



Octobre-novembre 2019 IFKM- Master HMBS124

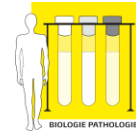
Explorations Fonctionnelles Respiratoires : réalisation et interprétation des explorations respiratoires en pathologie humaine

Maurice Hayot et collaborateurs

maurice.hayot@umontpellier.fr

Département de Physiologie clinique

CHU A.de Villeneuve



1

Département de Physiologie Clinique

*Unité d'Explorations Respiratoires
CHRU Arnaud de Villeneuve*

Évaluation fonctionnelle Globale

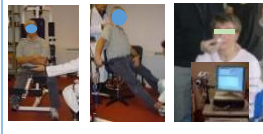
Épreuve d'Exercice
Musculaire



Tests de Marche



Fonction Musculaire Spécifique Respiratoires et Locomoteurs



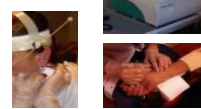
Spirométrie Transfert CO-NO



Pneumo-Cardio Médecine(s)-Neurologie Chirurgie(s)...



Gazométrie Artérielle



Tests d'Hyperoxie et d'Hypoxie



2

Explorations de la fonction respiratoire : EFR

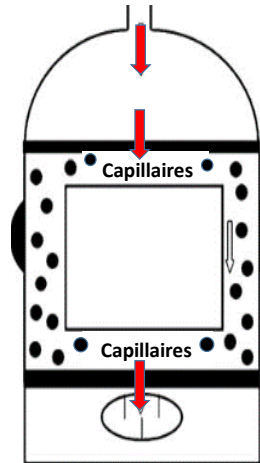
- **Spirométrie : Niveau 1 et Niveau 2**
- Capacité de diffusion pulmonaire
- Exploration spécifiques des muscles respiratoires
- Gaz du sang artériel
- Etc...

3

Niveau de spécialisation CHU Montpellier	Niveau 1	Niveau Spécialisé	
Niveau de spécialisation selon HERMES (ERS)	Niveau 1	Niveau S2	Niveau S3
Spirométrie (forcée)	•		
Pléthysmographie / Dilution de l'Hélium	•		
Transfert du CO	•		
Gazométrie artérielle	•		
Test de marche de 6 minutes	•		
Résistances bronchiques		•	
Tests de provocation		•	
Epreuve d'effort avec mesure des gaz		•	
Polygraphie ventilatoire du sommeil		•	
Test d'hyperoxie			•
Test d'hypoxie			•
Mesure de la force volontaire des muscles respiratoires			•
Etude de la réponse ventilatoire à l'hypercapnie			•
Mesure du volume de fermeture par la technique du rinçage en cycle unique à l'azote			•
Double diffusion			•

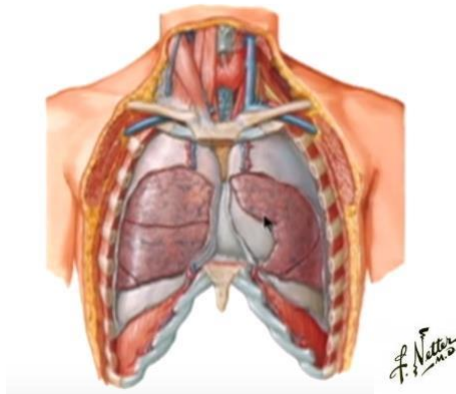
4

Modèle simplifié de Wagner et Wiebel



5

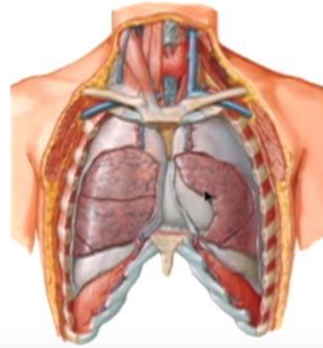
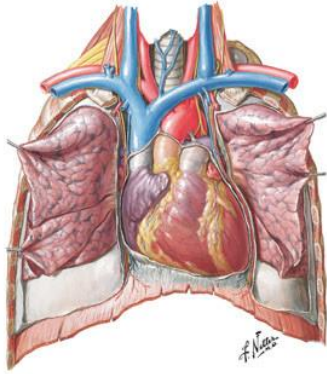
Les représentations du Système Respiratoire



Dr Franck Netter 1906-1991

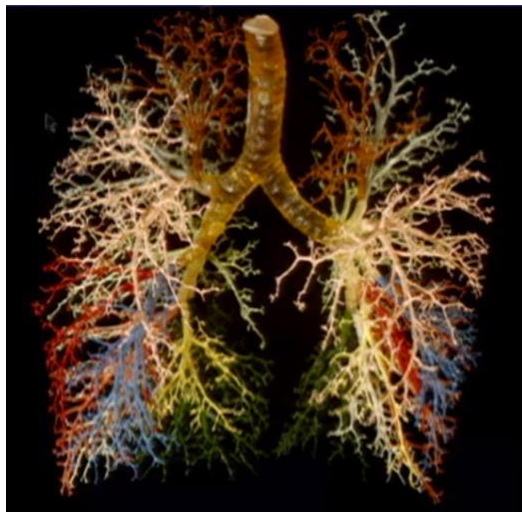
6

Les constituants du Système Respiratoire



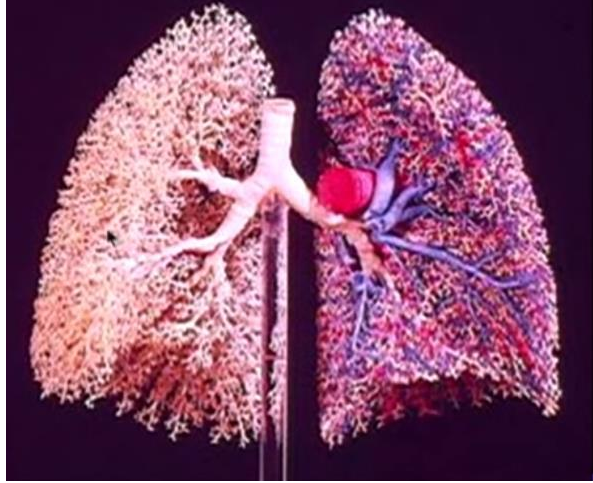
7

Arbre bronchique



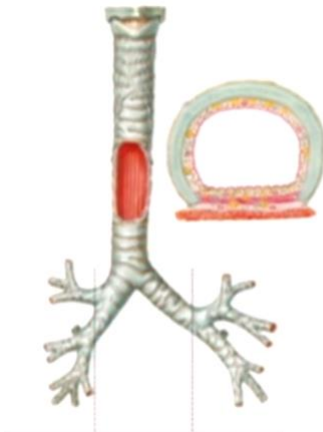
8

Voies aériennes (gauche) et vaisseaux (droite)

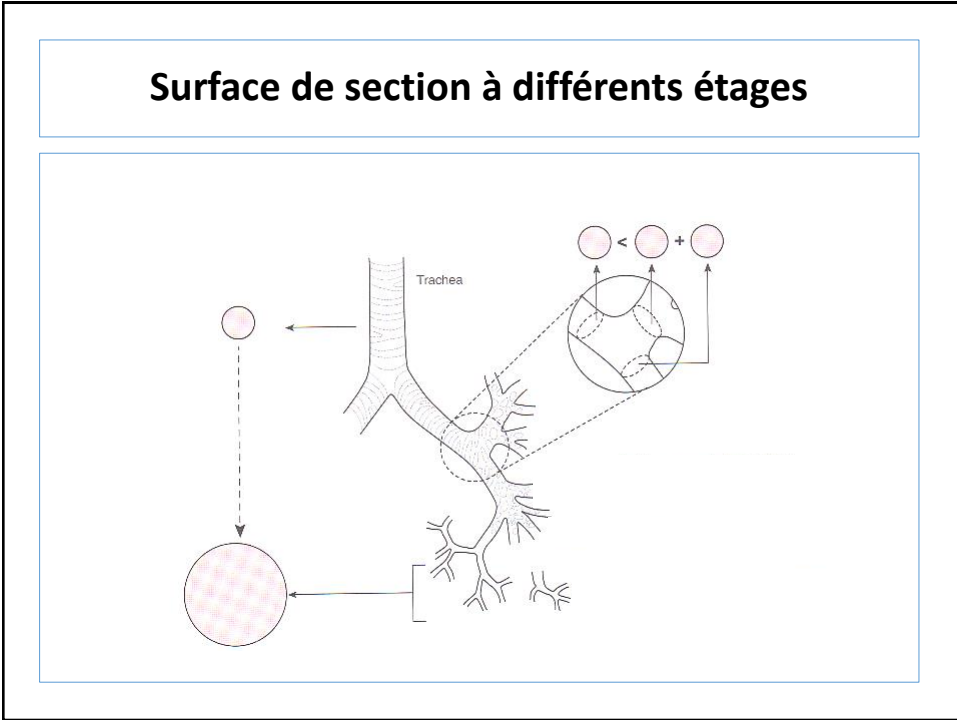


9

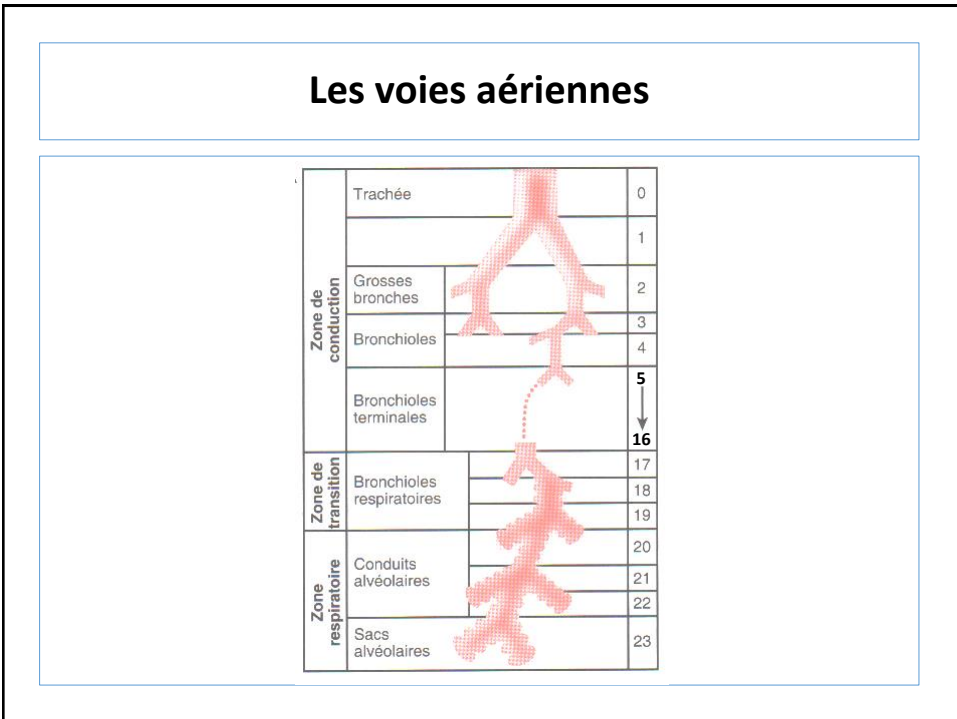
Trachée



10

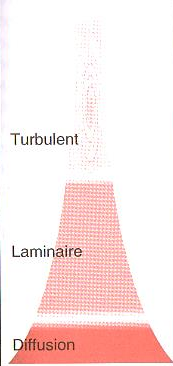


11



12

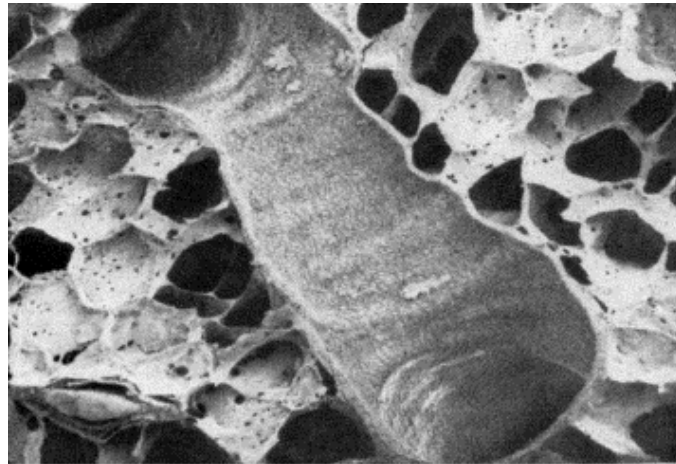
Surface de section des voies aériennes



Génération	Nombre	d (cm)	A (cm ²)	A totale (cm ²)	R
0	1	1,8	2,5	2,5	75 %
1	2	1,2	1,1	2,3	
2	4	0,8	0,5	2,2	
5	32	0,3	0,1	3,1	25 %
10	10 ³	0,1	0,01	10	
15	30 x 10 ³	0,07	0,003	100	
20	10 ⁶	0,05	0,001	1 500	

13

Conduits alvéolaires et alvéoles



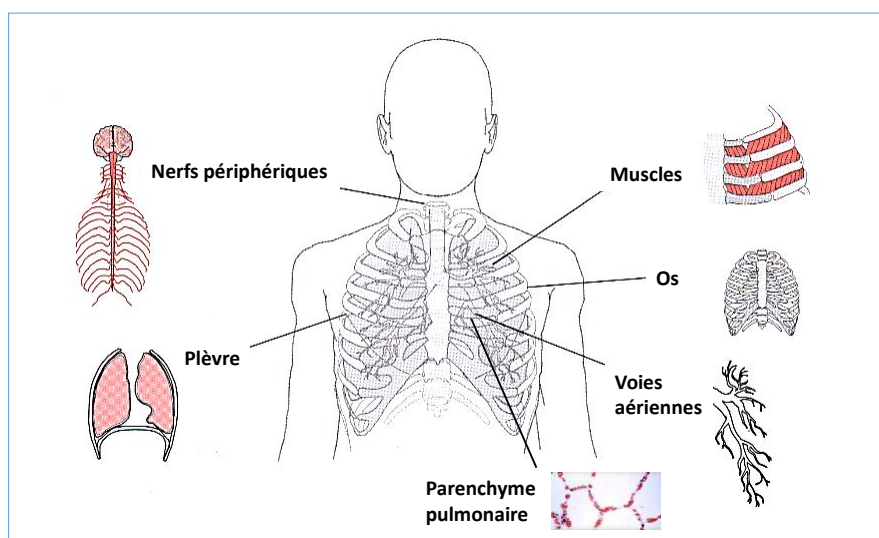
14

Alvéoles et zones d'échanges



15

Le système respiratoire : un système complexe

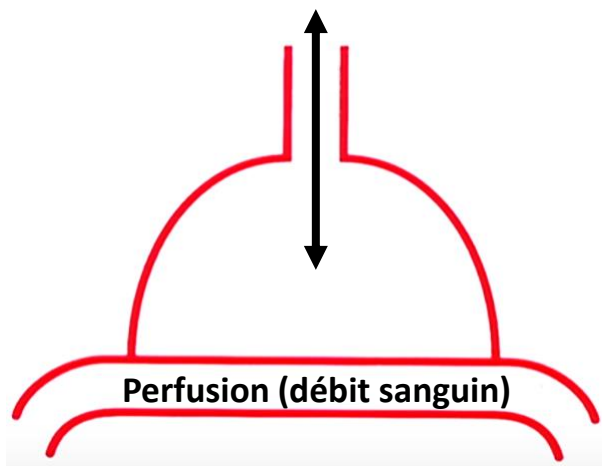


16

**Principes de la spirométrie :
mesure des « volumes pulmonaires » et des
« débits bronchiques »**

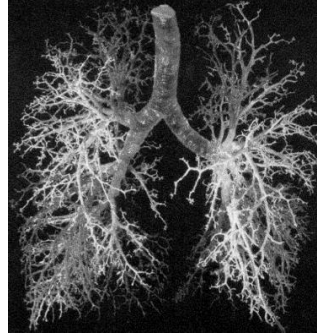
17

La ventilation



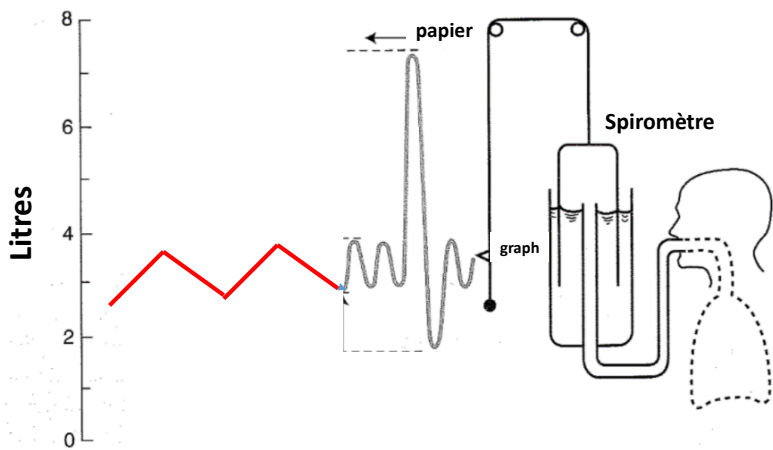
18

Spirométrie : que mesure-t-on?



19

Volumes pulmonaires : principe de la spirométrie : la spirométrie



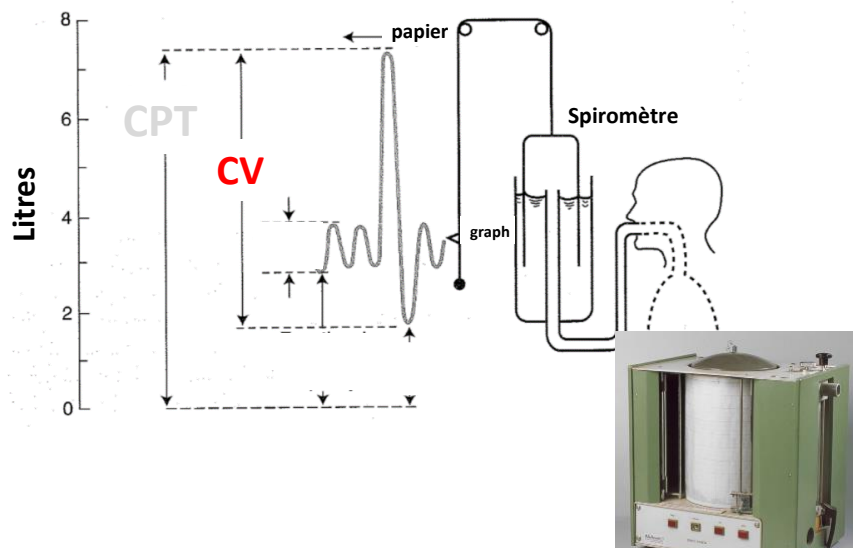
20

Les appareils de mesure

- Les **spiromètres** mécaniques : volume-temps
- Les **pneumotachographes** : débit-volume
- Les **pléthysmographes/dilution He** : volumes ...

21

Les **spiromètres** mécaniques : volumes mobilisables / fonction du temps



22

Appareils de mesure : spiromètres

Pléthysmographie

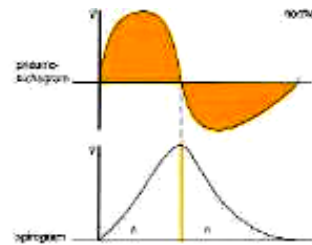
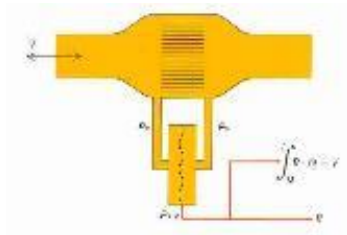


Dilution de l'Hélium



23

Les pneumotachographes : débit et volumes mobilisables



Autres principes de mesure :

- Tube de Pitot
- Anémomètre à fil chaud (Débitmètre de masse)
- Turbines etc ...

24

Biomedical Systems Equipment

...+ autres types de spiromètres



Spirometry Equipment: 6800 Pneumotach, 3 Liter Syringe

ECG Equipment



25

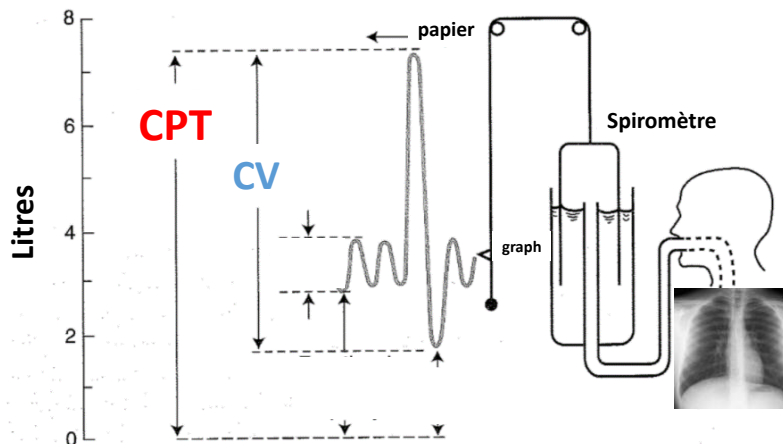


26

Volumes pulmonaires : manœuvres lentes

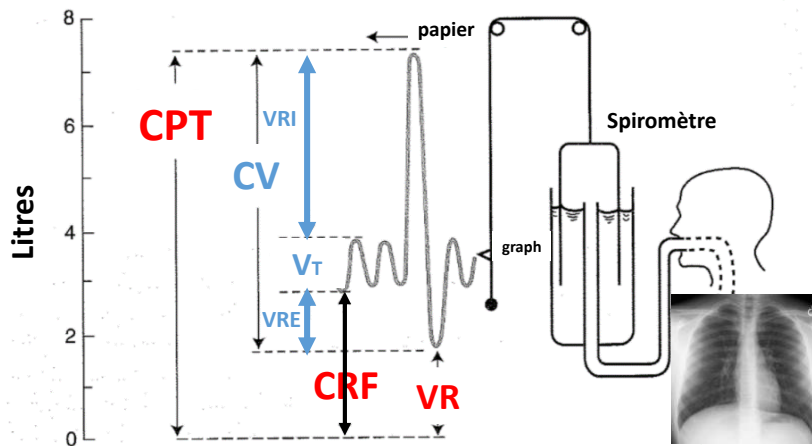
27

Volumes pulmonaires : manœuvres lentes



28

Volumes pulmonaires : manœuvres lentes

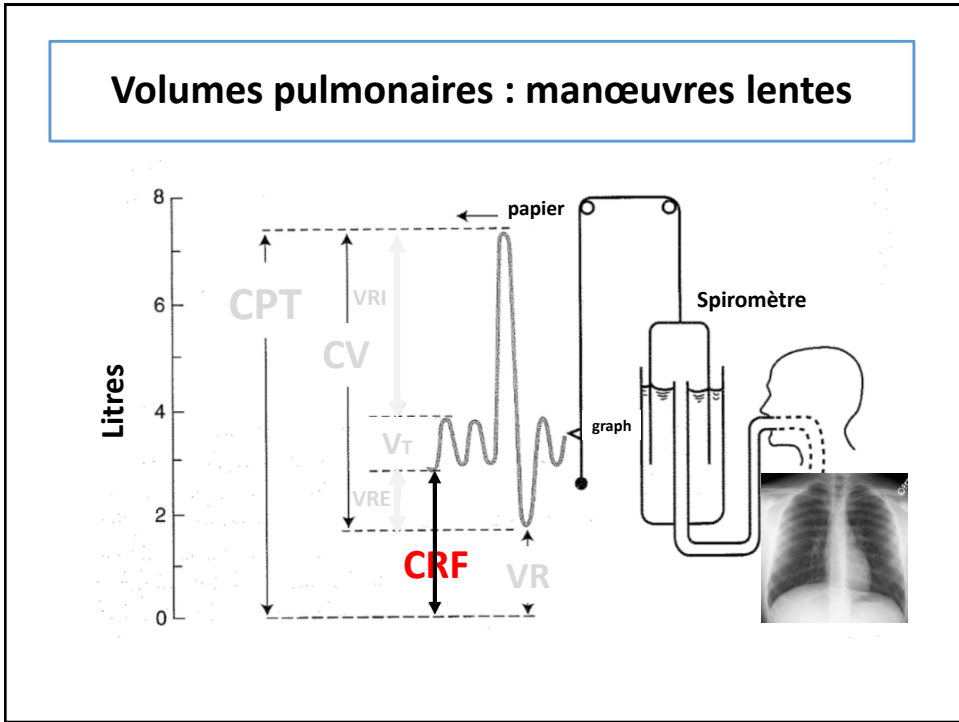


29

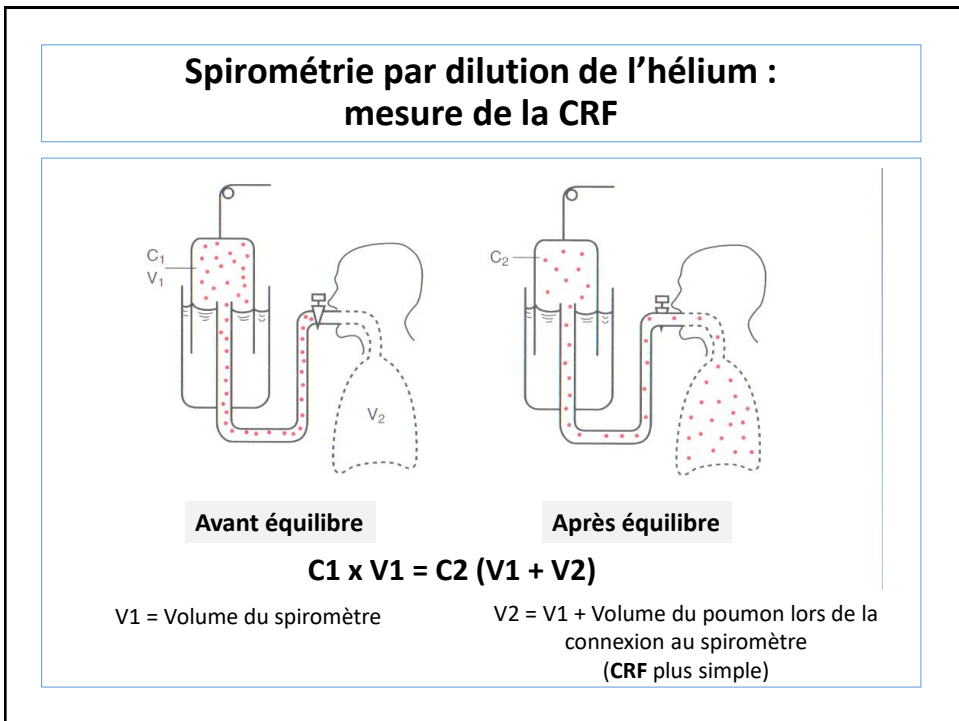
Dilution de l'Hélium



30

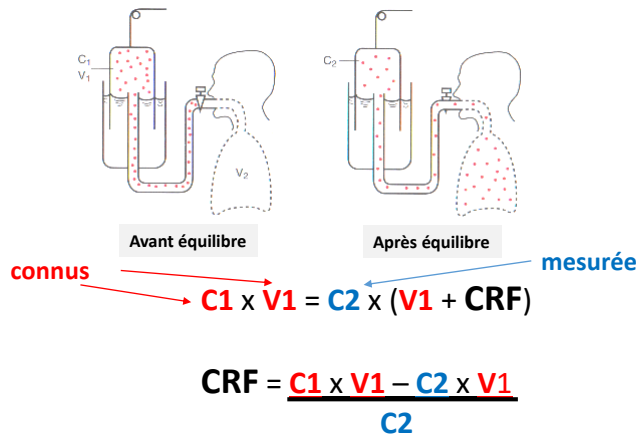


31



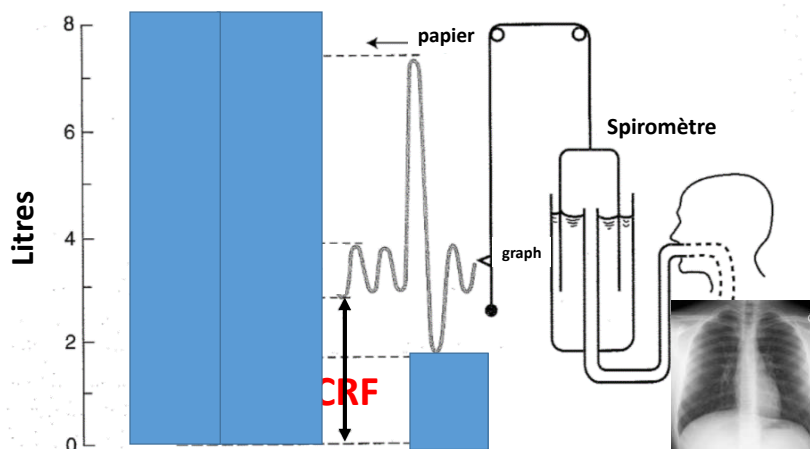
32

Spirométrie par dilution de l'hélium : mesure de la CRF



33

Spirométrie complète pour mesurer la CPT ⇒ mesure de la CRF et mesure de la CV / ⇒ reconstituer le spirogramme



34

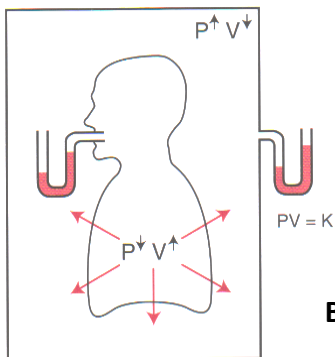
Pléthysmographie



35

Principes de la spirométrie en pléthysmographie

- Loi de Boyle-Mariotte : $P V = K$



Box (Cabine) : $P_1 V_1 = P_2 (V_1 - \Delta V)$

Poumons (Cabine) : $P_3 CRF = P_4 (CRF + \Delta V)$

36

Déficit ventilatoire restrictif

- **↘ Capacité Pulmonaire Totale** < LIN
- et rapport VEMS/CVF normal.

37



Interprétation de la spirométrie

The Global Lung Function Initiative

Key points

- Arbitrary differences in the way lung function is expressed and interpreted may result in mismanagement of patients as well as hindering our understanding of the global burden of lung disease.
- Currently, international and regional boundaries, together with individual preferences, may have as much impact on estimates of disease prevalence and treatment decisions as does the true pathophysiological heterogeneity of disease.
- Use of the all-age (3–95 years), multiethnic Global Lung Function Initiative (GLI) spirometry equations, which provide well defined lower limits of normal, will allow global standardisation of how spirometry results are interpreted. This will also avoid errors that have occurred in the past due to overdependence on fixed thresholds to diagnose lung disease or extrapolation of prediction equations in either very young or elderly patients

38

Normes GLI 2012

ERS TASK FORCE

Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations

Philip H. Quanjer, Sanja Stanojevic, Tim J. Cole, Xaver Baur, Graham L. Hall, Bruce H. Culver, Paul L. Enright, John L. Hankinson, Mary S.M. Ip, Jinping Zheng, Janet Stocks and the ERS Global Lung Function Initiative

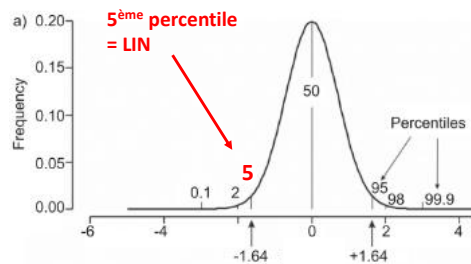
Eur Respir J 2012; 40: 1324–1343

39

Interprétation des résultats spirométriques



Utiliser la Lim Inf N^{ale}

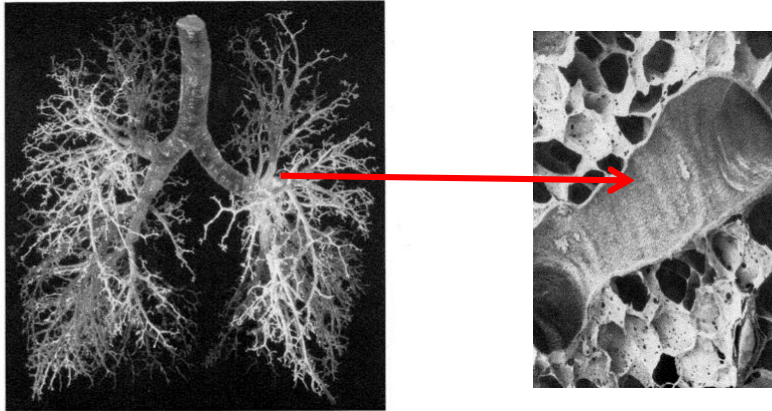


- 1.64 écart-type (SD standard deviation) = **limite inférieure de la normale**

=> 5% de la population en dessous de cette valeur

40

Les voies aériennes et les débits bronchiques



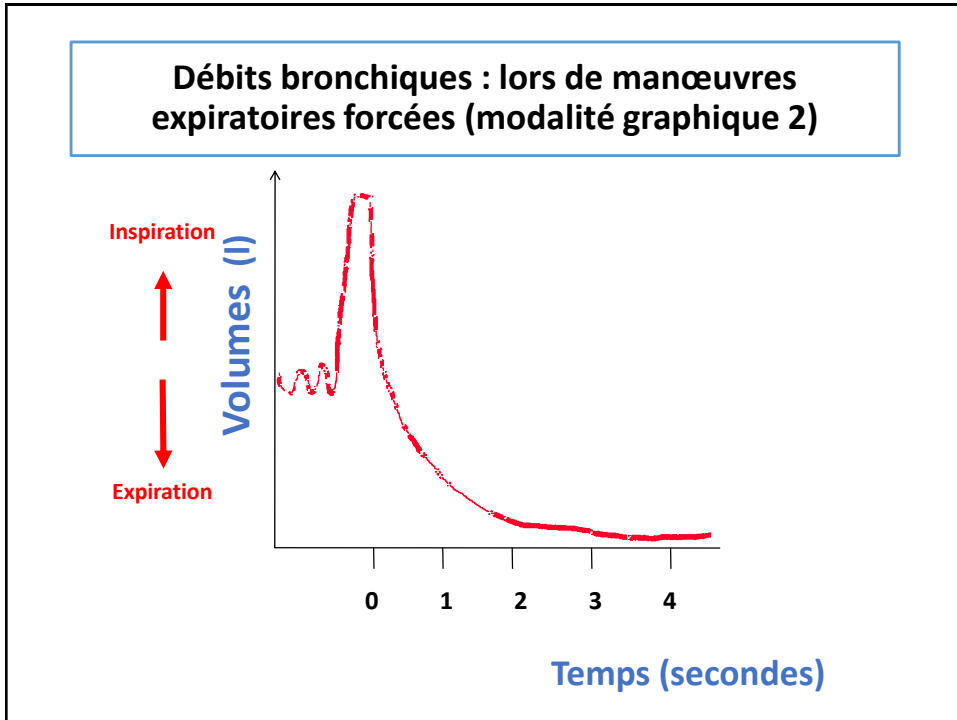
JB West Respiratory Physiology 8^{ème} édition

41

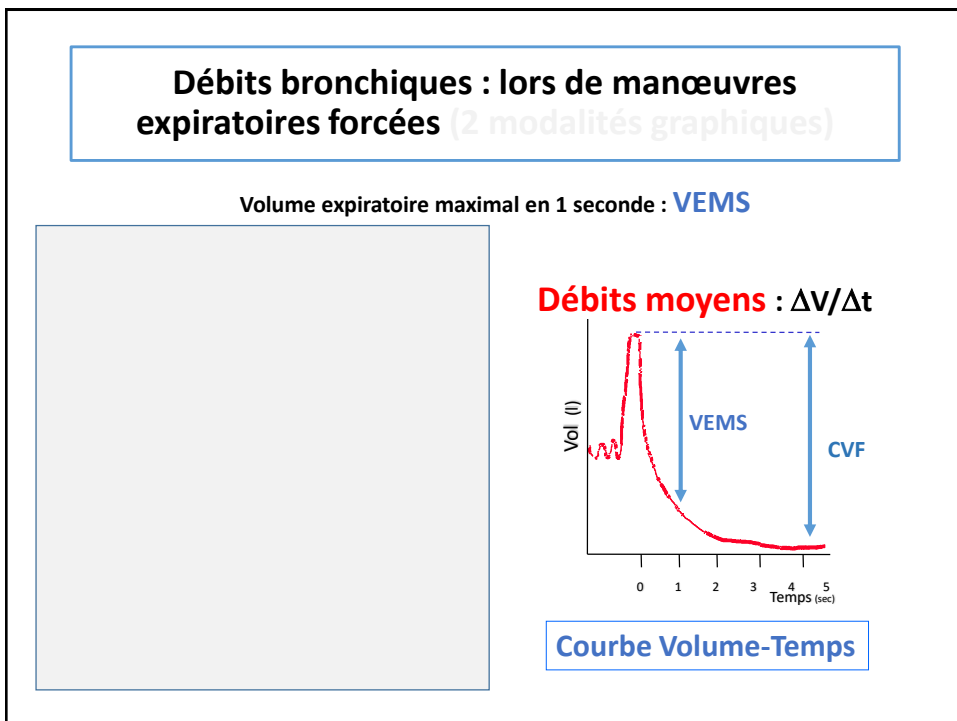
Spiromètre



42



43



44

Définitions

- La **capacité vitale forcée (CVF)** correspond au :
 - volume maximum d'air expiré au cours d'un effort maximum effectué à partir d'une inspiration maximale.
- Le **VEMS** correspond au :
 - **volume maximum d'air expiré au cours de la première seconde** d'une expiration forcée à partir d'une inspiration maximale.

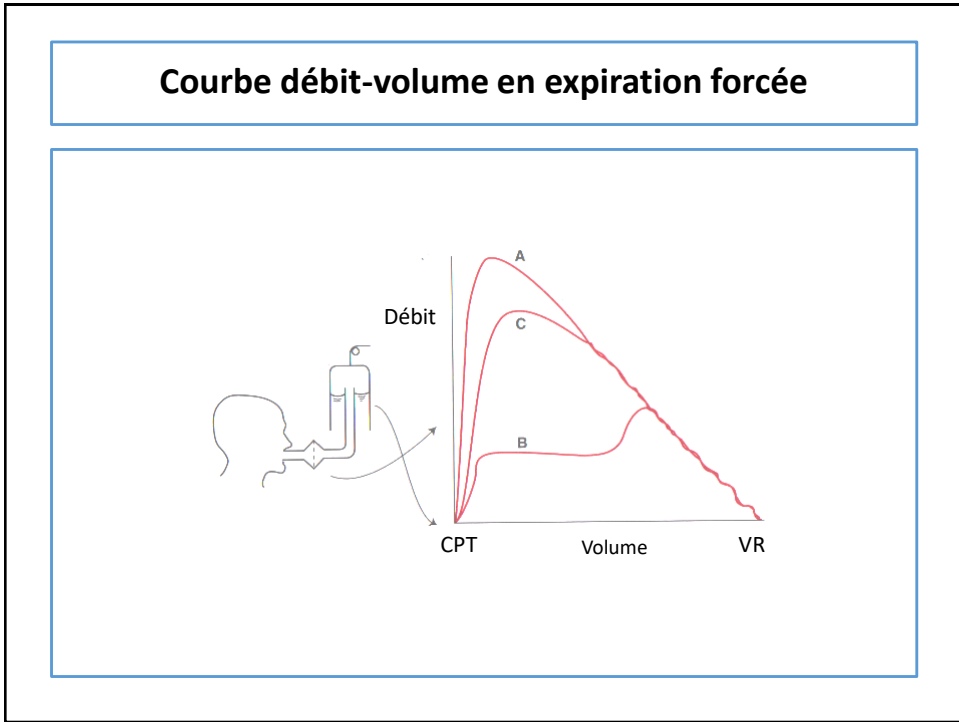
45

Spirométrie de **Niveau 1** = « courbe débit-volume » mesure de la CVF et du VEMS

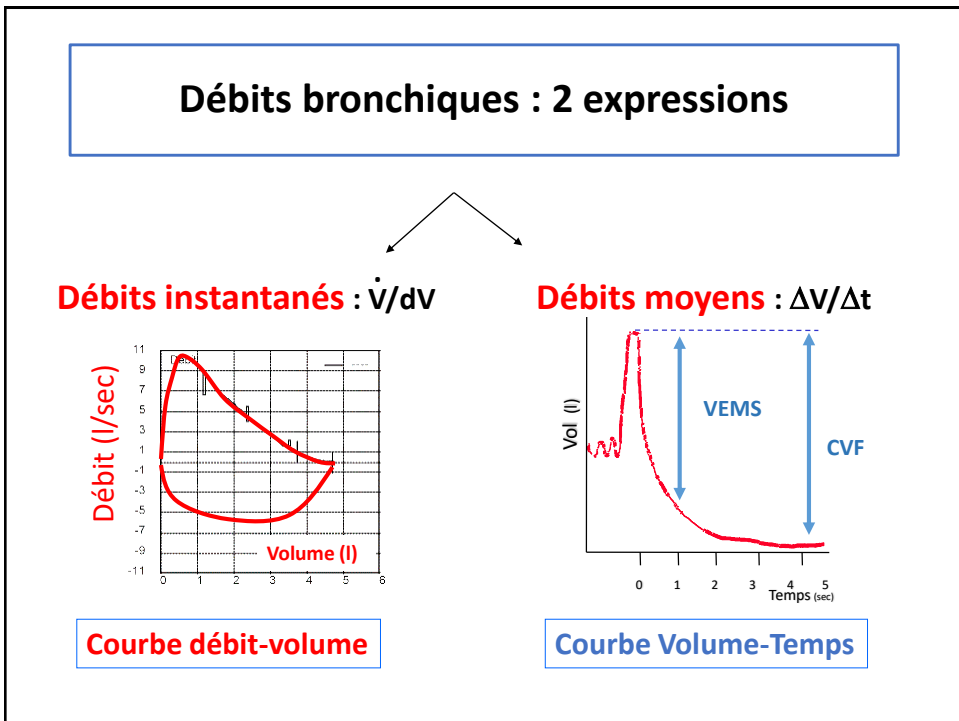
- La **CVF**
- Le **VEMS**

=> rapport VEMS/CVF = rapport de Tiffeneau

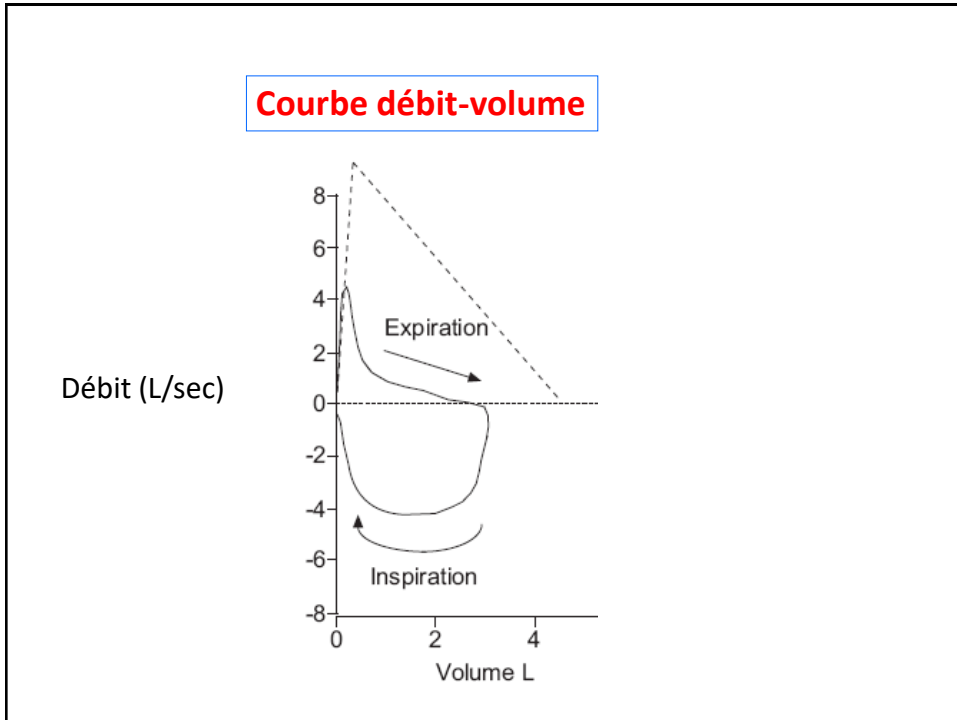
46



47



48



49

Revue des **Maladies**
Respiratoires
Organe Officiel de la Société de Pneumologie de Langue Française

Édition Française de la série
« standardisation des explorations
fonctionnelles respiratoires »
du groupe de travail ATS/ERS

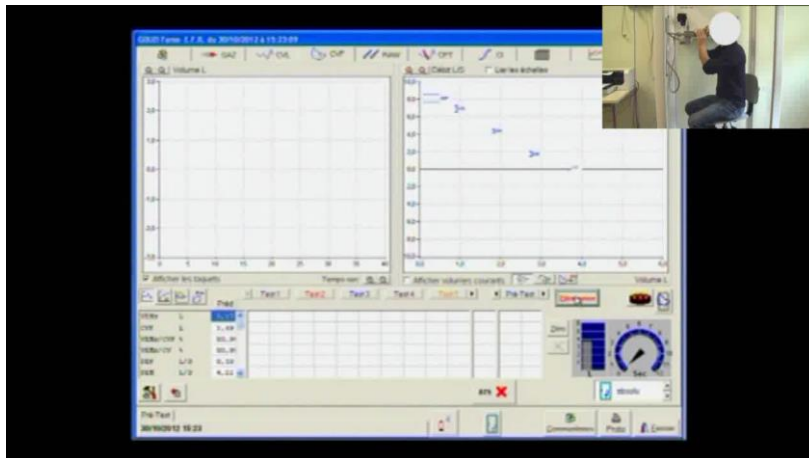
Coordonnée par C. Straus et T. Similowski
(traduite de l'anglais à partir de six articles publiés en 2005
dans l'European Respiratory Journal,
avec l'aimable autorisation de l'European Respiratory Society)

Rev Mal Respir 2006 ; 23 : 17S3

50

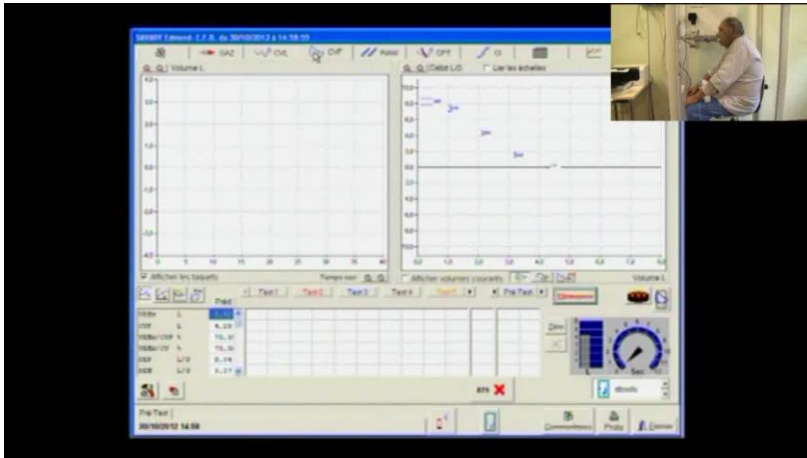
Vidéos spiro

51

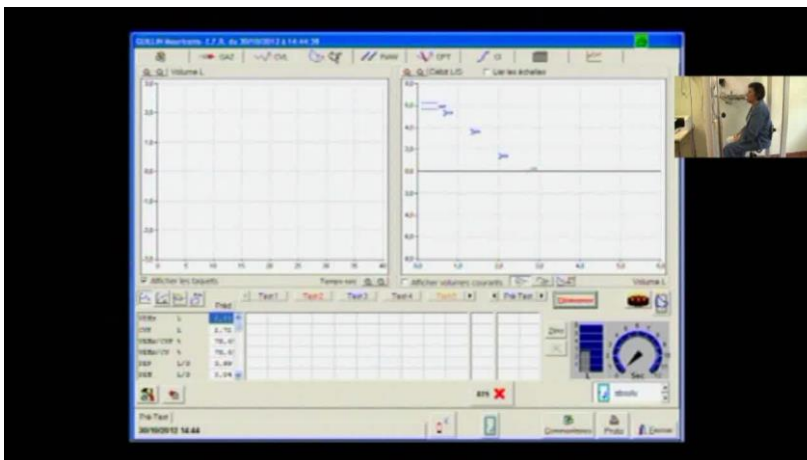


52

vidéo



53



54

Considérations générales sur les explorations fonctionnelles respiratoires

M.R. Miller, R. Crapo, J. Hankinson, V. Brusasco, F. Burgos, R. Casaburi, A. Coates, P. Enright,
C.P.M. van der Grinten, P. Gustafsson, R. Jensen, D.C. Johnson, N. MacIntyre, R. McKay, D. Navajas,
O.F. Pedersen, R. Pellegrino, G. Viegi, J. Wanger

Table des matières	
Généralités	17S12
Définitions	17S12
Considérations à propos des patients	17S12
Contre-indications	17S12
Position	17S12
Caractéristiques des patients	17S12
Âge, taille et poids	17S12
Traitement	17S13
Préparation des patients	17S13
Caractéristiques des laboratoires	17S13
Hygiène et prévention des infections	17S14
Transmission par contact direct	17S14
Transmission par contact indirect	17S14
Prévention	17S14
Contamination des techniciens de laboratoires	17S14
Contamination croisée	17S14
Spiromètres volumétriques	17S15
Tuberculose	17S15
Hémoptysse et plaies de la cavité buccale	17S15
Autres maladies infectieuses transmissibles connues	17S15
Filtres à usage unique	17S15
Conception des matériels	17S16
Niveau de risque infectieux	17S16
Qualifications du personnel et rôle du technicien dans le contrôle qualité	17S17
Qualifications du personnel	17S17
Rôle du technicien dans le contrôle qualité	17S17
Valeurs de référence	17S18
Stratégies d'interprétation	17S18
Abréviations	17S18

55

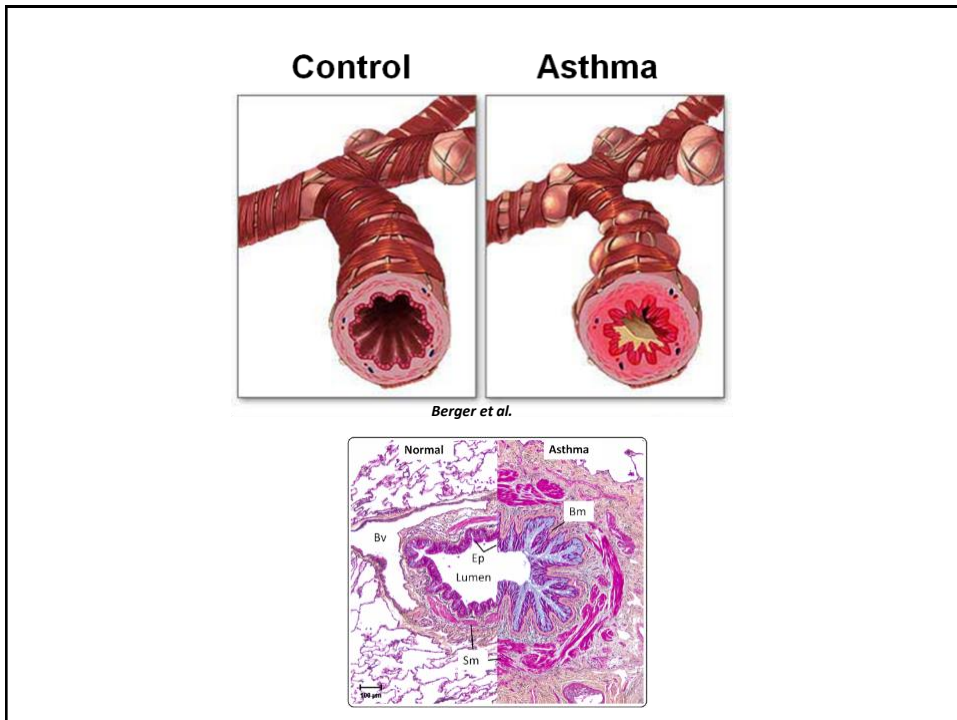
Déficit ventilatoire obstructif

- Un déficit ventilatoire obstructif est défini par

↘ du rapport $VEMS/CVF < LIN$

(pour simplifier la mesure à grande échelle
la valeur de $VEMS/CVF < 0.70$
est proposée comme "LIN")

56



57

Déficit Ventilatoire Obstructif ou Trouble VO ou Syndrome obstructif

$$Dg = VEMS/CVF < \text{Lim Inf } N^{ale}$$

Sévérité estimée sur le VEMS

✓ Discret	VEMS th > 80 %
✓ Modéré	80 % < VEMS/th < 50 %
✓ Sévère	50 % < VEMS/th < 35 %
✓ Très sévère	VEMS/th < 35 %

58

**Test de Réversibilité
de l'obstruction bronchique :**
*réponse de bronchodilatateurs
de courte durée d'action (β_2 +)*

59

Test de Réversibilité après inhalation
de bronchodilatateurs de courte durée d'action (β_2 +)

- **Le patient ne doit pas avoir :**
 - Fumer : 1 heure avant
 - Pris de β_2 courte durée d'action : 4 heures avant
 - Pris de β_2 longue durée d'action : 12 heures avant.
- **Donner 4 bouffées de salbutamol** (soit 400 microgrammes) à 30 sec d'intervalle; faire réaliser une apnée après chaque dose (si besoin utiliser un inhalateur).
- **Refaire l'examen** : 10 à 15 minutes après l'inhalation de β_2 de courte durée d'action

60

Test de Réversibilité : interprétation

- ↗ du VEMS **et/ou** CVF
- > à **12%** de la valeur initiale (mesurée avant BCD)
- et**
- > à **200 ml** par rapport à la valeur initiale

61

Déficit ventilatoire restrictif

- ↘ **Capacité Pulmonaire Totale** < LIN
- **et rapport VEMS/CVF normal.**

62

Diagnostic et sévérité Déficit Ventilatoire (ou syndrome) restrictif

CPT < LIN

- Discret > 80 %théorique
- Modéré 80 à 60 %th
- Sévère 60 à 50 %th
- Très sévère < 50%/th

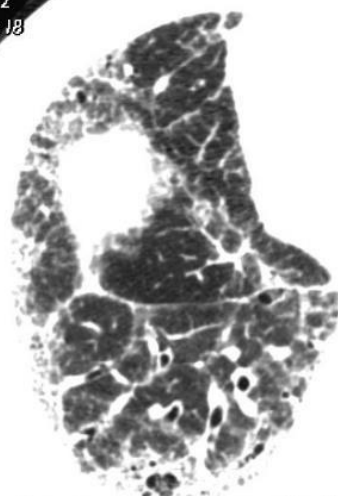
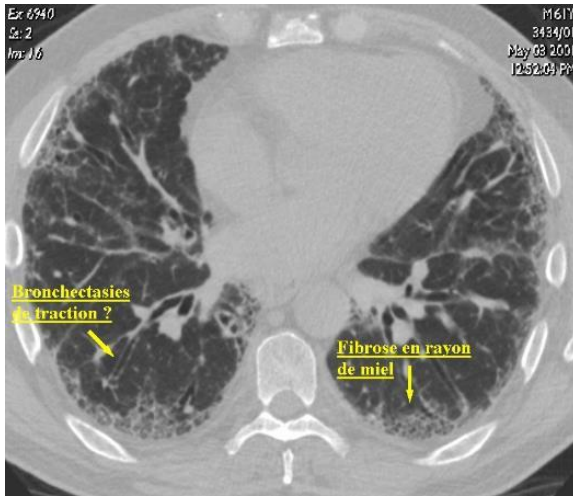
63

Timagerie thoracique et Fibrose pulmonaire idiopathique



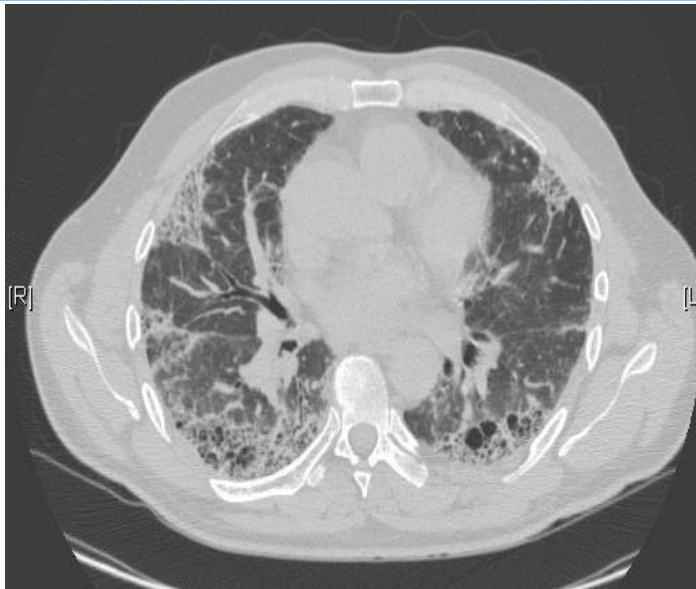
64

TDM Thoracique et Fibrose pulmonaire idiopathique



65

Fibrose pulmonaire



66

Sexe : **M**
 Age : **71**
 Taille(cm) : **178**
 Poids(Kg) : **84**

	Norme	Mesuré	%Norme
<u>VOLUMES PULMONAIRES</u>			
CV (cpt)(L)	4,22	(1,86)	(44)
CPT(L)	7,14	(3,01)	(42)
VR(L)	2,67	(1,15)	(43)
VR/CPT(%)	42	38	92
CRF(cpt)(L)	3,72	(1,89)	(51)

67

Scoliose évoluée



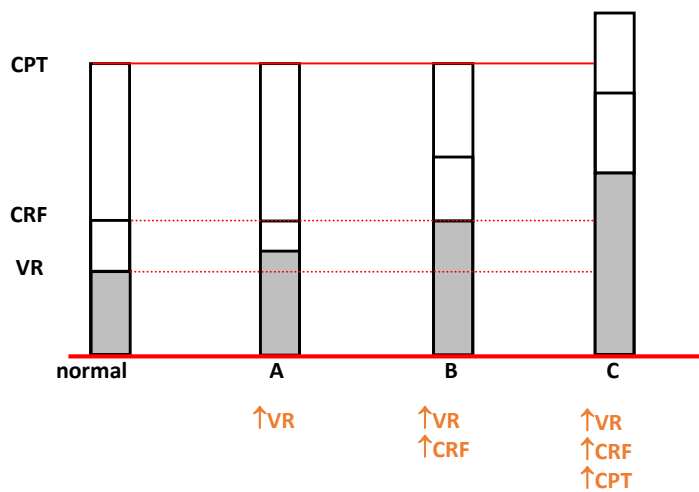
68

Distension pulmonaire (pulmonary hyperinflation)



69

Différentes formes / sévérité



70

Déficit ventilatoire mixte

- Définition : association de deux pathologies induisant un déficit obstructif et un déficit restrictif
- Réunit les 2 définitions :
 - Exemples : ...
 - Obésité + asthmatique
 - Scoliose évoluée et BPCO
 - etc...

71

Mme C, 35 ans : suivi d'asthmatique sévère

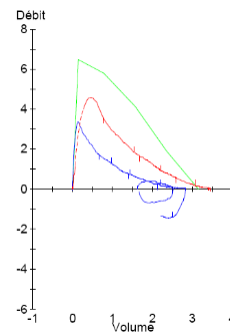
Age: 35 ans Taille : 157 cm
Sexe : Fém. Poids : 102.0 Kg

ETUDE PLETHYSMOGRAPHIQUE DE LA FONCTION RESPIRATOIRE

Médication:

DEBIT VOLUME

		Pré			Post BCD		
		Théo.	Mes.	%Théo.	Mes.	%Théo.	% Chg.
CVF	Litres	3.16	2.84	90	3.47	110	22
VEMS	Litres	2.73	(1.46)	(53)	2.23	82	53
VEMS/CFV%		82	(51)		(64)		
DEM25/75	L/sec	3.69	(0.61)	(16)	(1.33)	(36)	119
DEM75	L/sec	5.78	(1.73)	(30)	3.57	62	107
DEM50	L/sec	4.13	(0.76)	(18)	(1.65)	(40)	117
DEM25	L/sec	1.88	(0.23)	(12)	(0.57)	(30)	143
DPE	L/sec	6.47	(3.39)	(52)	(4.59)	(71)	35
CI	Litres		2.91				
VIMS	Litres						



72

Mme C, 51 ans : suivi d'asthmatique

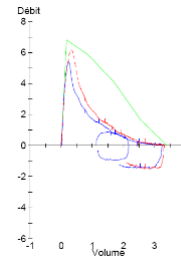
Age: 51 ans Taille : 172 cm
 Sexe : Fém. Poids : 52.0 Kg

ETUDE PLETHYSMOGRAPHIQUE DE LA FONCTION RESPIRATOIRE

Médication:		Pré			Post		
DEBIT VOLUME		Théo.	Mes.	%Théo.	Mes.	%Théo.	% Chg.
CVF	Litres	3.40	3.25	96	3.32	98	2
VEMS	Litres	2.92	(1.76)	(60)	(1.96)	(67)	11
VEMS/ CVF%		79	(54)		(59)		
DEM25/75	L/sec	3.34	(0.68)	(20)	(0.86)	(26)	27
DEM75	L/sec	5.86	(2.37)	(40)	(3.12)	(53)	32
DEM50	L/sec	4.10	(0.91)	(22)	(1.23)	(30)	36
DEM25	L/sec	1.64	(0.23)	(14)	(0.28)	(17)	18
DPE	L/sec	6.82	5.45	80	6.17	90	13
CI	Litres		2.00				
VIMS	Litres						

VOLUMES PULMONAIRES

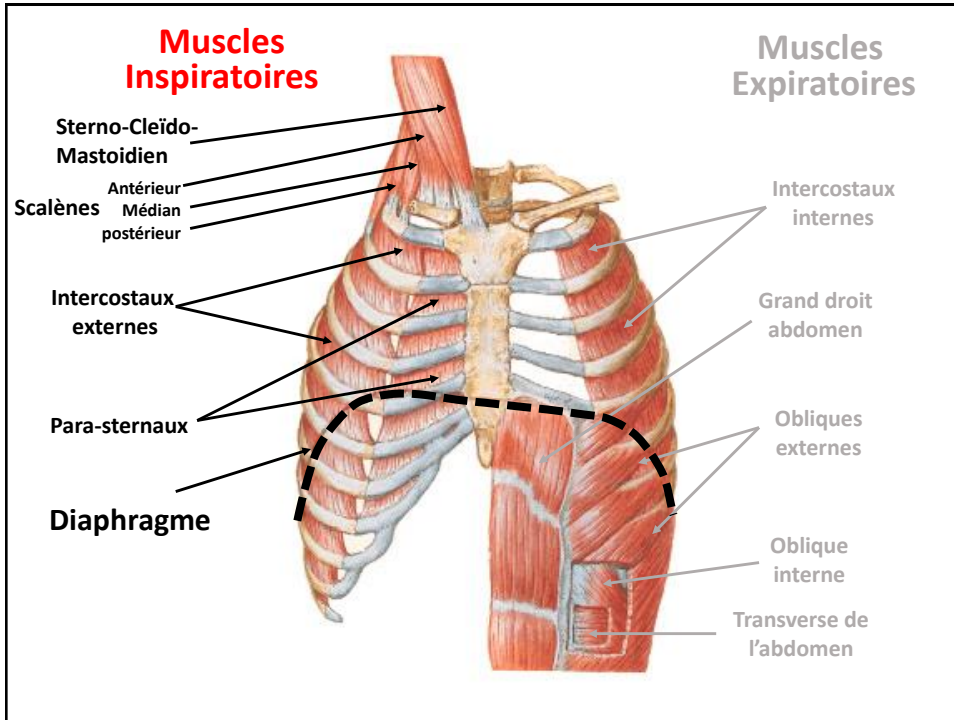
CV	Litres	3.41	3.25	95
CPT	Litres	5.56	6.47	116
VR	Litres	1.93	(3.22)	(167)
VR/CPT	%	36	(50)	
CRF PI	Litres	2.90	(4.33)	(149)



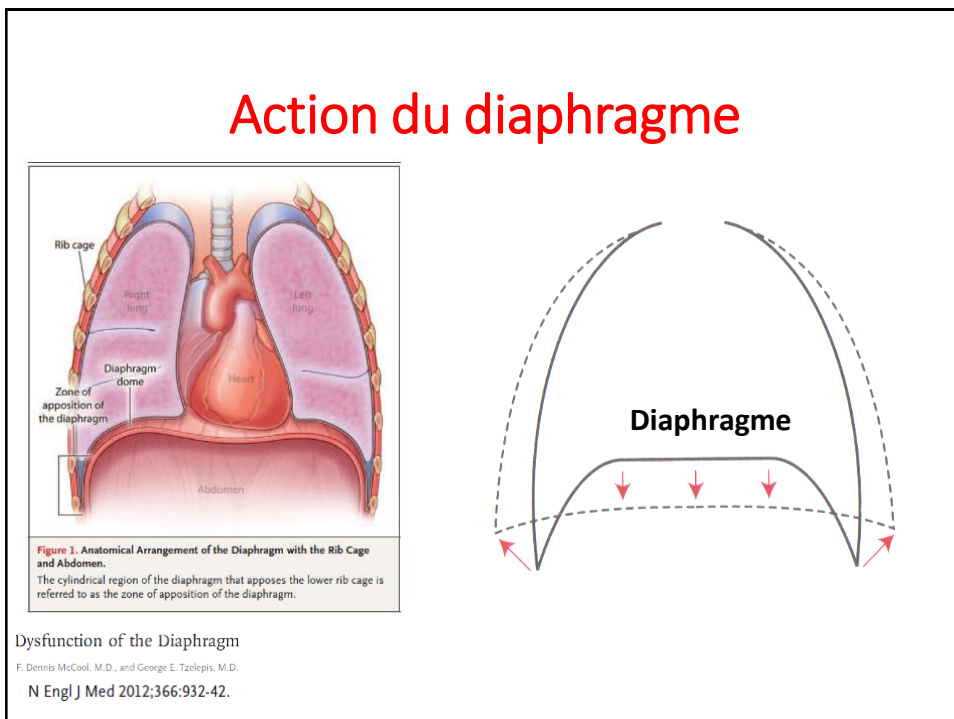
73

Exploration de la fonction des muscles respiratoires

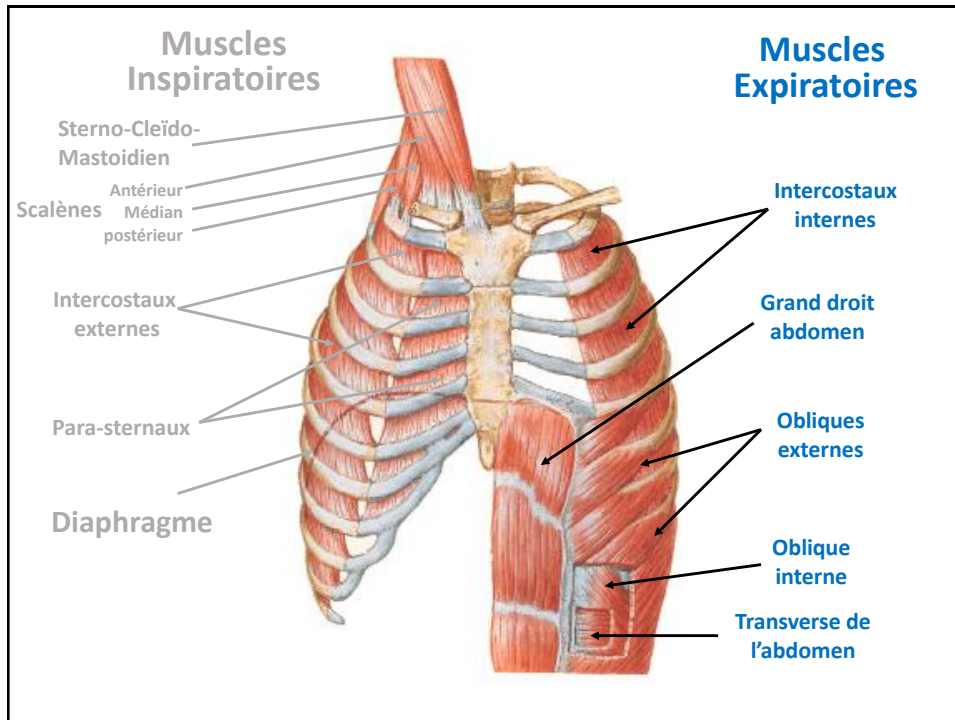
74



75



76



77

Les grandeurs physiologiques pouvant être explorées :

- **Force maximale** : « capacité maximale d'un muscle à générer une force »
- **Endurance** : « capacité à maintenir une contraction le plus longtemps possible à un %age de la force maximale »
- **Fatigue** : réduction réversible de la force malgré une stimulation maximale

78

Evaluation de la force des muscles respiratoires

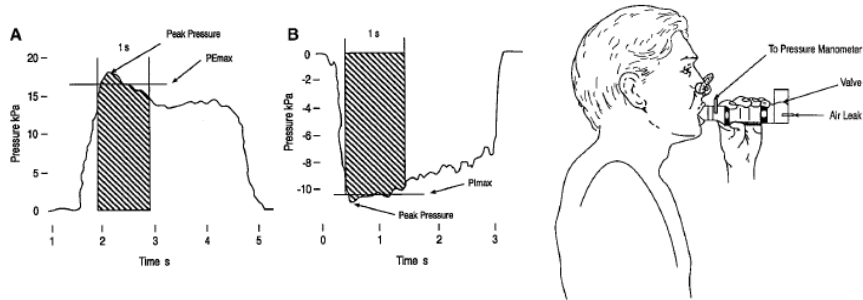
79

**Principales techniques
et réalisation pratique**

**Pressions maximales volontaires :
 $P_{I\max}$ – $P_{E\max}$ – SNIP**

80

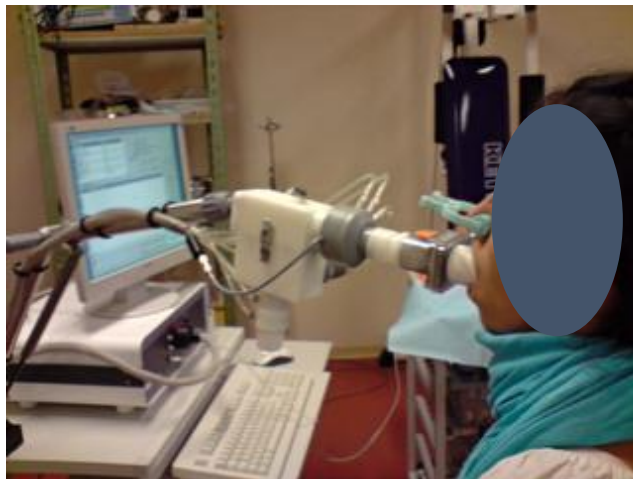
Pressions maximales volontaires : P_Imax – P_Emax – SNIP



ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing

81

Le matériel



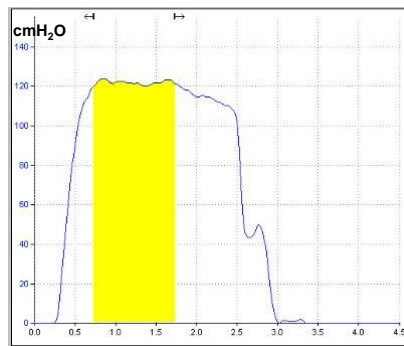
82

PI_{max} = pression inspiratoire maximale

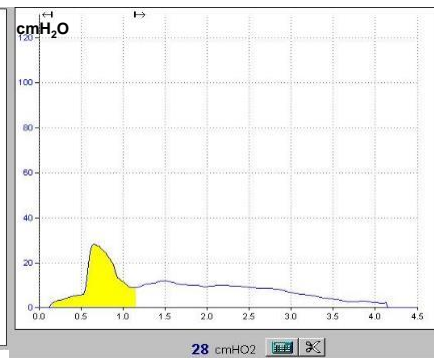
- Explore la force maximale volontaire de l'ensemble des muscles inspiratoires
- Mesuré à la bouche (contre occlusion)
- Généralement en fin d'expiration courante (CRF)
- Plusieurs mesures nécessaires (2 mesures reproductibles à 10%)
- Durée du plateau : 1 seconde

83

PI_{max}: pic vs plateau



PI_{max} Normale



Faiblesse inspiratoire sévère

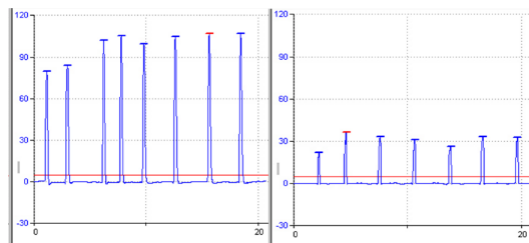
84

Pression lors du « sniff nasal »
(SNIP: sustained nasal inspiratory pressure)

- Mesure la force globale des muscles inspiratoires
- Pression inspiratoire nasale maximale
- Lors du renflement maximal et bref < 500 ms
- Plusieurs mesures nécessaires: 10 à 20 mesures

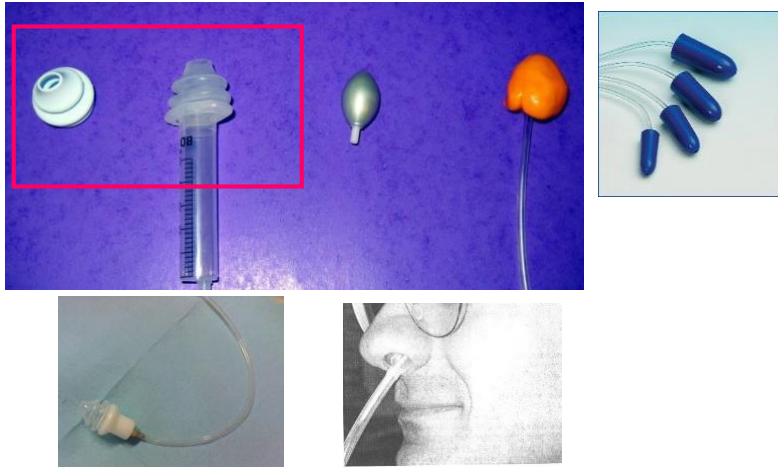
85

Force globale des M. Insp. : SNIP
Manœuvre plus « naturelle »



86

SNIP : interfaces



87

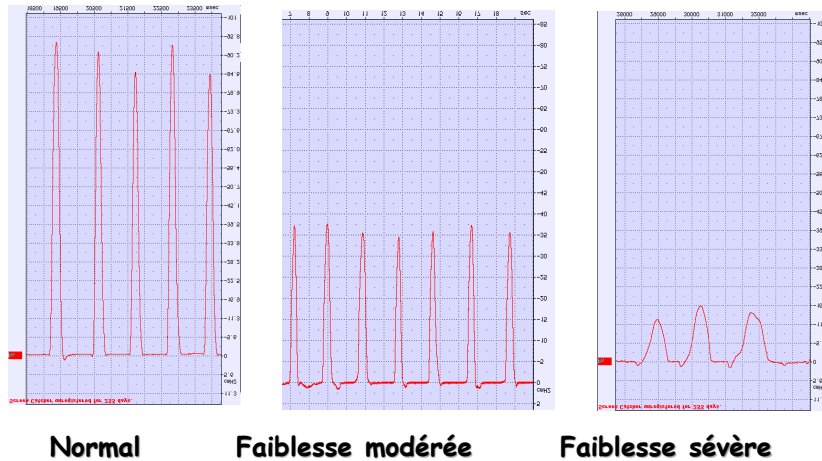
SNIP : matériel



Sec et maximal « comme un (sale) gosse » T. Perez...

88

SNIP et faiblesse des MI

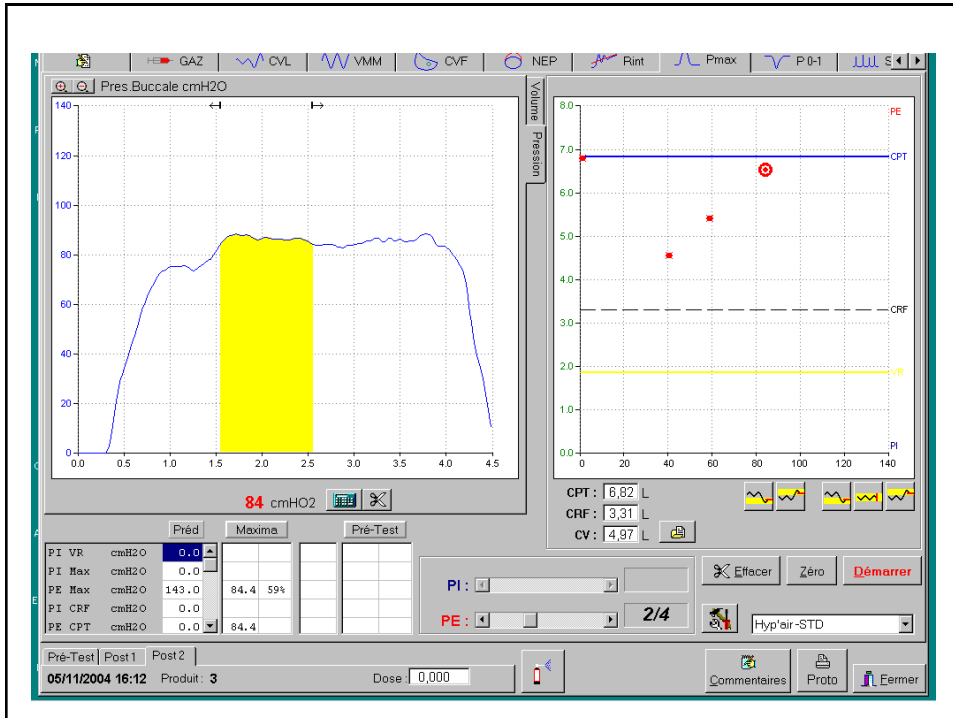


89

PE_{max} = pression expiratoire maximale

- Explore la force maximale volontaire de l'ensemble des muscles expiratoires
- Mesuré à la bouche (contre occlusion)
- Généralement en fin d'inspiration complète (CPT)
- Plusieurs mesures nécessaires (2 mesures reproductibles à 10%)
- Durée du plateau : 1 seconde

90



91

Interprétation

- Comparer aux valeurs de référence d'une population normale en bonne santé
- Faiblesse « significative » peu probable si :
 - P_{lmax} > 80 cm H₂O (H) > 70 cm H₂O (F)
 - SNIP > 70 cm H₂O (H) > 60 cm H₂O (F)

92

Exploration spécialisée du diaphragme

93

Pression transdiaphragmatique : Pdi

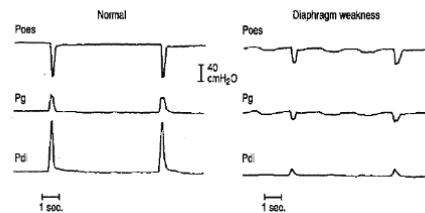
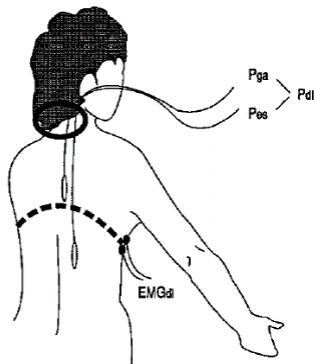
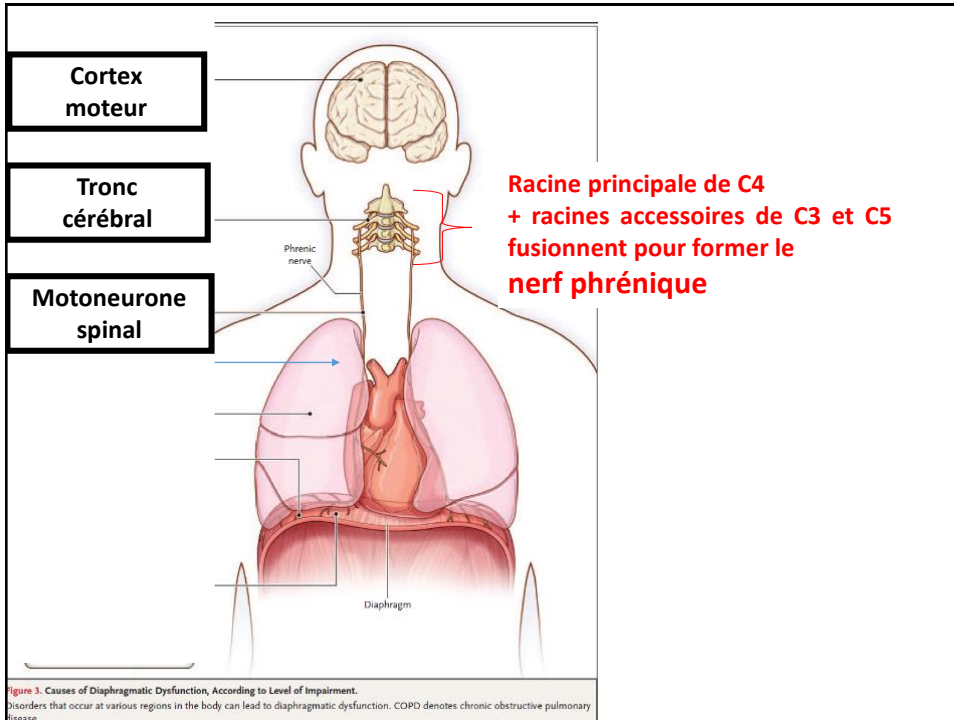


Figure 6. Esophageal (Poes), gastric (Pg), and transdiaphragmatic (Pdi) pressures measured during maximum voluntary sniffs in a normal subject and in a patient with severe diaphragm weakness. The normal subject reproducibly generates a Pdi of 120 cm H₂O (11.8 kPa), whereas the weak patient can generate only 15 cm H₂O (1.5 kPa).

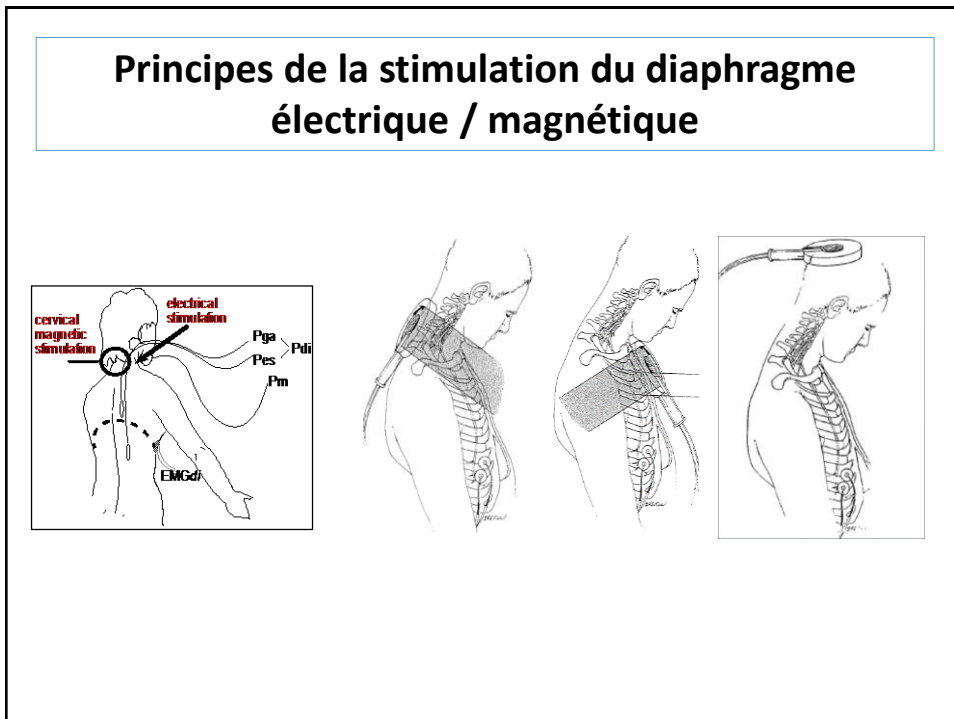
American Thoracic Society/European Respiratory Society

ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing

94

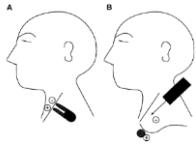


95

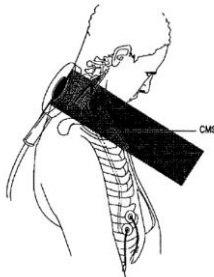


96

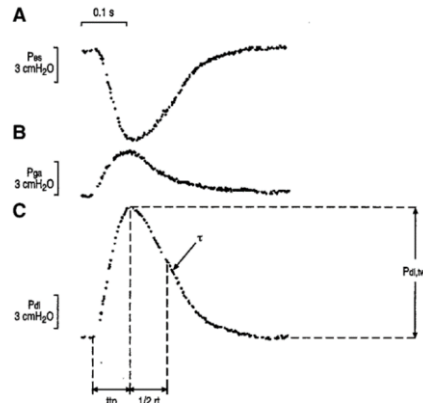
Réponse à une « secousse unique » *Twitch Pdi*



Stimulation électrique



Stimulation magnétique

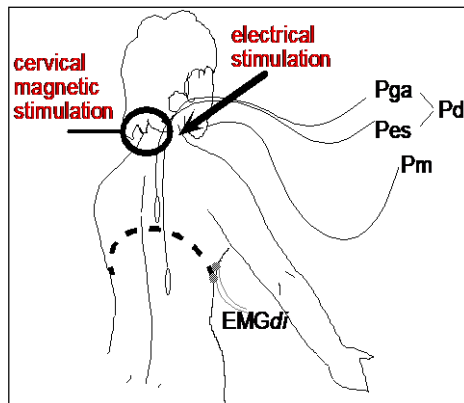


American Thoracic Society/European Respiratory Society

ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing

97

Principes de la stimulation des nerfs phréniques électrique / magnétique



98

Principes de la stimulation du diaphragme électrique / magnétique

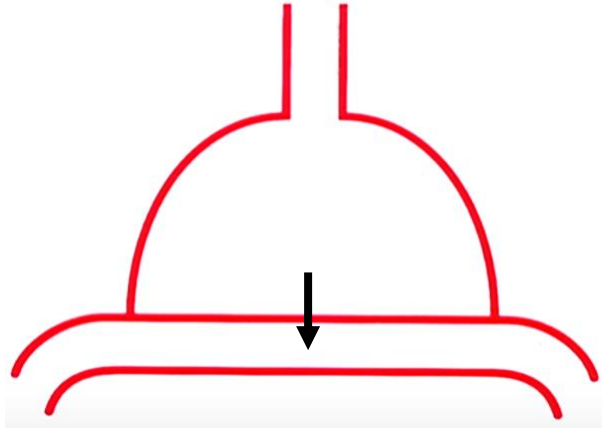
99

<ul style="list-style-type: none"> Multiple sclerosis Stroke Arnold-Chiari malformation 	<p>Phrenic nerve</p> <p>Diaphragm</p>
<ul style="list-style-type: none"> Quadriplegia Amyotrophic lateral sclerosis Poliomyelitis Spinal muscular atrophy Syringomyelia 	
<ul style="list-style-type: none"> Guillain-Barré syndrome Tumor compression Neuragic neuropathy Critical-illness polyneuropathy Chronic inflammatory demyelinating polyneuropathy Charcot-Marie-Tooth disease Idiopathic 	
<ul style="list-style-type: none"> Hyperinflation (COPD, asthma) 	
<ul style="list-style-type: none"> Myasthenia gravis Lambert-Eaton syndrome Botulism Organophosphates Drugs 	
<ul style="list-style-type: none"> Muscular dystrophies Myositis (infectious, inflammatory, metabolic) Acid maltase deficiency Glucocorticoids Disuse atrophy 	

Figure 3. Causes of Diaphragmatic Dysfunction, According to Level of Impairment.
 Disorders that occur at various regions in the body can lead to diaphragmatic dysfunction. COPD denotes chronic obstructive pulmonary disease.

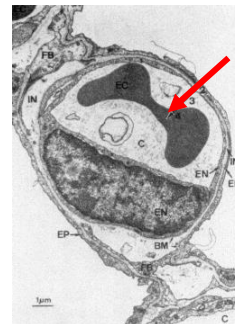
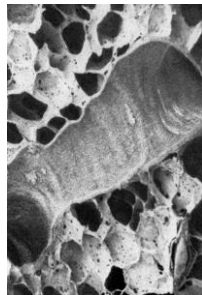
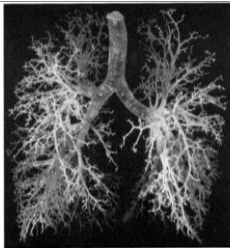
100

La « diffusion pulmonaire »



101

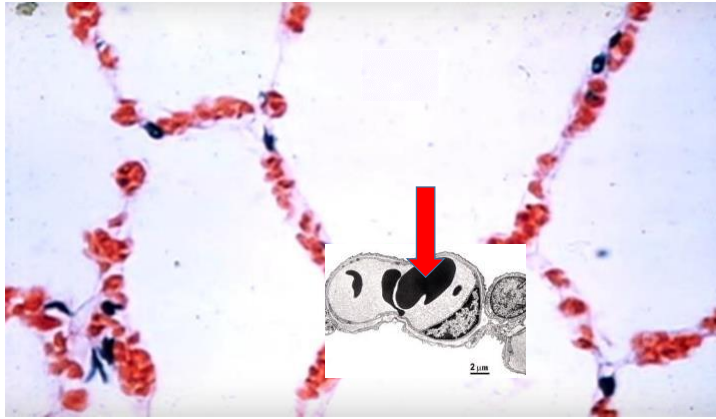
Diffusion alvéolo-capillaire de l'O₂



JB West Respiratory Physiology 8^{ème} édition

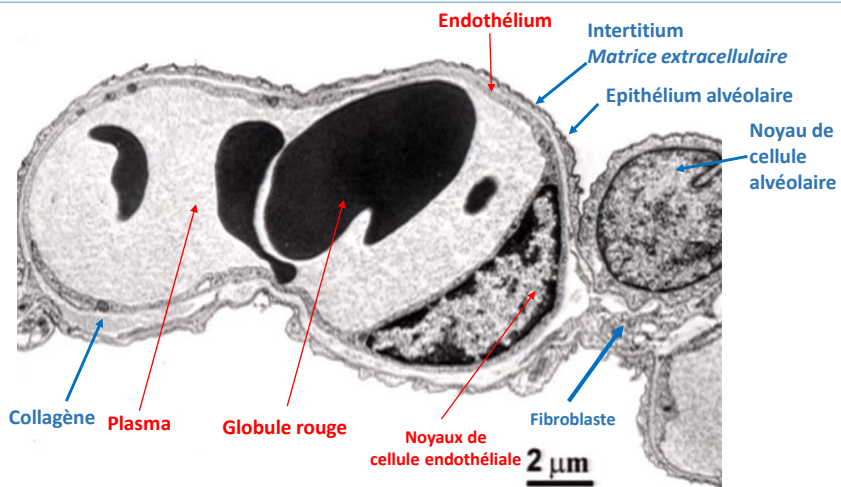
102

Poumon normal



103

La « barrière » alvéolo-capillaire



104

Loi de diffusion de Fick

Compartment alvéolaire
P1

Compartment capillaire
P2

S = surface
E = épaisseur
α = diffusibilité

$$\dot{V}_{\text{gaz}} \propto \frac{S \cdot \alpha \cdot \Delta P}{E}$$

105

Loi de diffusion de Fick

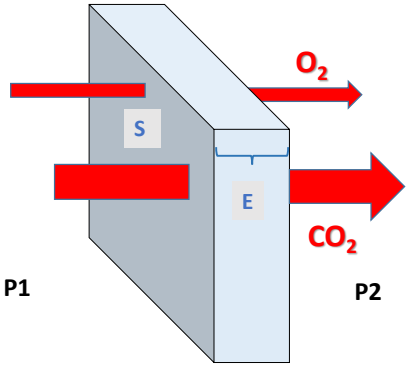
$$\dot{V}_{\text{gaz}} \propto \frac{S \cdot \alpha \cdot \Delta P}{E}$$

$$\alpha \propto \frac{\text{Solubilité}}{\sqrt{PM}}$$

JB West Respiratory Physiology 8^{ème} édition

106

Loi de diffusion de Fick



α est 20 fois plus élevé pour le CO_2 par rapport à l' O_2


$\dot{V}_{\text{gaz}} \propto \frac{S \cdot \alpha \cdot \Delta P}{E}$

S = surface
E = épaisseur

JB West Respiratory Physiology 8^{ème} édition

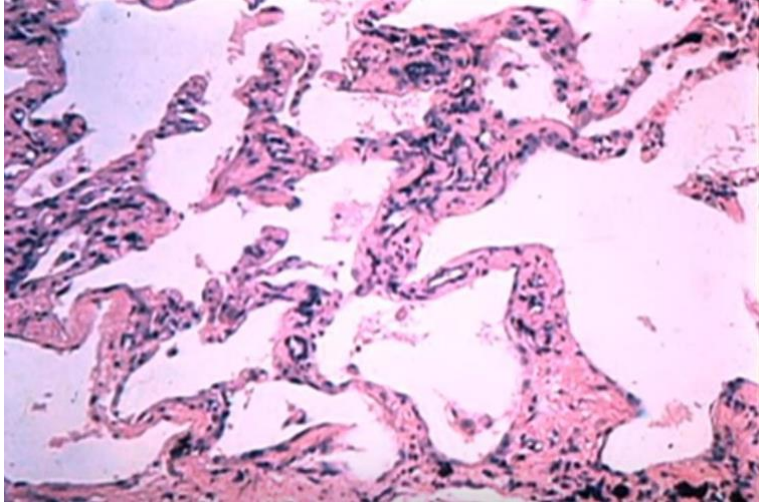
107

Poumon normal



108

Fibrose pulmonaire



109

DLCO

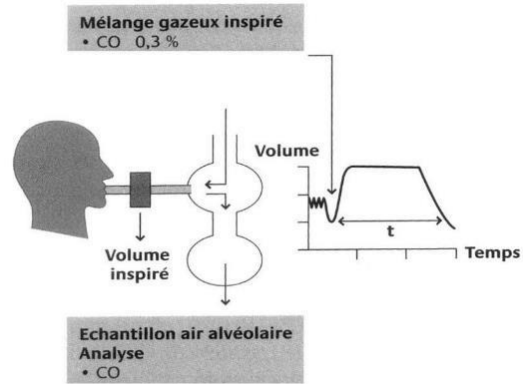
- Capacité de transfert du CO (*évalue la capacité de diffusion de l'O₂*)



110

Mesure de la Capacité de diffusion (transfert) du CO

- Méthode en apnée (10 secondes)



111

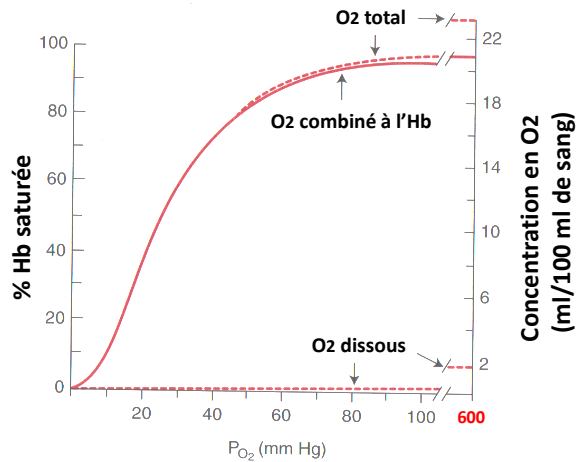
Les Gaz du Sang artériel : GDS

PaO_2 & PaCO_2 = reflet des échanges respiratoires



112

Transport de l'O₂ sous forme dissoute et combinée



113

Oxygène dissous

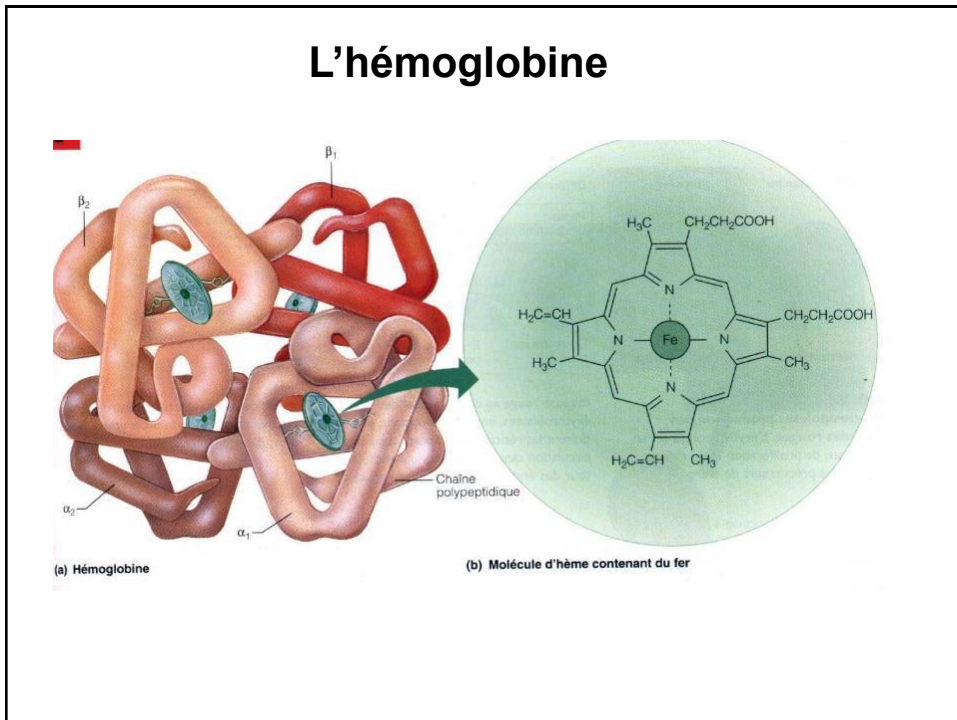
la solubilité d'un gaz dans un liquide est proportionnelle à sa pression partielle

✓ Principe : Loi de Henry

- Le volume d'O₂ dissous est proportionnel à sa pression partielle
- Pour 1 mmHg de PO₂ : 0,003 ml O₂ est dissous dans 100 ml de sang
- Donc 100 ml de sang transporte 0,3 ml sous forme dissoute

PaO₂ = O₂ dissous dans la sang artériel

114



115

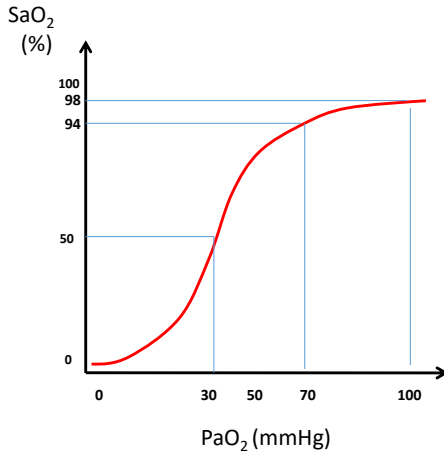
Notion de saturation de l'hémoglobine en O₂ (SaO₂)

- 1 molécule d'Hb peut se lier à 4 molécules d'O₂
- Cette réaction peut être totale ou partielle
- Cette réaction est réversible et (dé)favorisée par certains facteurs

⇒ **Courbe de saturation de l'Hémoglobine en O₂
ou courbe de Barcroft**

116

Saturation de l'hémoglobine en O₂



117

Hypoxémie - définition

PaO₂ (mmHg) < limite inférieure de la normale

âge	PaO ₂ (limit inf)
18-24	98 (86)
25-34	96 (84)
35-44	93 (81)
45-54	96 (78)
55-64	88 (76)
65-74	85 (73)
> 75	83 (71)

En pratique: PaO₂ < 80mmHg *jeune* (<45 ans)

PaO₂ < 70 mmHg *sujet âgé* (>45 ans)

118

Le CO₂ est transporté de 3 façons :

- 10 % : **sous forme dissoute (PaCO₂)**
(CO₂ 20 x plus soluble que l'O₂)
- 20 % : sous forme liée à l'Hb
- 70 % : sous forme d'ion bicarbonate

119

Mesures indirectes en pratique clinique : *exemples* **saturomètre (oxymétrie de pouls)**



120

Le test de marche de 6 minutes

- Objectif : parcourir la plus grande distance en marchant pdt 6 minutes

- Distance (m)
- Saturation en O₂
- Dyspnée
- Fréquence cardiaque



121

L'épreuve d'effort

Objectif :

- réaliser un effort progressif et maximal
- pour étudier les adaptations intégrées
- des systèmes cardiaque/respiratoire/musculaire
- dans des conditions où l'organisme doit faire appel à ses réserves

122

$\dot{V}O_2$ max



123