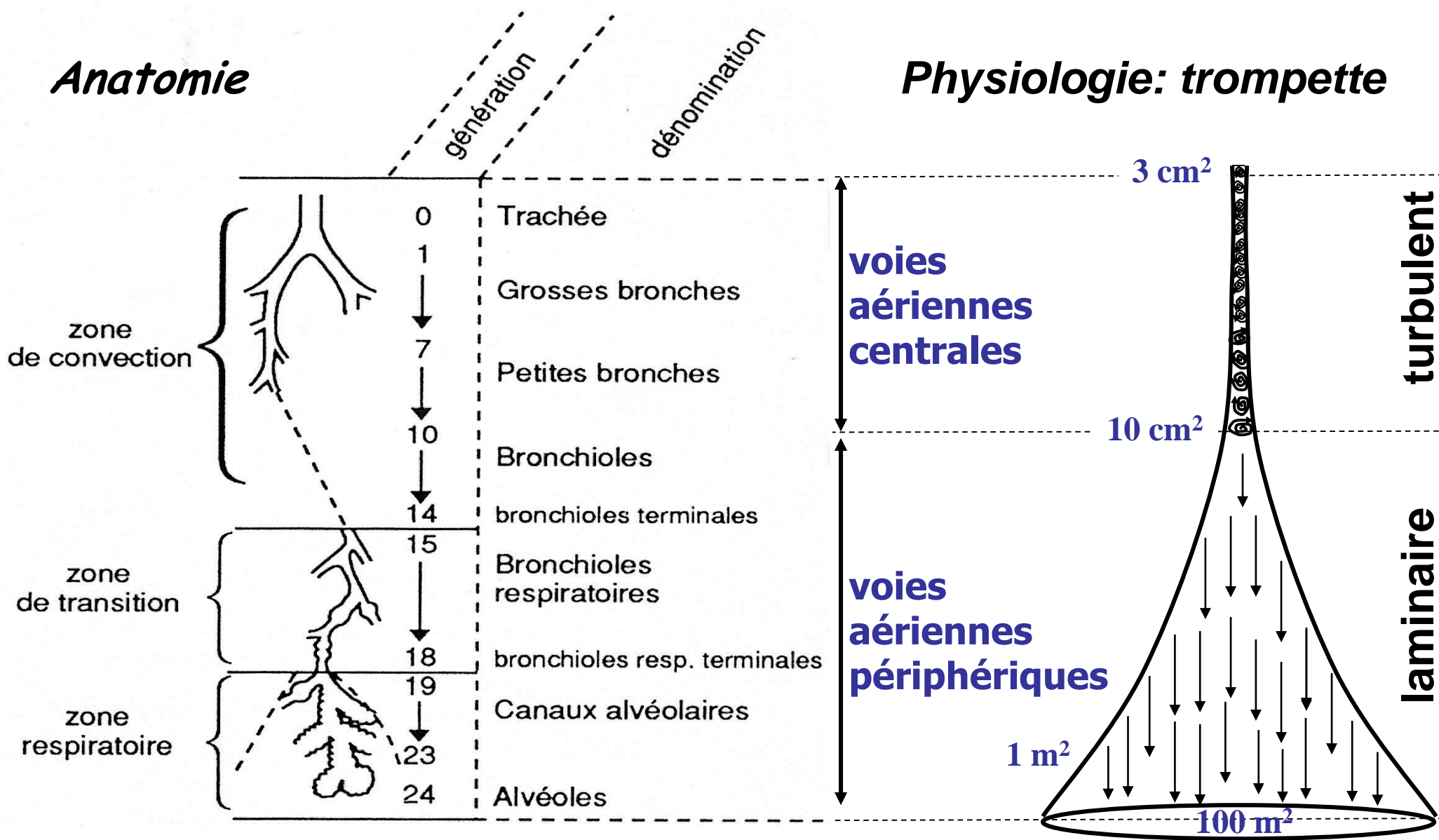
Modification
du calibre des voies
aériennes:
obstruction:
asthme, BPCO,
mucoviscidose...

Atteinte du
système
mécanique actif:
myopathie, spondylarthropathie...

Indications

- Diagnostic positif, diagnostic de gravité des maladies pulmonaires
- Suivi évolutif de la maladie, effets d'une thérapeutique
- Evaluation pré-opératoire
- **Dépistage d'une affection respiratoire**

L'arbre bronchique en physiologie



Systeme mécanique ventilatoire

- **Forces actives :**

Muscles ventilatoires inspiratoires et expiratoires:
génèrent le mouvement

- **Forces passives :**

Poumon

Paroi thoraco-abdominale

Voies aériennes

} forces élastiques

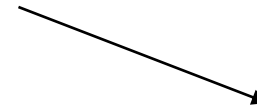
} forces résistives

Forces actives

Centres respiratoires de système nerveux central



Motoneurones (nerfs phréniques...)



Inspiration

Diaphragme

Intercostaux externes

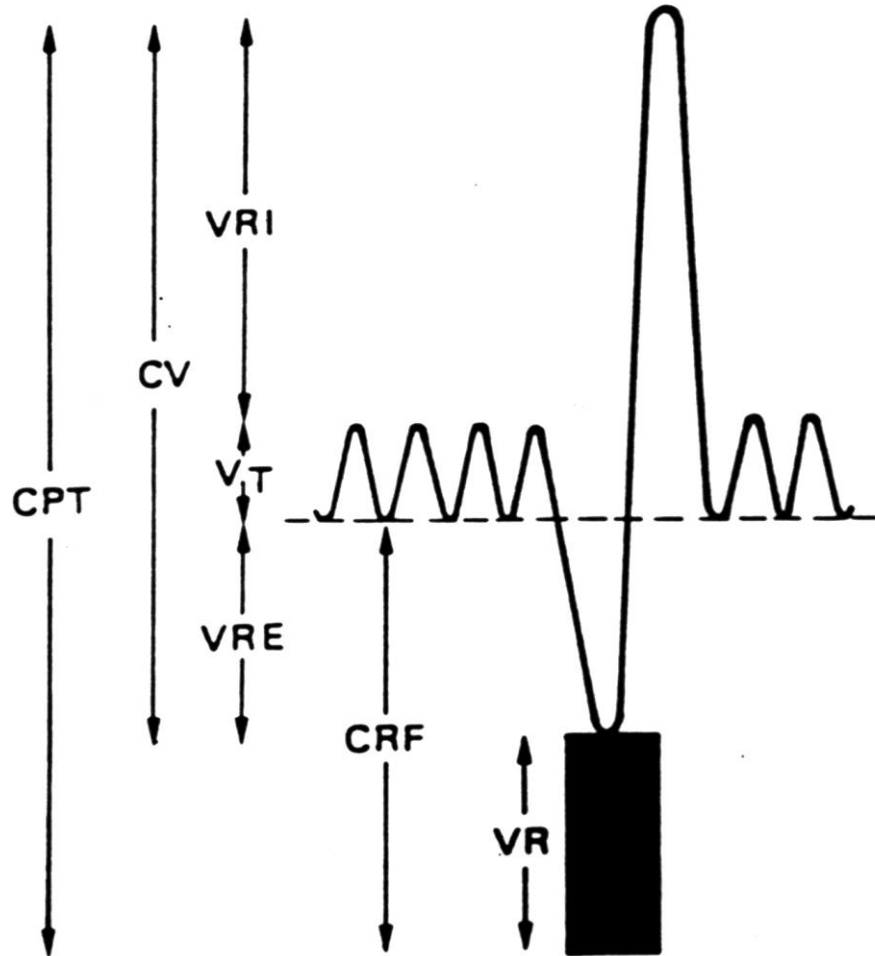
Expiration forcée

**Muscles de la
paroi abdominale**

Intercostaux internes

- Les muscles provoquent l'inspiration *en s'opposant* aux forces passives.
- En respiration calme, l'expiration est *passive*.

Volumes pulmonaires



V_T = **Volume courant** ~ 500 ml

VRE = Volume de Réserve Expiratoire ~ 1,1 L

VRI = Volume de Réserve Inspiratoire ~ 3 L

CV = **Capacité Vitale** = $V_T + VRI + VRE$ ~ 4,6 L

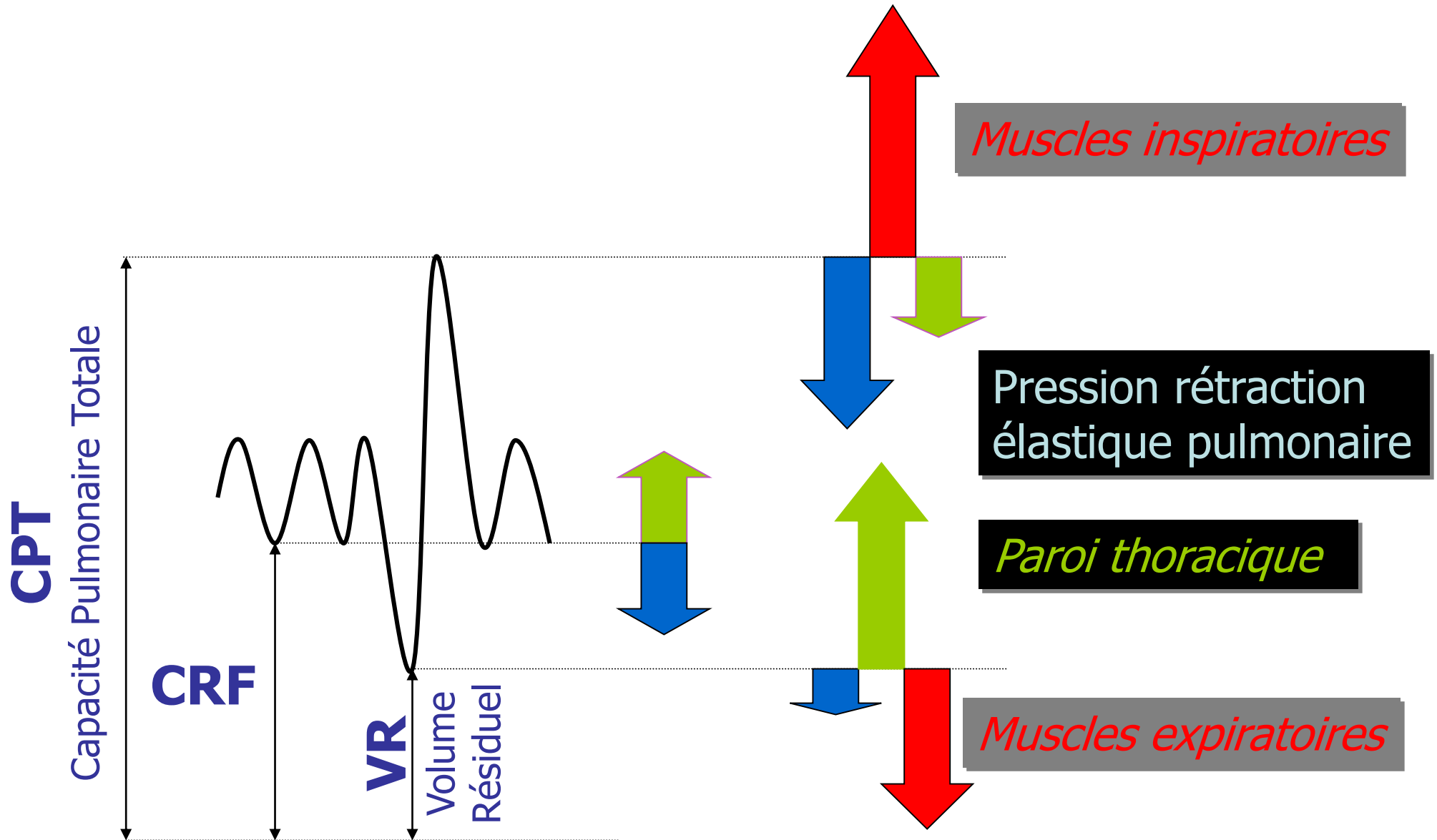
VR = Volume Résiduel ~ 1,2 L

CPT = **Capacité Pulmonaire Totale** = $VR + CV$ ~ 6 L

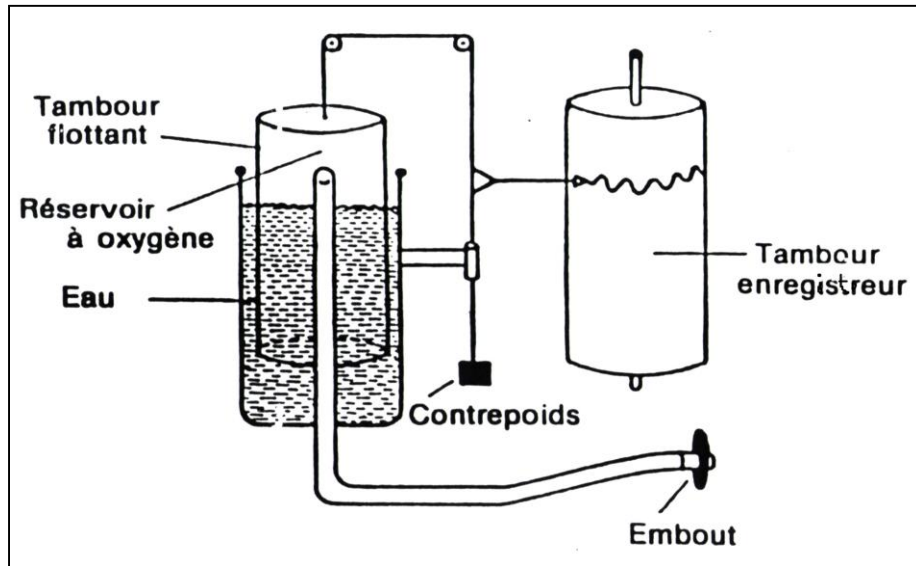
CRF = Capacité Résiduelle Fonctionnelle = $VR + VRE$

Données chiffrées indicatives valables pour un homme d'environ 40 ans de taille moyenne 1,75m à 1,80m

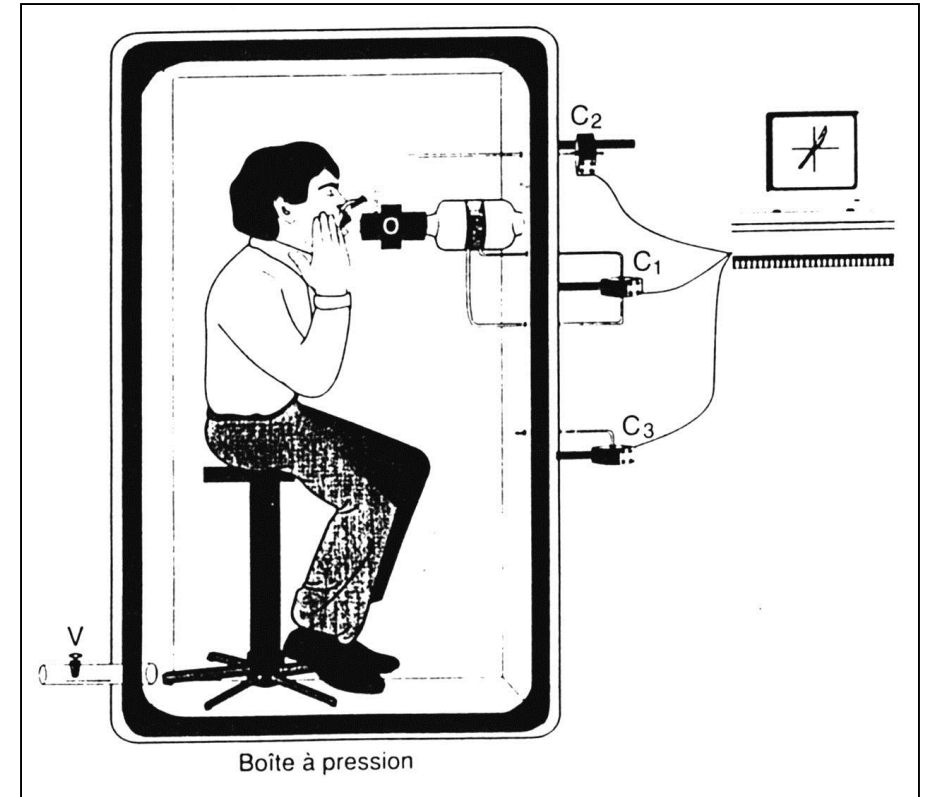
Volumes pulmonaires statiques: positions d'équilibre



Matériel de mesure des volumes

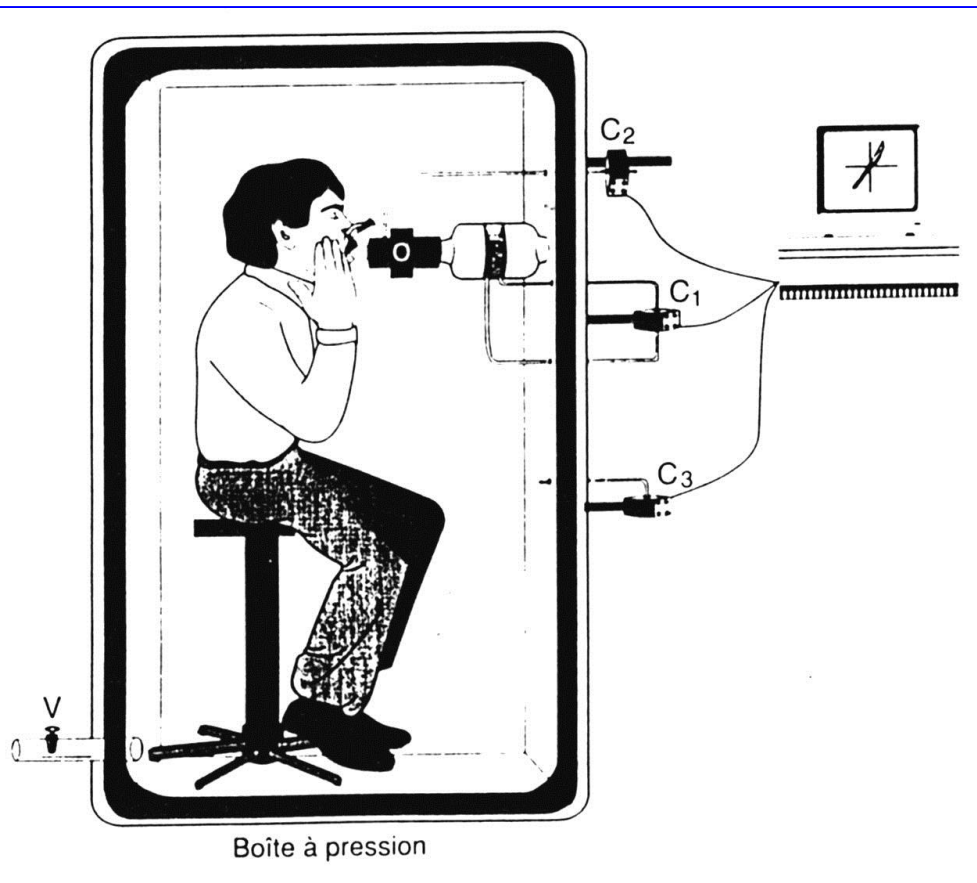


Spiromètre volumétrique



Pléthysmographe corporel

Pléthysmographe corporel



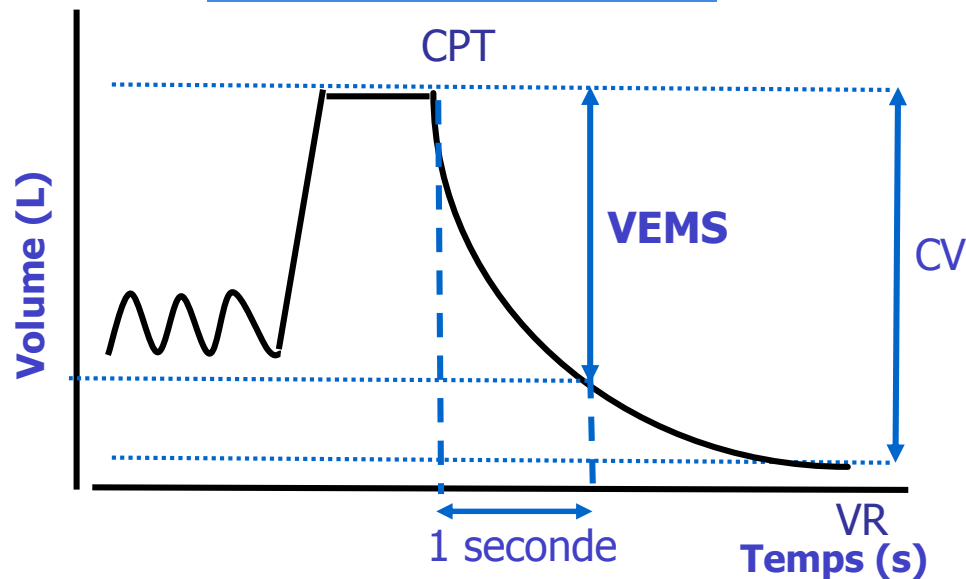
- Il s'agit d'un caisson dans lequel le patient est assis et qui permet de mesurer les variations de volume du thorax.
- On mesure des variations de pression et on en déduit des variations de volume, d'après la loi de Boyle-Mariotte ($PV = \text{constante}$ dans une enceinte close à température constante).
- Objectif: **mesure de la CRF:**
 $CRF = - P1 \Delta V / \Delta P$
Et calcul du VR et de la CPT à partir de la CRF
- C'est la méthode **la plus précise** de mesure des volumes pulmonaires, mais le matériel est **coûteux** et nécessite une plus grande **participation du patient.**

Mesure des débits

Le débit le plus important est le **volume expiratoire maximal à la 1ère seconde ou VEMS**.

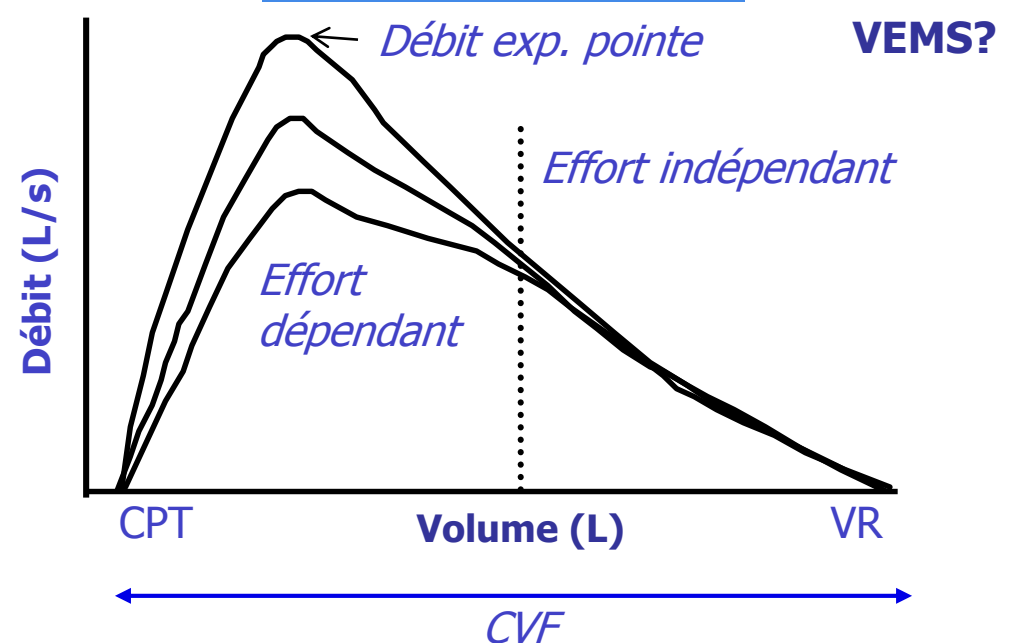
Le VEMS peut être obtenu à l'aide d'un spiromètre volumétrique ou d'un **spiromètre débitmétrique**, comme les dispositifs de mesure de pression différentielle ou pneumotachographe. Le VEMS est alors obtenu lors de la réalisation d'une **courbe débit-volume**.

Courbe volume-temps



VEMS > 70-75% CV

Courbe débit-volume



La pneumotachographie

- Mesure des **débits et des volumes mobilisables uniquement** (pas de CRF) par un capteur de débit en circuit ouvert: **pneumotachographe**

- Mesure des pressions, **calcul** des débits et des volumes :

$$\Delta V' = R \times \Delta P \text{ (loi de Poiseuille)}$$

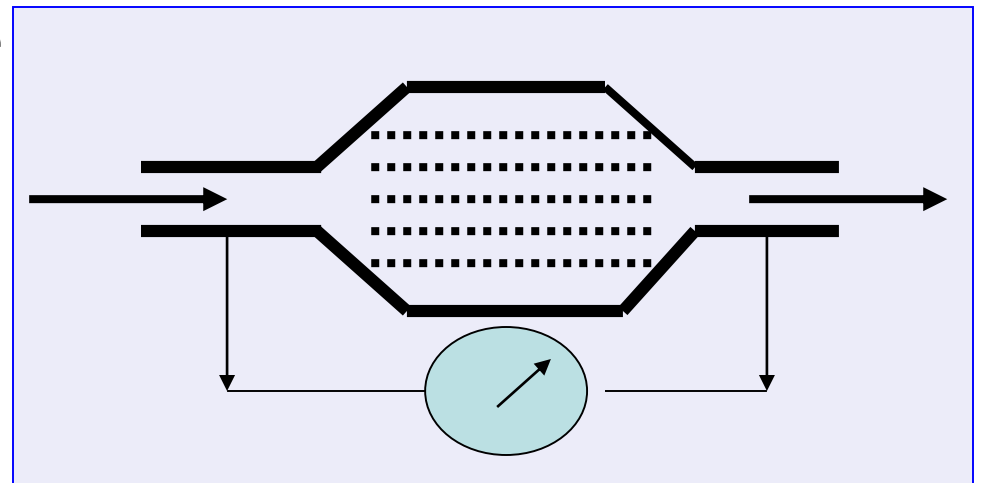
$\Delta V'$: variation de débit d'air, ΔP : variation de pression entre entrée et sortie pneumotachographe,

R : résistance du capteur (connue).

Le volume est obtenu par l'intégrale du débit (sur le temps).

- **Faible encombrement** : peut être utilisé en matériel portatif

- Utilisé aussi dans les pléthysmographes pour la mesure des volumes mobilisables et des débits.

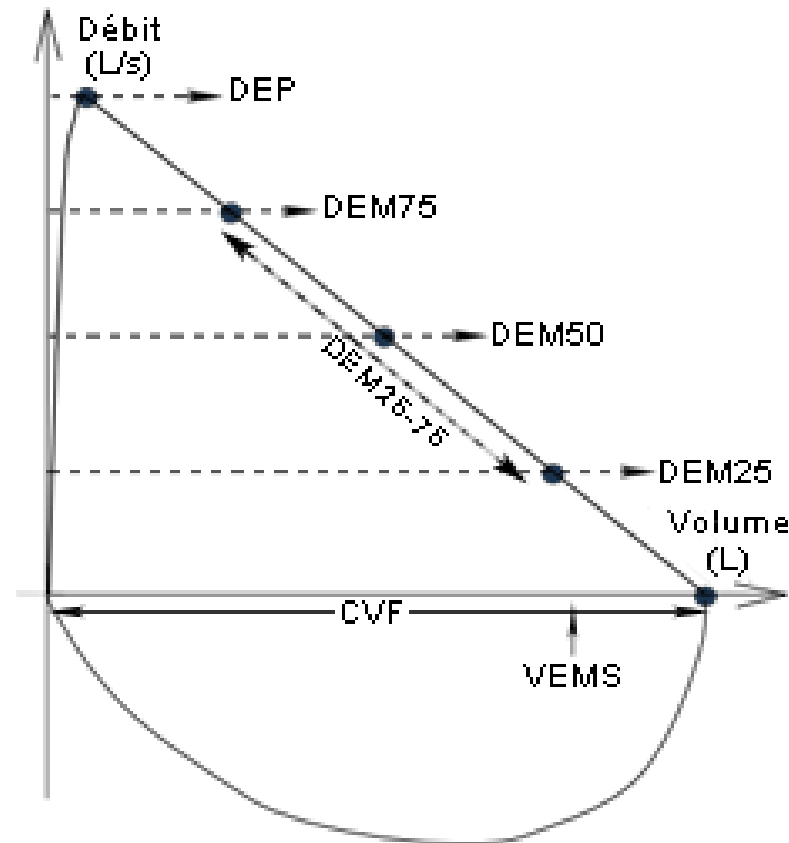


Spiromètres



Mesure des débits

Spirométrie forcée, Courbe débit/volume



Grandeurs Mesurées

DEP:

Débit Expiratoire de Pointe (Peak-Flow)

VEMS:

Volume expiré Maximal en 1 seconde

CVF:

Capacité vitale forcée

Débits instantanés:

DEM 75, 50, 25

Débit médian:

DEM25-75

Calibration

- **Allumage et « chauffage » des appareils** (10min ~)
- **Relevé des conditions atmosphériques:**
température, pression barométrique, hygrométrie (stations météo ou capteurs internes au spiromètre)
- **Seringue de 3 litres étalonnée**
(contrôle annuel): vérification des déformations et étanchéité
- **Calibration quotidienne des volumes**
par « pompage » de la seringue (3 litres +/-3%) simulant inspiration et expiration, à des niveaux de débit différents (au moins 3)
- **Vérifications « régulières »** sur « étalons vivants »

Réalisation de l'examen

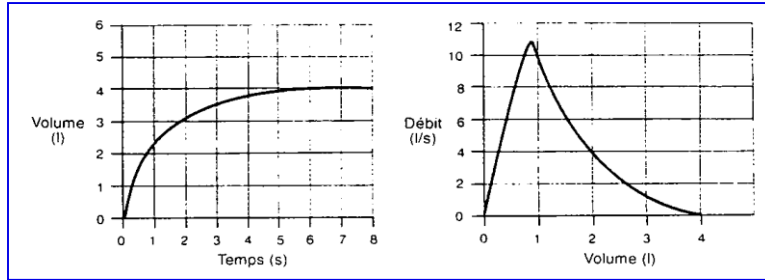
- **Conditions d'accueil:** local calme, aéré
- **Droit d'information du patient:** explication du but de l'examen, explication des manœuvres respiratoires à réaliser
- **Relevé de la taille et du poids**
- **Conditions d'examen**
position assise, position correcte du menton et du cou, pas de vêtements serrés, embout buccal, pince-nez, absence de fuites, instructions simples
- **Exécution des manœuvres :**
3-4 cycles en respiration calme (volume courant) inspiration rapide et profonde, expiration sans pause: le plus vite, le plus fort et le plus longtemps possible, reprise d'une inspiration et respiration normale, retrait de l'embout et du pince-nez
- **Encourager le patient**
après chaque essai: commentaires sur l'épreuve et améliorations à apporter, accorder 1 min de repos entre chaque essai, obtenir 3 manœuvres acceptables (8 max)
L'exécution correcte des manœuvres nécessite un patient coopérant capable de bien comprendre les manœuvres à effectuer et un opérateur expérimenté.

Critères d'acceptabilité et de reproductibilité

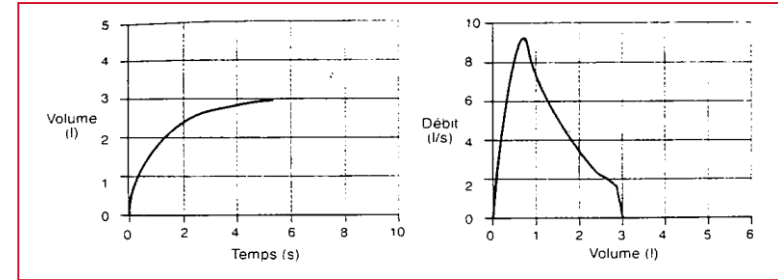
Acceptabilité	Reproductibilité
<ul style="list-style-type: none">• Bon départ Débit de pointe précoce Courbe en pointe au sommet non aplati• Absence de toux ou de fermeture de glotte• Effort expiratoire suffisant et soutenu• Pas de fin prématurée Expiration complète Durée expiration ≥ 6 secondes	<ul style="list-style-type: none">• Après 3 manoeuvres techniquement satisfaisantes Pour le VEMS et la CVF : l'écart entre les valeurs les plus élevées doit être $< 0.15L$ Courbes de forme similaire avec sommet non aplati• Sinon poursuivre si possible jusqu'à Obtention de ces critères Maximum de 8 manoeuvres

Series « ATS/ERS Task Force: Standardisation of lung function testing. Interpretative strategies for lung function tests ». Eur Respir J 2005; 26: 948-6

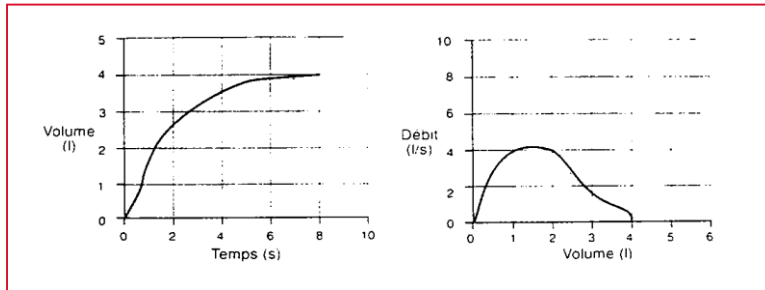
Exemples de courbes débit-volume



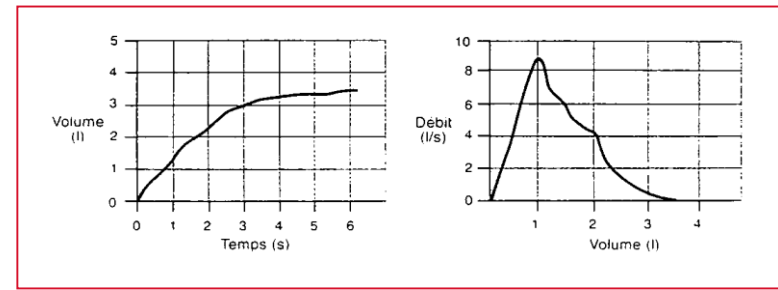
Bonne qualité



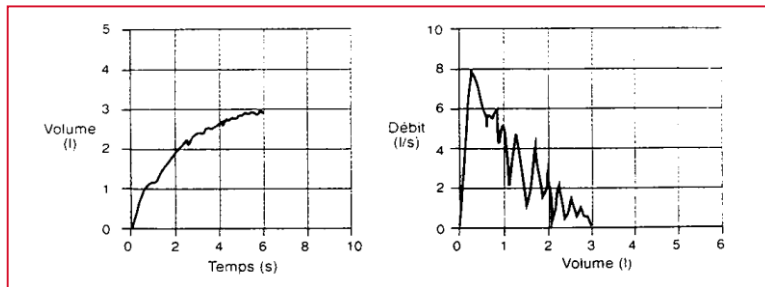
Fin prématurée



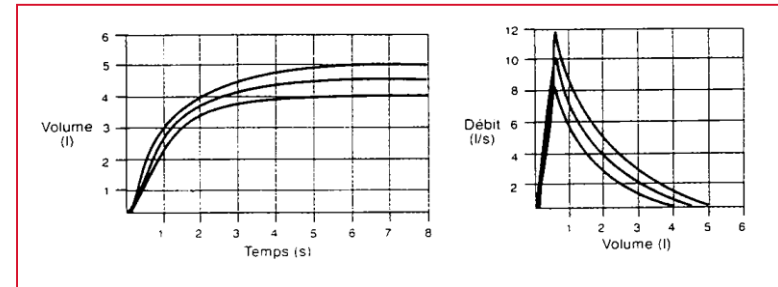
Mauvais départ



Débit variable



Toux



Mauvaise reproductibilité

Expression des résultats

Les volumes pulmonaires et débits expiratoires varient avec :

- l'âge
- le sexe
- la taille
- l'ethnie

Les valeurs observées sont rapportées à des **valeurs théoriques** obtenues chez des individus sains de même âge, de même sexe et de même taille.

Lors de l'interprétation, il est capital de prendre en compte la **qualité de réalisation des manœuvres** par le patient.

Interprétation des résultats

- **Recommandations internationales 2005:**

- Normalité: donnée par l'intervalle de confiance à 90%
- Limites de la normalité: entre Limite Inférieure de la Norme (LIN) et Limite Supérieure de la Norme (LSN)

- **En pratique :** Les valeurs observées peuvent être considérées comme pathologiques si elles sont **inférieures ou égales à 80 % des valeurs théoriques.**

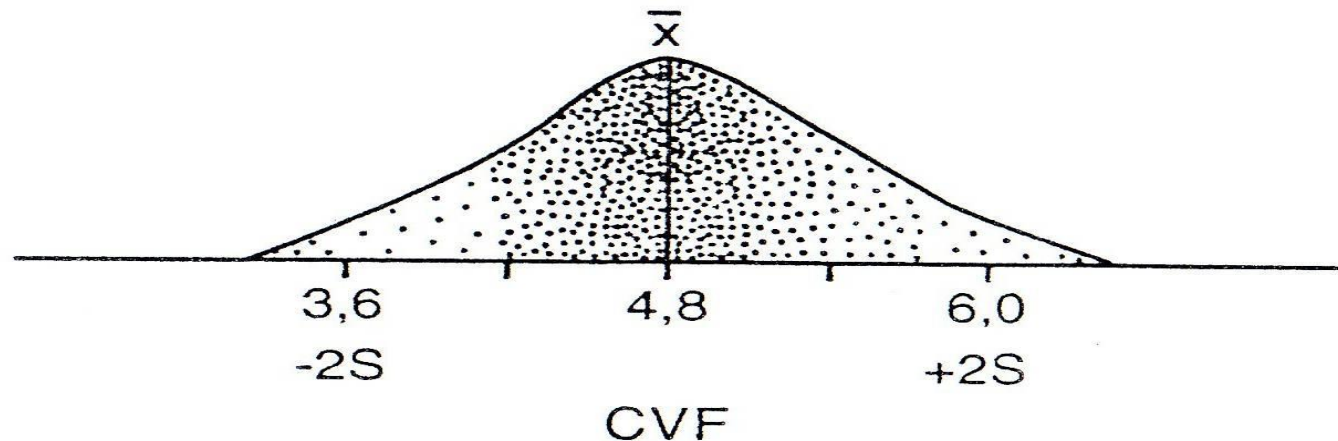
Les anomalies des index spirométriques ne sont pas spécifiques d'une pathologie déterminée.

Limite inférieure de la normale (LIN)

Comparaison = Base de l'interprétation

Valeur mesurée: Comparée à une valeur de référence prévue

Notion d'intervalle de confiance (IC) à 95%: Recommandée pour déterminer la LIN



Variable anormale quand elle est < LIN de la valeur de référence

Trouble ventilatoire obstructif

- **Trouble Ventilatoire Obstructif (TVO):** ↓ débit, ↑ résistance
VEMS/CV abaissé (<LIN)

- **Gravité du TVO**

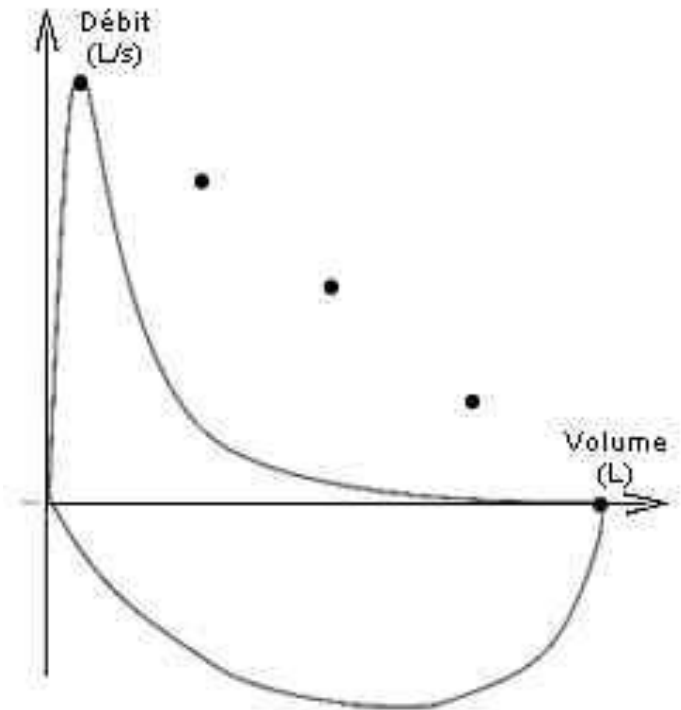
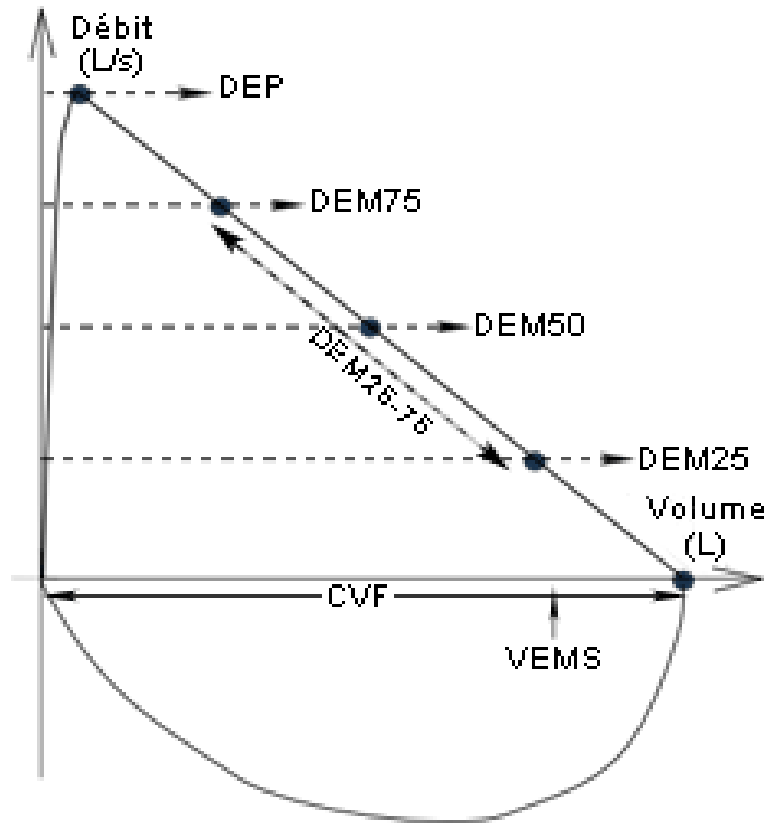
Le degré d'obstruction est quantifié par la diminution du VEMS:

- Léger: $70\% < \text{VEMS} < 80\%$ théorique
- Modéré: $60\% < \text{VEMS} < 70\%$
- Grave: $\text{VEMS} < 50\%$

- **Aspect de la courbe débit/volume**

- Concave

Trouble ventilatoire obstructif

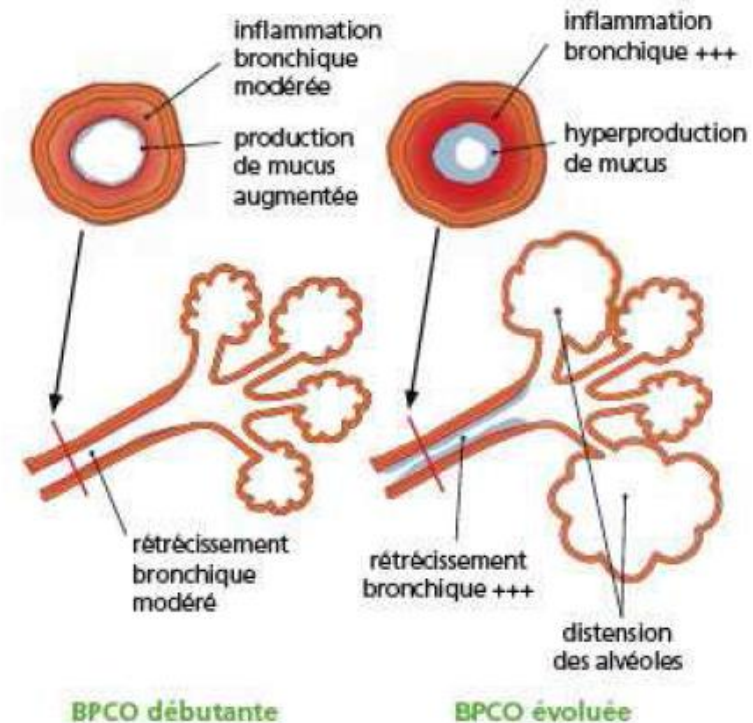


Obstruction des voies aériennes: mécanismes

Contraction du muscle lisse bronchique (asthme +++ , BPCO+)
Épaississement de la paroi bronchique (BPCO +++ , asthme+)



Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive
(secondaire au tabagisme principalement)



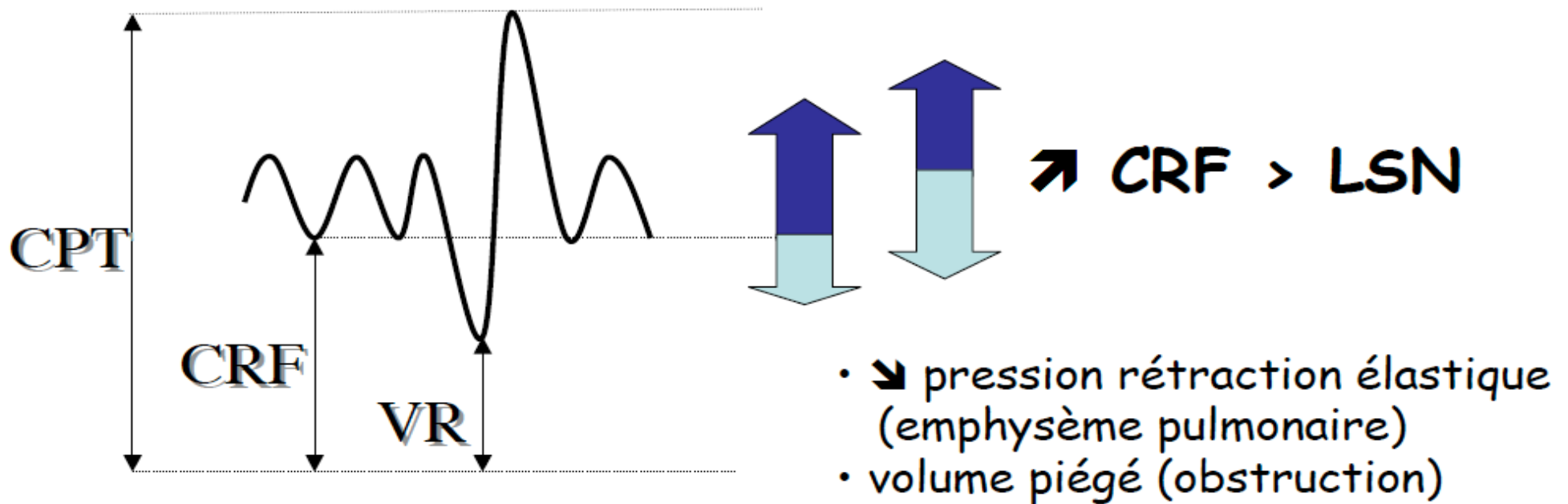
Réversibilité de l'obstruction bronchique

- Administration au patient de bronchodilatateurs inhalés d'action immédiate. 15 à 20 minutes après, le VEMS et la CV sont à nouveau mesurés.
- Le trouble ventilatoire obstructif est considéré comme réversible si :
 - **le VEMS ou la CV s'améliorent de plus de 12% par rapport aux valeurs de base**
 - **et si un gain de 200 ml est observé.**

Cet examen permet d'aider au diagnostic et de guider les propositions thérapeutiques faites au patient.

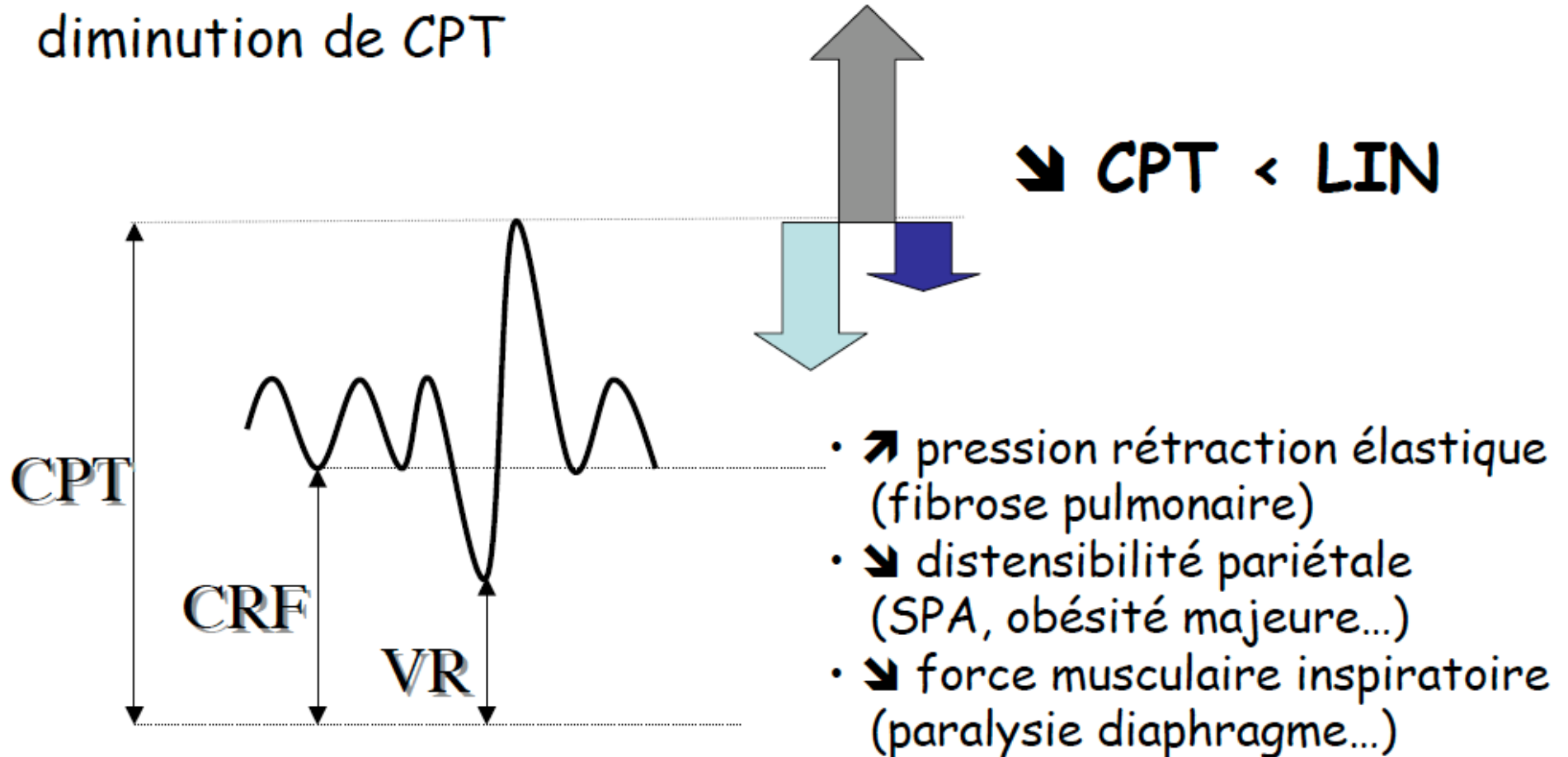
Corollaire de l'obstruction: Distension

Distension :
Augmentation CRF



Trouble ventilatoire restrictif

Trouble restrictif :
diminution de CPT



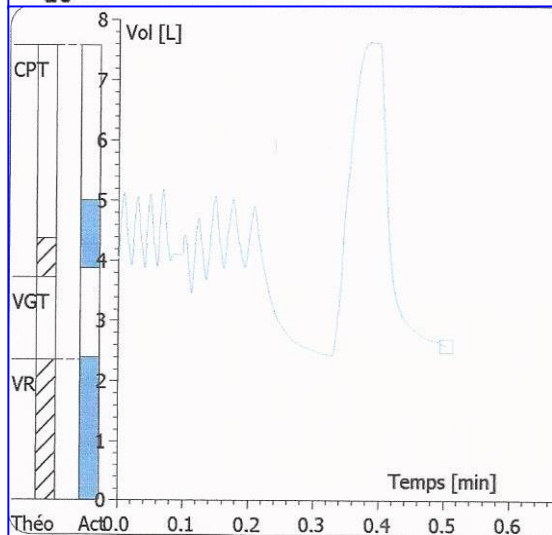
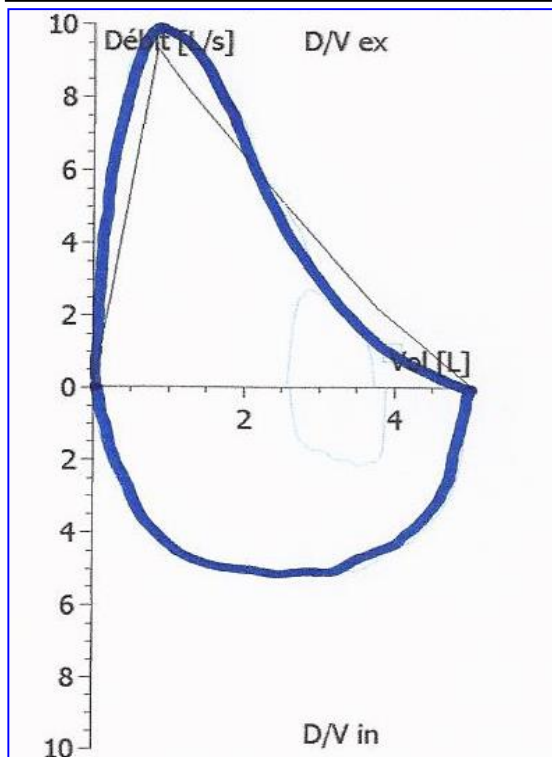
En aucun cas, un syndrome restrictif ne peut être diagnostiqué sur une simple diminution de la CV (donc sur une simple courbe débit/volume)

Procédures d'hygiène et de désinfection

- Contamination des embouts buccaux et raccords proches de la bouche par contact direct de la salive.
- Contamination aérienne des autres parties de l'appareil possible
- Risque de contamination croisée probablement faible
- **Recommandations :**
 - embouts buccaux à usage unique
 - pince-nez à usage unique ou changés entre les patients
 - usage de filtres à usage unique placés après l'embout buccal
 - désinfection et décontamination régulières des raccords, tuyaux, valves et du spiromètre
 - lavage régulier des mains

Age: 52 ans
 Taille: 186,0 cm

Sexe: masculin
 Poids: 93,0 kg



VOLUMES PULMONAIRES						
		THEORIQUES			MESURES	
		Théo	LIN	LSN	Base	%B/Th
CI	[L]	3.86	3.86	3.86	3.70	96
VRE	[L]	1.38	1.38	1.38	1.50	109
CV L	[L]	5.24	4.32	6.16	5.20	99
CRF PLETHY	[L]	3.73	2.75	4.71	3.88	104
VR	[L]	2.35	1.68	3.02	2.38	101
CPT	[L]	7.78	6.63	8.93	7.58	97
VR % CPT	[%]	34.24	25.29	43.19	31.40	92

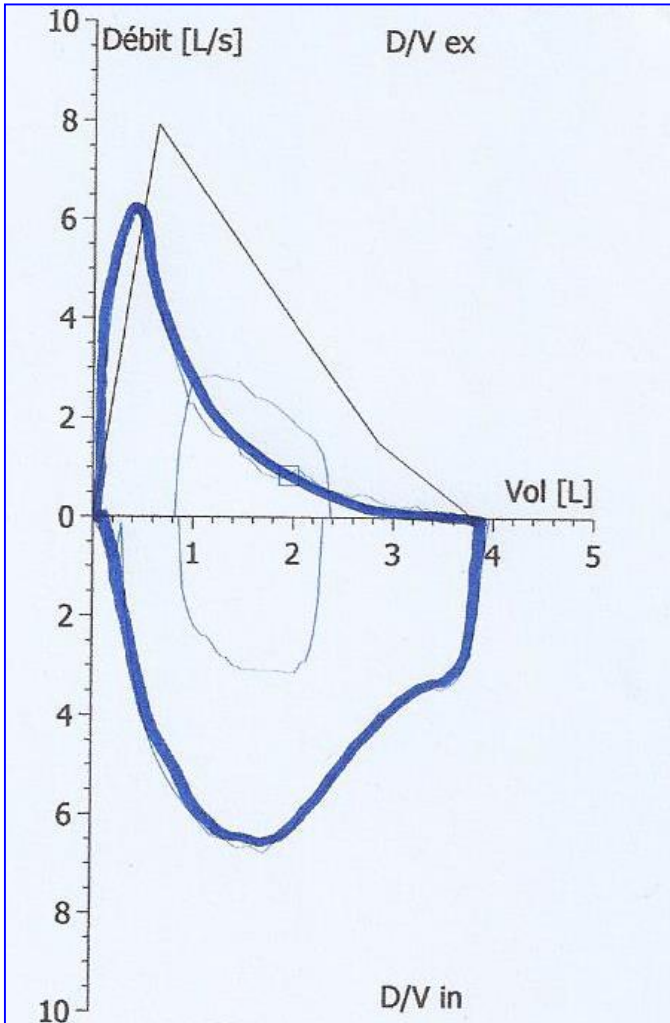
SPIROMETRIE FORCEE						
Substance	Dose		THEORIQUES		MESURES	
			Théo	LIN	Base	%B/Th
CVF	[L]	5.02	4.02		4.86	97
VEMS	[L]	4.00	3.16		3.94	99
VEMS % CV L	[%]	77.85	66.09		75.86	97
VEMS % CVF	[%]				81.25	
DEP	[L/s]	9.33	7.35		9.80	105
DEM 75	[L/s]	8.18	5.37		9.46	116
DEM 50	[L/s]	5.09	2.92		5.39	106
DEM 25	[L/s]	2.16	0.88		1.43	66
DEMM 25/75	[L/s]	4.07	2.37		3.88	95
VIMS	[L]				4.72	
DIP	[L/s]				5.16	

EFR normale

Age: 59 ans
 Taille: 168,0 cm
 BMI: 21,97

Sexe: masculin
 Poids: 62,0 kg
 Module val.théo: ERS 93

BPCO post-tabagique



VOLUMES PULMONAIRES

		THEORIQUES			MESURES	
		Théo	LIN	LSN	Base	%B/Th
CI	[L]	2.84	2.84	2.84	2.28	80
VRE	[L]	1.10	1.10	1.10	1.65	150
CV L	[L]	3.95	3.03	4.86	3.94	100
CRF PLETHY	[L]	3.37	2.39	4.36	4.59	136
VR	[L]	2.27	1.60	2.94	2.93	129
CPT	[L]	6.34	5.20	7.49	6.87	108
VR % CPT	[%]	36.97	28.02	45.92	42.71	116

SPIROMETRIE FORCEE

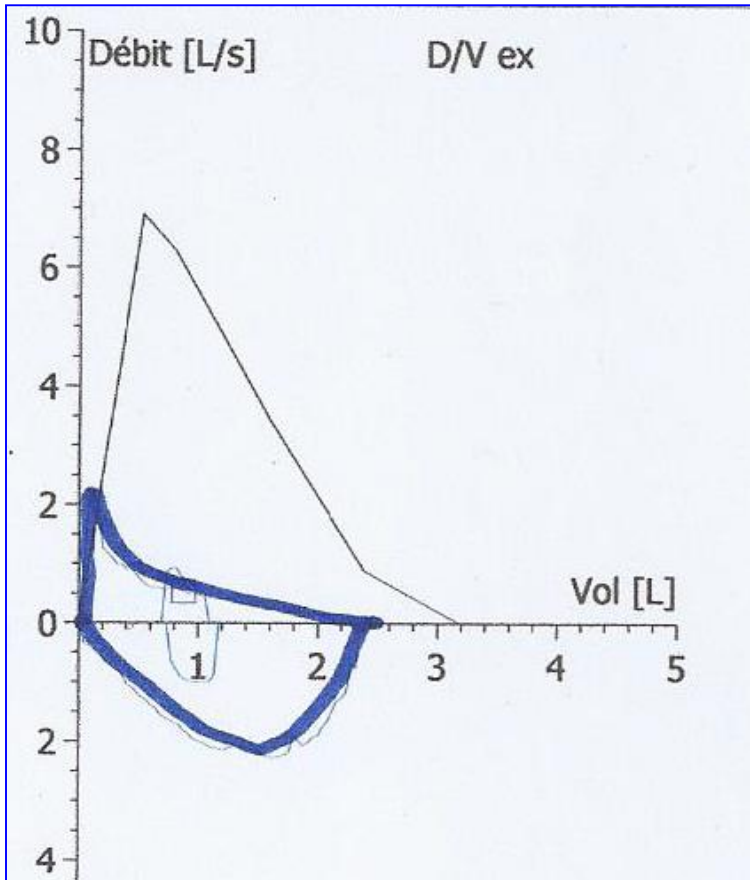
Substance Dose		Théo	LIN	Base	%B/Th
		CVF	[L]	3.80	2.80
VEMS	[L]	3.02	2.19	1.93	64
VEMS % CV L	[%]	76.59	64.83	49.06	64
VEMS % CVF	[%]			53.51	
DEP	[L/s]	7.93	5.94	6.26	79
DEM 75	[L/s]	6.99	4.19	2.70	39
DEM 50	[L/s]	4.19	2.02	0.80	19
DEM 25	[L/s]	1.51	0.23	0.46	30
DEMM 25/75	[L/s]	3.42	1.72	0.86	25
VIMS	[L]			3.68	
DIP	[L/s]			6.78	

Trouble ventilatoire obstructif (TVO) et Distension débutante

Age: 83 ans
 Taille: 168,0 cm
 BMI: 16,65

Sexe: masculin
 Poids: 47,0 kg
 Module val.théo: ERS 93

BPCO post-tabagique; 1P/j pendant 50 ans
Oxygénothérapie 3L/min



VOLUMES PULMONAIRES

		THEORIQUES			MESURES	
		Théo	LIN	LSN	Base	%B/Th
CI	[L]	2.48	2.48	2.48	1.12	45
VRE	[L]	0.79	0.79	0.79	1.23	156
CV L	[L]	3.27	2.36	4.19	2.36	72
CRF PLETHY	[L]	3.59	2.60	4.57	6.10	170
VR	[L]	2.80	2.12	3.47	4.87	174
CPT	[L]	6.34	5.20	7.49	7.23	114
VR % CPT	[%]	46.33	37.38	55.28	67.40	145

SPIROMETRIE FORCEE

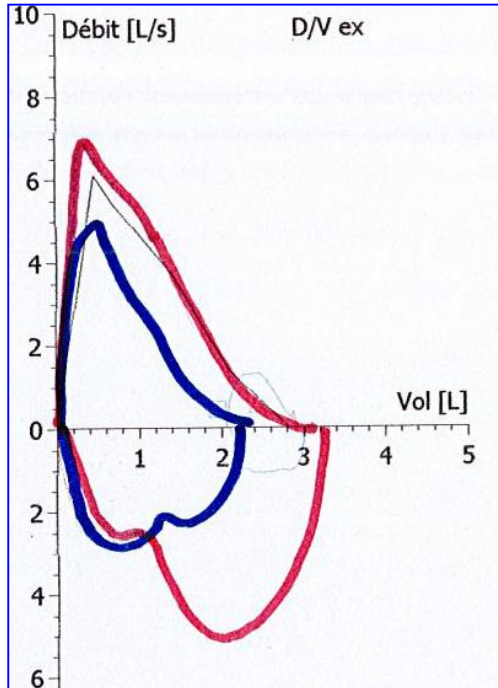
Substance	Dose	Théo	LIN	Base	%B/Th
CVF	[L]	3.18	2.18	2.13	67
VEMS	[L]	2.33	1.49	0.86	37
VEMS % CV L	[%]	72.27	60.51	36.67	51
VEMS % CVF	[%]			40.53	
DEP	[L/s]	6.90	4.91	2.25	33
DEM 75	[L/s]	6.30	3.49	0.70	11
DEM 50	[L/s]	3.44	1.28	0.44	13
DEM 25	[L/s]	0.89	-0.39	0.24	27
DEMM 25/75	[L/s]	2.39	0.68	0.42	18
VIMS	[L]			1.52	
DIP	[L/s]			2.27	

TVO sévère- Distension

Age: 57 ans
Taille: 162,0 cm
BMI: 24,77

Sexe: féminin
Poids: 65,0 kg
Module val.théo: ERS 93

**Gène respiratoire
apparue vers 52 ans
Non fumeuse**



VOLUMES PULMONAIRES

		THEORIQUES			MESURES	
		Théo	LIN	LSN	Base	%B/Th
CI	[L]	2.06	2.06	2.06	2.94	143
VRE	[L]	0.84	0.84	0.84	0.41	49
CV L	[L]	2.90	2.21	3.59	3.35	115
CRF PLETHY	[L]	2.69	1.87	3.51	2.25	84
VR	[L]	1.84	1.27	2.42	1.84	100
CPT	[L]	4.90	3.91	5.89	5.18	106
VR % CPT	[%]	38.34	28.78	47.90	35.44	92

SPIROMETRIE FORCEE

Substance		Théo	LIN	Base	%B/Th
Dose					
CVF	[L]	2.80	2.10	2.39	85
VEMS	[L]	2.37	1.75	1.95	82
VEMS % CV L	[%]	78.27	67.59	58.22	74
VEMS % CVF	[%]			81.68	
DEP	[L/s]	6.09	4.61	4.95	81
DEM 75	[L/s]	5.39	3.18	4.79	89
DEM 50	[L/s]	3.70	1.90	2.66	72
DEM 25	[L/s]	1.39	0.25	0.76	55
DEMM 25/75	[L/s]	3.01	1.61	1.92	64
VIMS	[L]			2.08	
DIP	[L/s]			2.81	

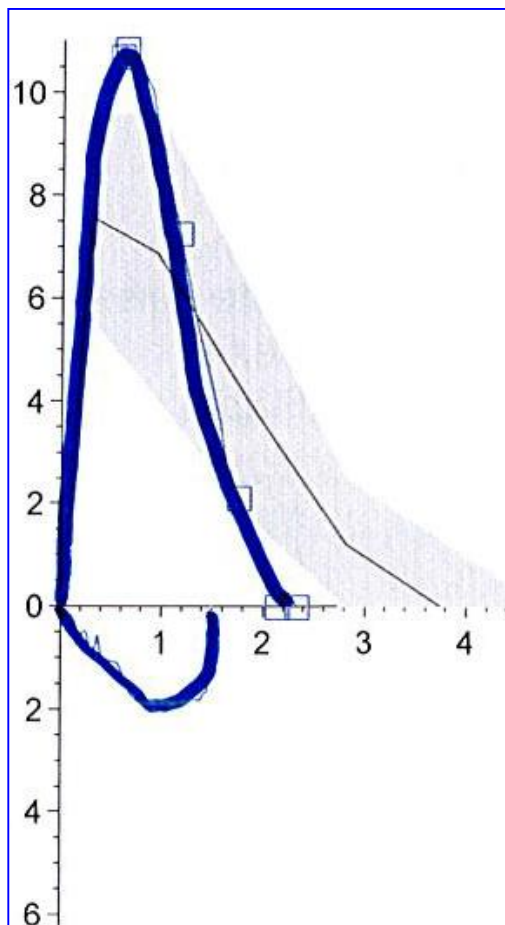
Post1	%P1/Th
Ventoline 4b	
2.95	105
2.43	102
73.48	94
82.30	
6.90	113
5.51	102
2.42	65
0.40	29
1.55	51
3.28	
5.19	

TVO léger réversible sous BD (VEMS +480ml +25%)

Age: 79 Années
Taille: 176 cm
IMC: 26

Sexe: masculin
Poids: 80.0 kg
Module val.théo: Standard EU_N_A

Fibrose pulmonaire idiopathique



VOLUMES PULMONAIRES

		Théo	LIN	LSN	Base	%B/Th
CI	L	2.95	2.95	2.95	1.53	52
VRE	L	0.93	0.93	0.93	0.79	85
CVL	L	3.87	2.95	4.80	2.32	60
CRFpl	L	3.74	2.75	4.73	2.52	67
VR	L	2.81	2.14	3.49	1.73	61
CPT	L	6.98	5.83	8.13	4.05	58
VR%CPT	%	44.77	35.79	53.75	42.71	95

SPIROMETRIE FORCEE

		Théo	LIN	LSN	Base	%B/Th
Substance						
Dose						
CVF	L	3.74	2.74	4.75	2.32	62
VEMS	L	2.79	1.95	3.63	2.13	76
VEMS%CV	%	72.99	61.20	84.78	91.78	126
VEMS%CF	%	72.99	61.20	84.78	91.78	126
DPE	L/s	7.56	5.57	9.55	10.84	143
DEM75	L/s	6.85	4.04	9.66	10.69	156
DEM50	L/s	3.87	1.70	6.04	7.25	187
DEM25	L/s	1.20		2.48	2.10	175
DEMM	L/s	2.72	1.01	4.43	5.59	206
VIMS	L				1.30	
DPI	L/s				2.00	

Trouble ventilatoire restrictif