

# INTRODUCTION

- Au même titre que l'électrocardiogramme en cardiologie, les explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) participent au diagnostic et à la prise en charge d'un nombre important de pathologies respiratoires.
- Les EFR viennent juste après la radiographie du thorax dans l'orientation étiologique d'une dyspnée chronique.
- Elles permettent de caractériser un trouble ventilatoire (obstructif, restrictif ou mixte).
- Des examens plus poussés (gazométrie, capacité de transfert du CO, explorations à l'effort ou la nuit) peuvent mettre en évidence une insuffisance respiratoire ou un trouble respiratoire du sommeil.
- Enfin, les EFR permettent de surveiller l'évolution naturelle ou sous traitement des principales pathologies respiratoires.

# INTRODUCTION

- Spirométrie
- Gazométrie artérielle
- TM6 min
- pléthysmographie
- DLCO
- Exploration du sommeil

# Spirométrie / plethysmographie

- La spirométrie explore les volumes pulmonaires mobilisables notamment le VEMS, volume expiratoire maximum au cours de la 1ère seconde lors d'une expiration forcée réalisée à partir de la capacité pulmonaire totale (CPT) et la capacité vitale forcée (CVF) et lente (CVL).
- Ces volumes sont exprimés en valeur absolue et en pourcentage de la valeur prédite (par rapport à des données issues d'études de centaines voire de dizaine de milliers de sujets définissant une « population de référence »).
- L'usage veut qu'ils soient considérés comme anormaux lorsqu'ils sont inférieurs à 80 % de la valeur prédite ou supérieurs à 120 % de la valeur prédite
- Les termes valeur théorique ou de référence sont souvent utilisé comme synonymes de valeur prédite.
- La pléthysmographie permettent de mesurer le volume pulmonaire non mobilisable, en pratique la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF).
- On peut ensuite calculer le volume résiduel (VR = ce qui reste dans le thorax quand on a fini d'expirer,) en enlevant le volume de réserve expiratoire (VRE) à la CRF.

On peut également calculer la capacité pulmonaire totale (CPT = tout l'air que peut contenir un thorax en fin d'inspiration forcée) en ajoutant la capacité inspiratoire (CI) à la CRF. En pléthysmographie, la CRF est parfois appelée volume gazeux thoracique (VGT)



# Spirométrie

Indication /contre indication :

## Diagnostic:

- Évaluer les symptômes, les signes
- Mesurer l'effet physiologique d'une maladie ou d'un trouble
- Dépister les personnes à risque de maladie pulmonaire
- Évaluer le risque préopératoire
- Évaluer le pronostic

## Surveillance :

- Évaluer la réponse à une intervention thérapeutique
- Surveiller la progression de la maladie
- Surveiller les patients pour détecter les exacerbations de la maladie et leur rétablissement
- Surveiller les effets indésirables de l'exposition à des agents nocifs
- Surveiller les effets indésirables des médicaments présentant une toxicité pulmonaire connue
- Évaluations de l'invalidité/du handicap
- évaluer les patients dans le cadre d'un programme de réadaptation

# Spirométrie / plethysmographie

Techniques :





# Spirométrie

Critères d'acceptabilités :



## AMERICAN THORACIC SOCIETY DOCUMENTS

### Standardization of Spirometry 2019 Update

An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society  
Technical Statement

§ Brian L. Graham, Irene Steinerbruggen, Martin R. Miller, Igor Z. Bajaktarevic, Brendan G. Cooper, Graham L. Hall,  
Tad S. Halstrand, David A. Kaminski, Kevin McCarthy, Meredith C. McCormack, Christine E. Orpel,  
Margaret Rosenfeld, Sanja Stancovic, Maureen P. Swanney<sup>†</sup> and Bruce R. Thompson, on behalf of the American  
Thoracic Society and the European Respiratory Society

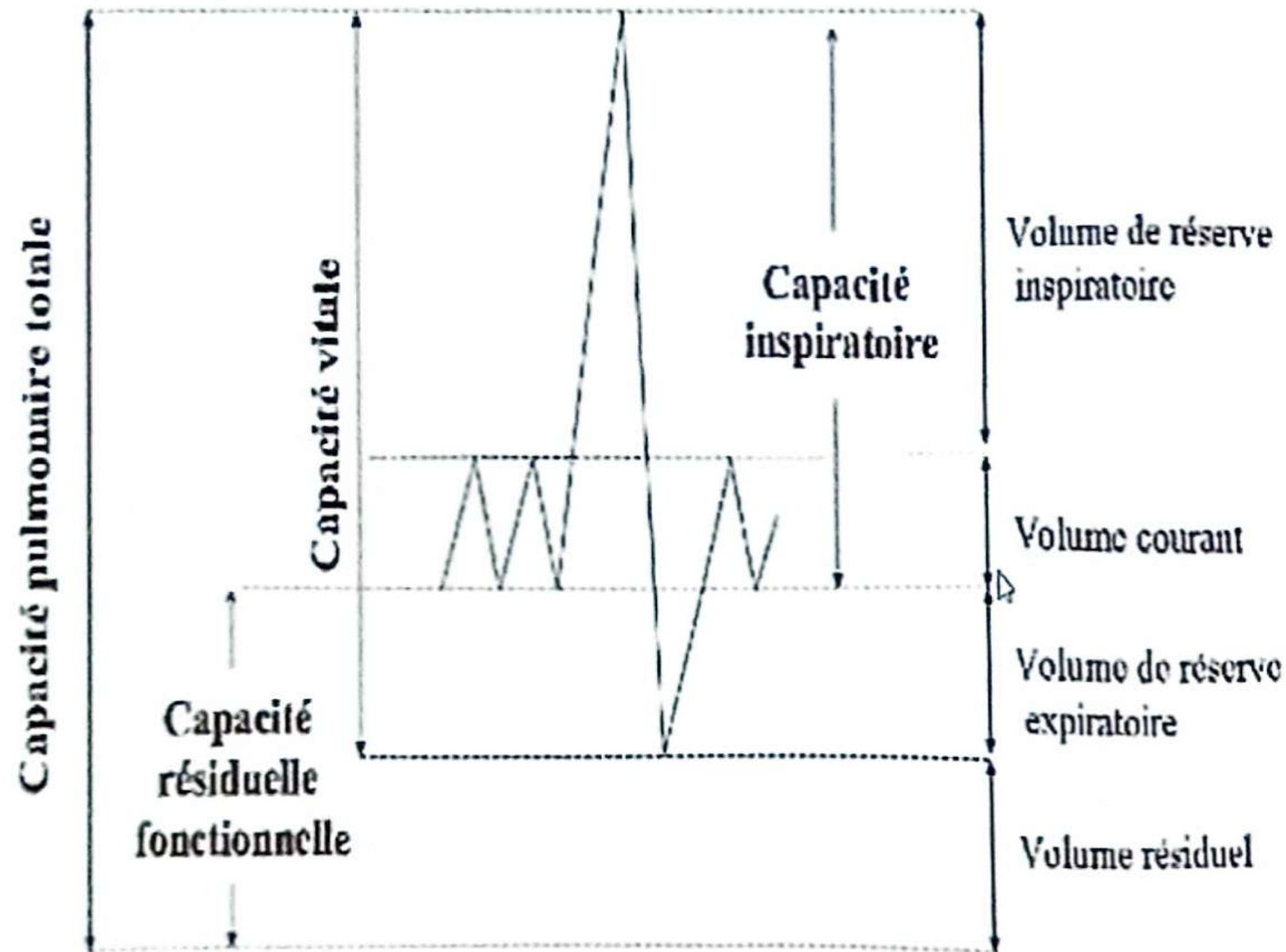
#### critères d'acceptabilité

- Doit avoir un VEP < 5 % de la CVF ou 0,100 L, selon la valeur la plus élevée
- Ne doit pas avoir de toux dans la première seconde d'expiration\*
- Ne doit pas avoir de fermeture glottique dans la première seconde d'expiration\*
- Ne doit pas avoir de fermeture glottique après 1 s d'expiration
- Doit atteindre l'un de ces trois indicateurs EOFE :
  - Plateau expiratoire (< 0,025 L dans la dernière seconde d'expiration)
  - Temps expiratoire > 15 s
  - La CVF se situe dans la tolérance de répétabilité ou est supérieure à la CVF antérieure la plus grande observée†
- Ne doit présenter aucune trace d'obstruction de l'embout buccal du spiromètre
- Ne doit présenter aucune trace de fuite

#### critères de reproductibilité

- La différence entre les deux valeurs de CVF les plus élevées doit être < 0,150 L, et la différence entre les deux valeurs de VEMS les plus élevées doit être < 0,150 L

# Spirométrie



# Spirométrie / Plethysmographie

- Caractériser un trouble ventilatoire :
  - trouble ventilatoire obstructif (TVO) :  $VEMS/CVF < 0,7$
- Distension pulmonaire
  - souvent associée au TVO
  - définie par une des volumes statiques totaux et une modification des rapports volumes mobilisables et non mobilisables :
    - idéalement,  $CRF > 120\%$  de la valeur prédite (idéalement,  $CRF > LSN$ )
    - rapport  $VR/CPT > 30\%$  (mais là encore, une LSN dépendant de l'âge sera utilisée dans un futur proche)
- trouble ventilatoire restrictif :
  - diminution de la CPT  $< 80\%$  de la valeur prédite (ou  $< LIN$ )
  - dans le trouble restrictif « pur », il existe également une diminution du VEMS et de la CV ( $VEMS/CVF$  reste  $> 0,70$ )
- trouble ventilatoire mixte
  - association d'un trouble ventilatoire restrictif et d'un trouble ventilatoire obstructif
  - $VEMS/CVF < 70\%$  et  $CPT < 80\%$  de la valeur prédite (et/ou  $< LIN$ )



# Spirométrie / Pléthysmographie

- Caractériser la sévérité d'un trouble ventilatoire obstructif
  - C'est essentiellement la valeur relative du VEMS qui définit la sévérité d'un TVO
  - Les 4 stades de la classification GOLD (global initiative for obstructive lung diseases). Dans la classification GOLD le VEMS qui est considéré pour l'évaluation de la sévérité est celui qui est mesuré après bronchodilatateurs.

Stade de la BPCO	Spirométrie	Caractéristiques cliniques habituelles
Stade I BPCO légère.	VEMS/CVF < 0,70 VEMS ≥ 80 % val. préd.	Les symptômes de toux chronique et d'expectoration sont présents, inconstants, la dyspnée est rare.
Stade II BPCO modérée.	VEMS/CVF < 0,70 50 % ≤ VEMS < 80 % val. préd.	Dyspnée d'exercice. Toux et expectorations parfois.
Stade III BPCO sévère.	VEMS/CVF < 0,70 30 % ≤ VEMS < 50 % val. préd.	Majoration de la dyspnée, réduction de la capacité d'exercice, asthénie, exacerbations répétées, altération de la qualité de vie.
Stade IV BPCO très sévère.	VEMS /CVF < 0,70 VEMS ≤ 30 % val. préd. ou VEMS ≤ 50 % val. préd. et IRC	Dyspnée au moindre effort Altération majeure de la qualité de vie, Développement d'une IRC Hypertension pulmonaire, complication de l'IRC Gravité potentielle des exacerbations.

# Spirométrie / Pléthysmographie

- Evaluer la réversibilité d'un trouble ventilatoire :
  - Ceci concerne essentiellement les TVO.
  - Définition de la réversibilité :
    - On parle de réversibilité significative d'un TVO quand le VEMS augmente
      - de plus de 200 ml par rapport à la valeur initiale
      - et de plus de 12% par rapport à la valeur initiale
  - On parle réversibilité complète d'un TVO en cas de normalisation
    - du rapport VEMS/CVF ( $> 0,70$ ) et
    - du VEMS (VEMS  $> 80\%$  de la valeur prédite).

# Spirométrie / Pléthysmographie

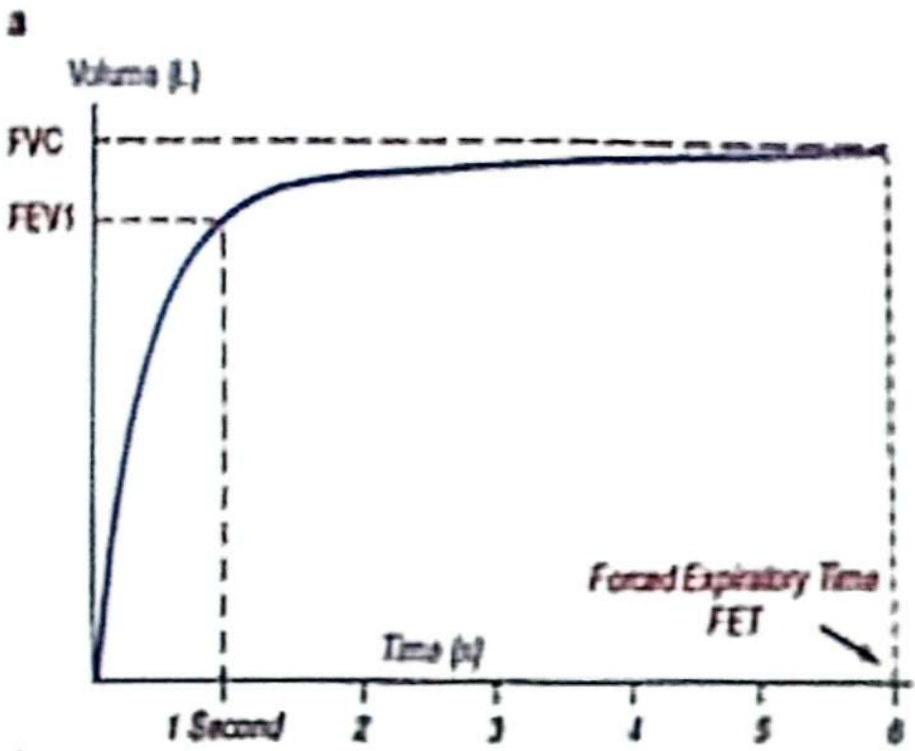
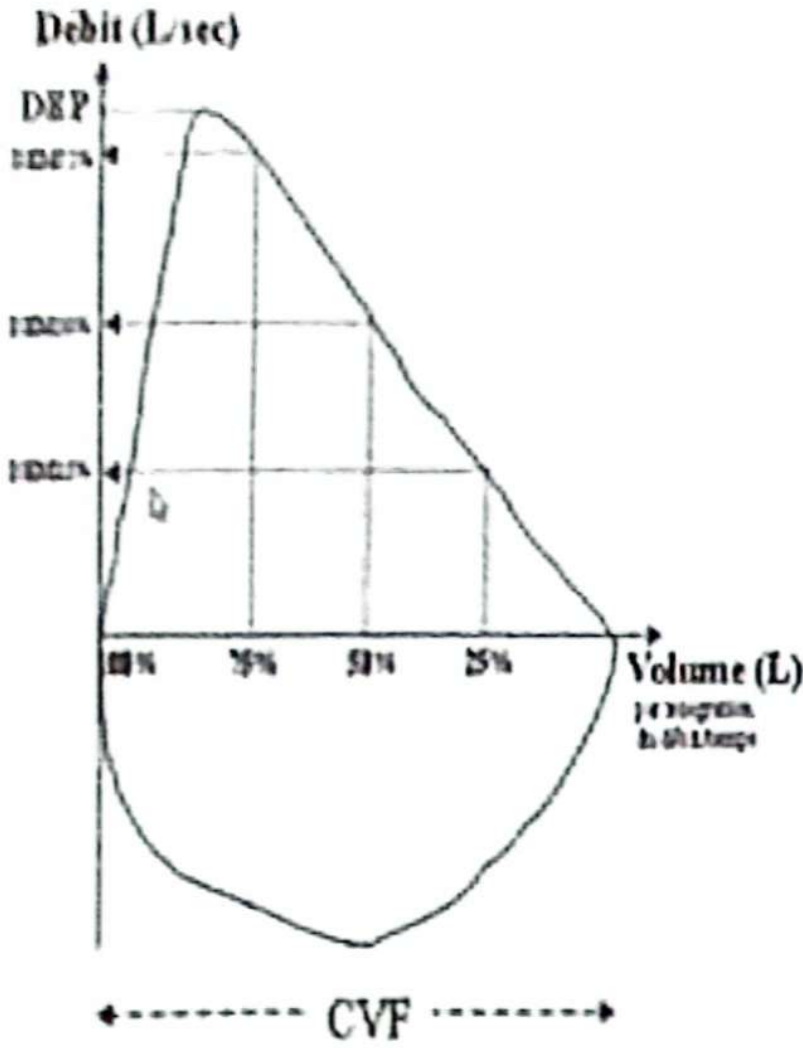
- **Evaluer la réversibilité d'un trouble ventilatoire :**

- **Définition de la réversibilité :**

- Test pharmacologique "rapide" aux bronchodilatateurs : la réversibilité peut être étudiée lors de la réalisation des EFR en réalisant une 1ère spirométrie avant l'administration de bronchodilatateurs (BD) d'action rapide ( $\beta_2$  agoniste, voire anticholinergique) puis une 2ème spirométrie 10-15 minutes après. On aura ainsi la valeur du "VEMS pré BD" et celle du "VEMS post BD".
- Test pharmacologique "lent" aux corticoïdes : on peut aussi dans certains cas (suspicion d'asthme) étudier la réversibilité après une corticothérapie systémique (prednisone = 0,5 mg/kg/j) de durée brève (10-15 j)
- Réversibilité spontanée : la réversibilité spontanée observée entre deux spirométries réalisées à quelques jours ou semaines d'intervalles a la même valeur d'orientation diagnostique que la réversibilité pharmacologique.



# Courbes normales :



# Courbes anormales :

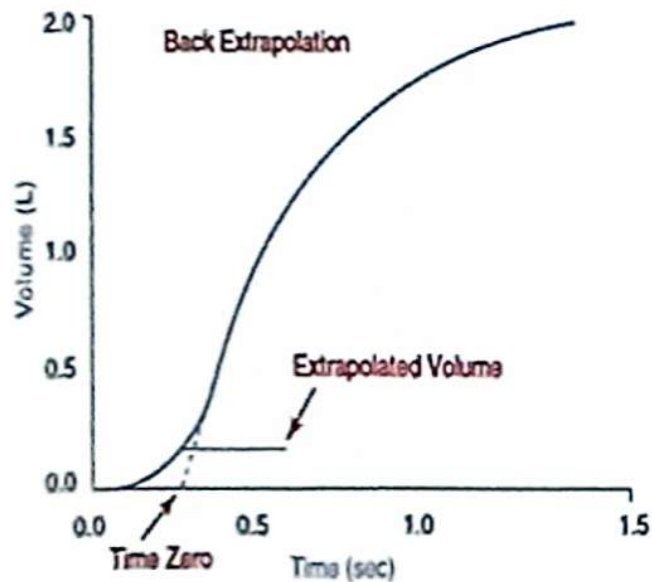


FIGURE 1.5 Extrapolation volume of 150 ml or 5% of FVC (whichever is larger) (with permission from American Thoracic Society [2])

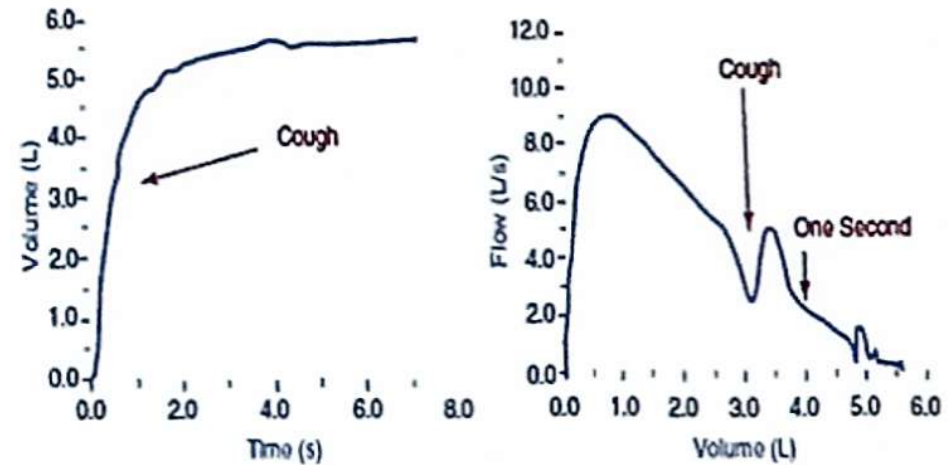
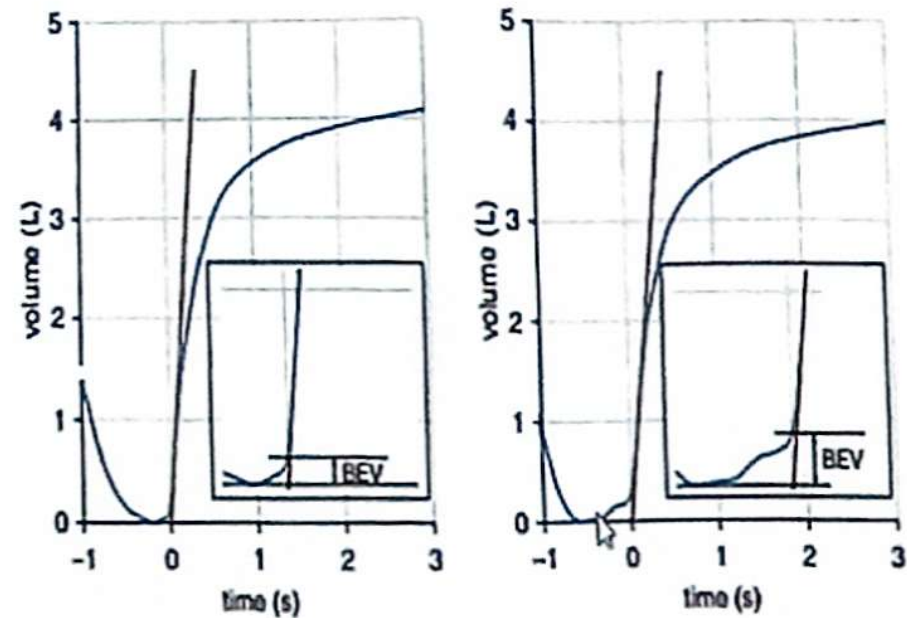


FIGURE 1.6 Cough in the first second. It is much clearer in the FV curve than in the VT curve as indicated by the arrows (with permission from American Thoracic Society [2])



# Courbes anormales :

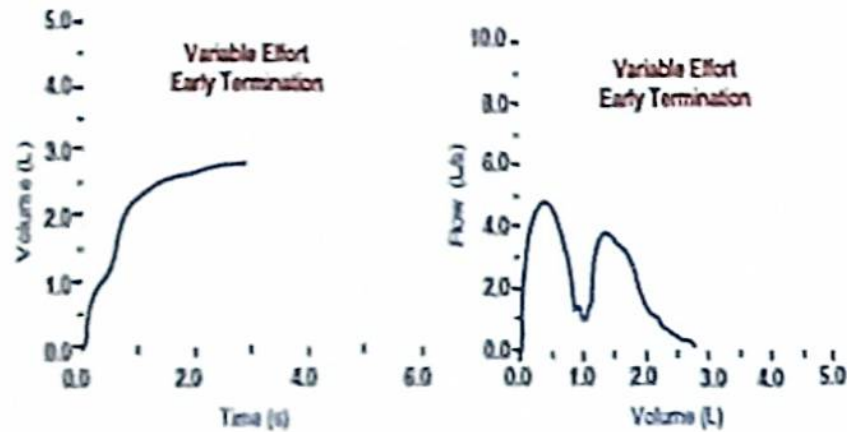


FIGURE 1.7 Variable effort: any study with a variable effort is rejected (with permission from American Thoracic Society [2])

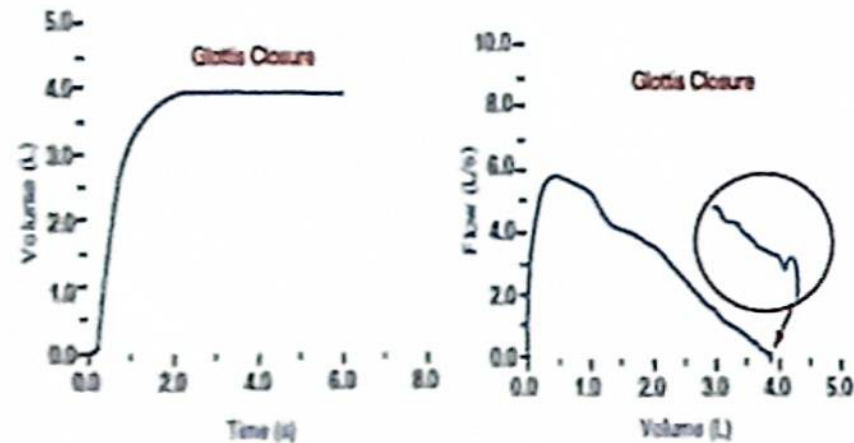
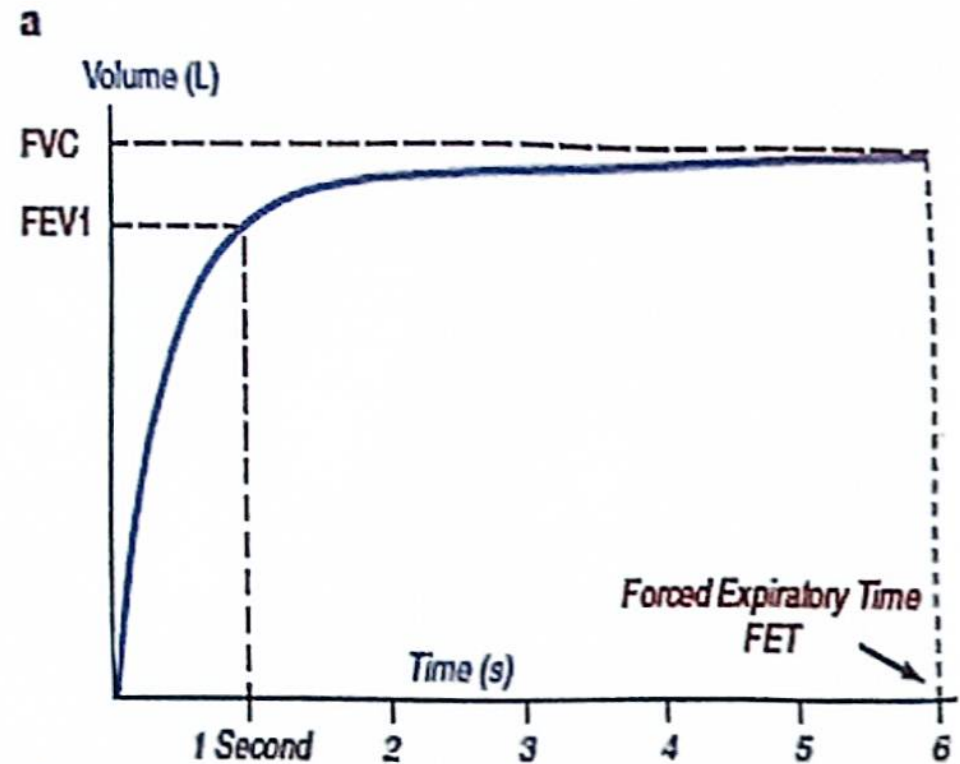
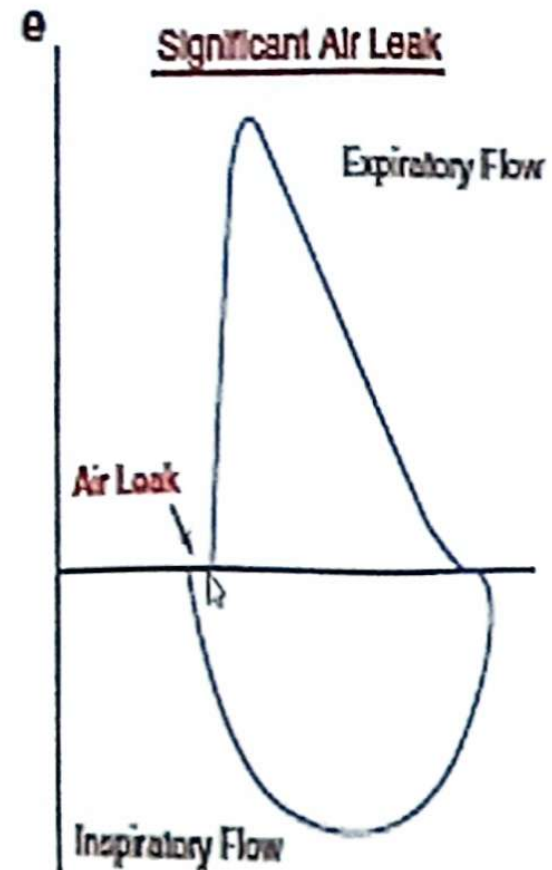
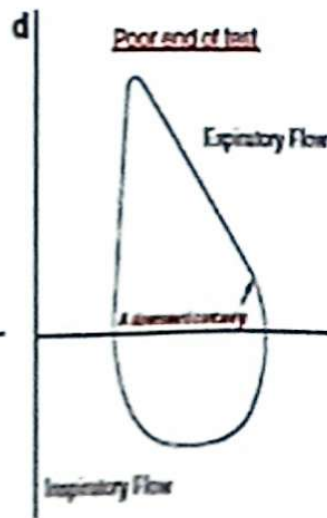
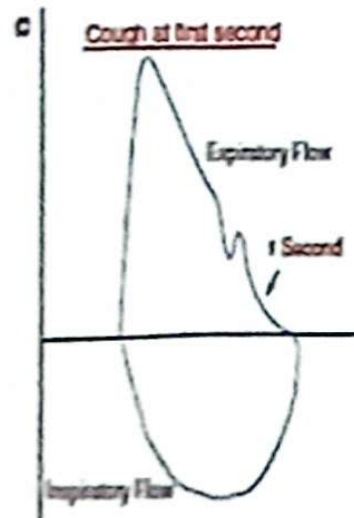
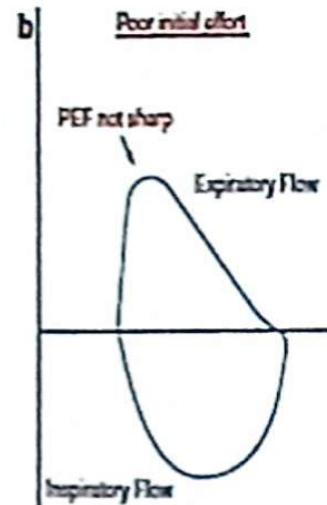
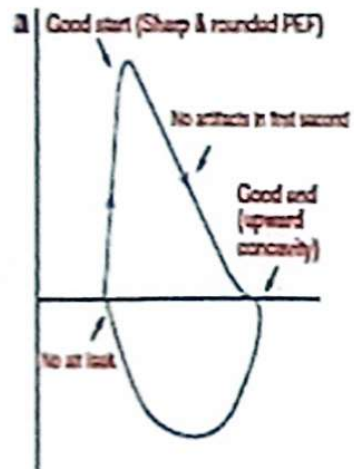


FIGURE 1.8 Glottis closure (with permission from American Thoracic Society [2])

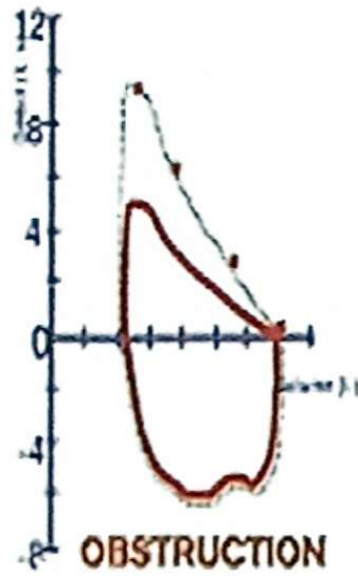
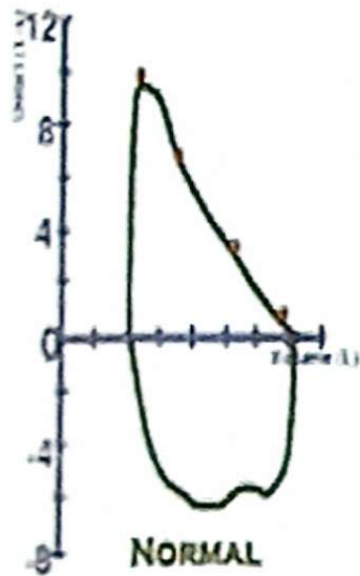




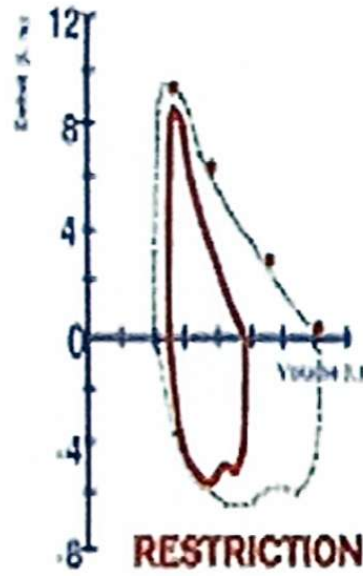
# Courbes anormales :



# Courbes pathologiques :



Même volume comparé aux valeurs théoriques représentant une courbe normale effectuée par le patient, mais difficultés à souffler du fait d'une barrière (air trapping).



Volume poumon plus petit comparé aux valeurs théoriques représentant une courbe normale effectuée par le patient.

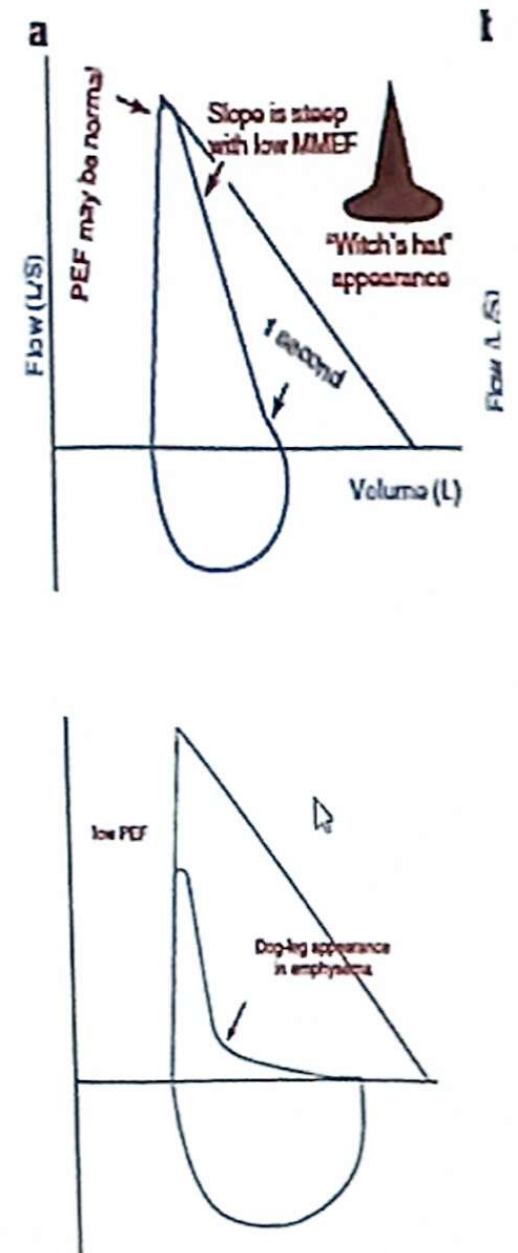


FIGURE 1.15 Dog-leg appearance typical of emphysema

# Courbes pathologiques :

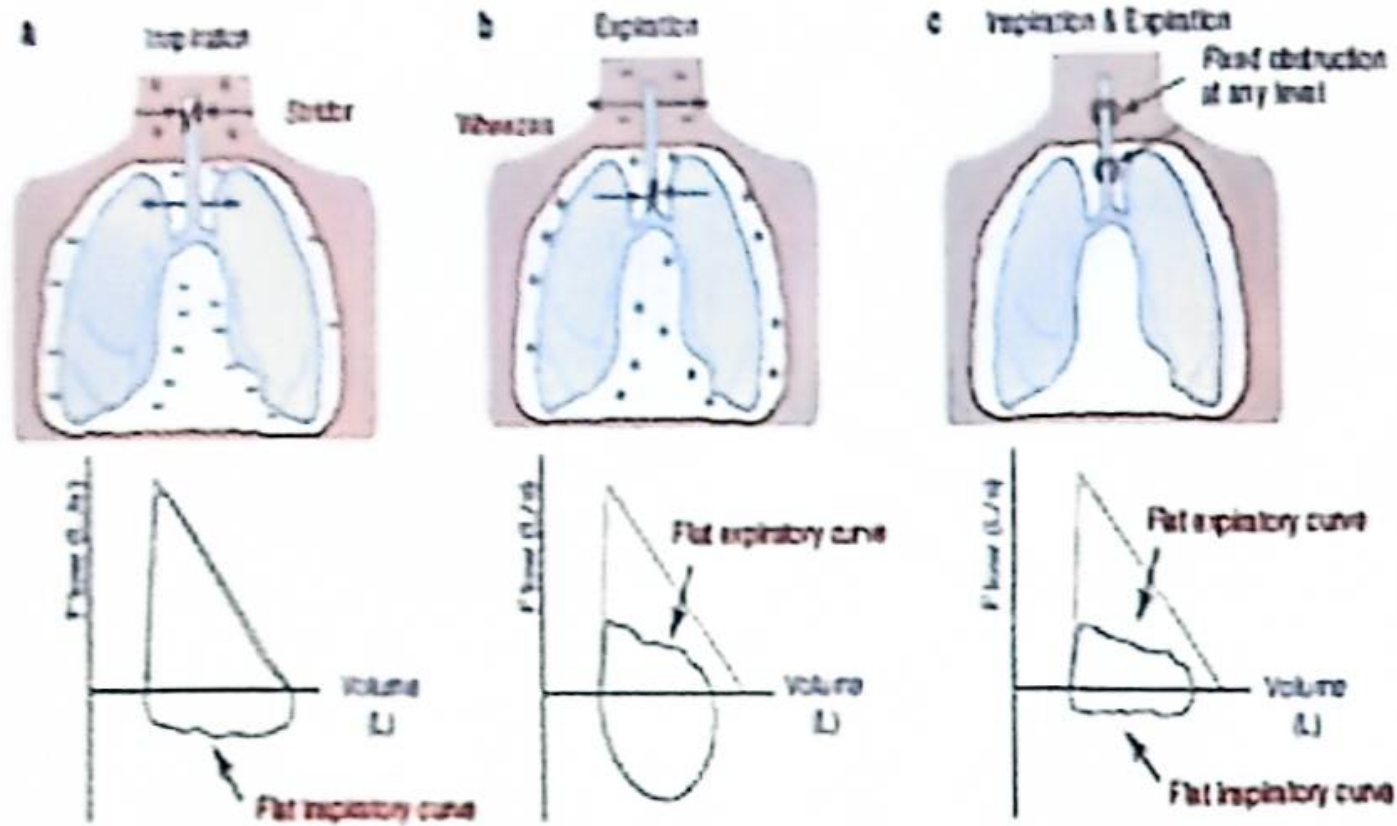
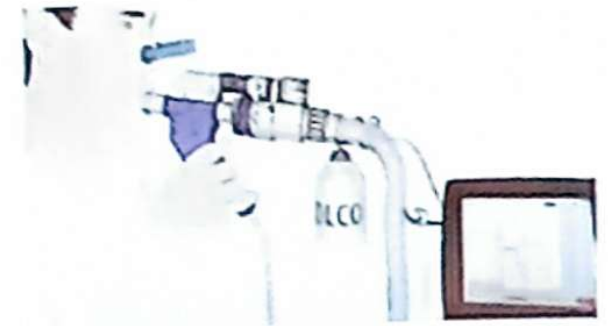


FIGURE 1.28 Upper airway obstruction (a) variable extrathoracic obstruction (b) Variable intrathoracic obstruction (c) Fixed upper airway obstruction



# DLCO

## Transfert pulmonaire des gaz



- On peut mesurer le transfert alvéolocapillaire de certains gaz (CO en particulier).
- Le facteur de transfert est appelé TL ou DL.
- La technique consiste à inhaler une quantité connue de CO (et d'un gaz traceur qui ne diffuse pas, en général l'hélium), de réaliser une apnée d'une dizaine de secondes, puis d'expirer pour recueillir du gaz « alvéolaire ».
- On peut ainsi connaître la « vitesse » avec laquelle le CO a diffusé (coefficient de Krogh ou KCO) et le volume de gaz alvéolaire dans lequel le CO s'est dilué (VA).
- En multipliant KCO par VA, on obtient DLCO.
- Le transfert du CO explore le système respiratoire dans sa globalité (volume pulmonaire, diffusion gazeuse dans les alvéoles, diffusion à travers la membrane alvéolo-capillaire, rapports ventilation/perfusion, volume de sang dans les capillaires pulmonaires, taux d'hémoglobine).
- on considère souvent comme pathologique toute valeur de DLCO (ou TLCO) < 70% de la valeur théorique.
- En pathologie respiratoire, une altération du TLCO ou du KCO oriente vers trois grandes pathologies :
  - maladies infiltratives pulmonaires (par atteinte de la membrane alvéolo-capillaire)
  - emphysème (par destruction du lit vasculaire)
  - maladies vasculaires pulmonaires (embolie pulmonaire ou hypertension pulmonaire par amputation du lit vasculaire)

# Gaz du sang / saturation

## L'étude des gaz du sang artériel :

- Réalisée en général au repos chez un patient en air ambiant ou sous oxygène.
  - Il est souhaitable d'avoir au moins une mesure faite au repos, en position assise, en air ambiant.
- Les pressions partielles en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> sont mesurées en mmHg ou en kPa.
- Le pH est également une valeur mesurée.
  - La concentration en bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) est par contre calculée.

## La saturation (Sp O<sub>2</sub>)

- Mesure de la saturation de pouls en O<sub>2</sub> de l'hémoglobine (SpO<sub>2</sub>) au repos
- Un capteur (lobe de l'oreille ou doigt) mesure la différence d'absorption de la lumière rouge et infrarouge en fonction de l'oxygénation de l'hémoglobine. Il s'agit d'un reflet indirect de la SaO<sub>2</sub>.
- Une désaturation est définie comme une chute de 4 % de la SpO<sub>2</sub>
  - Intérêts :
    - surveillance continue de la SpO<sub>2</sub> chez un patient en insuffisance respiratoire aigue
    - détection des désaturations en O<sub>2</sub> lors du sommeil ou à l'effort
  - Limites :
    - ne détecte pas l'hypoxémie modérée (nécessite pour être valable une pression de perfusion capillaire suffisante (ne fonctionne pas en cas de choc ou de vasoconstriction)
    - ne détecte pas une baisse de SaO<sub>2</sub> liée à la présence d'HbCO ou de MetHb
    - ne tient pas compte du pH ni de la PaCO<sub>2</sub>

# Gaz du sang / saturation

	<b>acide</b>	<b>normal</b>	<b>alcalin</b>
<b>pH</b>	$< 7,35$	$7,35 - 7,45$	$> 7,45$
<b>PaCO<sub>2</sub></b>	$> 45$	$35 - 45$	$< 35$
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	$< 22$	$22 - 26$	$> 26$



# Gaz du sang / saturation

pH	PaO <sub>2</sub>	PaCO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Résultats	Etiologie(s)
↗	N	N ou ↗	↗	Alcalose métabolique non compensée	- vomissements ou aspiration gastrique, - traitement diurétique de l'anse.
↗	N	↘	N ou ↘	Alcalose respiratoire non compensée	Hyperventilation alvéolaire sur poumon normal: - effet « blouse blanche », angoisse - effort physique
↗	↘	↘	N ou ↘	Alcalose respiratoire non compensée	Hyperventilation alvéolaire par manque d'O <sub>2</sub> : - OAP - Embolie pulmonaire - Pneumonie, bronchite et crise d'asthme non grave
N	↘	↗	↗	Acidose respiratoire compensée	Insuffisance respiratoire chronique
↘	↘	↗	N ou ↗	Acidose respiratoire non compensée	Hypoventilation alvéolaire : - insuffisance respiratoire aiguë - décompensation de BPCO
↘	N	N ou ↘	↘	Acidose métabolique non compensée	Acidocétose Acidose lactique (hypoxie) Lyse cellulaire Insuffisance rénale Si trou anionique normal : tubulopathie ou perte digestive de bicarbonates (diarrhée)

# exemples

## Dossier 14 - corrigé

Etudiant en médecine de 24 ans en cours de préparation de l'ECN qui fait une crise d'angoisse car il ne pige rien aux perturbations de l'équilibre acide-base. Il est polypnéique et ressent des picotements autour de la bouche et des fourmis dans les mains. Le tableau prend de telles proportions que ses camarades s'inquiètent et l'amènent aux urgences. Le gaz du sang est le suivant : pH 7,48 ;  $\text{PaCO}_2$  30 mmHg ;  $\text{HCO}_3^-$  23 mEq/L. Comment interprétez-vous son équilibre acide-base ?

On rappelle les valeurs normales de l'équilibre acide-base

	acide	normal	alcalin
pH	< 7,35	7,35 – 7,45	> 7,45
$\text{PaCO}_2$	> 45	35 – 45	< 35
$\text{HCO}_3^-$	< 22	22 – 26	> 26

# exemples

## Dossier 19 - corrigé

Patient de 70 ans porteur d'une BPCO connue de longue date. Consulte pour majoration de sa dyspnée. Le bilan est le suivant : pH 7,35;  $\text{PaCO}_2$  69 mmHg;  $\text{PaO}_2$  55 mmHg;  $\text{HCO}_3^-$  38 mEq/L;  $\text{SaO}_2$  97%; Na 139 mEq/L; K 4 mEq/L; Cl 94 mEq/L; gly: 1,89 g/L. lactate 0.7 38 mEq/L. Comment interprétez-vous son équilibre acide-base ?

On rappelle les valeurs normales de l'équilibre acide-base

	acide	normal	alcalin
pH	< 7,35	7,35 – 7,45	> 7,45
$\text{PaCO}_2$	> 45	35 – 45	< 35
$\text{HCO}_3^-$	< 22	22 – 26	> 26



# exemples

Date de naissance : 30/07/1947

Sexe : M

Poids(Kg) : 59

Taille(cm) : 180

Spirométrie lente et forcée sans/avec test de réversibilité

	Meilleur Test avant BD			Meilleur Test après BD			Dif. Pré	Dif. Pré%
	Norme	Mes.	%Norme	Mes.	%Norme			
CV(L)	4,59	4,72	103	4,93	107	0,21		4
VT(L)	—	1,31	—	1,33	—	0,02		1
VR(L)	—	1,90	—	1,89	—	-0,01		0
VRE(L)	—	1,51	—	1,71	—	0,20		13
CI(L)	—	3,21	—	3,21	—	0,01		0
VEMs/CVF(%)	78	42	55	43	56	1		1
VEMs/CV(%)	78	38	50	38	50	0		0
CVF(L)	4,41	4,28	97	4,41	100	0,13		3
VEMs(L)	3,45	1,80	52	1,88	54	0,08		4
DEP(L/S)	8,53	4,99	58	4,75	56	-0,23		-5
D75(L/S)	7,56	1,49	20	1,64	22	0,15		10
D50(L/S)	4,55	0,81	18	0,75	16	-0,06		-8
D25(L/S)	1,74	0,28	16	0,30	17	0,02		6
DEM(L/S)	3,52	0,66	19	0,68	19	0,01		2

Pneumographie avec ou sans résistances des voies aériennes

	Meilleur test avant BD			Meilleur test après BD			Dif. Pré%	Dif. Pré%
	Norme	Mes.	%Norme	Mes.	%Norme			
CPT(L)	7,30	9,65	132	—	—	—		0
CV (cp)(L)	4,59	4,72	103	—	—	—		0
VGT(L)	3,69	8,51	178	—	—	—		0
VR(L)	2,49	4,93	198	—	—	—		0
VR/CPT(%)	38,16	51,11	134	—	—	—		0
RAW(cmH2O/L/S)	1,21	1,58	131	—	—	—		—
GAW(L/S*cmH2O)	0,83	0,63	76	—	—	—		0
SRAW(cmH2O*s)	4,34	10,68	246	—	—	—		0
SGAW(1/S*cmH2O)	0,23	0,09	41	—	—	—		0

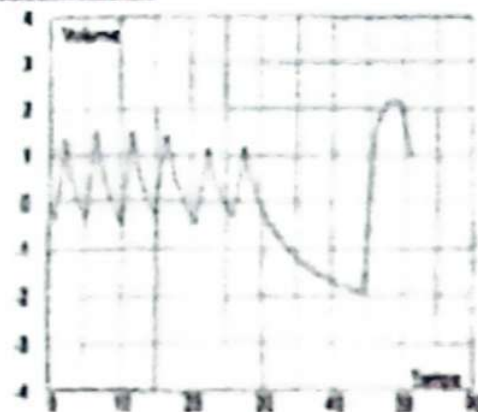
Capacité de diffusion du monoxyde de carbone CO:

	Norme	Test 1		Test 2		Moyenne	
		Mes.	%Norme	Mes.	%Norme	Mes.	%Norme
Hb(gr/100ml)	14,60	12,90		12,90		12,90	
CRFsb(L)	3,69	3,68	100	3,95	107	3,81	103
V(L)	4,41	4,92	112	4,70	106	4,81	109
VA(L)	7,30	7,17	98	7,16	98	7,16	98
KCO cor(ml/minHg/Ml)	4,04	1,86	46	1,92	47	1,89	47
DLCO cor(ml/minHg/Ml)	29,52	13,35	45	13,71	46	13,53	46

# exemples

Sujet M	Poids 33 kg	Taille 174 cm					
			Médieur Test avant 80		Médieur Test après 80		
	Norme	Max	%Norme	Max	%Norme	DE Pre	DE Post
CV(L)	4.07	4.09	100	4.35	107	0.25	6
VT(L)	—	1.48	—	2.13	—	0.65	44
VRE(L)	—	1.83	—	0.64	—	-0.39	-38
VRE(L)	—	1.58	—	1.58	—	-0.01	-1
CE(L)	—	2.51	—	2.77	—	0.26	10
VEMB CVF(%)	75	23	30	22	29	-1	-3
VEMB CVF(%)	75	21	28	21	28	0	1
CVF(L)	3.83	3.75	95	4.18	108	0.41	11
VEMB(L)	3.03	0.85	28	0.82	30	0.06	7
DEP(L/S)	7.83	4.11	52	3.75	47	-0.38	-9
D75(L/S)	7.07	0.64	9	0.83	9	0.01	2
DSO(L/S)	4.15	0.37	9	0.38	8	-0.02	-6
D25(L/S)	1.45	0.18	12	0.18	11	-0.01	-7
DEM(L/S)	3.17	0.33	10	0.31	10	-0.01	-4

Respiration lente



Course d'air volume

