

Anatomophysiologie respiratoire

Dominique DELPLANQUE

Physio respi 001

Spirométrie

Mouvements respiratoires

Mouvements maximaux

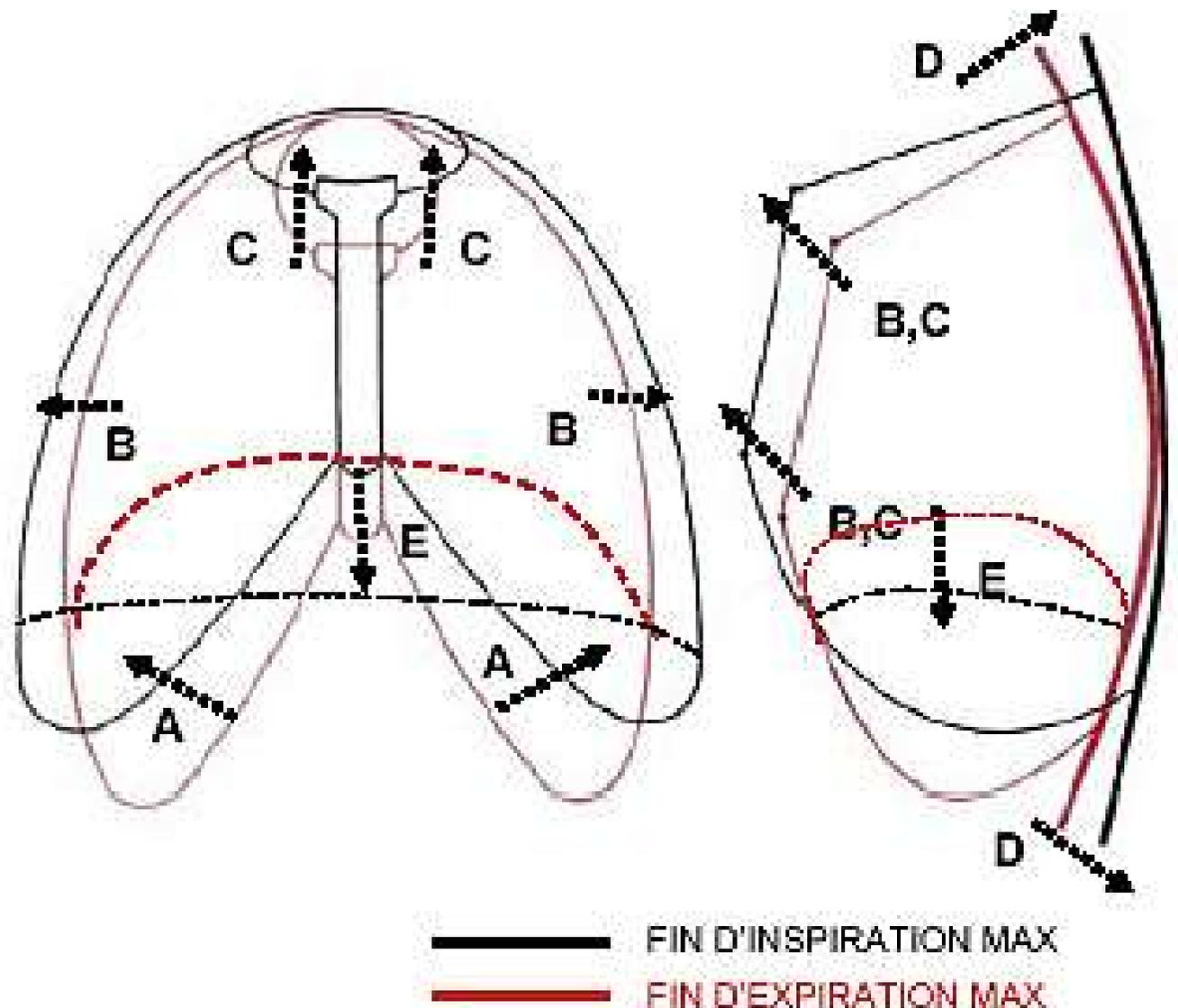
A: élargissement de la base de la cage thoracique

B: augmentation du diamètre latéral

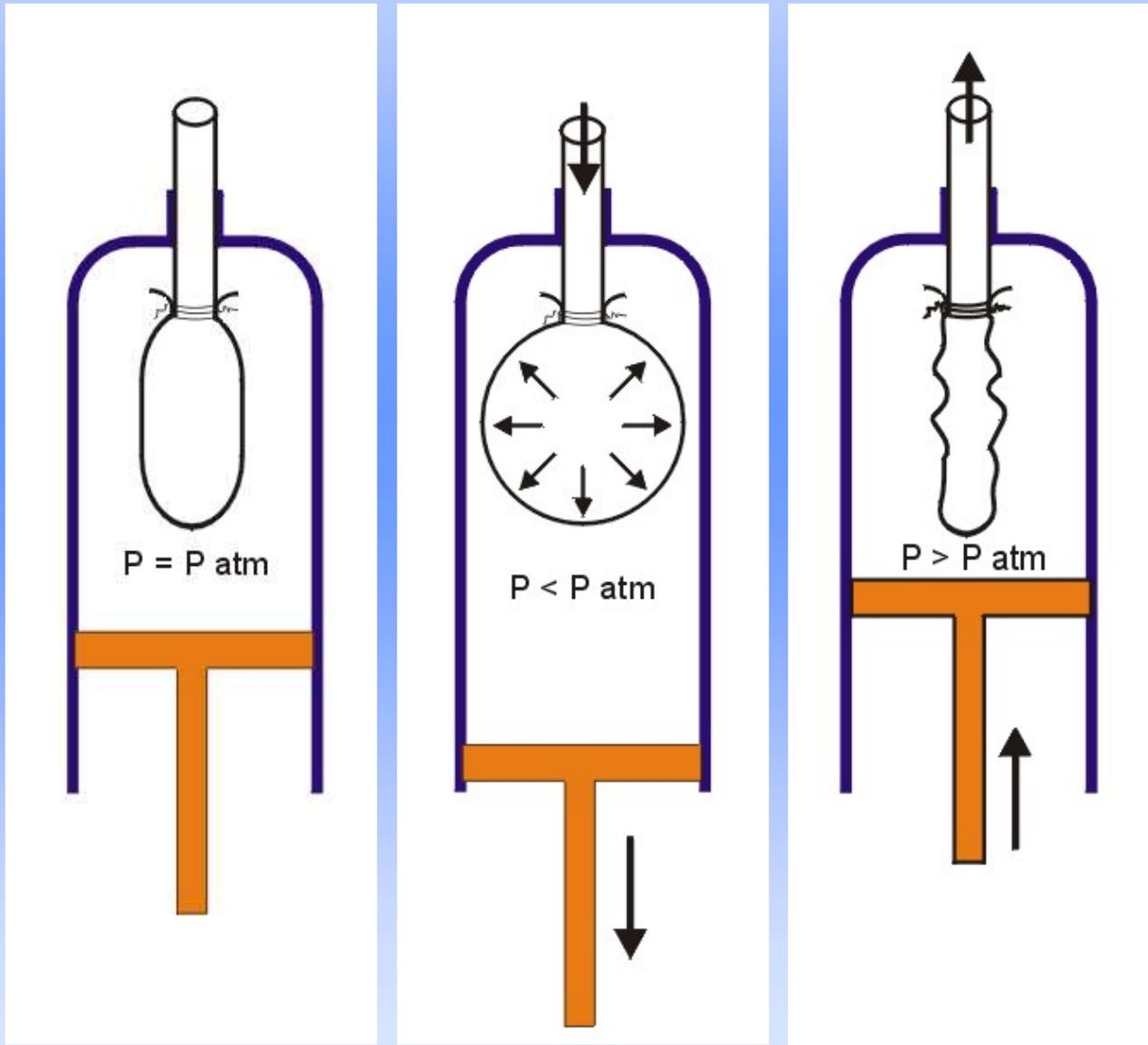
C: déplacement crânial du thorax

D: extension de la colonne vertébrale

E: augmentation du diamètre vertical

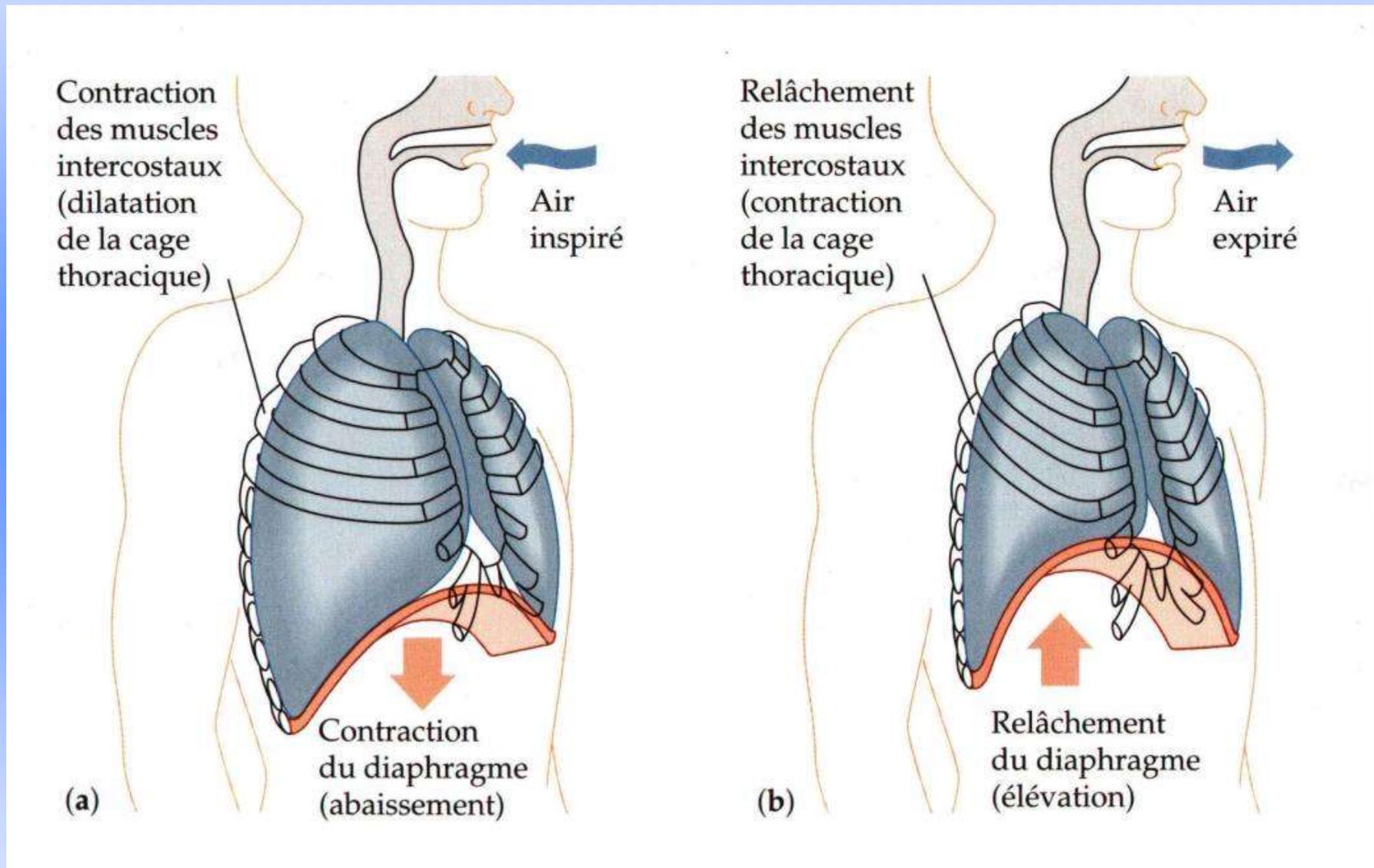


La ventilation



L'augmentation de volume de la cage thoracique crée ainsi une dépression qui aspire l'air dans les poumons.

La ventilation de repos



Inspiration active

Expiration passive

Spiromètre

- **Un spiromètre est un instrument servant à faire une spirométrie : mesure des volumes d'air inspirés et expirés par un patient ainsi que les débits s'y rattachant.**

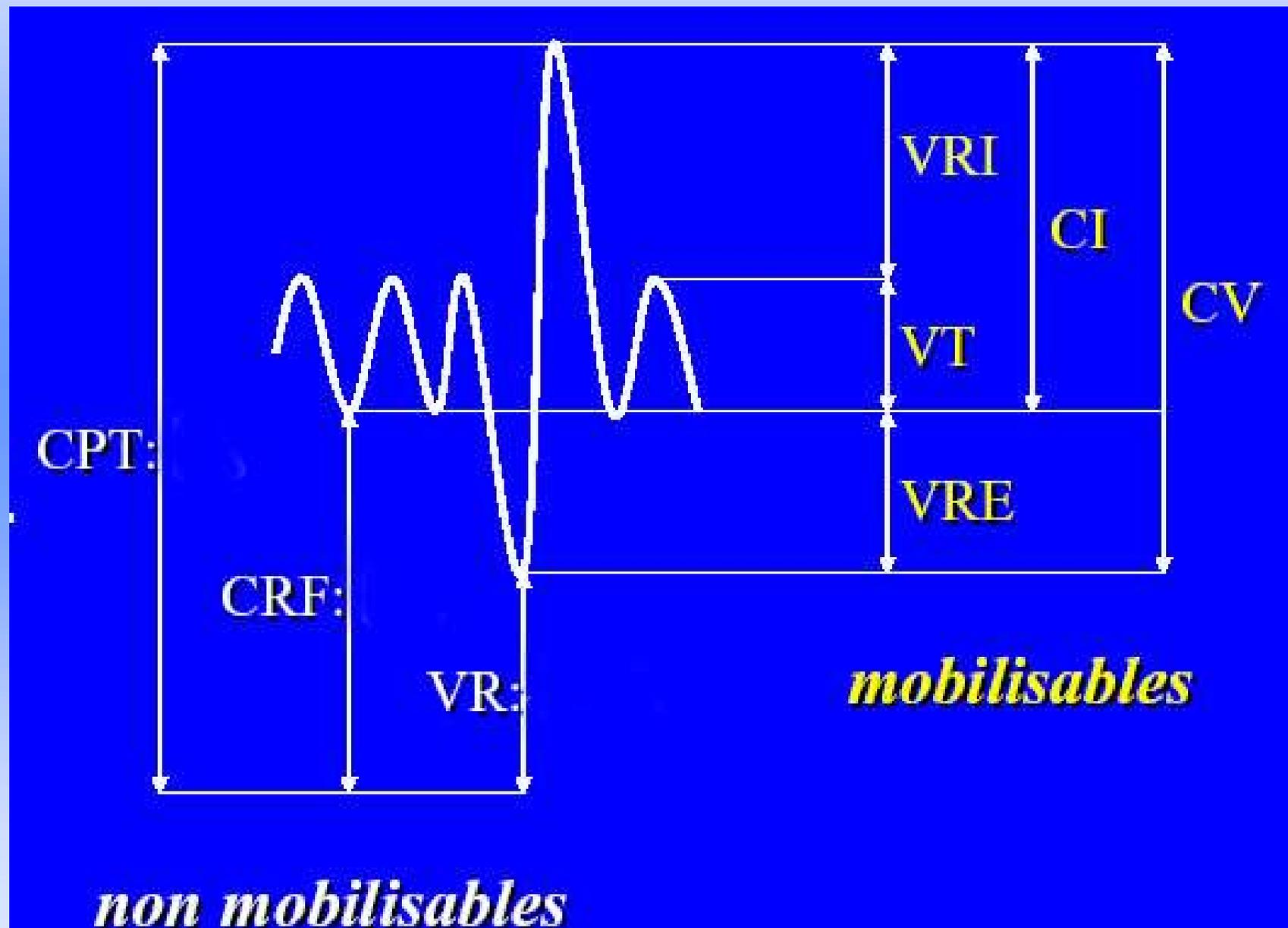


La pléthysmographie



Intérêt: mesure la
totalité du gaz
intra thoracique

Les volumes pulmonaires

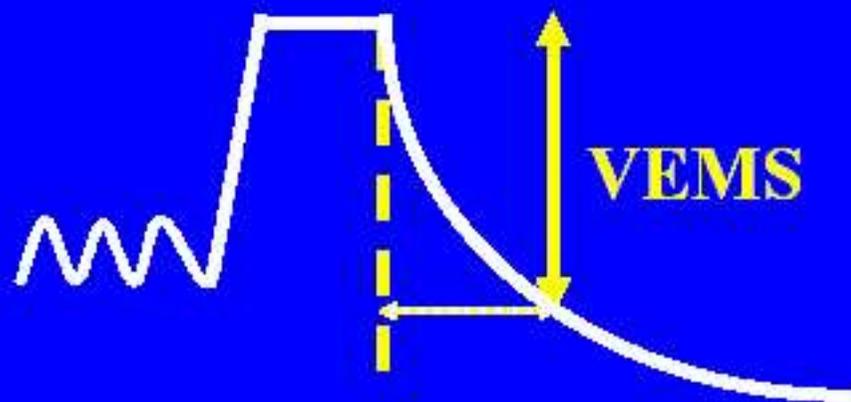


Définitions

- **Le volume courant (V_t):** volume inspiré au cours d'un cycle respiratoire normal, au repos.
- **Le volume de réserve inspiratoire (VRI):** volume mobilisé par une inspiration maximale à la fin d'une inspiration normale.
- **Le volume de réserve expiratoire (VRE):** volume mobilisé par une expiration forcée à la fin d'une expiration normale.
- **Le volume résiduel (VR) est un volume non mobilisable,** c'est le volume d'air restant dans les poumons à la fin d'une expiration forcée.
- **La capacité vitale (CV)** est la quantité de gaz rejetée par une expiration forcée suivant une inspiration forcée. **$CV = V_t + VRI + VRE$**
- **La capacité pulmonaire totale (CPT)** est le volume maximal qu'un sujet peut contenir dans ses poumons. **$CPT = CV + VR$**
- **La capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** est le volume de gaz restant dans les poumons à la fin d'une expiration normale. **$CRF = VRE + VR$**

Les débits expiratoires

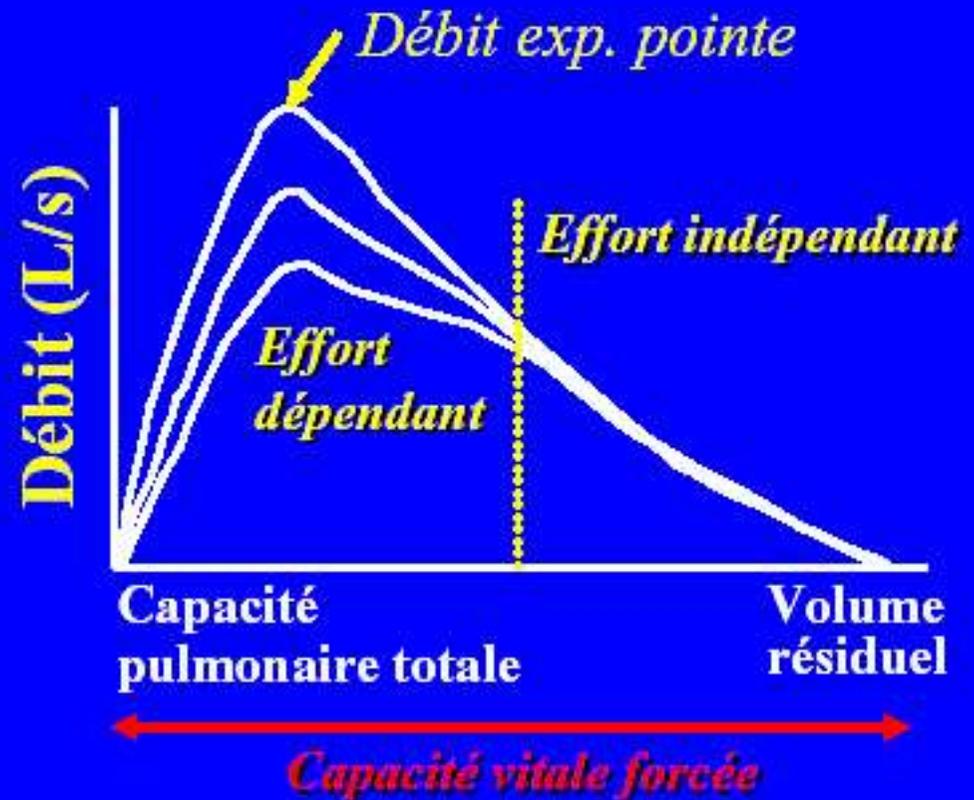
- Volume - temps



1 seconde

VEMS > 75% CV

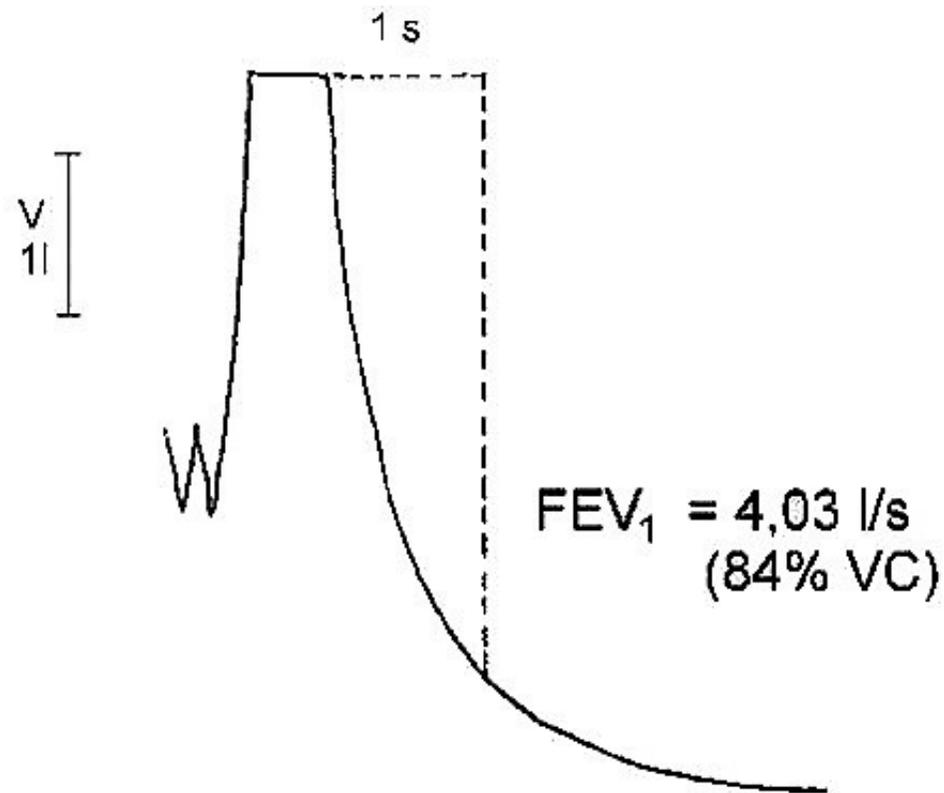
- Débit - volume



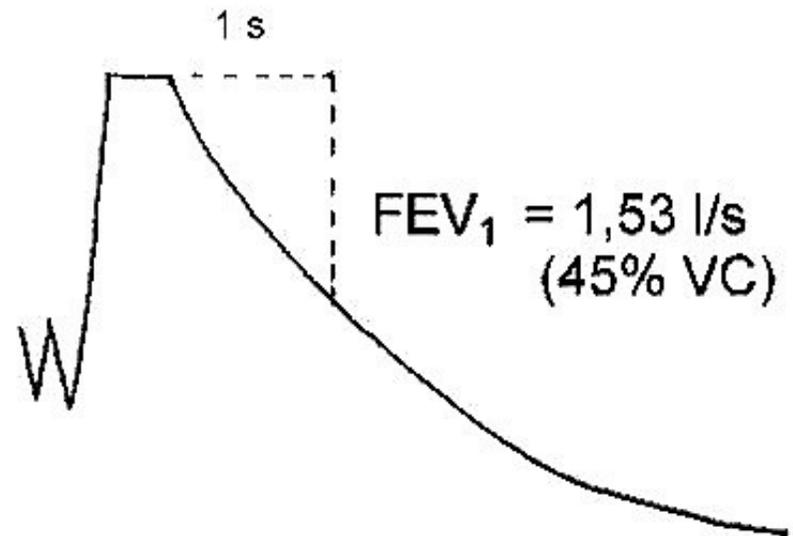
Définitions

- **Le volume expiratoire maximum par seconde (VEMS):** volume émis au cours de la première seconde de l'expiration forcée.
- **Le rapport de Tiffeneau (VEMS /CV):** fraction de la capacité vitale expulsée dans la première seconde
- **Le volume inspiratoire maximum par seconde (VIMS):** volume émis au cours de la première seconde de l'inspiration forcée.
- **Le débit expiratoire de pointe (DEP):** débit maximal au cours d'une expiration forcée.
- **Courbe débit-volume** est l'enregistrement simultané des volumes et débits

VEMS

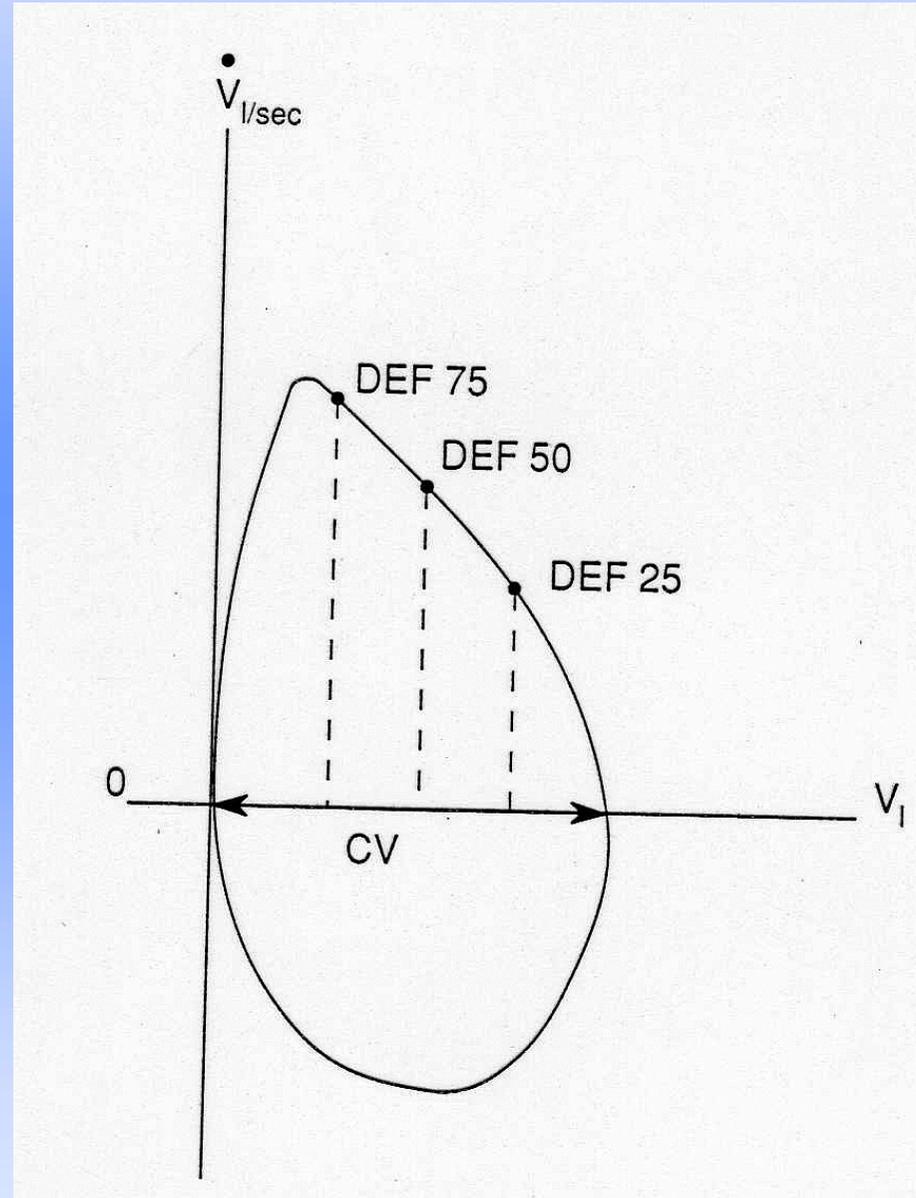


NORMAL

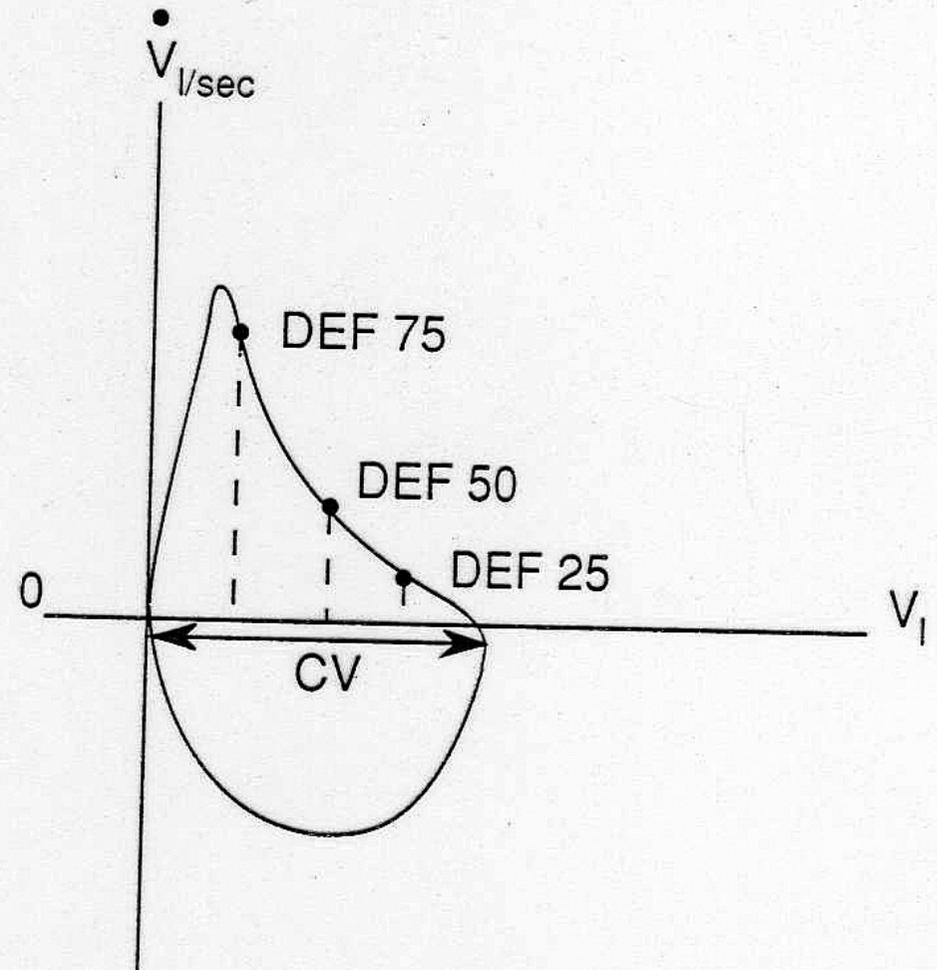
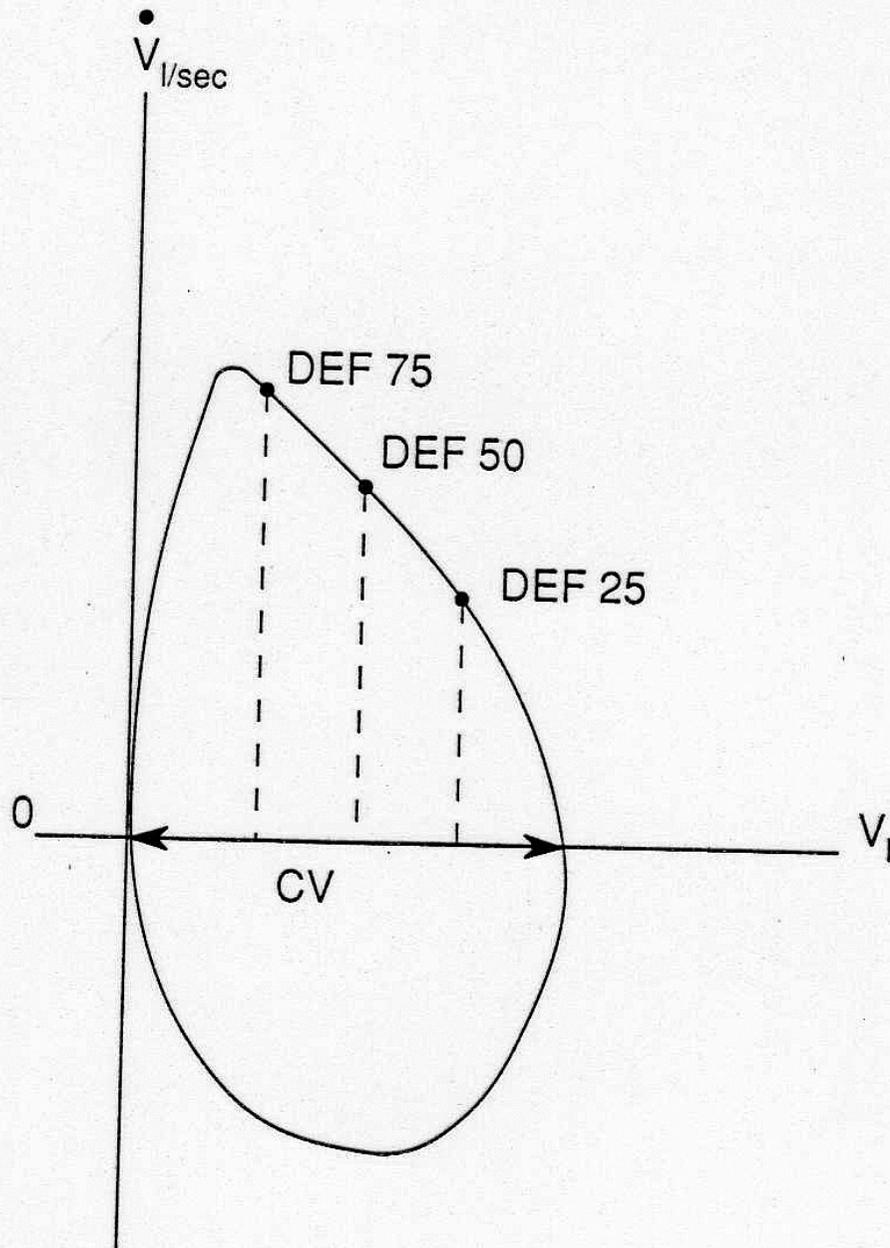


OBSTRUCTION

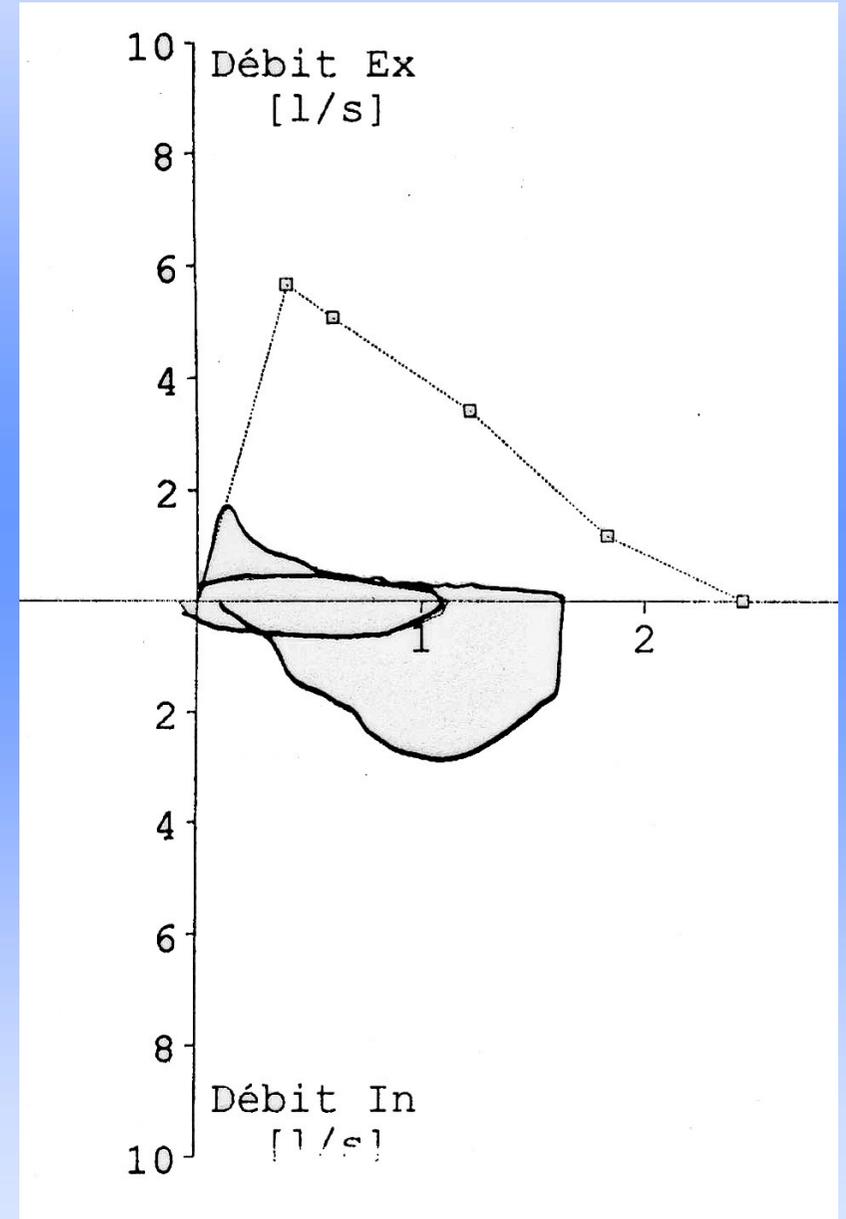
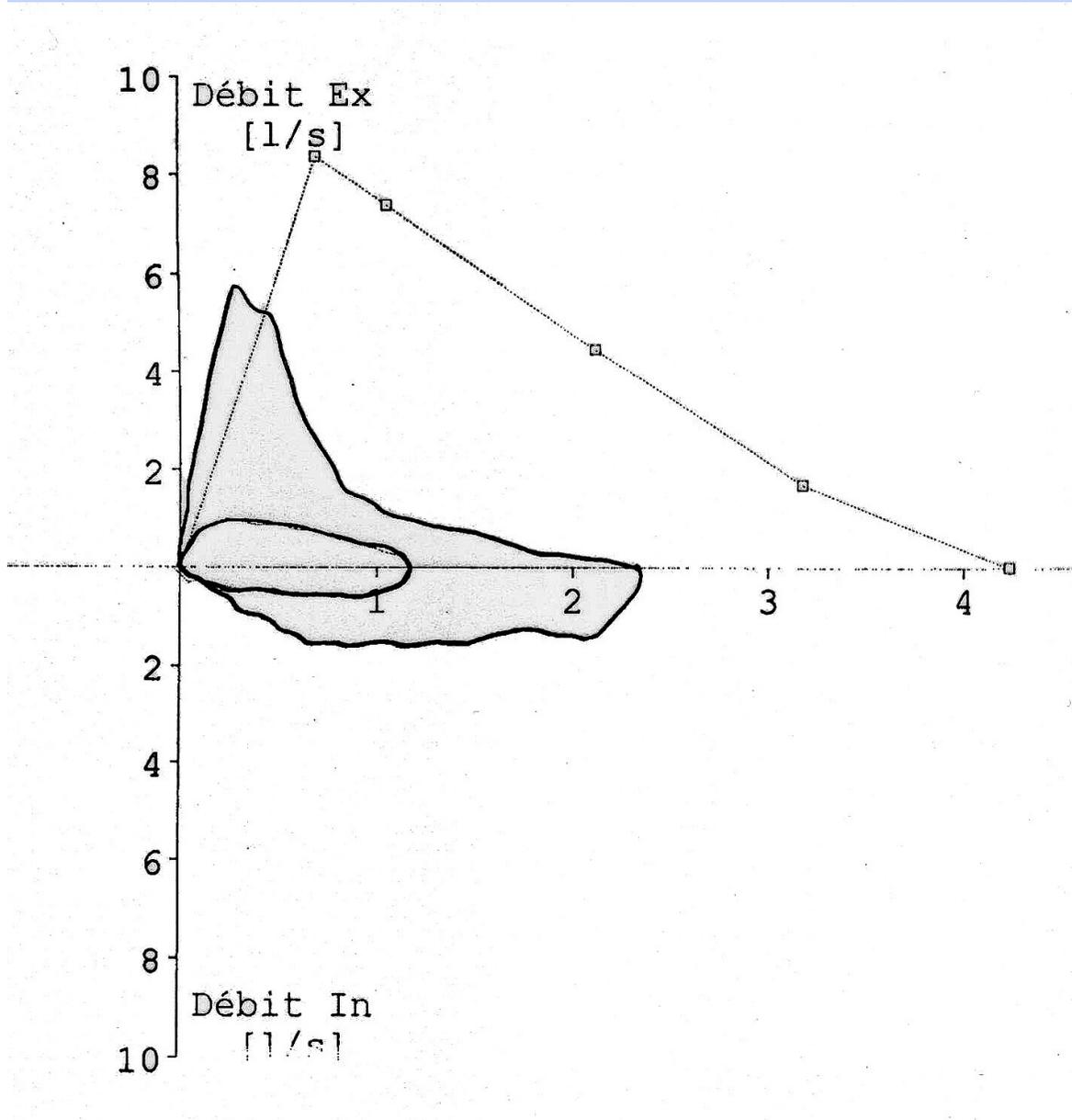
Courbe débit – volume

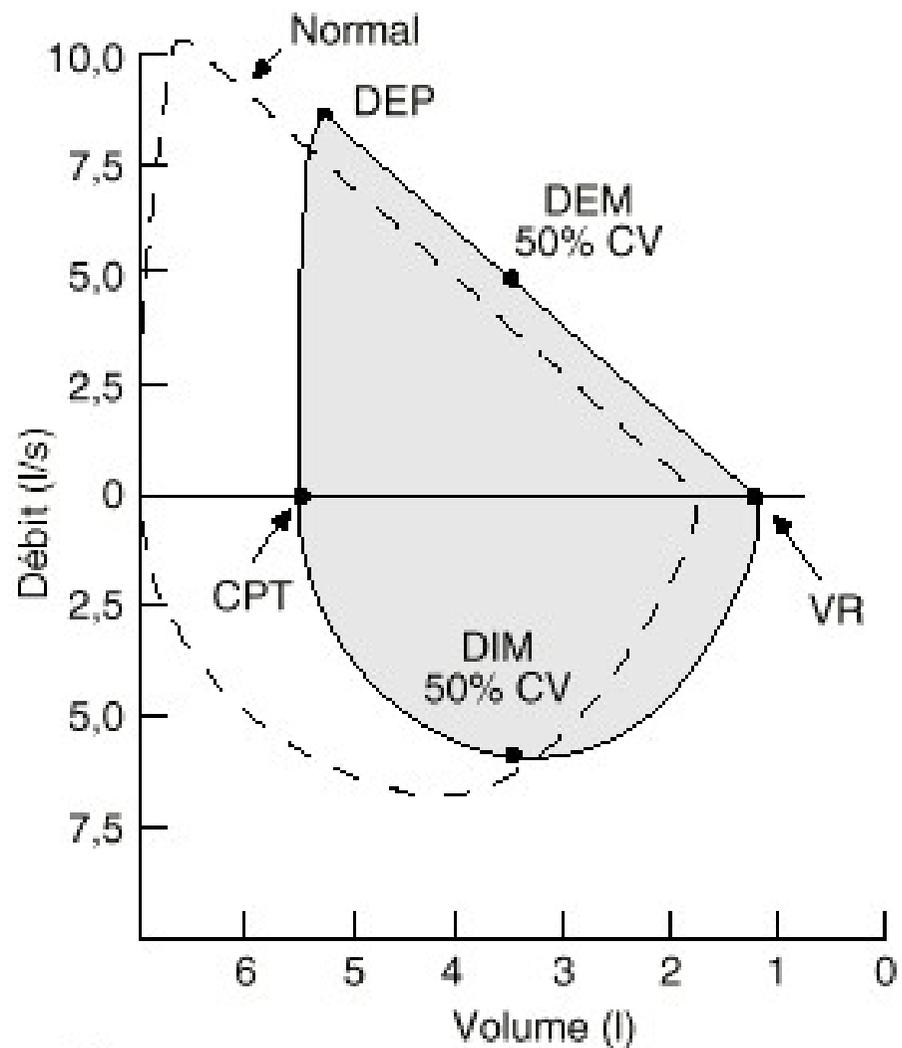
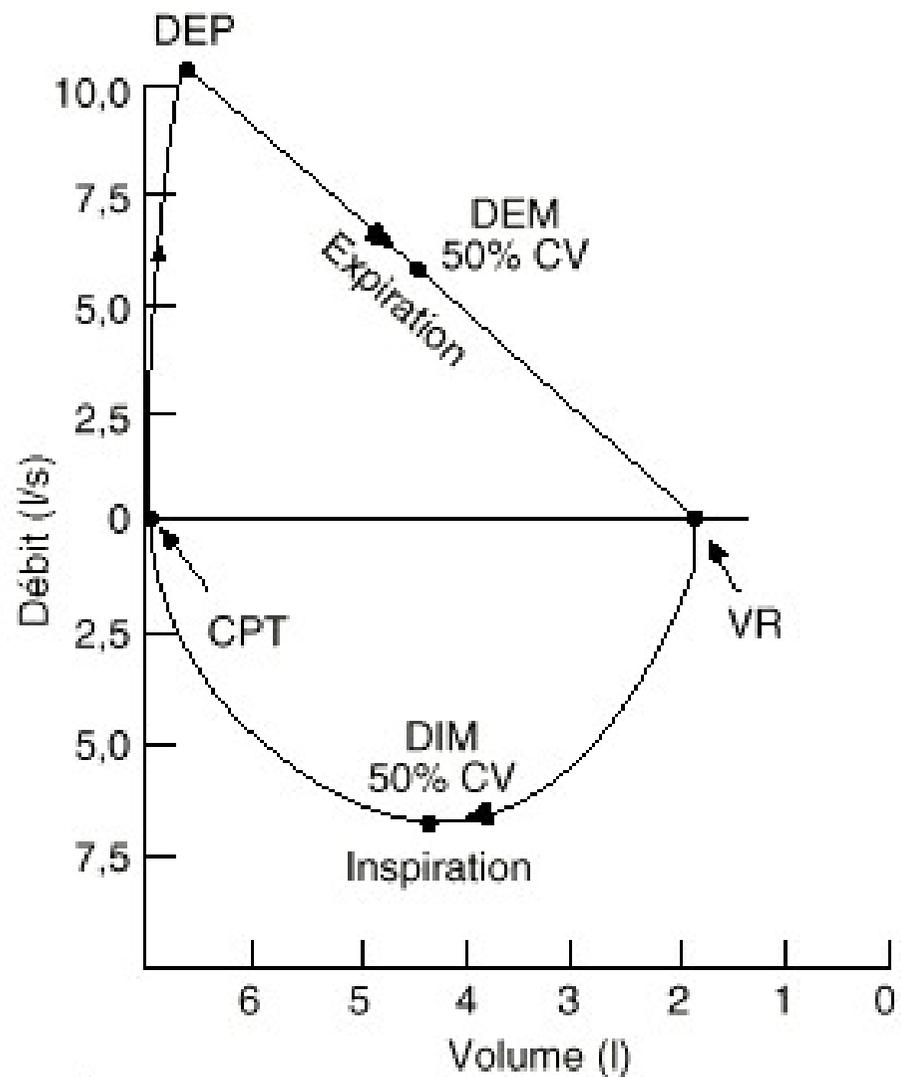


Obstruction bronchique



Obstruction bronchique





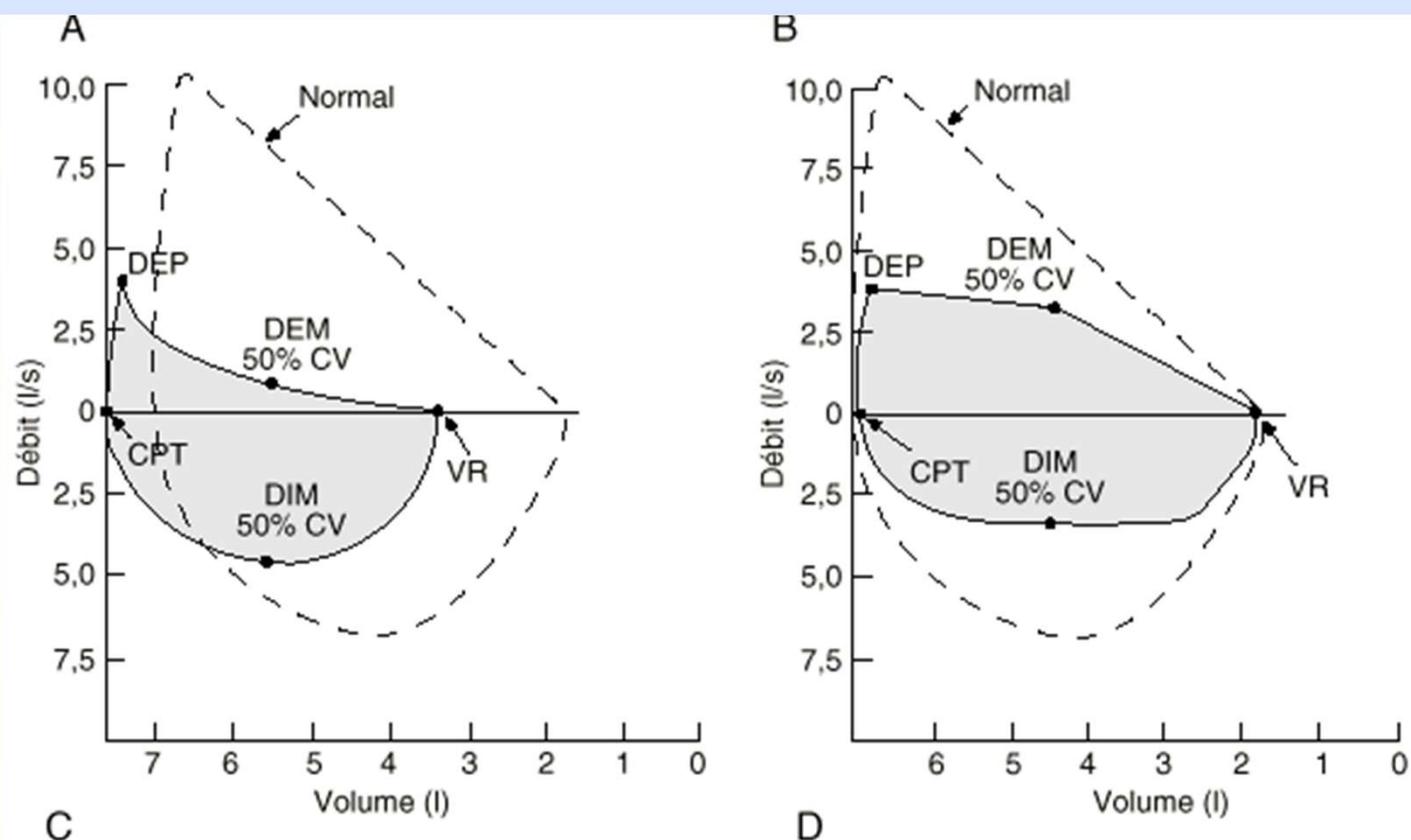
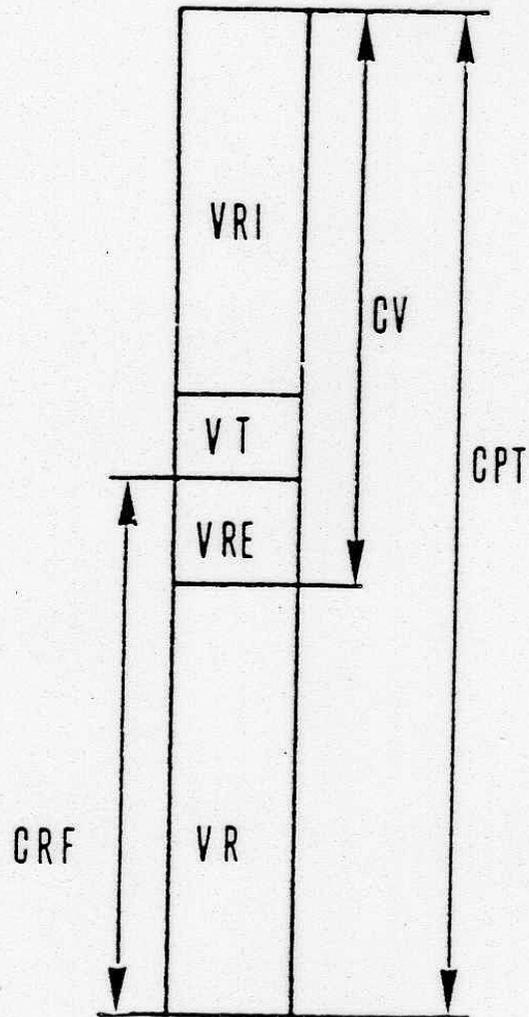


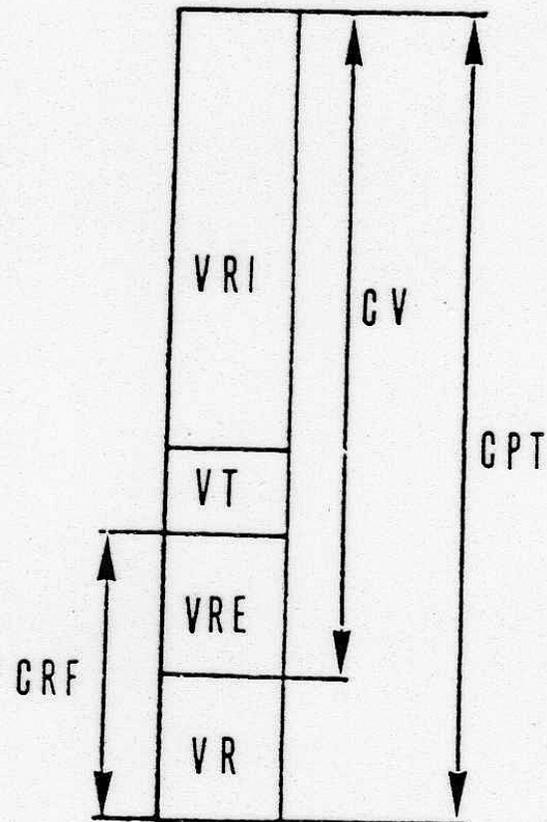
FIG. 64-4. Courbes débit-volume. (A) Sujet normal. La partie inspiratoire de la boucle est symétrique et convexe. Le segment expiratoire est linéaire. Les débits au point moyen de la CV sont fréquemment mesurés. $DIM\ 50\% CV > DEM\ 50\% CV$ en raison de la compression dynamique des voies aériennes. Le débit expiratoire de pointe est parfois utilisé pour estimer le degré d'obstruction des voies aériennes, mais il dépend beaucoup de l'effort du patient. Les débits expiratoires au-dessus de la moitié inférieure de la CV (c.-à-d. proche du VR) sont des indicateurs sensibles de l'état des petites bronches. **(B) Syndrome restrictif** (p. ex. sarcoïdose, cyphoscoliose). La boucle est diminuée en raison de la diminution des volumes pulmonaires, mais la forme est identique à celle de (A). Les débits sont normaux (en fait $>$ à la normale pour des volumes pulmonaires comparables car l'élévation de la pression de rétraction élastique des poumons et/ou de la paroi thoracique maintient ouvertes les voies aériennes). **(C) BPCO, asthme.** Bien que tous les débits soient abaissés, la prolongation de l'expiration prédomine, et $DEM < DIM$. **(D) Obstruction fixe des voies aériennes supérieures** (p. ex. sténose trachéale, paralysie bilatérale des cordes vocales, goitre). Le haut et le bas de la courbe sont aplatis, donnant à la courbe une forme rectangulaire. L'obstruction fixe limite de manière égale les débits inspiratoires et expiratoires, et $DEM = DIM$.

La légende continue à la page suivante.

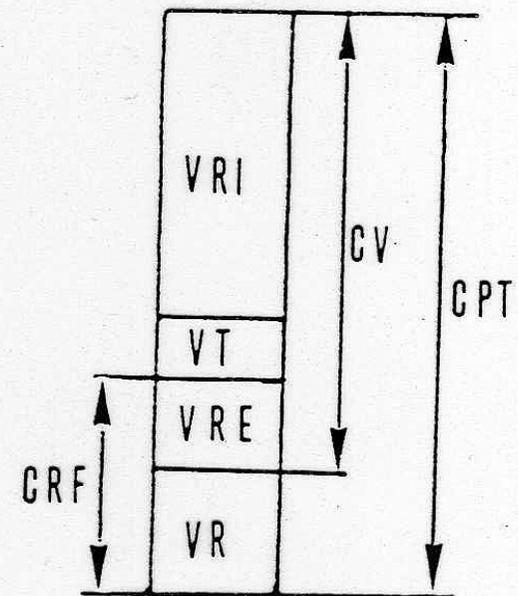
Les syndromes ventilatoires



syndrome
obstructif

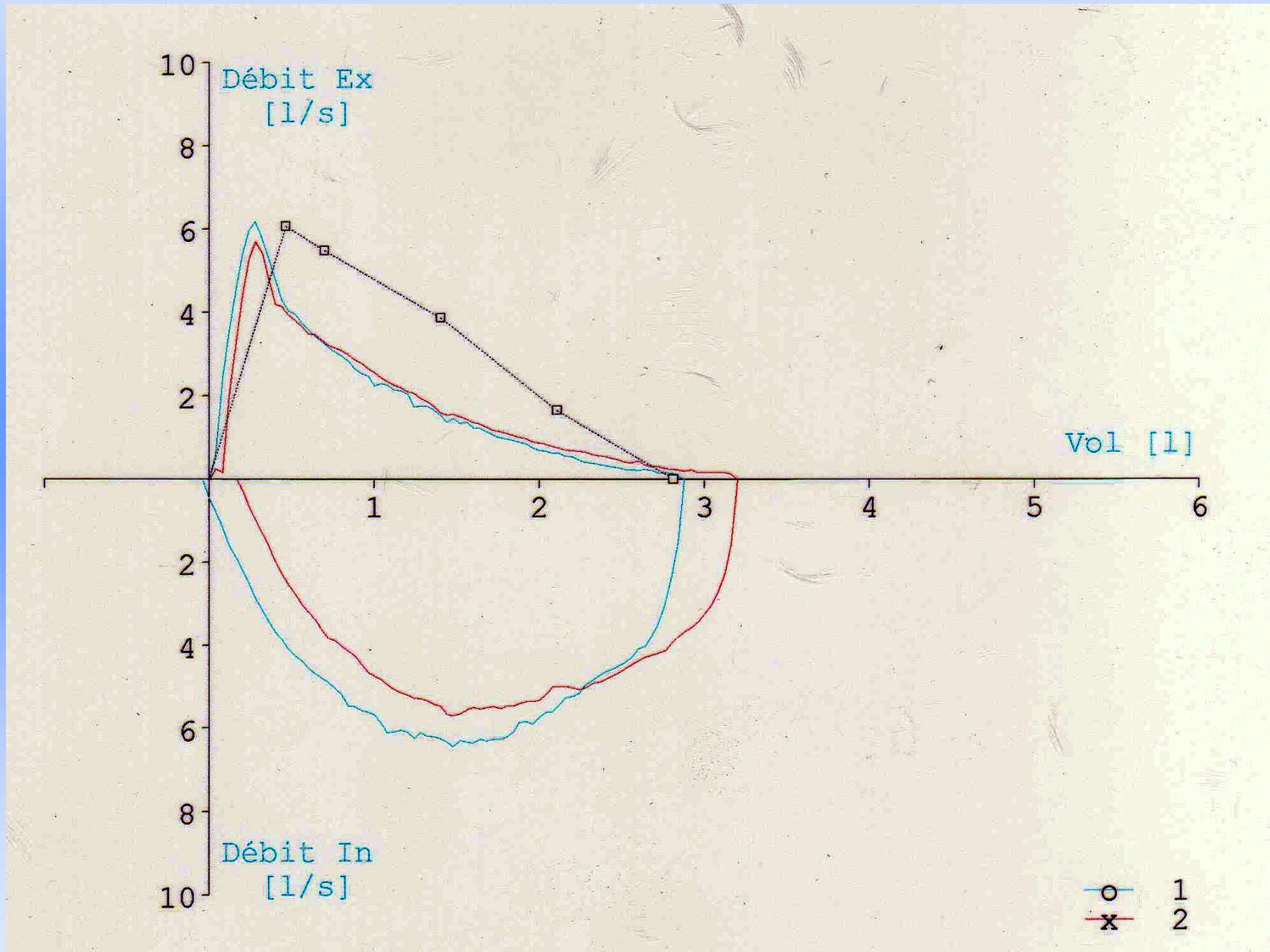


valeurs
normales

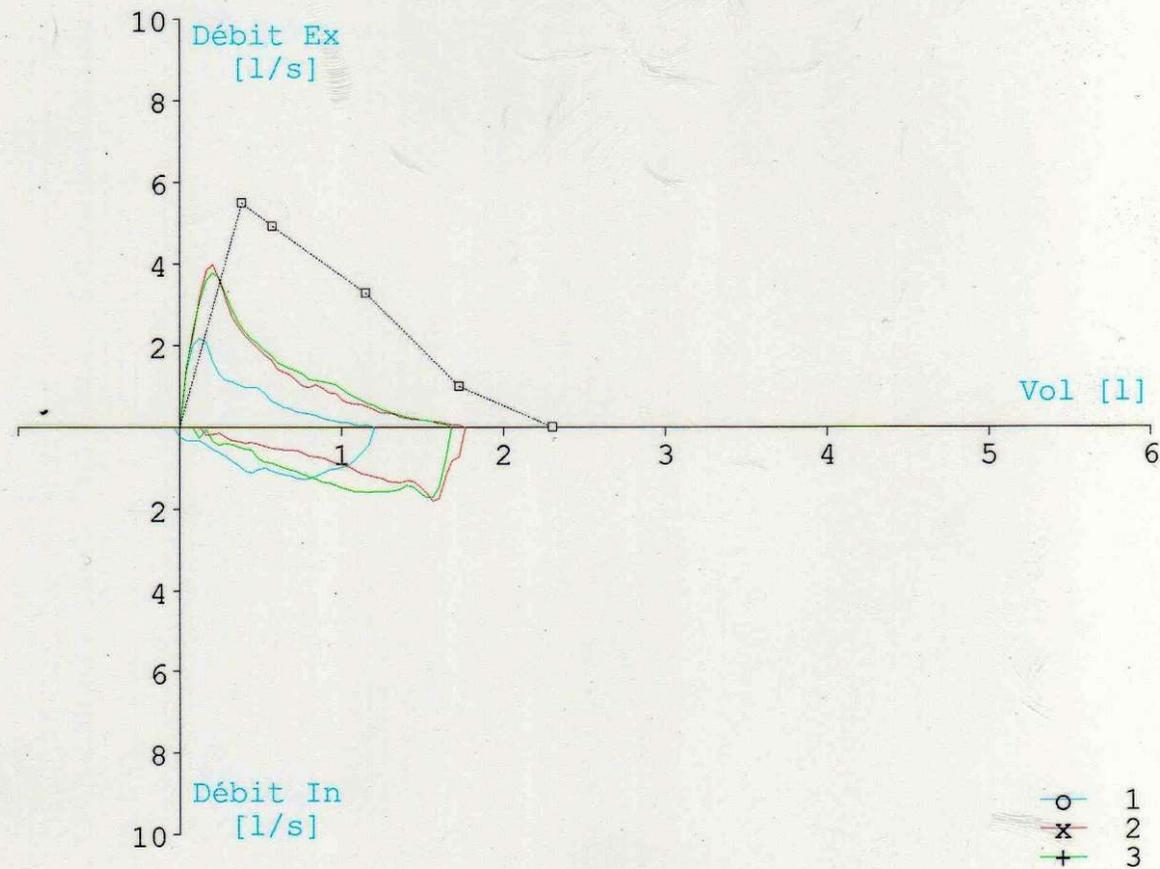


syndrome
restrictif

En kinésithérapie respiratoire



En kinésithérapie respiratoire



2 21/11/1995 15:57:42

Mesure 1: Avant kinésithérapie

Mesure 2: Après la première séance de kinésithérapie respiratoire

Mesure 3: Après la 13ème séances.

8 00/00/0000 15:47:00

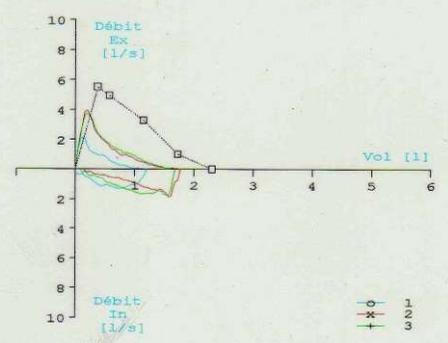
rrr

Monsieur DELPLANQUE Dominique
 Kinesithérapeute
 Certifié en kinésithérapie respiratoire
 26 Avenue de la République
 78500 SARTROUVILLE
 Tél.: 39 15 68 18
 BILAN RESPIRATOIRE

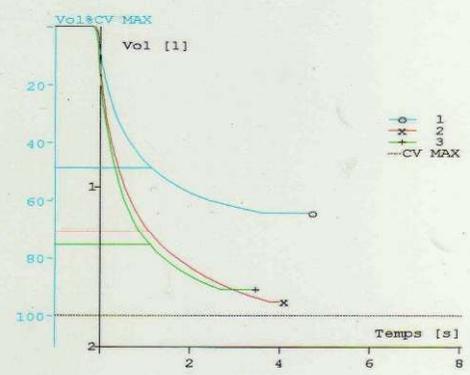
PATIENT

Nom : Dantes Prénom : Giselle
 Identification : DANGI Date de naiss. : 09/02/1924
 Sexe : féminin Fumeur : N
 Taille : 159 cm Poids : 57.5 kg
 Age : 71 Années Poids relatif : 97

COURBE DEBIT-VOLUME



VEMS



VALEURS

	THEO	MES 1	%th/1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5
Date		21/11 1995		21/11 1995	21/12 1995		
CV IN [L]	2.43	1.57	64.9	1.64	1.73		
CVF..... [L]	2.31						
VEMS..... [L]	1.91	.811	42.6	1.21	1.28		
VEMS % CV IN..... [%]	75.6	51.5	68.1	74.2	74.3		
DEM 75..... [L/S]	4.94	1.00	20.3	2.11	2.08		
DEM 50..... [L/S]	3.28	.348	10.6	.996	1.11		
DEM 25..... [L/S]	1.00			.343	.324		
DEP..... [L/s]	5.51	2.20	40.1	4.00	3.82		
DEMM 25/75..... [L/S]	2.49			.744	.846		
VVM..... [L/MIN]	80.5						

2 21/11/1995 15:57:42
 Mesure 1: Avant kinésithérapie
 Mesure 2: Après la première séance de kinésithérapie respiratoire

DIFFUSION ALVEOLO-CAPILLAIRE

- **La capacité de diffusion (D_{LCO}) ou (T_{LCO})** au niveau de la membrane alvéolo-capillaire est le volume de gaz qui traverse la paroi alvéolo-capillaire en 1 minute pour un gradient de pression de 1 mm Hg existant de part et d'autre de la membrane. Elle s'exprime en **ml/mn/mm Hg**.
- La valeur normale de D_{LCO} est de 24 ml /mn/mm Hg

Régulation de la ventilation

2 grands types de régulation

- Une régulation nerveuse
- Une régulation chimique

Régulation nerveuse

Les centres respiratoires

Ils sont responsables de la rythmicité respiratoire et sont localisés au niveau du bulbe et du tronc:

centre inspiratoire - centre expiratoire -centre pneumotaxique

- Ces centres contrôlent:
 - L'activité respiratoire centrale
 - La contraction des muscles respiratoires
 - et modulent la durée de l'expiration par rapport à l'inspiration

Régulation nerveuse

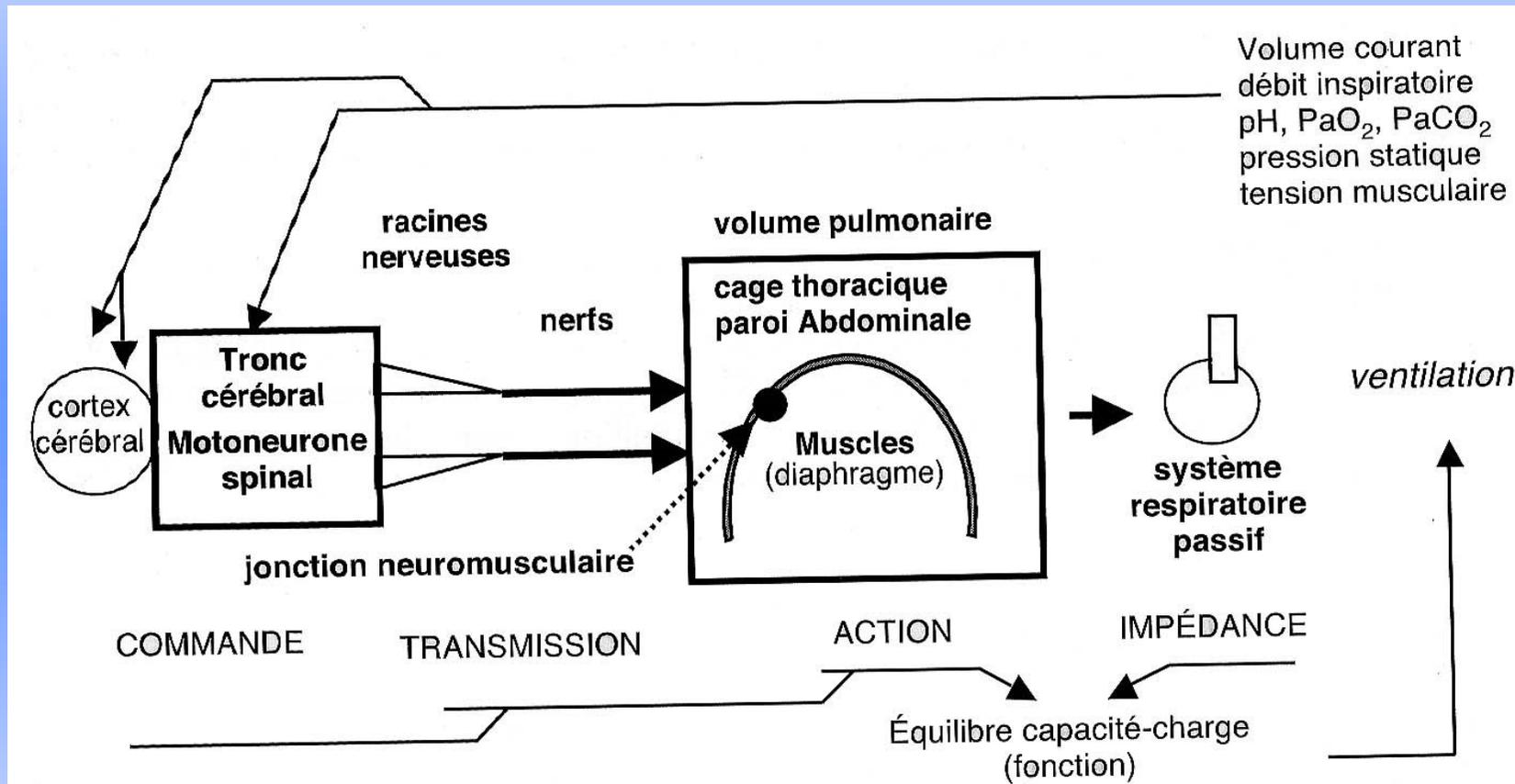
Les réflexes sont de plusieurs types:

- Les réflexes vagues sont les plus importants et répondent à
 - L'inflation pulmonaire
 - L'irritation des voies aériennes
 - L'augmentation de la pression pulmonaire
- Les autres réflexes
 - Les réflexes pariétaux
 - Les réflexes extra-respiratoires

Régulation chimique

- **La PaO₂, la PaCO₂ et le pH agissent sur les chémorécepteurs pour moduler l'activité des centres respiratoires**

Éléments impliqués dans la genèse de l'acte respiratoire



La production du V_t dépend de l'équilibre entre la capacité neuromusculaire à produire une dépression intrathoracique et l'impédance du système respiratoire (résistances et compliance).

Les échanges gazeux

LA VENTILATION

- $\dot{V}_E = Vt \times Fr$

- $\dot{V}_E = \dot{V}_A + \dot{V}_D$

- $Fr \times Vt = (Fr \times V_A) + (Fr \times V_D)$

$$V_D = 150 \text{ ml environ}$$

PRESSIONS PARTIELLES EN O₂ ET CO₂

- AIR = O₂ (21%) + Azote (79%)
et gaz rares; CO₂ (0,03%)**

$$**PIO₂ = FiO₂ x (PB - PH₂O)**$$

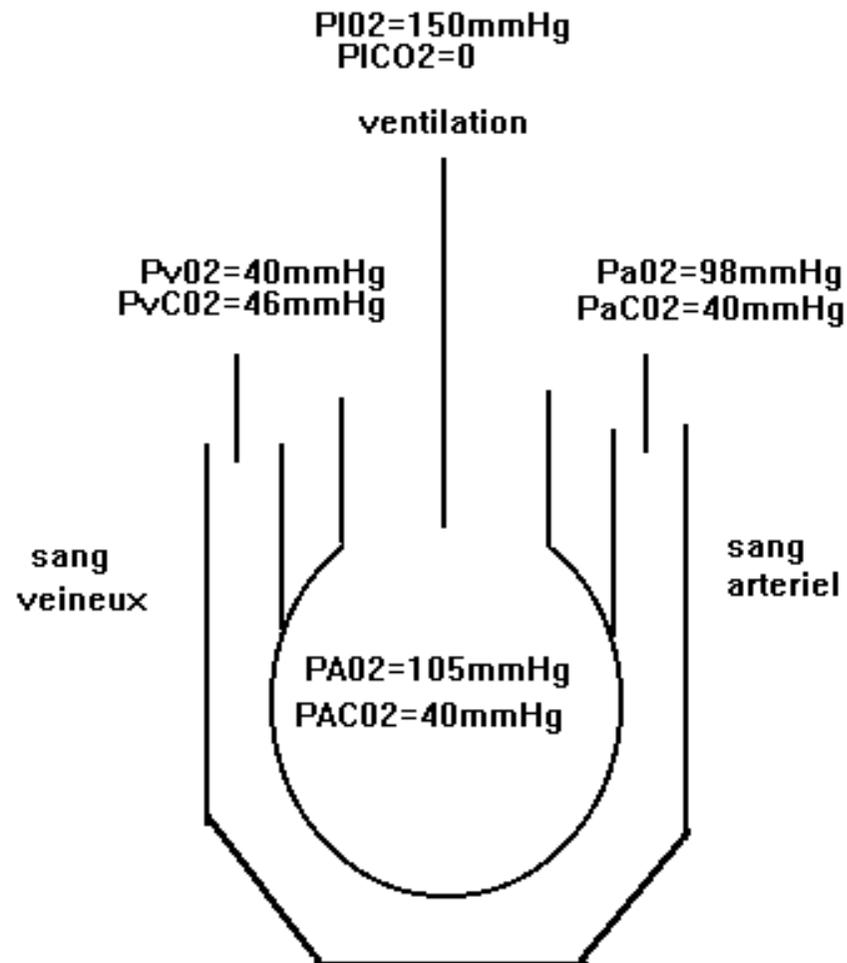
Au niveau de la mer:

$$**PIO₂ = 0,21 x (760 - 47) = 149,7 mmHg**$$

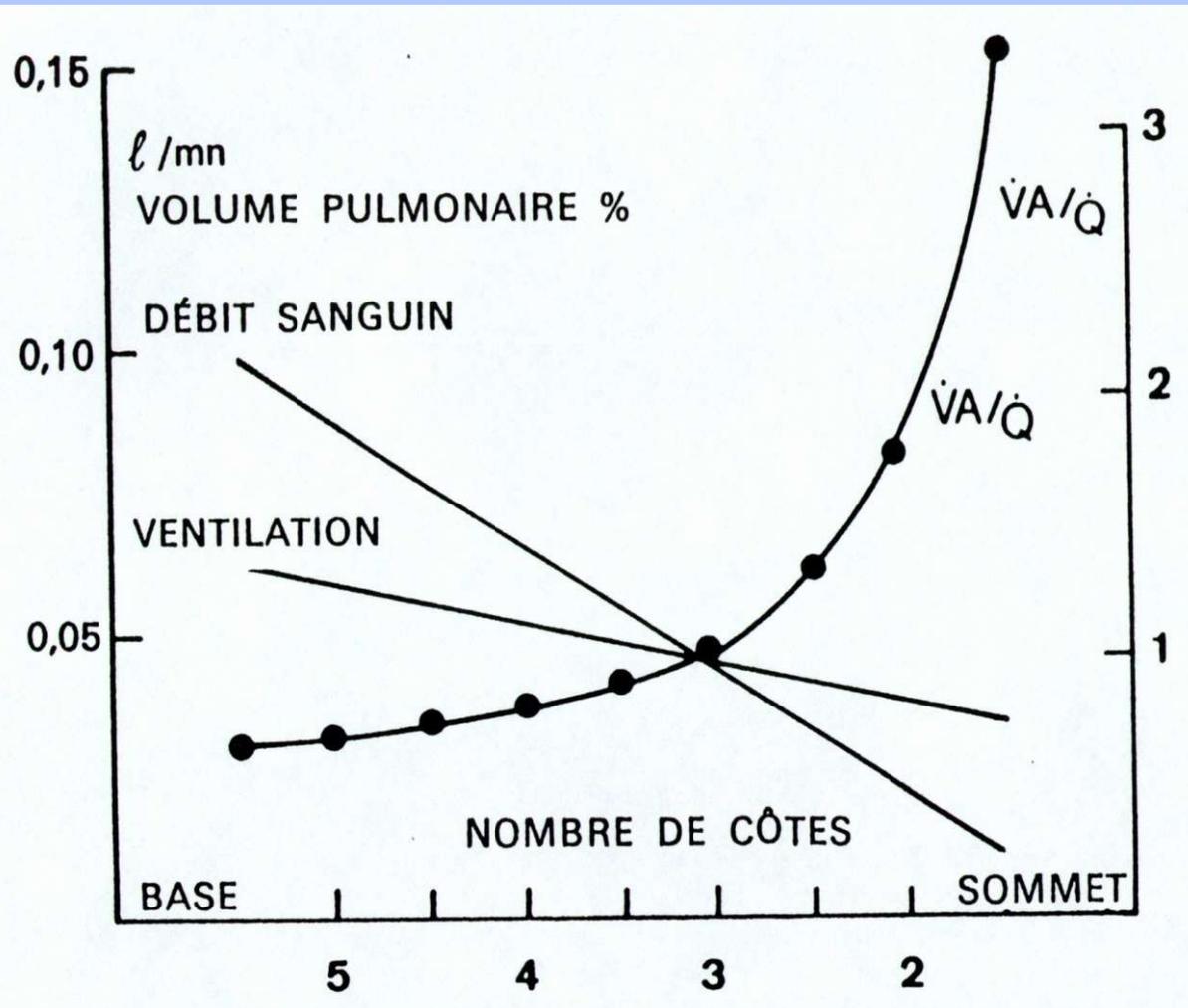
TRANSFERT DES GAZ ENTRE ALVEOLE ET CAPILLAIRE

- Le débit du gaz est proportionnel à la surface de la membrane et à la différence de pressions partielles du gaz de part et d'autre de la paroi. Il est inversement proportionnel à l'épaisseur de cette dernière.
- Il est également, proportionnel au coefficient de diffusion, caractéristique à la fois du tissu et du gaz considérés.
- Le coefficient de diffusion d'un gaz à travers une membrane est proportionnel à son coefficient de solubilité et inversement proportionnel à la racine carrée de son poids moléculaire.
- Le transfert global des gaz à travers la membrane alvéolo-capillaire dépend de leur caractère inerte (ne se combinant pas avec l'hémoglobine) ou non inerte (se combinant avec l'hémoglobine)

PRESSIONS PARTIELLES EN O₂ ET CO₂



RAPPORT \dot{V}_A/\dot{Q}



Sur l'ensemble du poumon: \dot{V}_A/\dot{Q} est proche de 1 malgré une distribution hétérogène de la ventilation et de la perfusion.

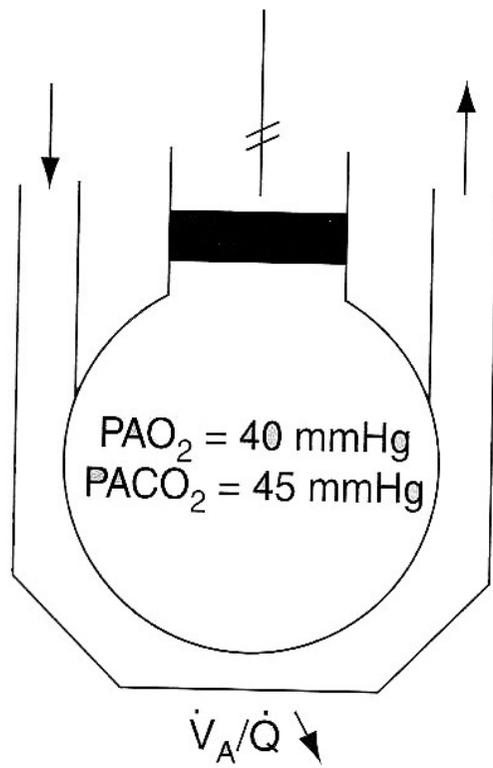
- sommets: $\dot{V}_A/\dot{Q} > 1$
- Bases: $\dot{V}_A/\dot{Q} < 1$

Variations dues aux différences apico-basales de pression intra-pleurale sur un sujet en position tronc verticalisé.

ANOMALIES DU RAPPORT \dot{V}_A/\dot{Q}

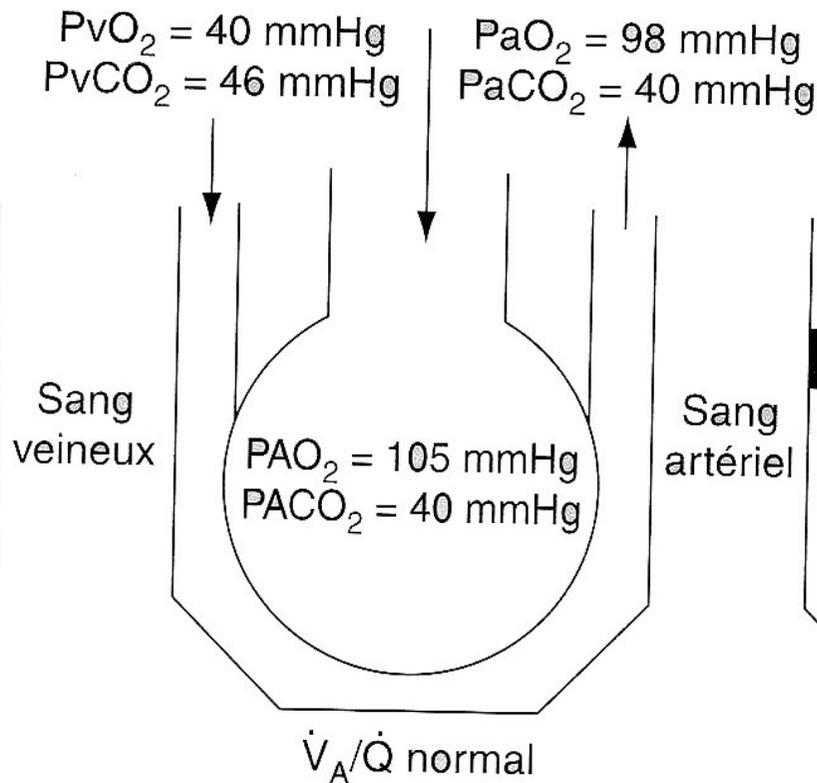
$PIO_2 = 150 \text{ mmHg}$
 $PICO_2 = 0$

Ventilation



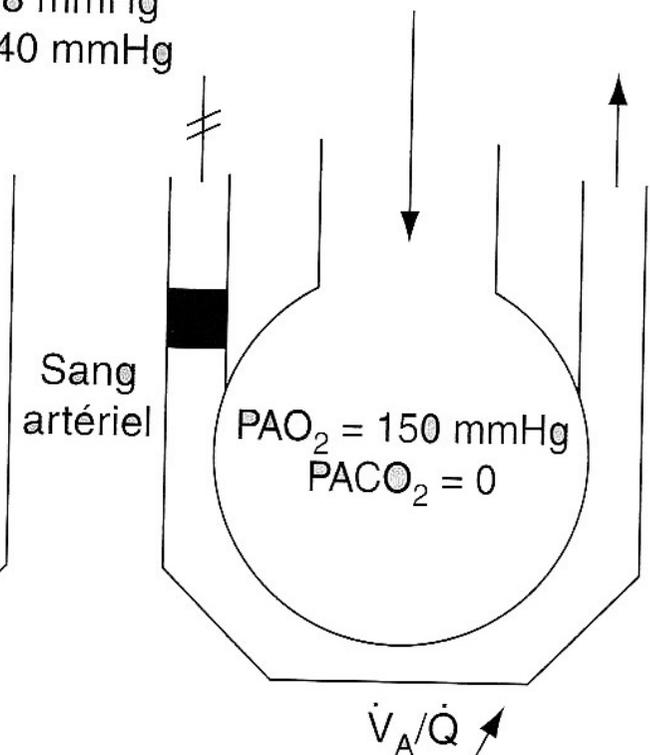
$PIO_2 = 150 \text{ mmHg}$
 $PICO_2 = 0$

Ventilation



$PIO_2 = 150 \text{ mmHg}$
 $PICO_2 = 0$

Ventilation



ANOMALIES DU RAPPORT \dot{V}_A/\dot{Q}

- SHUNT-INTRA-PULMONAIRE

$\dot{V}_A/\dot{Q} = 0$ Zones non ventilées mais perfusées

Ex: Atelectasie

- EFFET SHUNT

\dot{V}_A/\dot{Q} abaissé Ventilation alvéolaire fortement diminuée au niveau d'unités pulmonaires correctement perfusées

Ex: Bronchite chronique

- EFFET ESPACE MORT

\dot{V}_A/\dot{Q} qui tend vers l'infini Ventilation de zones non perfusées (augmentation espace mort)

Ex: Embolie pulmonaire

HYPERCAPNIE

- Les variations de la capnie dépendent de la production de CO₂ par le métabolisme ($\dot{V}CO_2$) et de la ventilation alvéolaire:

$$PaCO_2 = k \times \dot{V}CO_2 / \dot{V}_A \quad \text{avec} \quad \dot{V}_A = \dot{V}_E - \dot{V}_D$$

- Hyperventilation \longrightarrow hypocapnie
- Hypercapnie:
 - hypoventilation alvéolaire (diminution \dot{V}_E)
 - diminution Vt avec \dot{V}_E cste (Fr élevée) (\nearrow Vt/V_D)
 - augmentation $\dot{V}CO_2$ sans augmentation de la \dot{V}_E

HYPOXEMIE

- Anomalies du rapport \dot{V}_A/\dot{Q}
 - Shunt intra-pulmonaire
 - Effet shunt
 - Effet espace mort
- Hypoventilation alvéolaire
 - $PAO_2 = PIO_2 - (PACO_2/R)$ la diminution de la ventilation alvéolaire entraîne une augmentation de la $PACO_2$ au dépend de la PAO_2
- Augmentation de la $\dot{V}O_2$

DYSFONCTION DE LA COMMANDE CENTRALE

- **Les échanges gazeux sont ajustés de telle sorte que le pH soit constant quelle que soit l'activité de l'organisme.**
- **L'activité automatique des centres respiratoires, situés dans le bulbe rachidien, est donc modulé:**
 - **L'hypercapnie, l'acidose ou l'hypoxémie entraînent une hyperventilation**
 - **L'hypocapnie, l'alcalose ou l'hyperoxie entraînent une hypoventilation**

INSUFFISANCE RESPIRATOIRE

- **Insuffisance Respiratoire Aiguë**

Anomalies de l'hématose (hypoxémie sévère associée ou non à une hypercapnie) mettant en jeu le pronostic vital

- **Insuffisance Respiratoire Chronique**

Anomalies permanentes de l'hématose (hypoxémie +/- hypercapnie) résultant d'une atteinte du système respiratoire passif (structure pulmonaire) ou actif (fonction »pompe »).

Définit par $\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$

Gaz du sang

DEFINITION

Permet d'apprécier la qualité des échanges pulmonaires et donc l'équilibre entre la respiration et le métabolisme par:

- L'appréciation de l'oxygénation (PaO_2 , Saturation)**
- La ventilation alvéolaire (PaCO_2)**
- L'équilibre acido-basique (pH , PaCO_2 , HCO_3^-)**

TECHNIQUE DE PRELEVEMENT

- Échantillon de sang artériel
- Prélèvement radial, huméral ou fémoral
- Seringue héparinée et vide d'air
- Compression manuelle de l'artère
- Pose d'un cathéter si prélèvements répétés

TERMINOLOGIE ET VALEURS NORMALES

- **Le pH: Renseigne sur l'équilibre acido-basique**
Valeur normale: 7,40 +/- 0,02
- **La PaO₂: Pression partielle d'O₂ dans le sang artériel**
Valeur normale: 95 à 98 mmHg
(diminue avec l'âge)
Nourrisson: 70 à 80 mmHg

TERMINOLOGIE ET VALEURS NORMALES

- **La PaCO₂: Pression partielle de CO₂ dans le sang artériel**

Valeur normale: 40 +/-2 mmHg

- **La saturation: Pourcentage d'O₂ transporté par l'hémoglobine (HbO₂)**

Valeur normale: 98 %

TERMINOLOGIE ET VALEURS NORMALES

- HCO_3^- : Bicarbonate dissous dans le plasma

Valeur normale: 24 mmol/l

- Hb: Taux d'hémoglobine

Valeur normale: 12 à 15 g/100 ml de sang

TERMINOLOGIE ET VALEURS NORMALES

- **L'hématocrite:** Pourcentage du volume globulaire par rapport au volume sanguin total. La valeur normale est de 40 à 45%

Il augmente dans la polyglobulie et est responsable de l'augmentation de la viscosité sanguine (indice de la chronicité de l'IR)

- **mmHg versus kPa:**

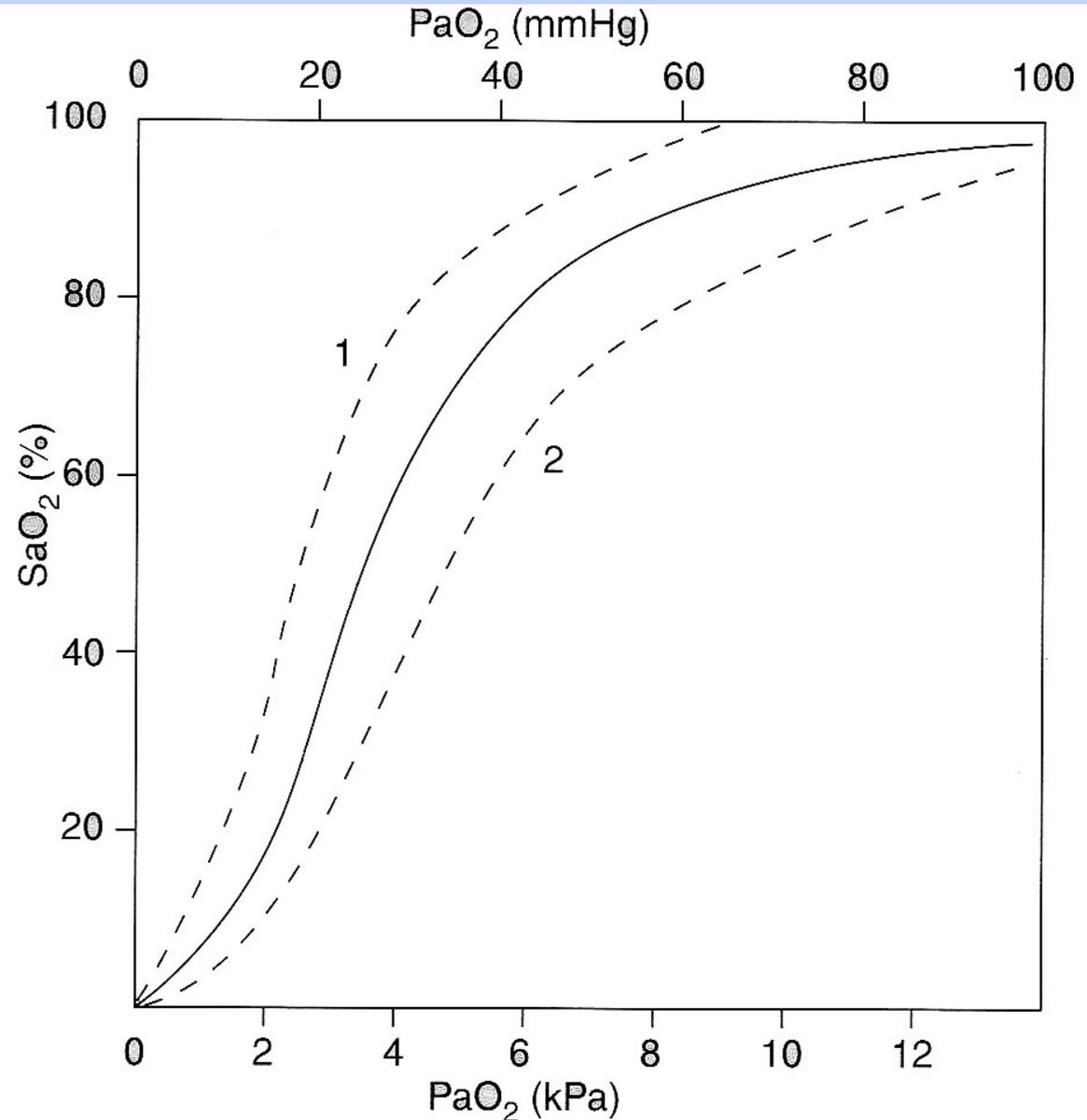
$$\text{kPa} = \text{mmHg} \times 0,13 \quad \text{ou} \quad \text{mmHg} = \text{kPa} \times 7,5$$

ECHANGES D'OXYGENE

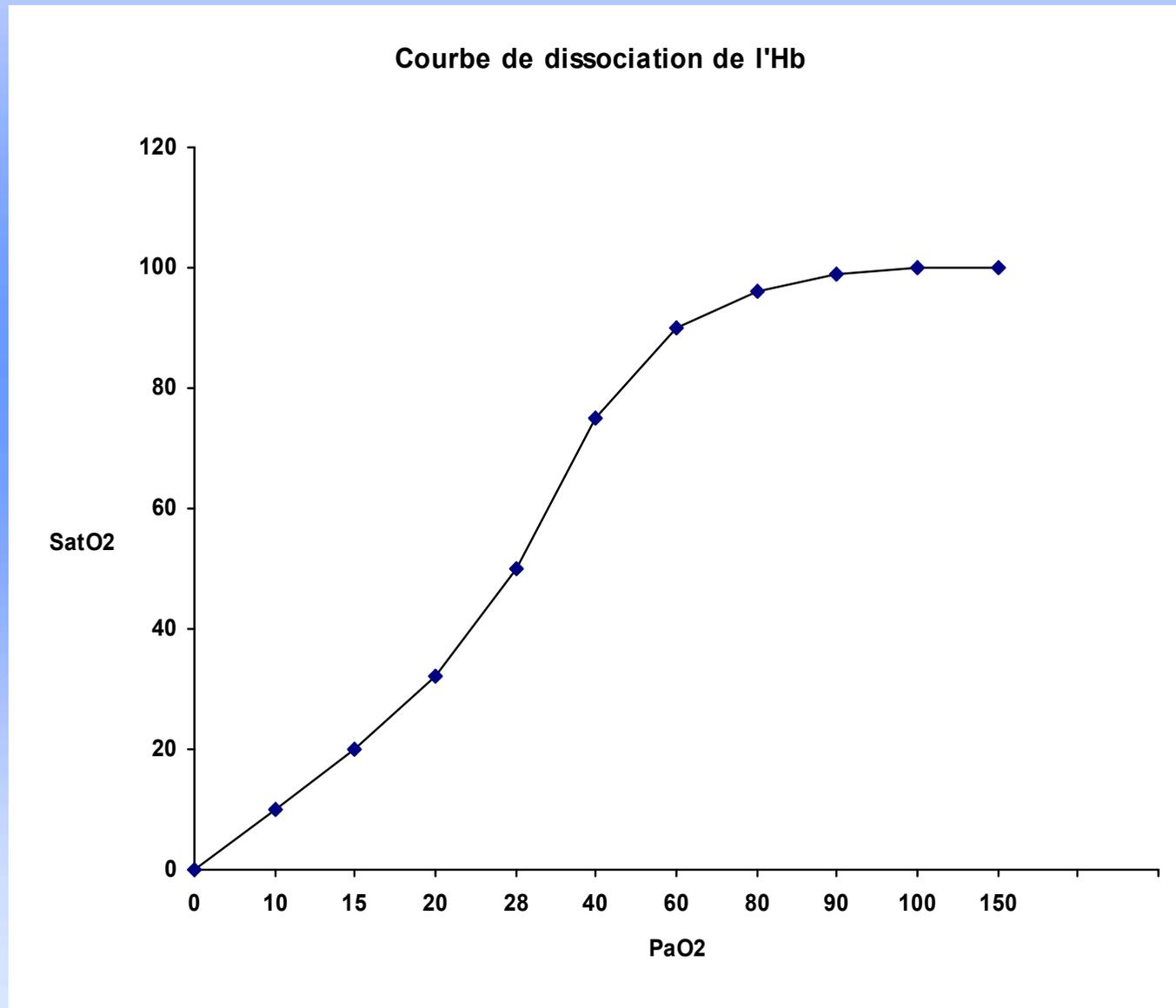
- **L'oxygène est transporté sous 2 formes:**
 - Dissous dans le plasma (PaO_2) (1%)
 - Lié à l'hémoglobine (HbO_2) (99%)
- **Relation non linéaire entre PaO_2 et Saturation:**
Courbe de dissociation de l'hémoglobine
ou courbe de Barcroft

Courbe de dissociation de l'Hb

Fig. E4.1. Courbe de dissociation de l'oxygène. La courbe pleine est obtenue dans des conditions physiologiques. La courbe en pointillé 1 est obtenue dans des conditions d'hypocapnie, d'alcalose et/ou d'hypothermie. La courbe en pointillé 2 est obtenue dans des conditions d'hypercapnie, d'acidose et/ou d'hyperthermie. Ainsi, pour une PaO_2 donnée, l'oxyhémoglobine libère davantage d' O_2 lorsque la PaCO_2 et la température sont plus élevées et lorsque le pH est plus bas.



Courbe de dissociation de l'Hb



Oxymètre de pouls

Permet la mesure de la saturation



Capteur Réutilisable SR-5C
Recommandé pour des utilisations longues durées



Capteur Réutilisable SP-5C
Recommandé pour une utilisation de mesure instantanée



Capteur Réutilisable SP-5C
Recommandé pour une utilisation de monitoring de longue durée



Capteur à usage unique SD-5C
Par sachets de 5.
Utilisation adulte et néonatale.
2 tailles, 20 mm et 25mm



Capteur oreille CE-5C
Fixé à l'oreille pendant le monitoring.
Idéal pour de longues durées.

Oxymètre de pouls

- **Méthode non invasive qui permet la mesure par voie transcutanée de la saturation en oxygène de l'hémoglobine du sang artériel.**
- **Utile pour le suivi des patients**
- **Limitations physiologiques (perfusion, seuil charnière 94%, hypercapnie non évaluée +++)**
- **Limitations techniques (source lumineuse externe, agitations, vibrations, position du capteur)**

L'EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

LA VENTILATION ALVEOLAIRE

- S'apprécie sur le pH, la PaCO₂ et le taux de bicarbonates.

- Relation d'Henderson-Hasselbalch

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{\text{HCO}_3}{\text{CO}_2} \quad \text{où pK} = 6,1$$

L'EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

<i>Equilibre acido-basique</i>	<i>Causes</i>	<i>Compensations</i>	<i>Evolution du pH</i>	<i>Terminologies</i>	<i>Etiologies (exemples)</i>
<p>pH ↘</p> <p>Acidose</p>	<p>$\text{PaCO}_2 \nearrow$</p> <p>Acidose respiratoire</p>	Oui = $\text{HCO}_3 \nearrow$	Retour du pH vers 7,40	Acidose respiratoire qui a été compensée	Hypercapnie chronique de l'hypoventilant chronique (IRC)
		Non = HCO_3 Cst inchangé	Le pH reste acide	Acidose respiratoire non compensée	Hypercapnie aiguë de l'IRA
	<p>$\text{HCO}_3 \searrow$</p> <p>Acidose métabolique</p>	Oui = $\text{PaCO}_2 \searrow$	Retour du pH vers 7,40	Acidose métabolique qui a été compensée	Fuite des bases ou excès d'acides - Phénomène récent (non compensé) - phénomène ancien (compensé) <i>Exemple: diarrhée profuse décompensation d'un diabète</i>
		Non = PaCO_2 Cst inchangée	Le pH reste acide	Acidose métabolique non compensée	
<p>pH ↗</p> <p>Alcalose</p>	<p>$\text{PaCO}_2 \searrow$</p> <p>Alcalose respiratoire</p>	Oui = $\text{HCO}_3 \searrow$	Retour du pH vers 7,40	Alcalose respiratoire qui a été compensé	Hyperventilation centrale ou induite - récente (non compensée) - ancienne (compensée)
		Non = HCO_3 Cst inchangé	Le pH reste alcalin	Alcalose respiratoire non compensée	
	<p>$\text{HCO}_3 \nearrow$</p> <p>Alcalose métabolique</p>	Oui = $\text{PaCO}_2 \nearrow$	Retour du pH vers 7,40	Alcalose métabolique qui a été compensée	Excès de bases ou fuite des acides: - Phénomène récent (non compensé) - Phénomène ancien (compensé) <i>Exemple: vomissement important</i>
		Non = PaCO_2 Cst inchangée	Le pH reste alcalin	Alcalose métabolique non compensée	

EN PRATIQUE

- **Respect de quelques règles fondamentales**
 - **Conditions ventilatoires lors du prélèvement**
 - **Temps d'équilibre biologique (20 mn)**
 - **Plus qu'une valeur isolée, c'est l'étude chronologique qui renseigne sur l'évolution des malades**