

Exploration du diaphragme

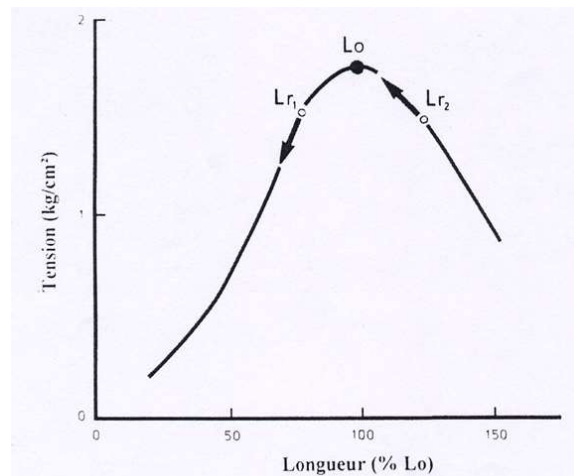
Dr Hélène Prigent

***Service de physiologie et d'explorations fonctionnelles – GHU
Paris-Ouest – site Raymond Poincaré - Garches
UVAD – GHU Paris-Ouest – site Raymond Poincaré - Garches
UMR1179 « End-i-Cap » - Inserm - UVSQ***

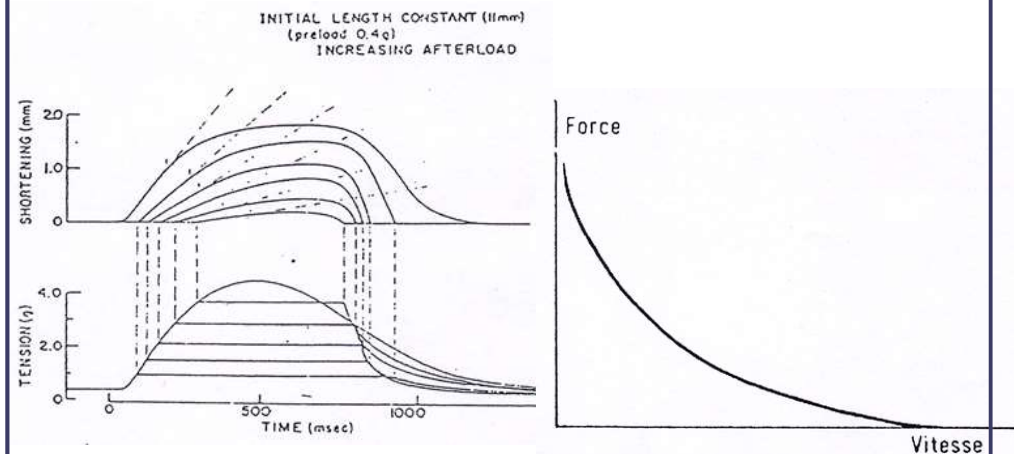
Evaluation d'un muscle

3 variables interdépendantes : Force-Longueur-Vitesse

Relation Force-Longueur isométrique
(vitesse = 0)



Relation Force-Vitesse isotonique





Pour les muscles respiratoires

Force-Longueur-Vitesse sont impossibles à obtenir

- La force est ***indirectement*** appréciée par la pression (force/surface) développée par le muscle
- La longueur est ***indirectement*** appréciée par le volume pulmonaire
- La vitesse est ***indirectement*** appréciée par le débit inspiratoire instantané ou moyen (V_T/T_i)



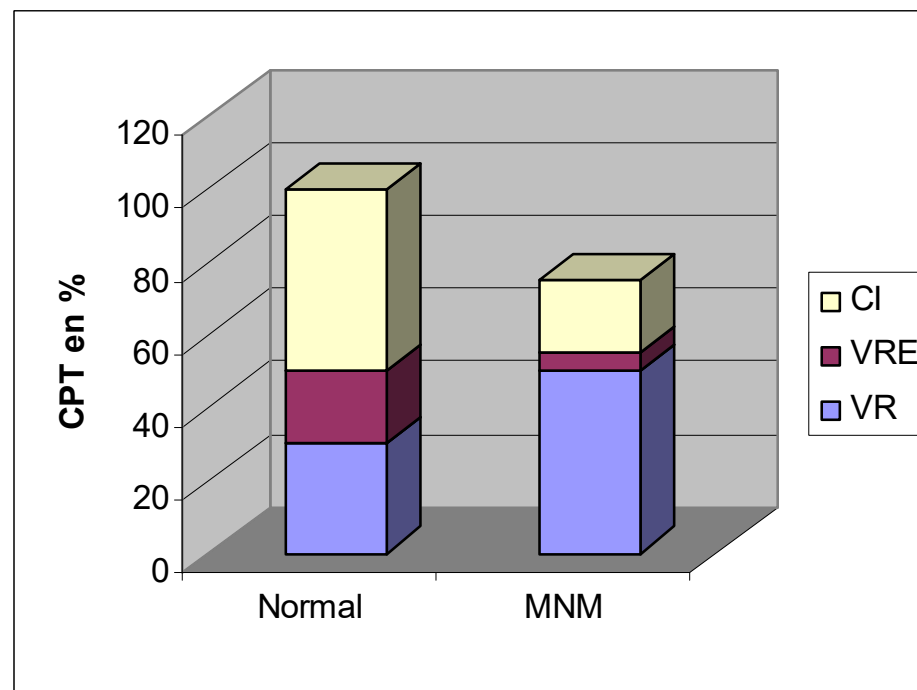
Comment explorer le diaphragme

1. **EFR**
2. Mesures non-invasives des pressions diaphragmatiques
3. Mesures invasives des pressions diaphragmatiques
4. Explorations electroneuromyographique
5. Echographie diaphragmatique
6. Nouvelles explorations

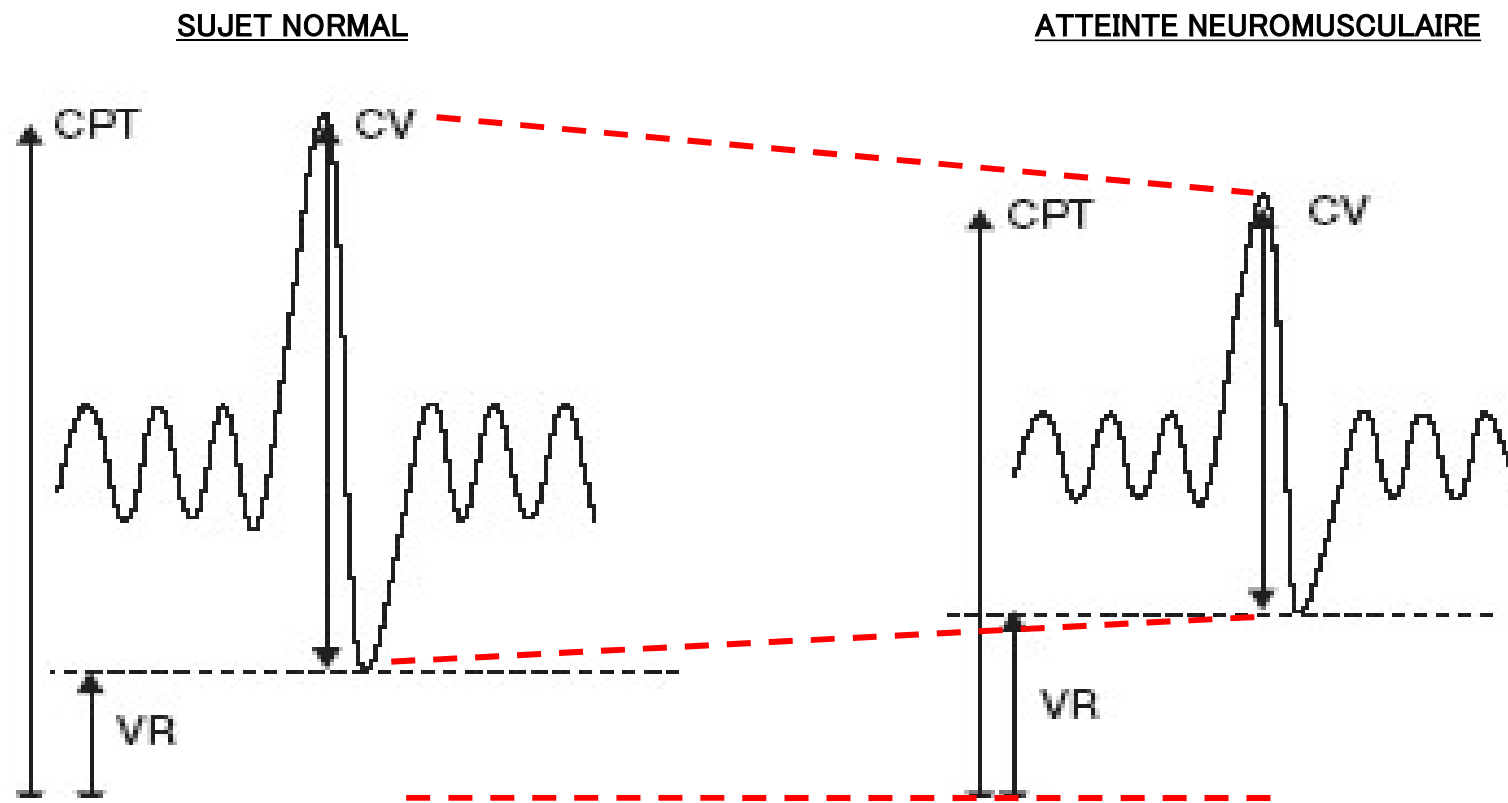
Atteinte diaphragmatique

Profil fonctionnel: **IR restrictive**

- Diminution des volumes pulmonaires mobilisables
 - ↓ ↓ CV > ↓ CPT
 - ↓ VRE, débit de pointe (muscles expiratoires)



*D'après Bergofsky, 1979
Perrin, 2004*



EFR DANS LES MALADIES RESPIRATOIRES d' ORIGINE NEUROMUSCULAIRE

CV > CPT pour évaluation de la sévérité et le suivi du handicap respiratoire d'origine neurologique



BOUCLE DEBIT-VOLUME

Assis

Decubitus dorsal

Théo. +/-

Mes. %Théo.

Mes. %Théo.

% Chg.

CVF	Litres	4.43	0.92	2.42	55
VEMS	Litres	3.53	0.84	2.34	66
VEMS/CVF	%	77	12	97	
VEMS/CVL	%	77		97	
DEM 25-75	L/sec	3.77	1.71	4.33	115
DEM 75%	L/sec	7.60	2.81	5.73	75
DEM 50%	L/sec	4.65	2.17	5.39	116
DEM 25%	L/sec	1.85	1.28	2.58	139
D.P.E	L/sec	8.65	1.99	6.09	70
VIMS	Litres				



VOLUMES PULMONAIRES

CV	Litres	4.61	0.92	2.42	52	2.01	44	-17
VRE	Litres	1.52		0.80	52	0.41	27	-48
CRFN2	Litres	3.55	0.99	4.28	121			
VR	Litres	2.30	0.67	3.33	145			
VR/CPT	%	35	9	58				
CI	Litres	3.04		1.47	48	1.63	54	11
CPT	Litres	7.06	1.15	5.74	81			



PRESSIONS MAXIMALES

PIMax CRF	cm H2O	47
PEMax CPT	cm H2O	59

Evalution diaphragmatique: Mesure des volumes pulmonaires

Mesure de la CV assis-couché:

$\Delta CV < 10-15\%$ non significatif

**Diminution de la CV $> 25\%$
= dysfonction diaphragmatique sévère**

Allen 1985, Fromageot 2001

Avantages: facile

Limites: peu sensible

dysfonction diaphragmatique majeure

(ne détecte pas les atteintes peu sévères)



BOUCLE DEBIT-VOLUME

		Théo.		Assis		Decubitus dorsal		
			+/-	Mes.	%Théo.	Mes.	%Théo.	% Chg.
CVF	Litres	4.22	0.92	1.80	43			
VEMS	Litres	3.47	0.84	1.68	48			
VEMS/CVF	%	79	12	93				
VEMS/CVL	%	79		76				
DEM 25-75	L/sec	4.04	1.71	2.83	70			
DEM 75%	L/sec	7.45	2.81	3.57	48			
DEM 50%	L/sec	4.66	2.17	3.14	67			
DEM 25%	L/sec	1.90	1.28	1.45	76			
D.P.E	L/sec	8.59	1.99	4.40	51			
VIMS	Litres			0.48				



VOLUMES PULMONAIRES

CV	Litres	4.40	0.92	2.22	50	0.76	17	-66
VRE	Litres	1.45		0.23	16	0.05	4	-77
CRFN2	Litres	3.27	0.99	1.23	38			
VR	Litres	1.97	0.67	1.04	53			
VR/CPT	%	32	9	32				
CI	Litres	2.90		2.03	70	0.73	25	-64
CPT	Litres	6.42	1.15	3.26	51			



BOUCLE DEBIT-VOLUME

Assis

		Théo.	+/-	Mes.	%Théo.
CVF	Litres	4.55	0.92	3.56	78
VEMS	Litres	3.77	0.84	2.89	77
VEMS/CVF	%	80	12	81	
VEMS/CVL	%	80		74	
DEM 25-75	L/sec	4.36	1.71	2.81	64
DEM 75%	L/sec	7.79	2.81	6.02	77
DEM 50%	L/sec	4.96	2.17	3.23	65
DEM 25%	L/sec	2.14	1.28	1.23	58
D.P.E	L/sec	9.03	1.99	6.29	70
VIMS	Litres			1.20	



VOLUMES PULMONAIRES

CV	Litres	4.75	0.92	3.89	82
VRE	Litres	1.57		1.40	90
CRFN2	Litres	3.29	0.99	3.05	93
VR	Litres	1.88	0.67	1.73	92
VR/CPT	%	29	9	31	
CI	Litres	3.14		2.57	82
CPT	Litres	6.66	1.15	5.62	84



BOUCLE DEBIT-VOLUME

		Assis		Decubitus dorsal		
		Théo.	+/-	Mes.	%Théo.	% Chg.
CVF	Litres	4.55	0.92	3.56	78	
VEMS	Litres	3.77	0.84	2.89	77	
VEMS/ CVF	%	80	12	81		
VEMS/ CVL	%	80		74		
DEM 25-75	L/sec	4.36	1.71	2.81	64	
DEM 75%	L/sec	7.79	2.81	6.02	77	
DEM 50%	L/sec	4.96	2.17	3.23	65	
DEM 25%	L/sec	2.14	1.28	1.23	58	
D.P.E	L/sec	9.03	1.99	6.29	70	
VIMS	Litres			1.20		



VOLUMES PULMONAIRES

CV	Litres	4.75	0.92	3.89	82	2.55	54	-34
VRE	Litres	1.57		1.40	90	0.27	17	-81
CRFN2	Litres	3.29	0.99	3.05	93			
VR	Litres	1.88	0.67	1.73	92			
VR/ CPT	%	29	9	31				
CI	Litres	3.14		2.57	82	2.32	74	-10
CPT	Litres	6.66	1.15	5.62	84			



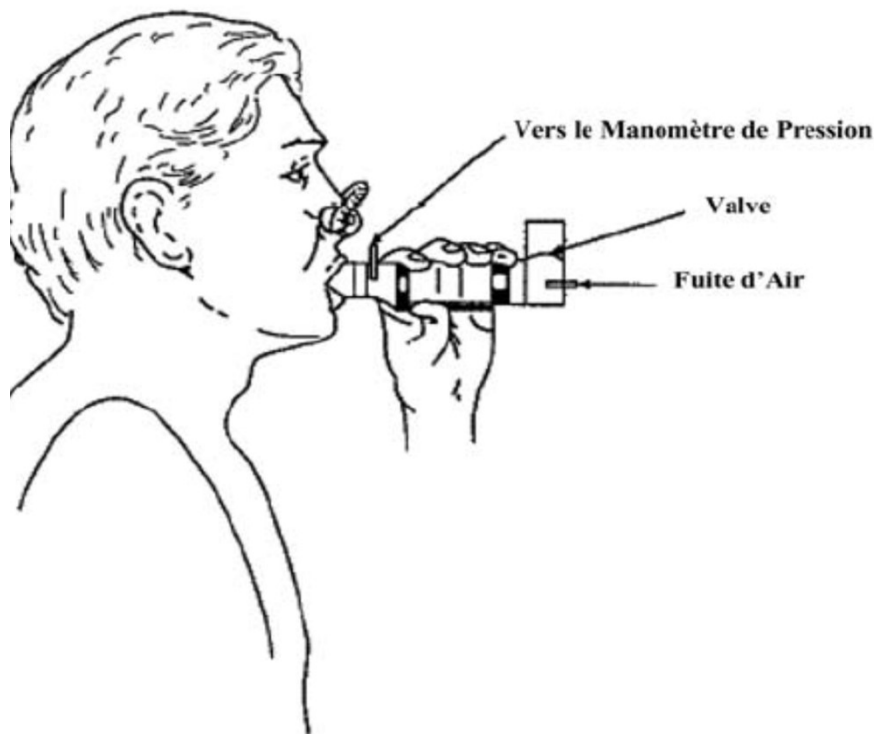
Comment explorer le diaphragme

1. EFR
2. **Mesures non-invasives des pressions diaphragmatiques**
3. Mesures invasives des pressions diaphragmatiques
4. Explorations electroneuromyographique
5. Echographie diaphragmatique
6. Nouvelles explorations

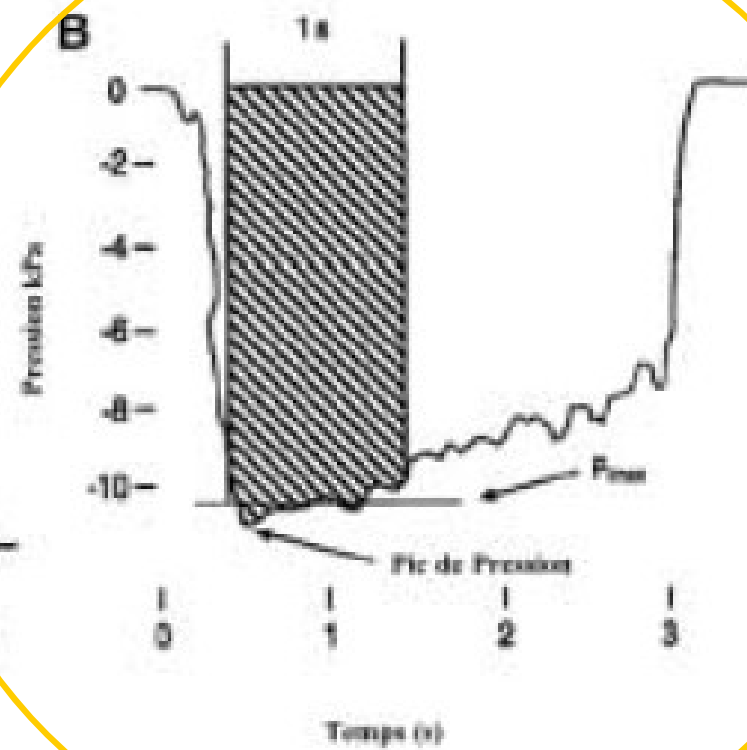
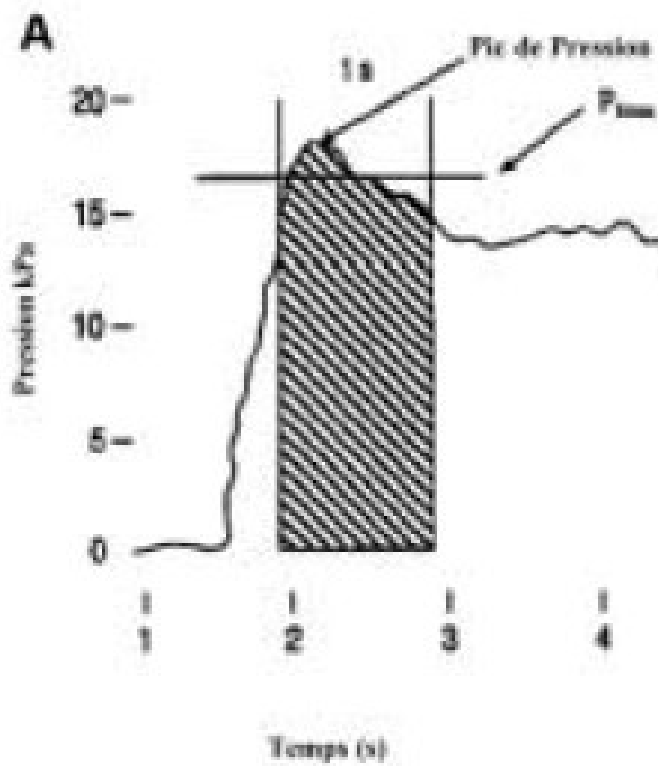
Evaluation diaphragmatique

Pressions maximales inspiratoires

- **Technique:**



- Mesure de la pression buccale contre une quasi-occlusion (mise en place d'une fuite)
- Au cours d'un effort maximal inspiratoire (Pi_{max})
- Effort à soutenir 1 sec
- Mesure de la pression maximale au plateau

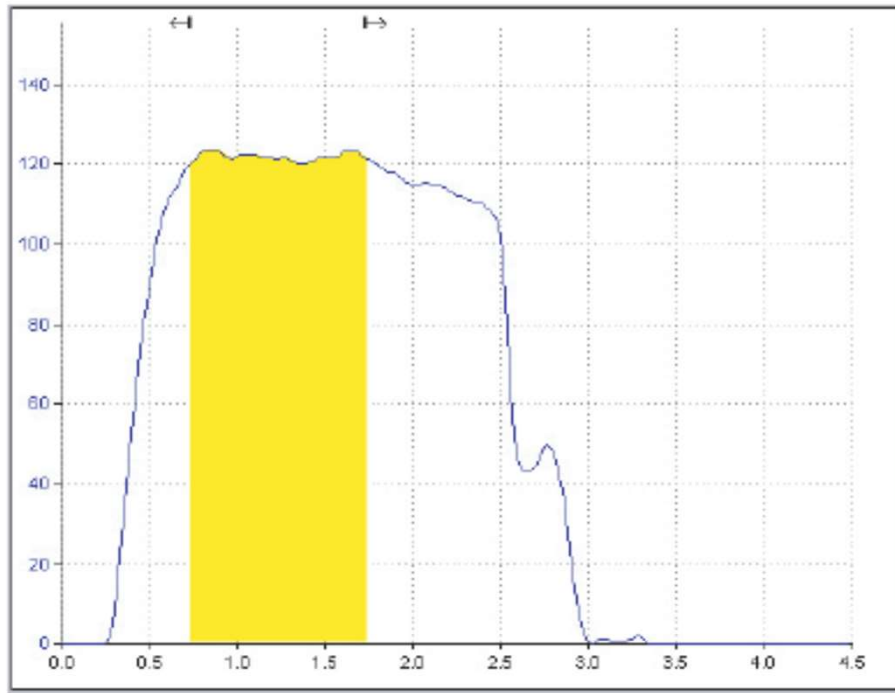


Green, *Rev Mal Respir*, 2005

Evaluation diaphragmatique

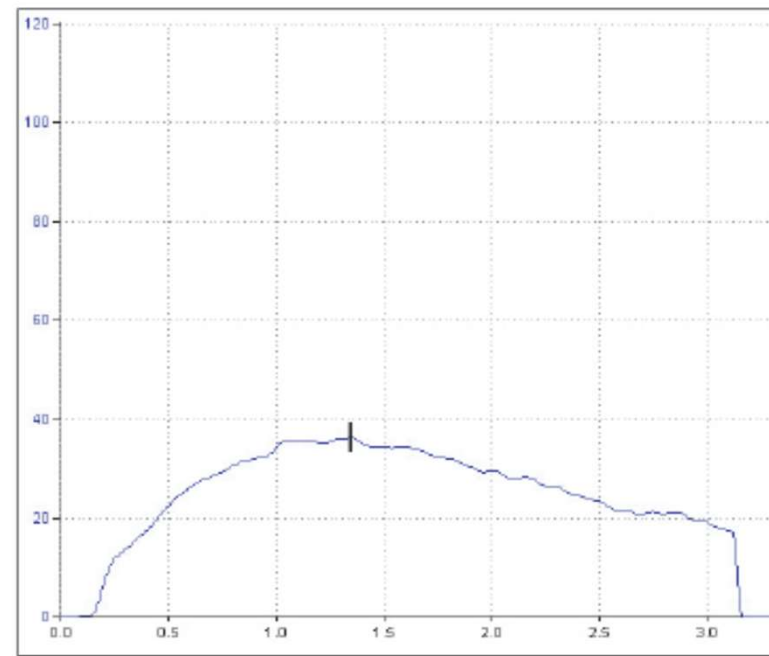
Pressions maximales inspiratoires

cm H₂O



Normale

cm H₂O



Faiblesse inspiratoire sévère

Evaluation diaphragmatique

Pressions maximales inspiratoires

- **Limites:**

- Manœuvre volitionnelle volontaire peu « physiologique »:

Dépend ++ de la coopération et de la coordination du patient

Attention à la qualité de l'explication au patient

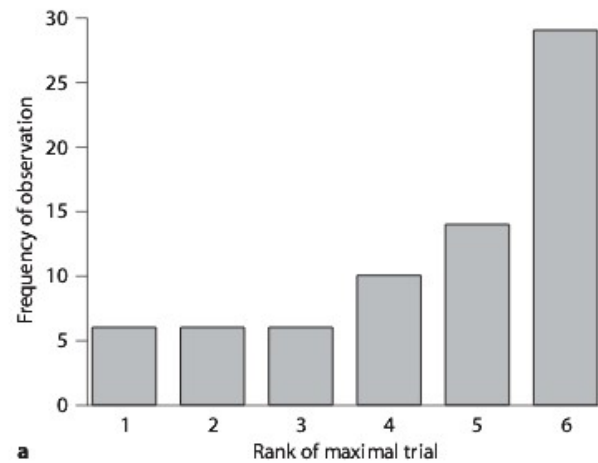
Phénomène **d'apprentissage** = répéter les mesures

- **Contribution diaphragmatique variable ++** selon patients

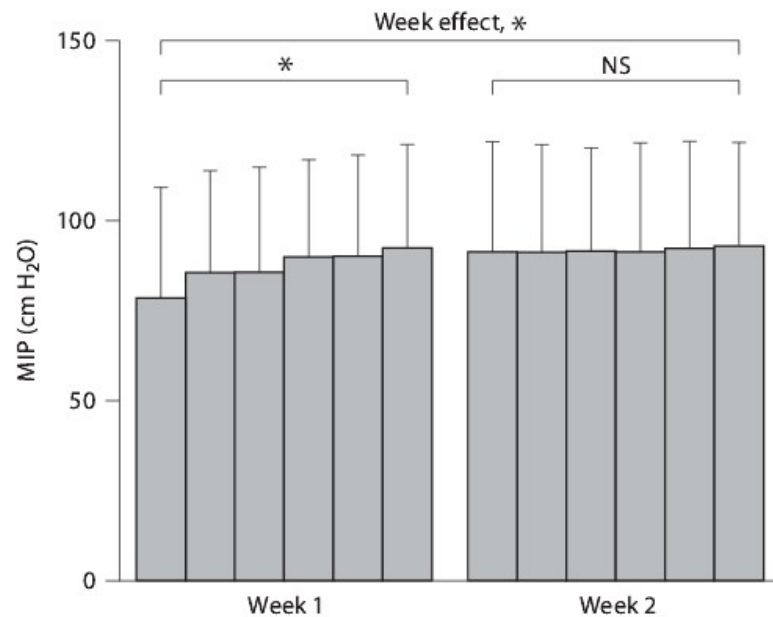
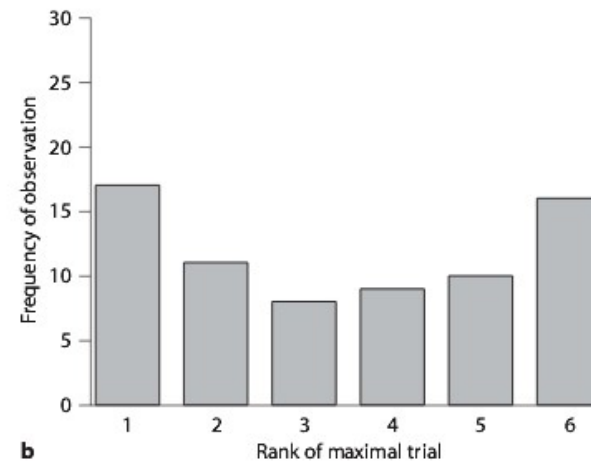
Participation des muscles accessoires??

- Variabilité de la norme selon les patients

MIP - S1



MIP - S2

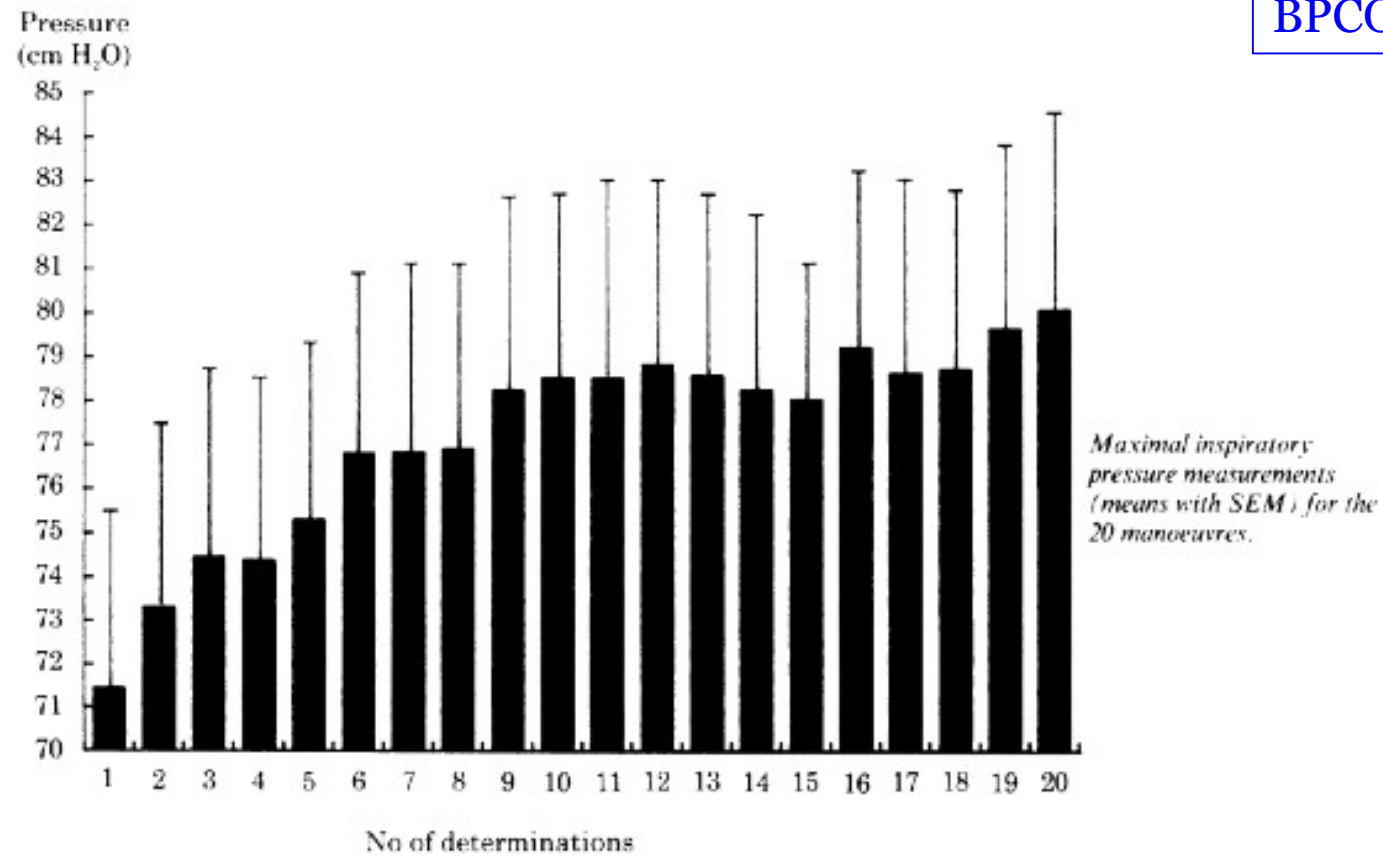


N=71

Sujets sains

Terzi et al Respiration 2010

BPCO

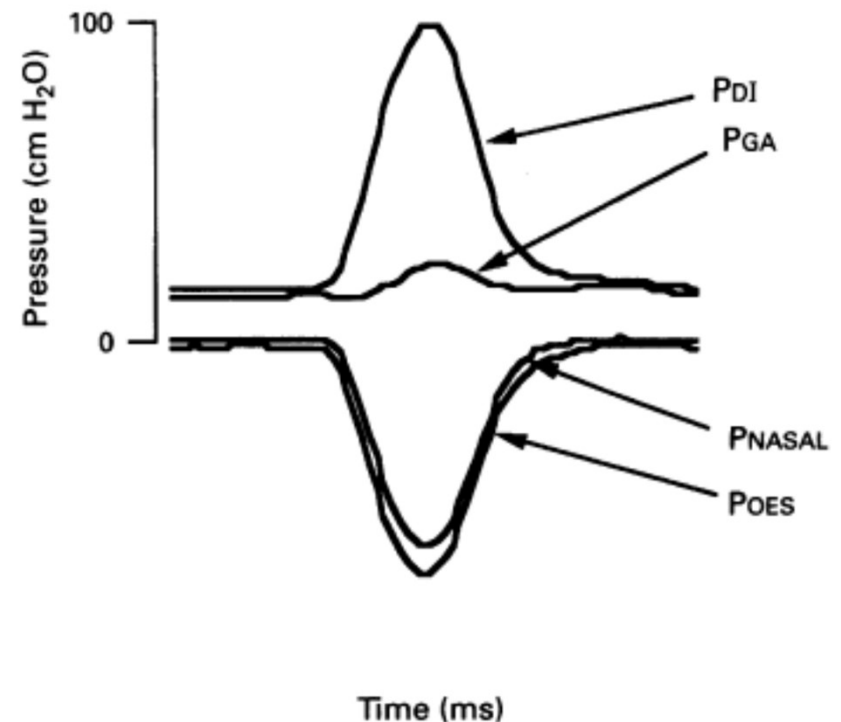


Fiz , thorax 1989

Evaluation diaphragmatique SNIP

- **Principe:**

Il existe une bonne corrélation entre la pression nasale et la pression oesophagienne (pression diaphragmatique) au cours des efforts inspiratoires



Evaluation diaphragmatique

SNIP

- **Technique:**

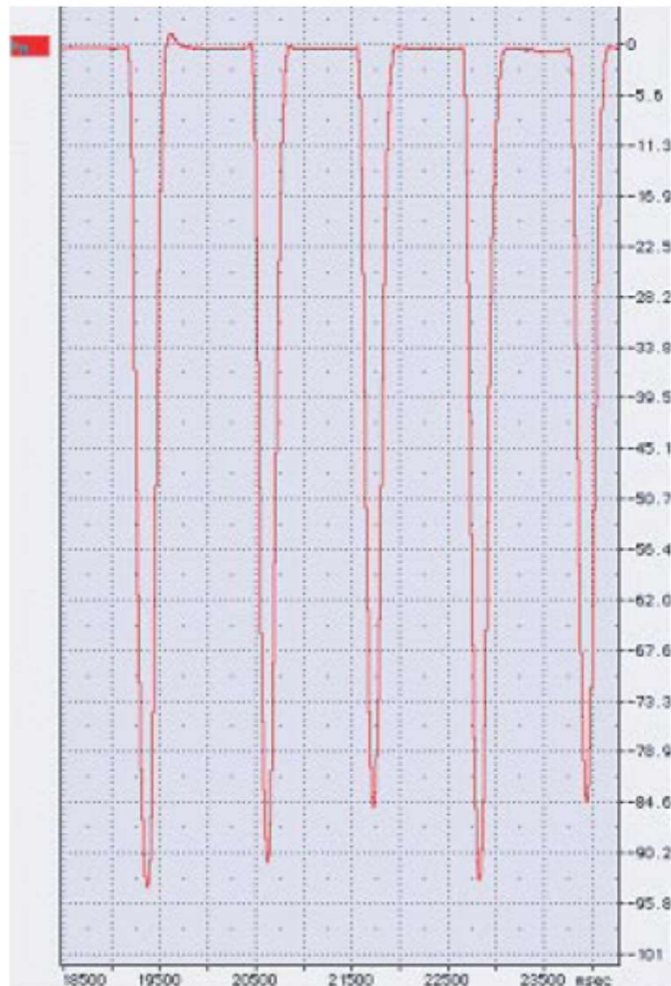
Mesure de la pression nasale au moyen d'un tampon nasal obstruant la narine

Manœuvre de reniflement d'inspiration intense et brutale en fin d'expiration normale (à la CRF)

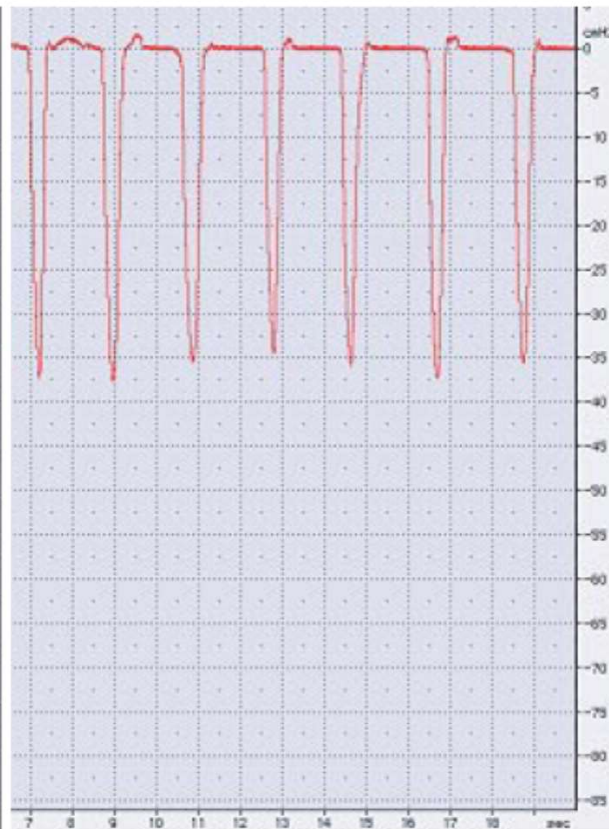
Au moins 10 manœuvres intercalées de périodes calmes



SNIP (Sniff)



Normal



Faiblesse sévère



Faiblesse majeure

Evaluation diaphragmatique

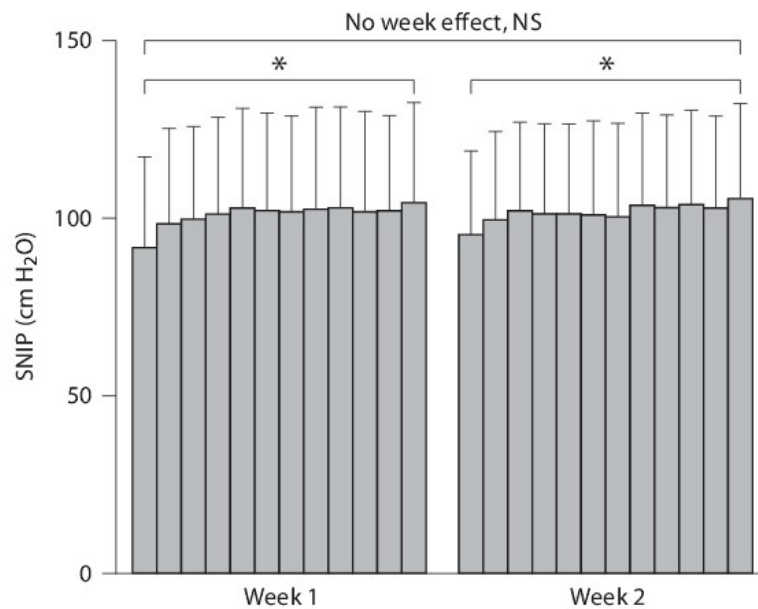
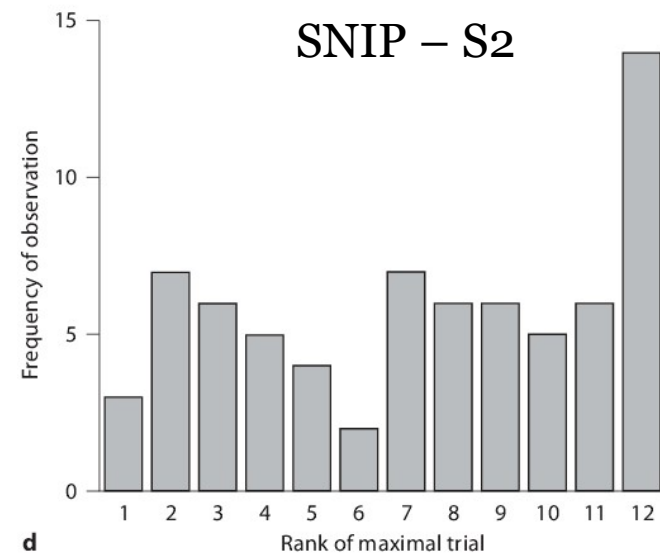
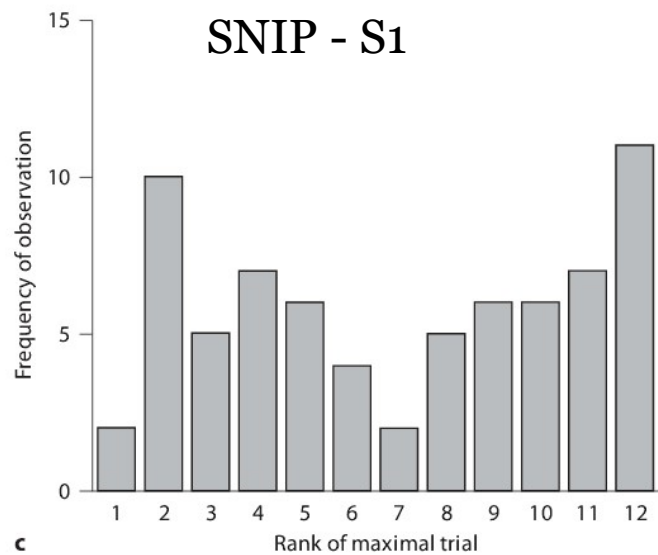
SNIP

Avantages:

- Manœuvre plus naturelle et plus courte
- Apprentissage plus facile
- Reproductible

Limitees:

- Peut sous-estimer la pression oesophagienne si la pression trans-nasale est insuffisante
(BPCO, grand déficit musculaire...)
- Dépend de la coopération et de la motivation du patient.
- Phénomène **d'apprentissage**



N=71

Sujets sains

Terzi et al Respiration 2010



Explorations des muscles respiratoires

SNIP ou MIP ?

Caractéristiques différentes des manœuvres : « ballistique » vs effort soutenu

Terzi, *ERJ*, 2010

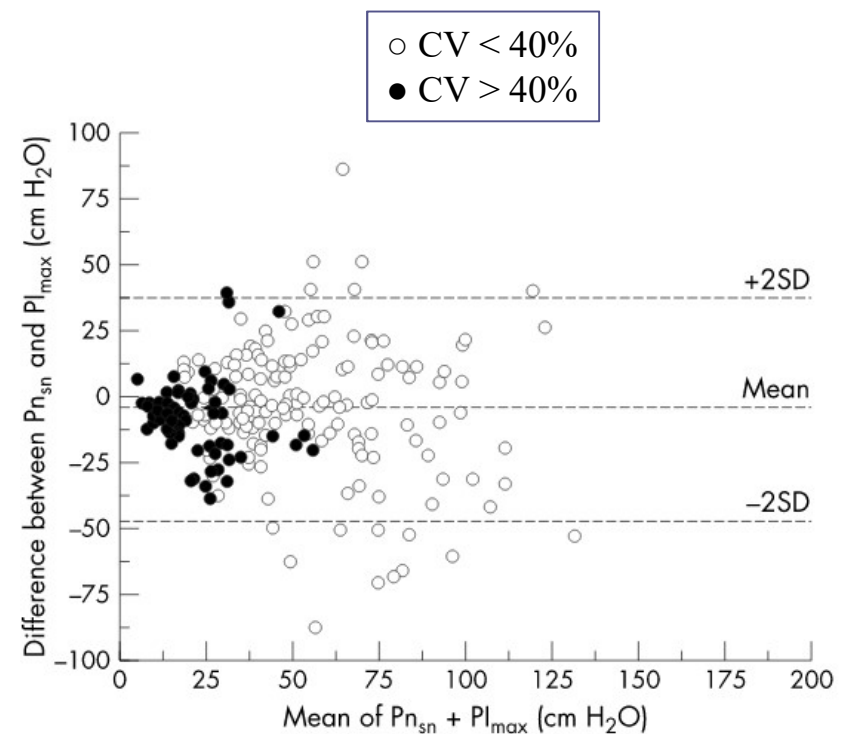
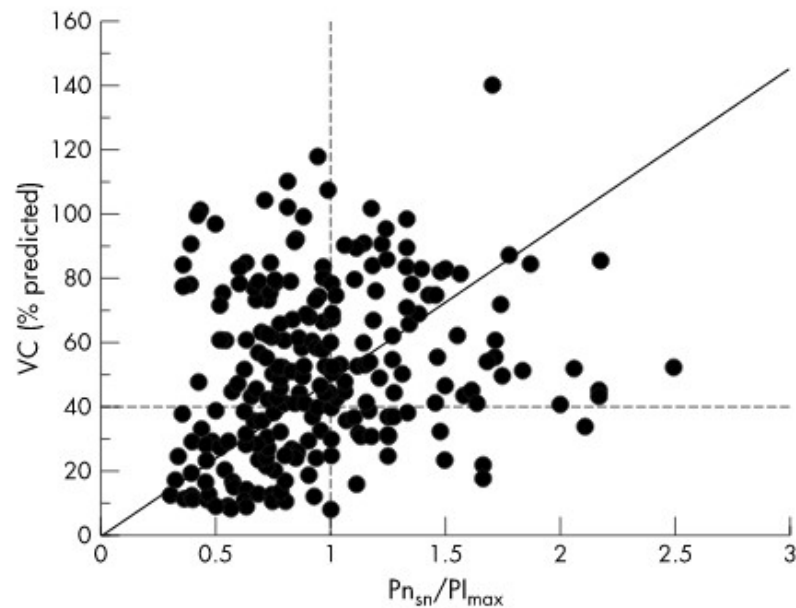
Explorations des muscles respiratoires

SNIP ou MIP ?

SNIP peut sous-estimer l'atteinte diaphragmatique dans MNM très sévère

Hart, *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2003

N=258





Explorations des muscles respiratoires

SNIP ou MIP ?

La meilleure performance peut être obtenue par des tests différents au cours de l'évolution de la maladie

Terzi, *ERJ*, 2008

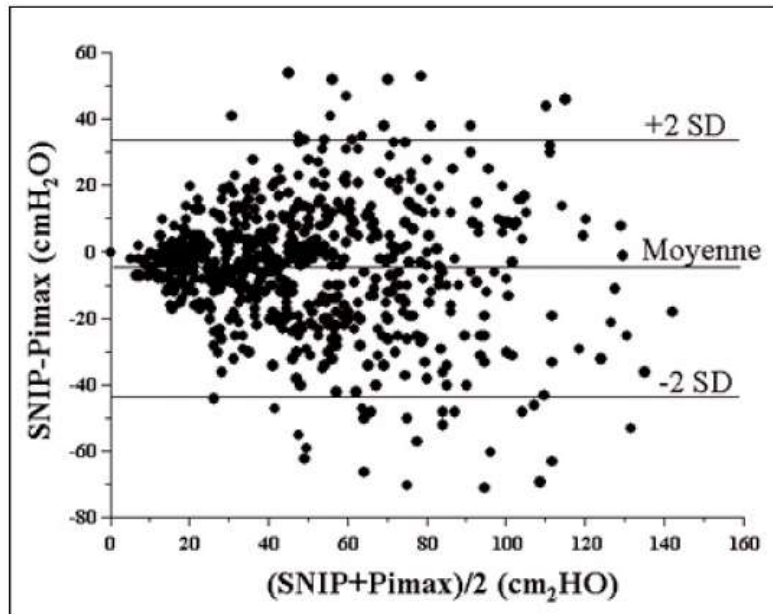
La combinaison de plusieurs tests pour évaluer la force des muscles respiratoires améliore le diagnostic de parésie des muscles respiratoires

Steier, *Thorax*, 2008

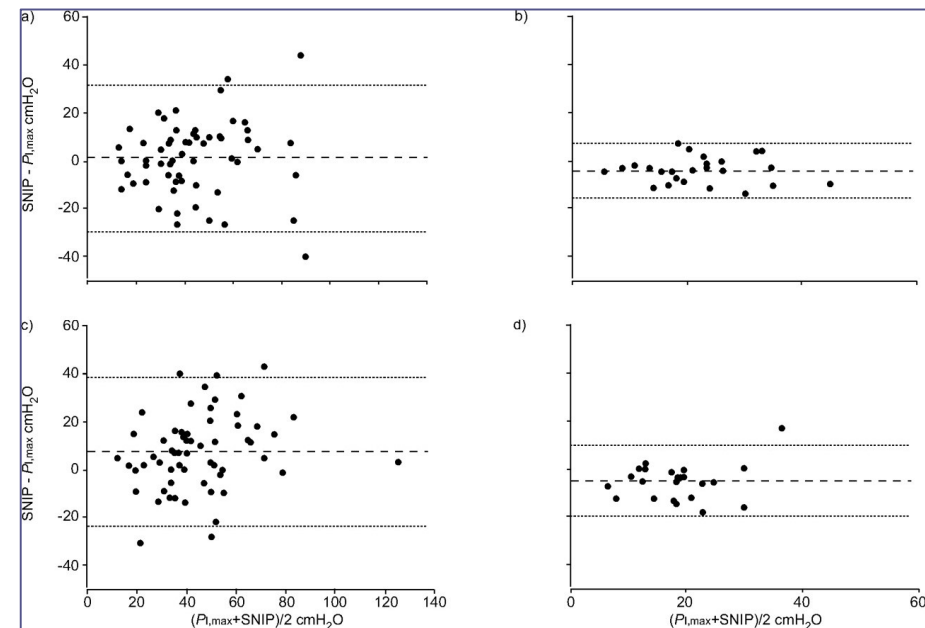
Explorations des muscles respiratoires

SNIP ou MIP ?

=> Techniques complémentaires et non interchangeables



Lofaso, *Rev Mal Respir*, 2005



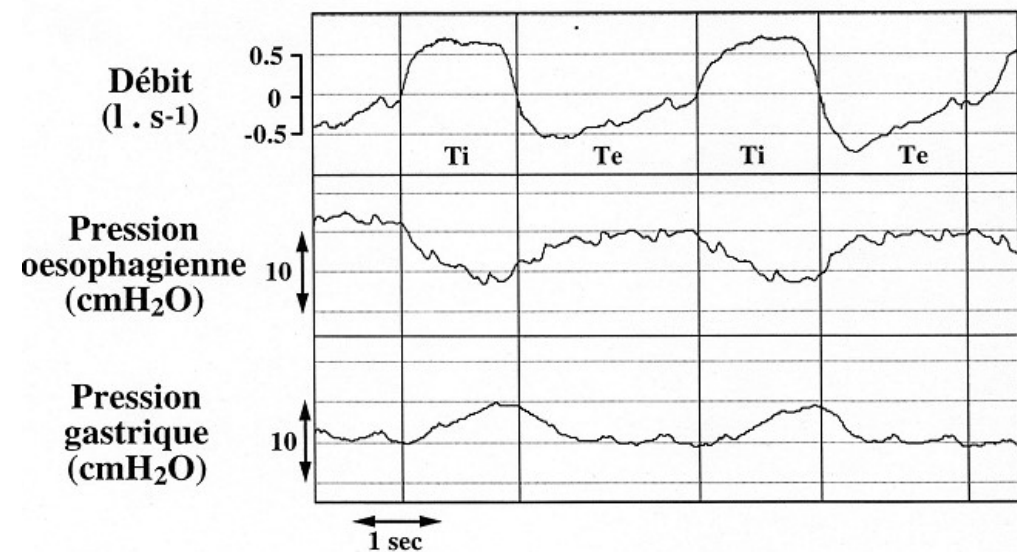
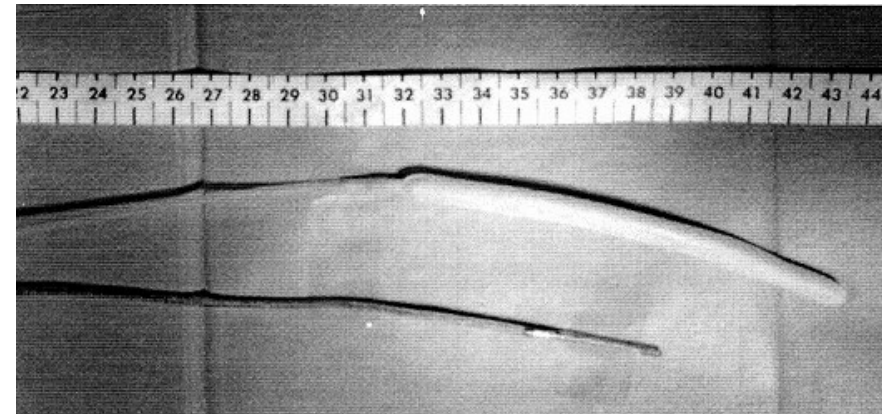
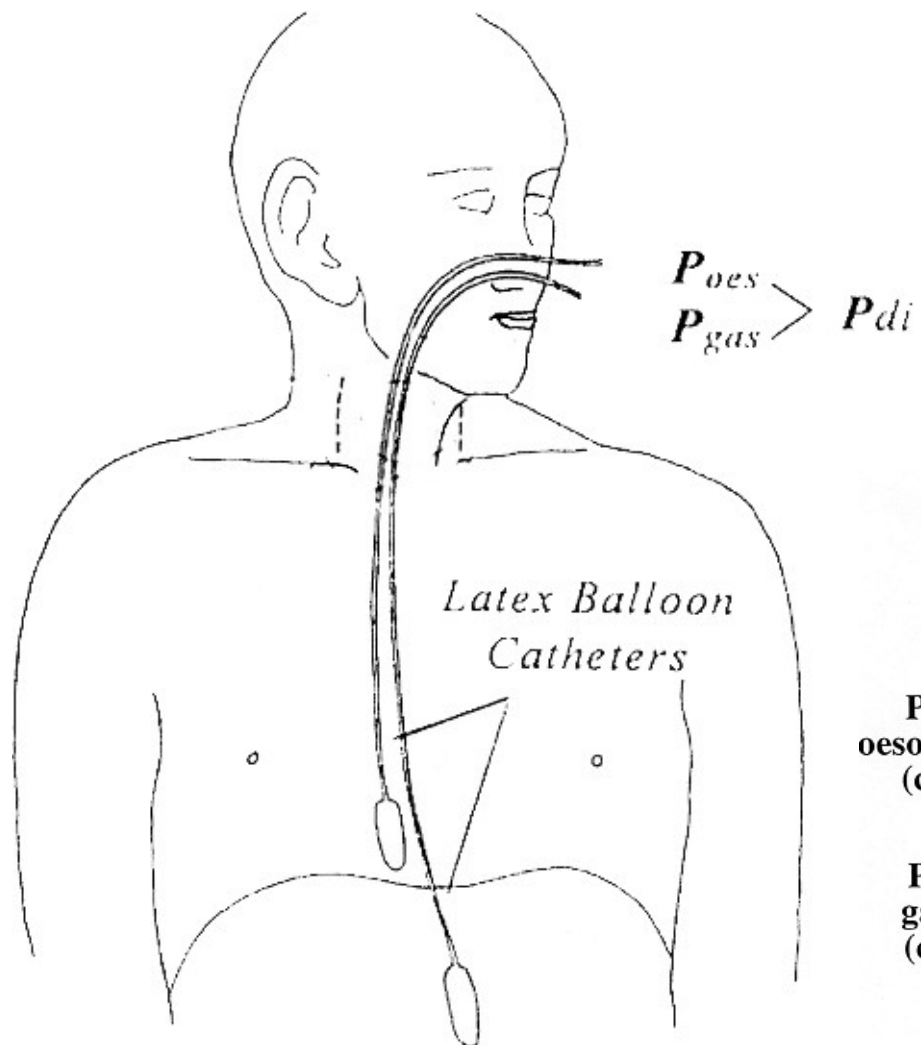
Terzi, *ERJ*, 2008



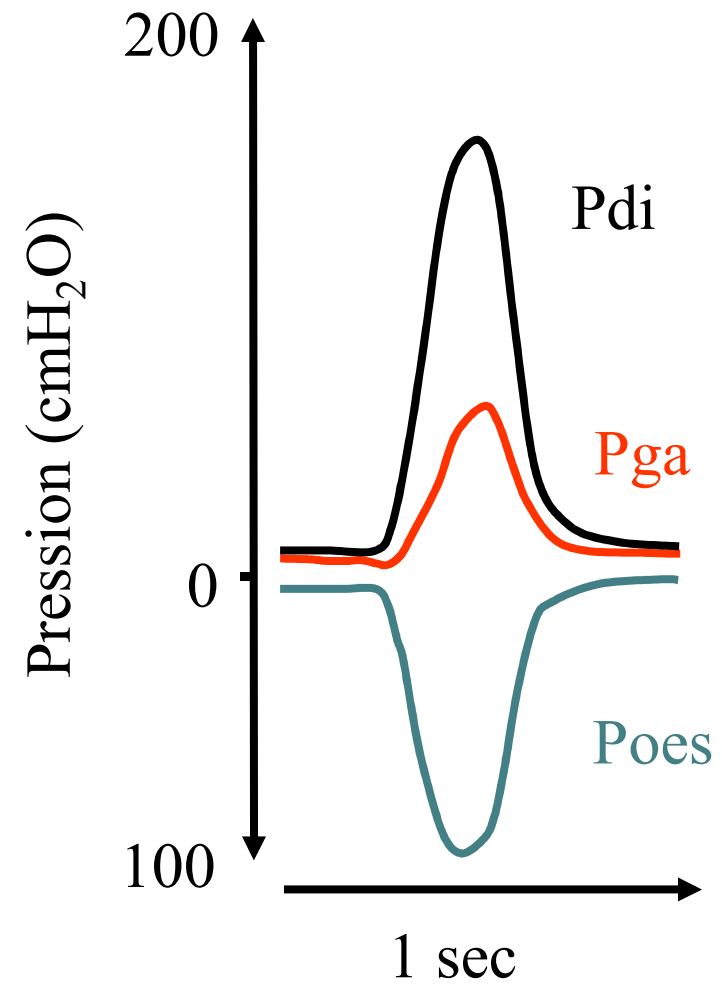
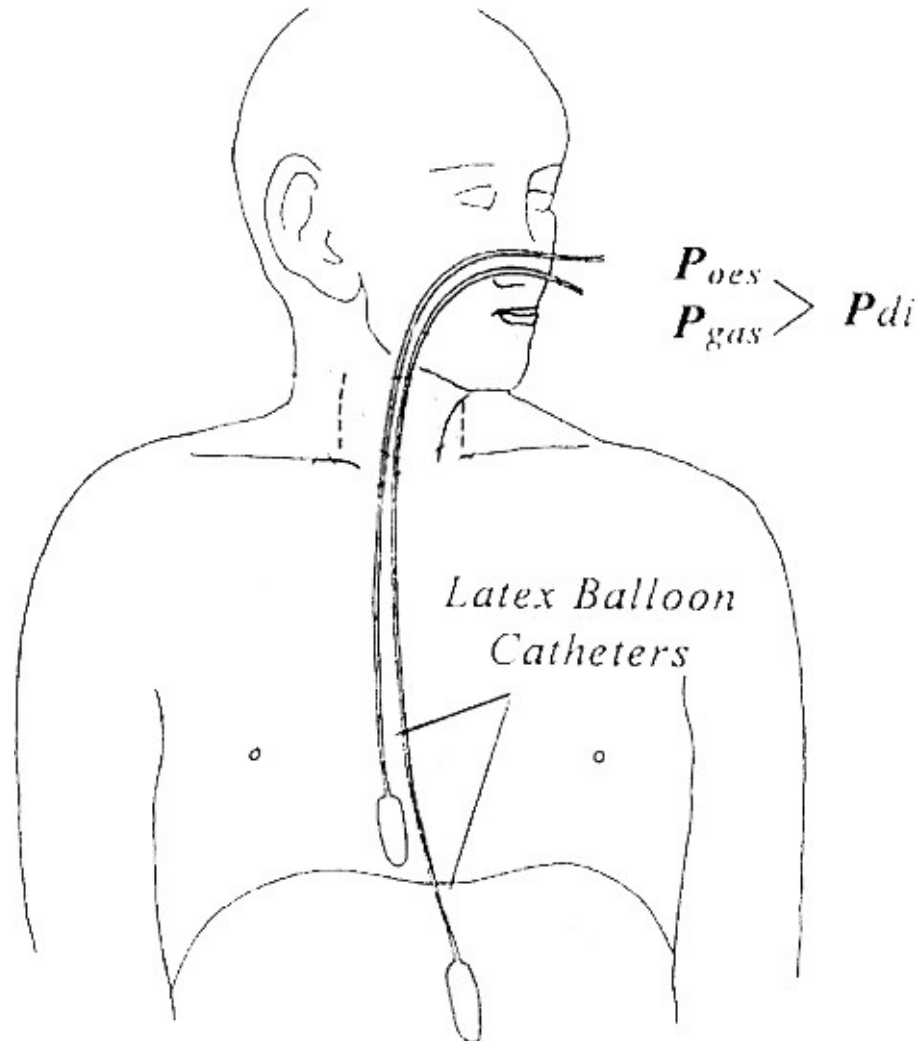
Comment explorer le diaphragme

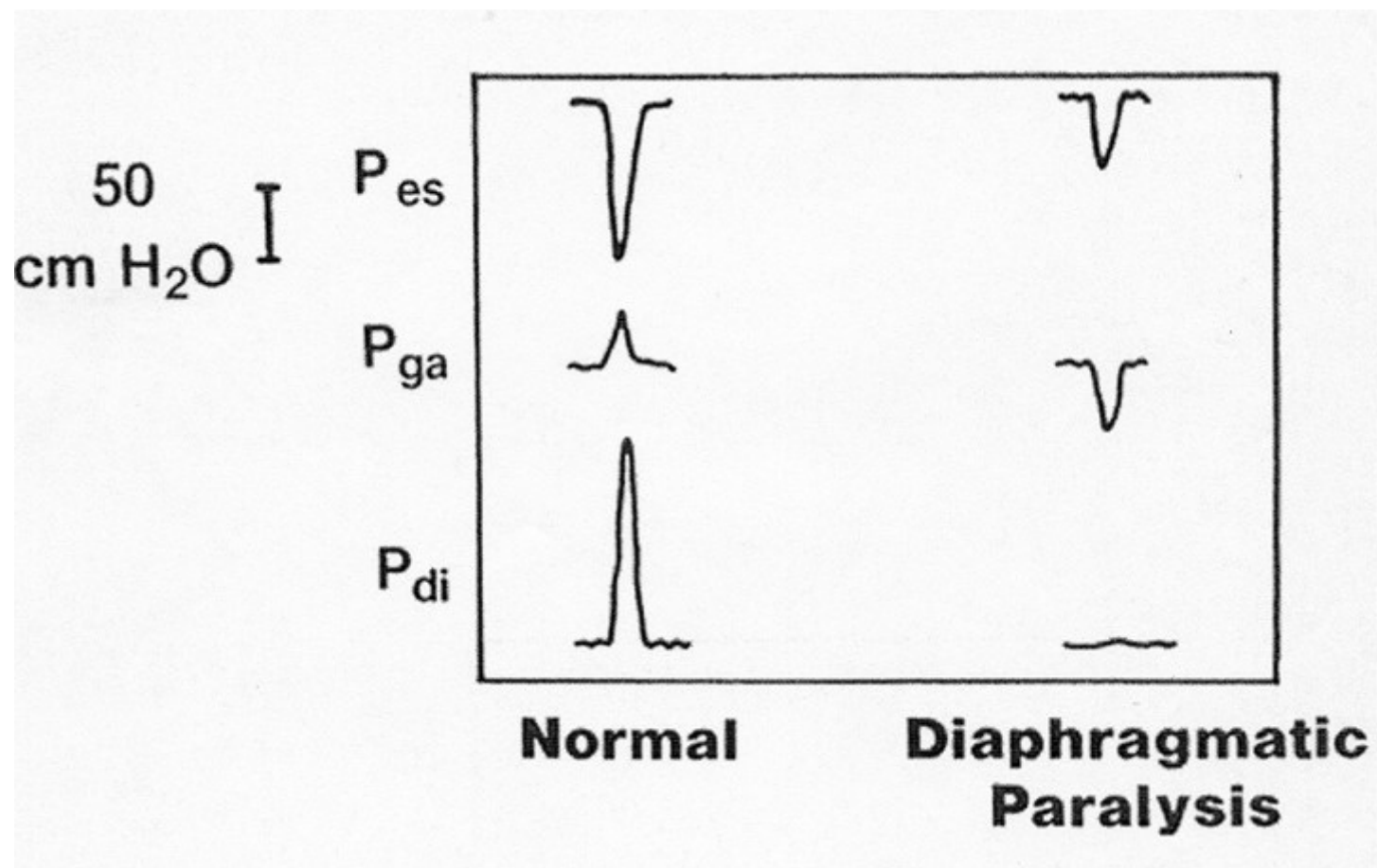
1. EFR
2. Mesures non-invasives des pressions diaphragmatiques
3. **Mesures invasives des pressions diaphragmatiques**
4. Explorations electroneuromyographique
5. Echographie diaphragmatique
6. Nouvelles explorations

Mesure de la pression de part et d'autre du diaphragme

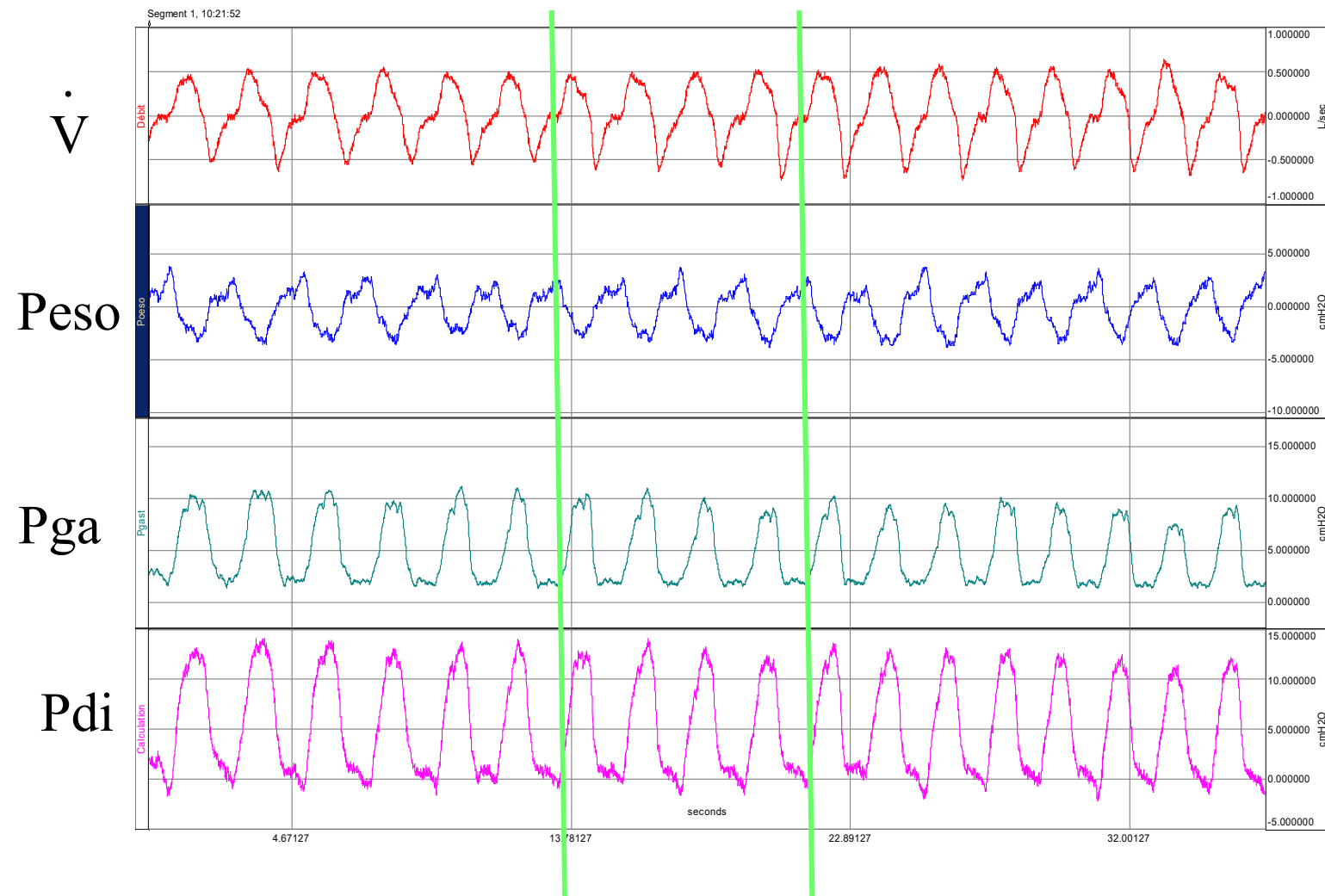


Mesure de la pression transdiaphragmatique ($P_{di} = P_{ga} - P_{eso}$)

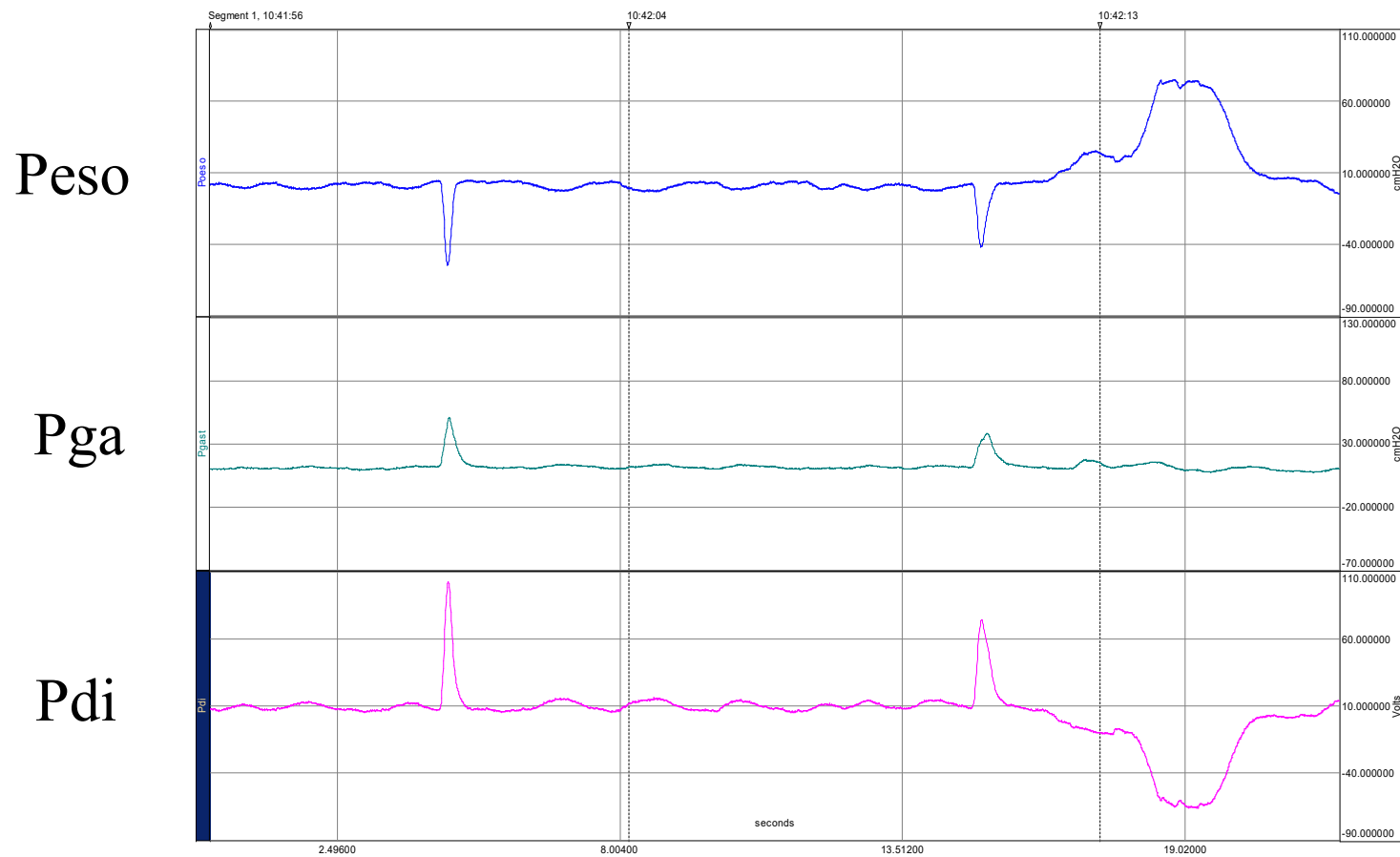




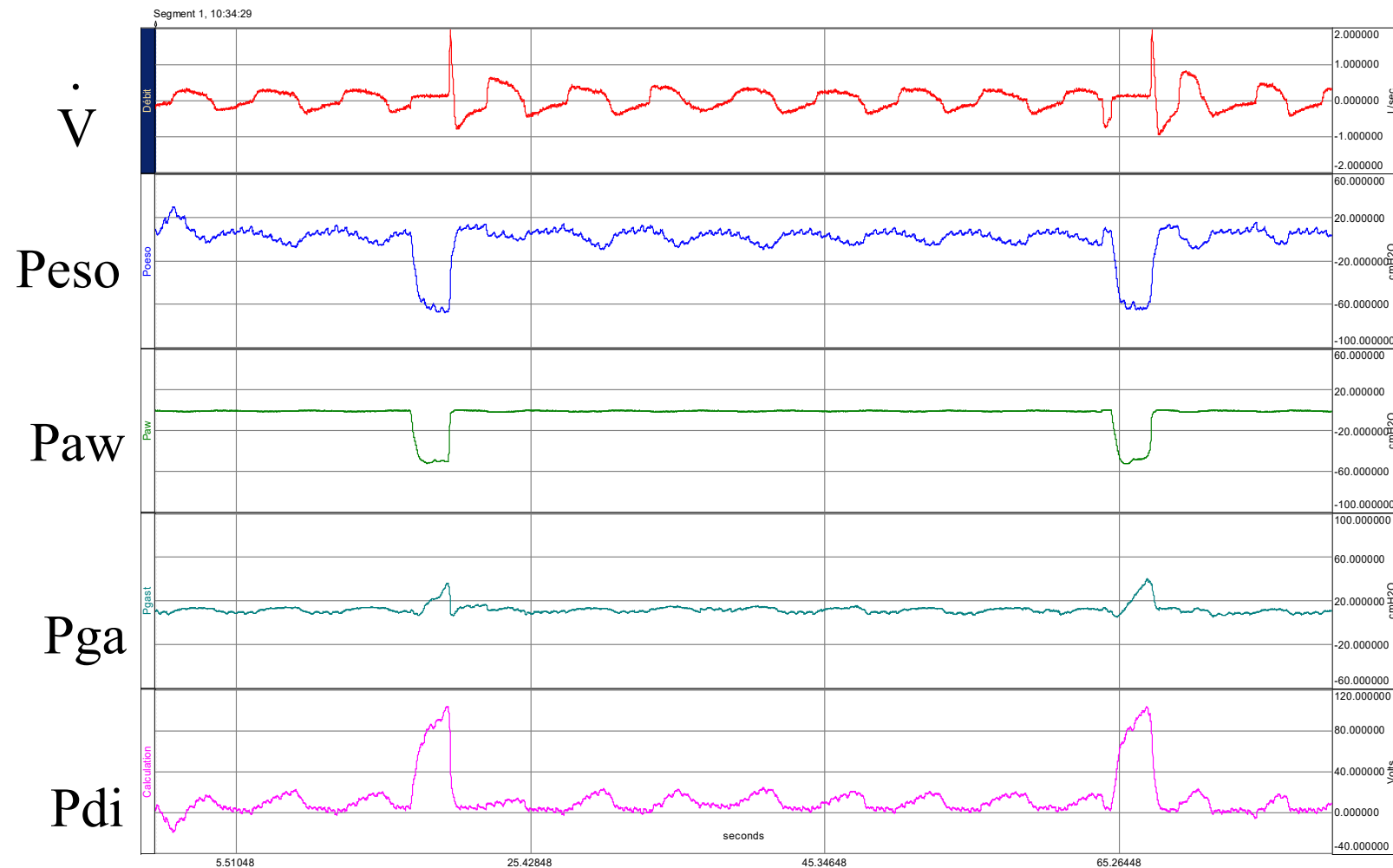
Ventilation au repos



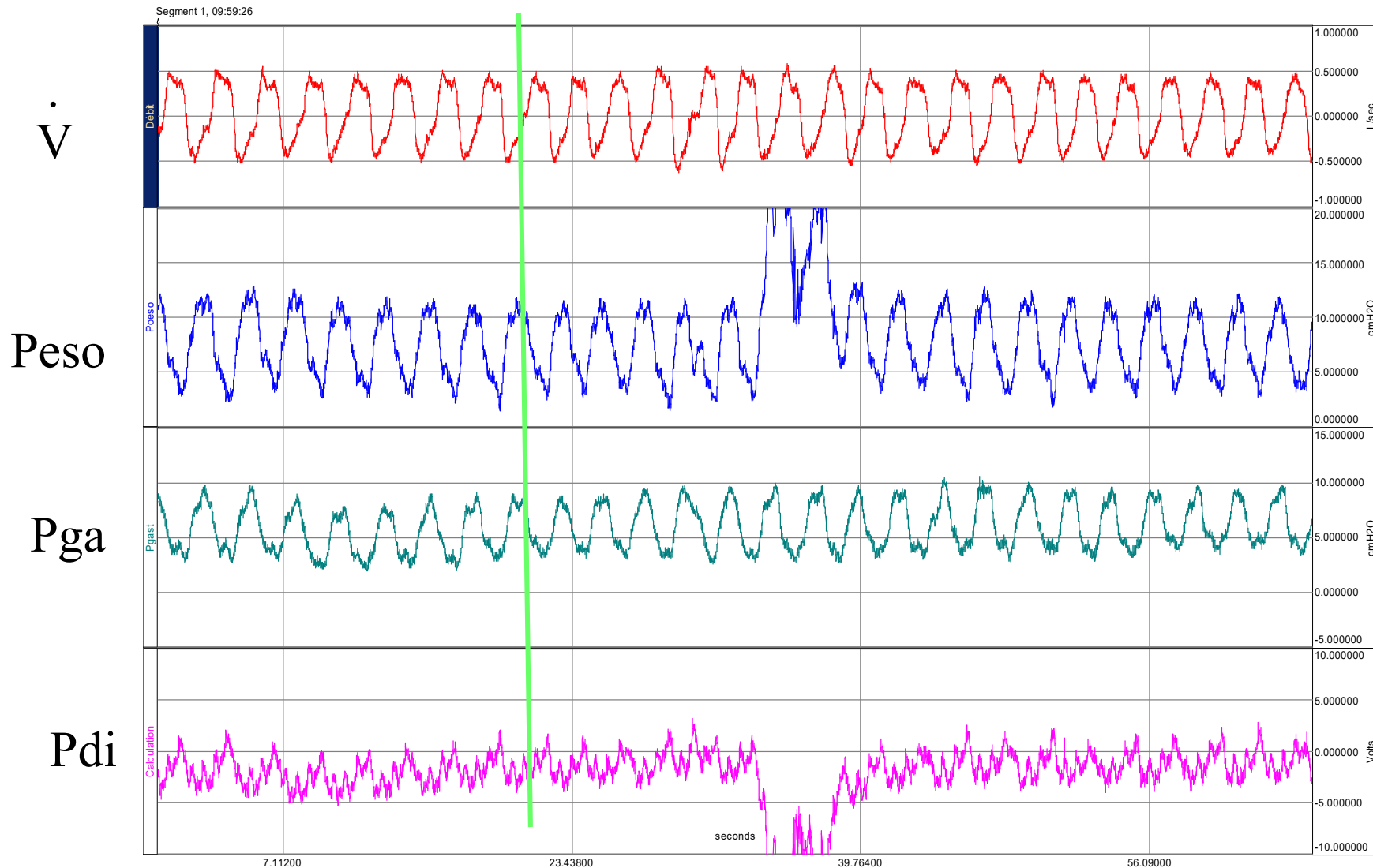
Manœuvres de Sniff



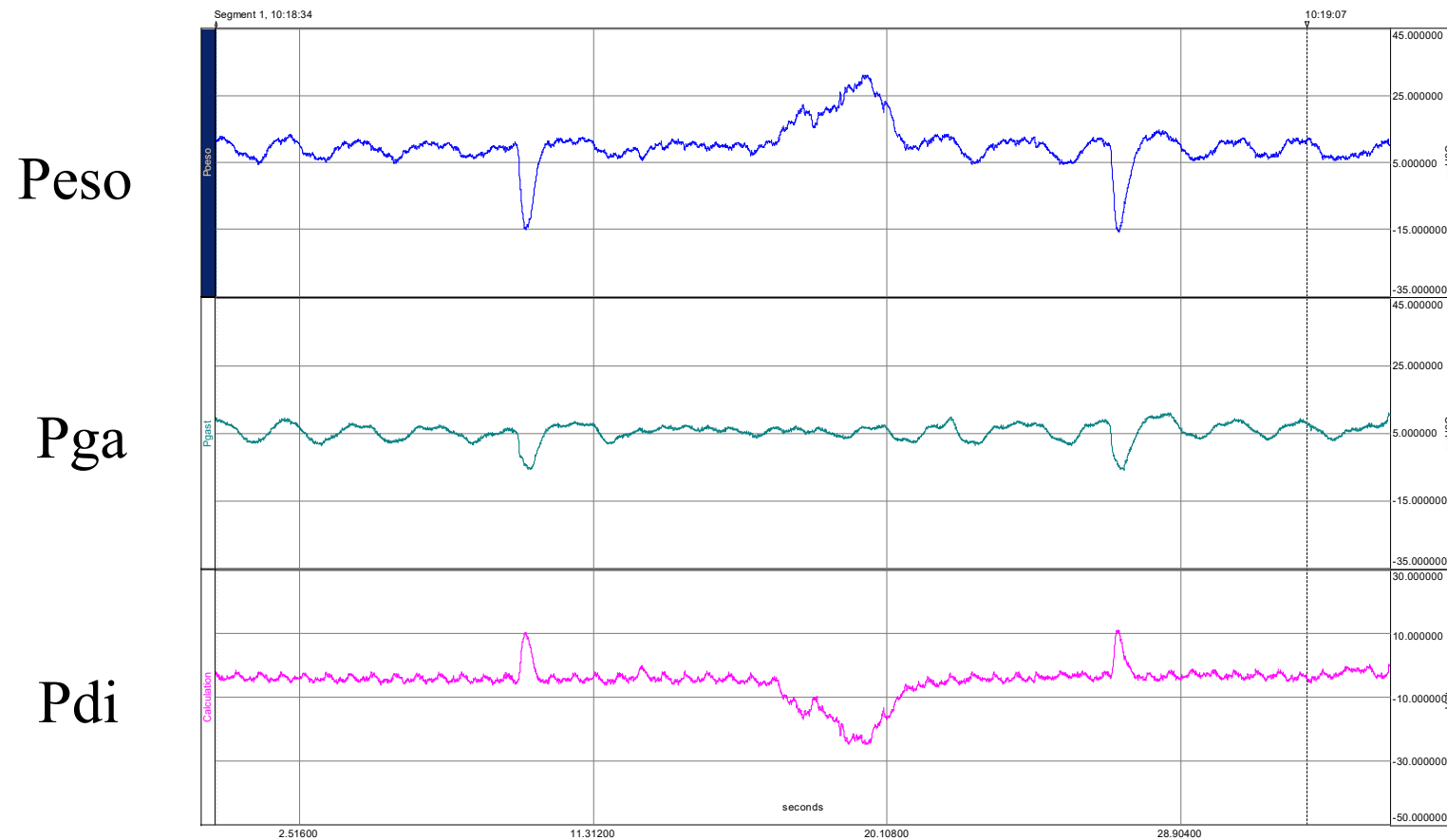
Manœuvres de Muller (Pimax)



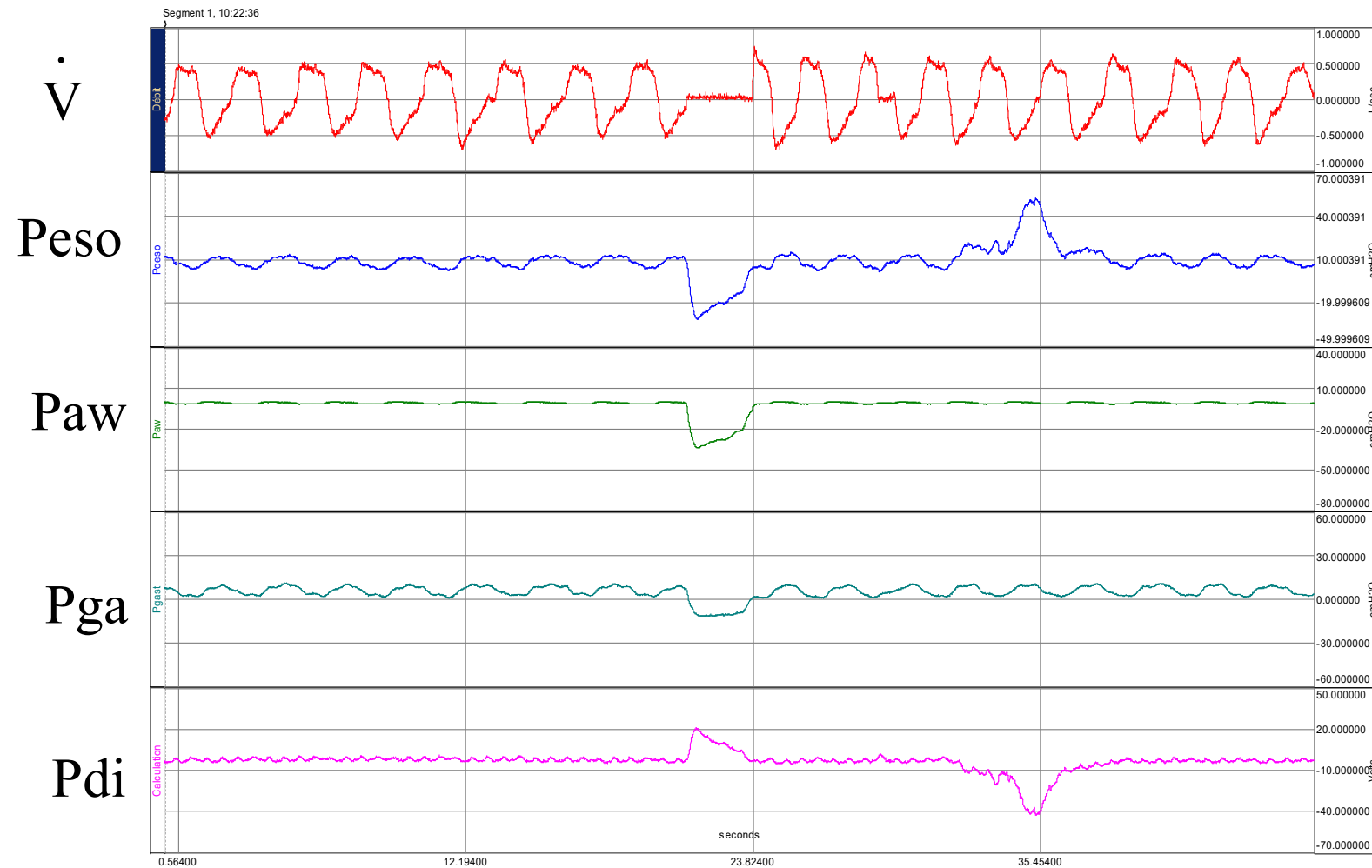
Respiration paradoxale au repos



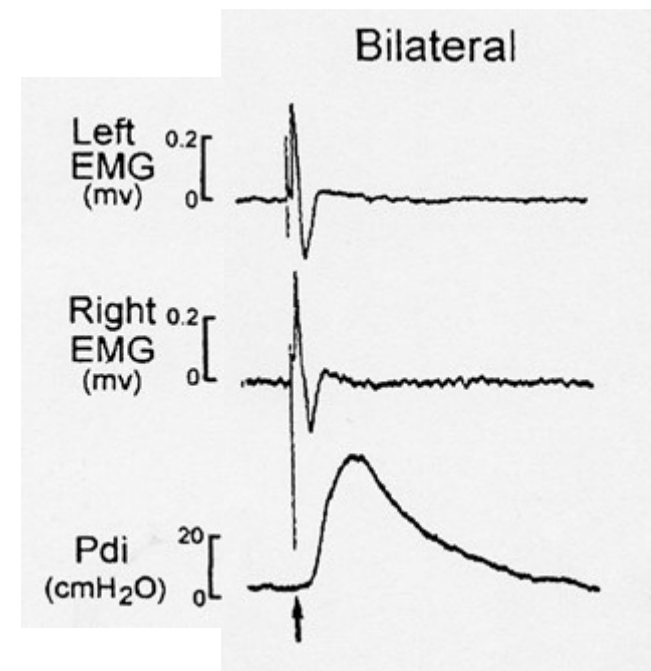
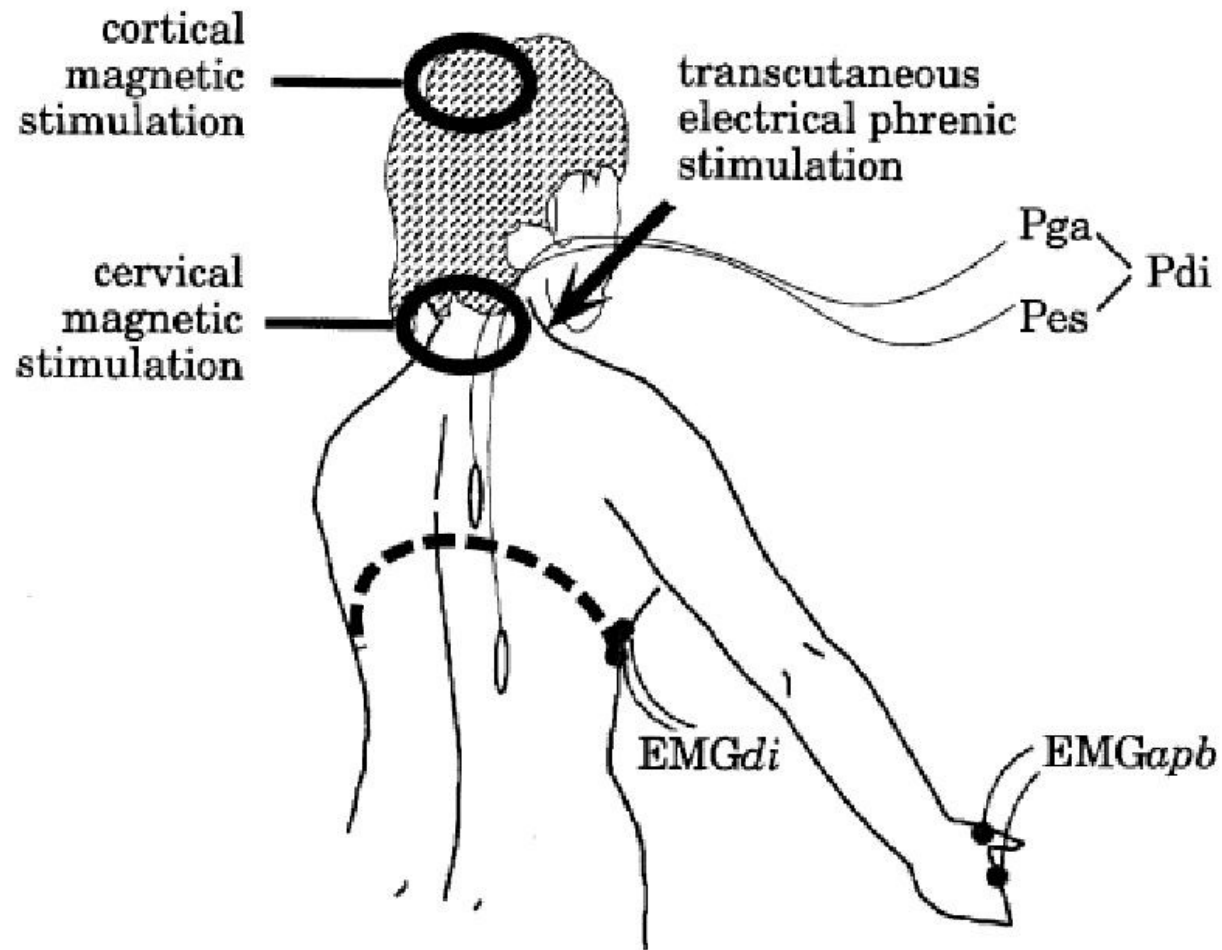
Sniff avec respiration paradoxale



Manœuvre de Muller avec déplacement paradoxal

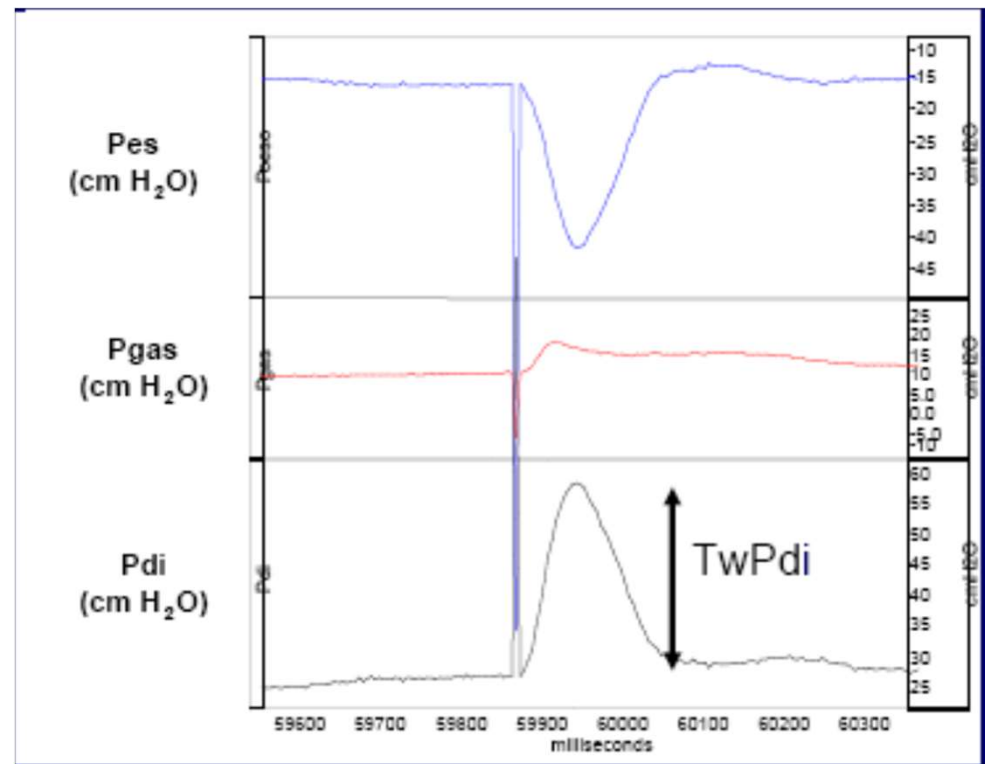


Méthode non-volitionnelle

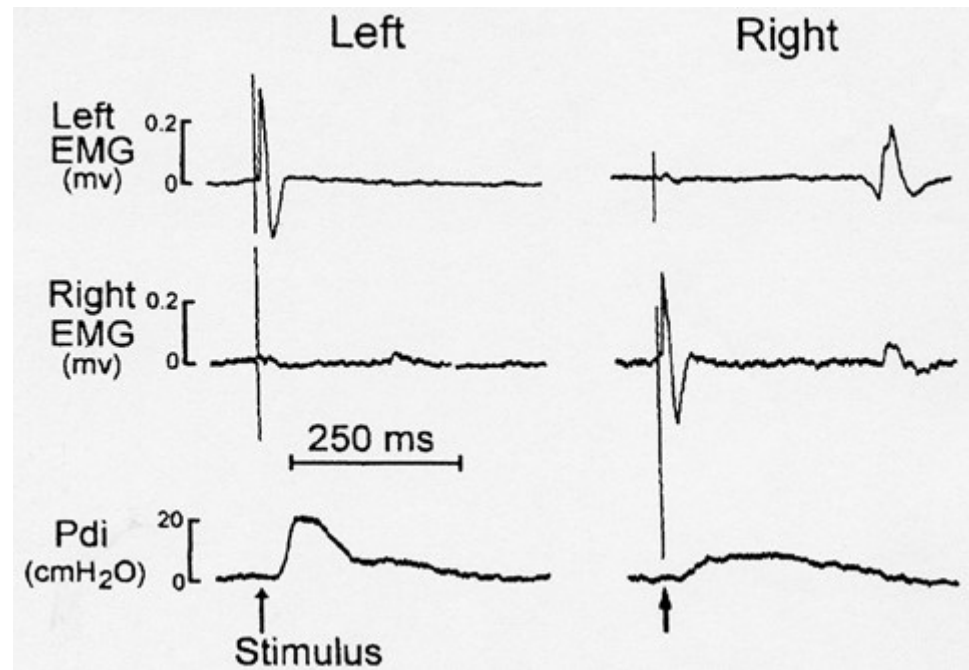




Pdi twitch



Pdi twitch unilatérale



Combinaison des tests pour éliminer les faux diagnostics

Table 7 Combination of P_{imax}, Sniff P_{nasal} and Sniff P_{oes} results

Inspiratory muscle weakness		
	Diagnosed as weak (%)	SE (95% CI)
(1) P _{imax}	40.1 (73/182)	3.64 (32.9 to 47.3)
(2) Sniff P _{nasal}	41.8 (76/182)	3.67 (34.5 to 41.8)
(3) Sniff P _{oes}	37.9 (69/182)	3.61 (30.8 to 45.0)
(4) P _{imax} + Sniff P _{nasal}	32.4 (59/182)	3.48 (25.6 to 39.3)
(5) P _{imax} + Sniff P _{oes}	29.7 (54/182)	3.40 (23.0 to 36.4)
(6) P _{imax} + Sniff P _{nasal} + Sniff P _{oes}	29.1 (53/182)	3.38 (22.5 to 35.8)

Table 8 Combination of Sniff P_{di} and Twitch P_{di}

Diaphragm weakness		
	Diagnosed as weak (%)	SE (95% CI)
(1) Sniff P _{di}	68.2 (180/264)	2.87 (62.5 to 73.8)
(2) Twitch P _{di}	67.4 (178/264)	2.89 (61.7 to 73.1)
(3) Sniff P _{di} + Twitch P _{di}	55.3 (146/264)	3.07 (49.3 to 61.3)

Steier et al. *Thorax* 2007



Comment explorer le diaphragme

1. EFR
2. Mesures non-invasives des pressions diaphragmatiques
3. Mesures invasives des pressions diaphragmatiques
4. **Explorations electroneuromyographiques**
5. Echographie diaphragmatique
6. Nouvelles explorations



Etude de la conduction phrénique

- Stimulation du nerf phrénique au niveau cervical avec recueil du potentiel diaphragmatique au niveau du 8ème espace intercostal

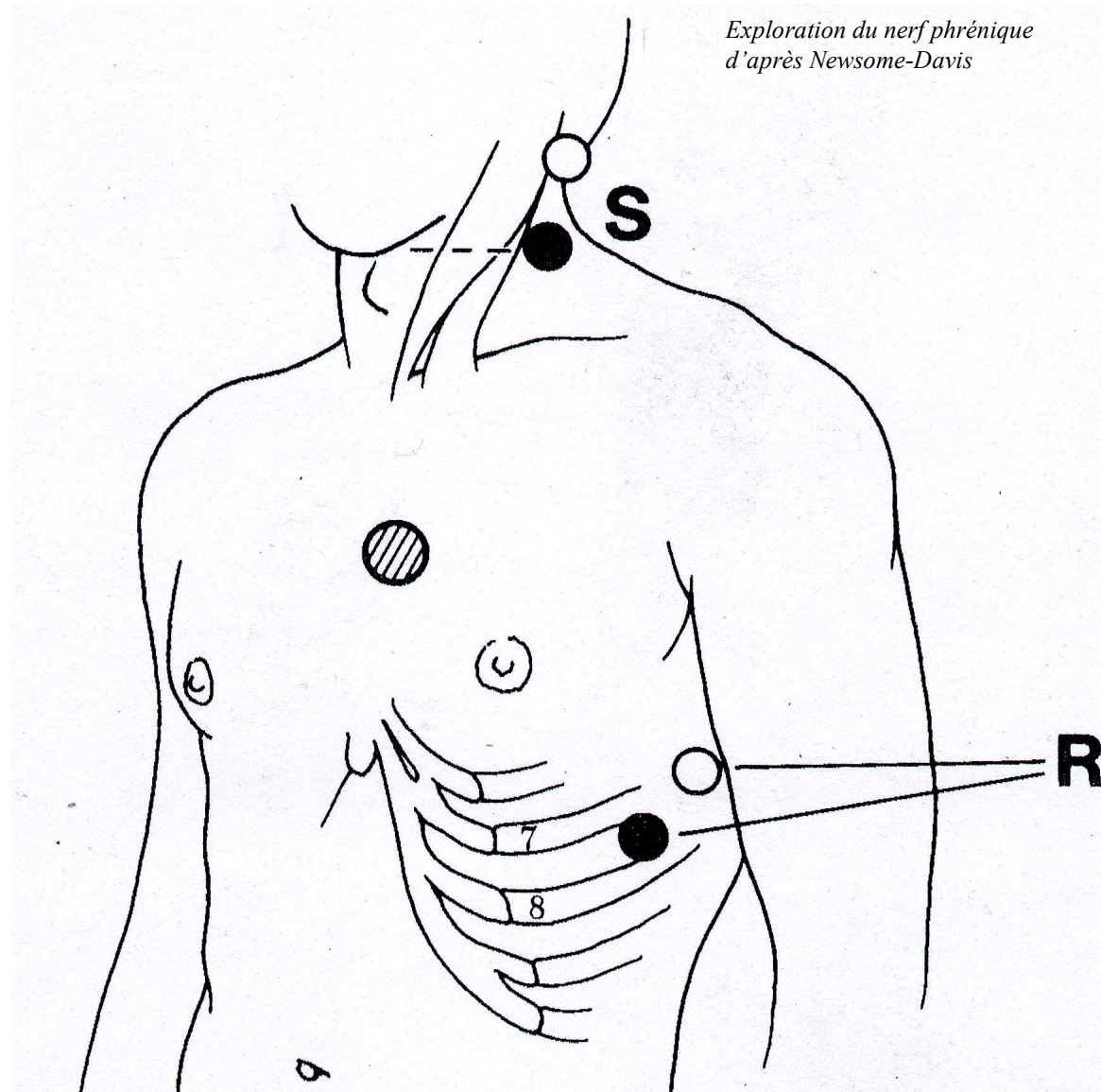
Stimulation électrique

- Inconfortable mais spécifique

Stimulation magnétique (périphérique ou centrale)

- Moins inconfortable mais moins spécifique
(activation globale des muscles inspiratoires)

*Exploration du nerf phrénique
d'après Newsome-Davis*



Evaluation diaphragmatique

EMG phrénique

- **Analyse:**

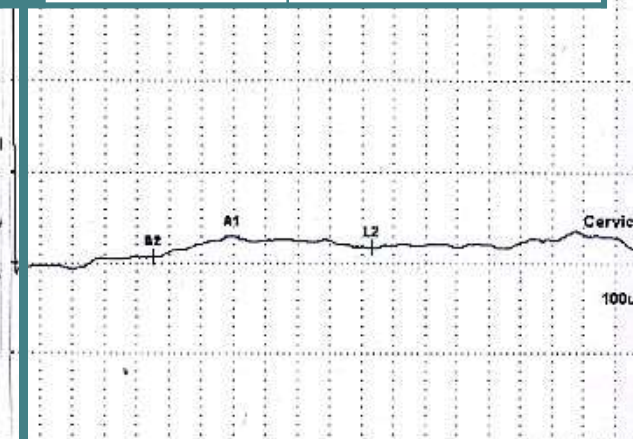
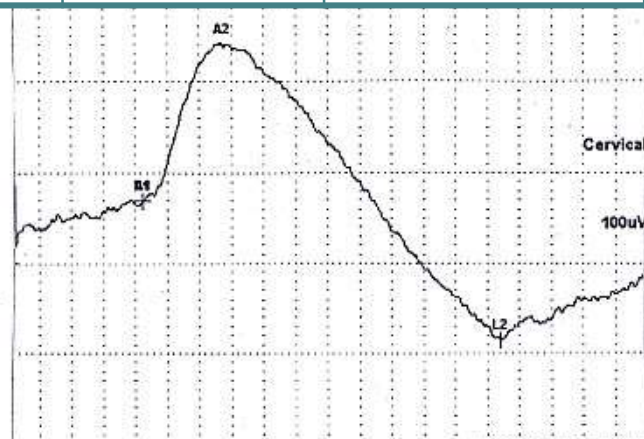
- de la latence NI < 9 msec
- de l'amplitude de la réponse motrice ≥ 0.2 mV

- **Résultats**

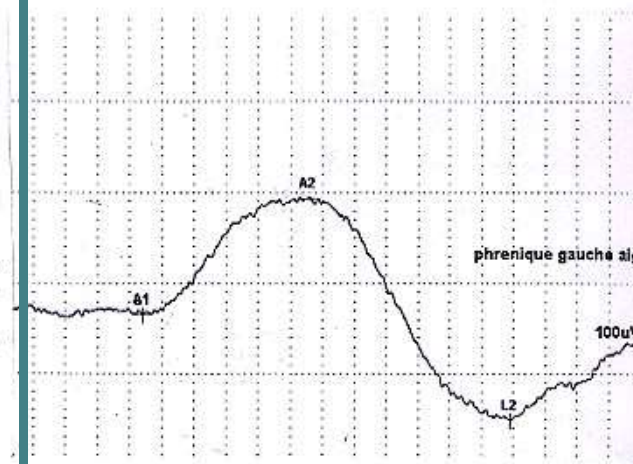
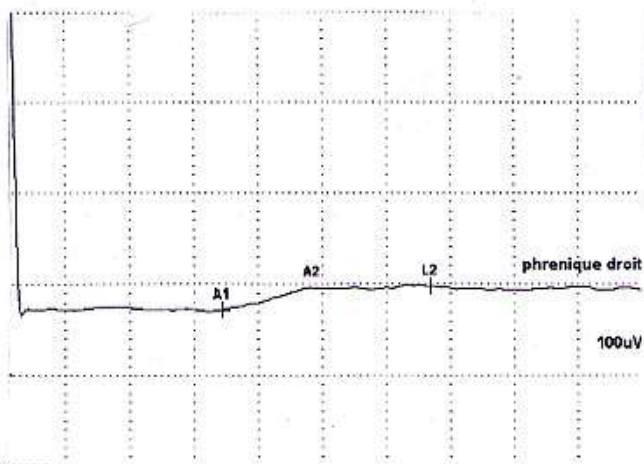
- Allongement de la latence: démyélinisation
- Perte d'amplitude du signal: atteinte axonale, atteinte musculaire ou jonction
- Normal

	Janvier 2006		Février 2009	
	Latence	Amplitude	Latence	Amplitude
Phrénique droit	8.46 ms	171 μ V	6.33 ms	25 μ V
Phrénique gauche	9.04	24 μ V	8.85 ms	127 μ V

Dt



G



Evaluation diaphragmatique

EMG diaphragmatique

- Analyse du potentiel d'action moteur par insertion d'une aiguille au niveau de la coupole diaphragmatique (pilier antérieur)

⇒ Informations supplémentaires

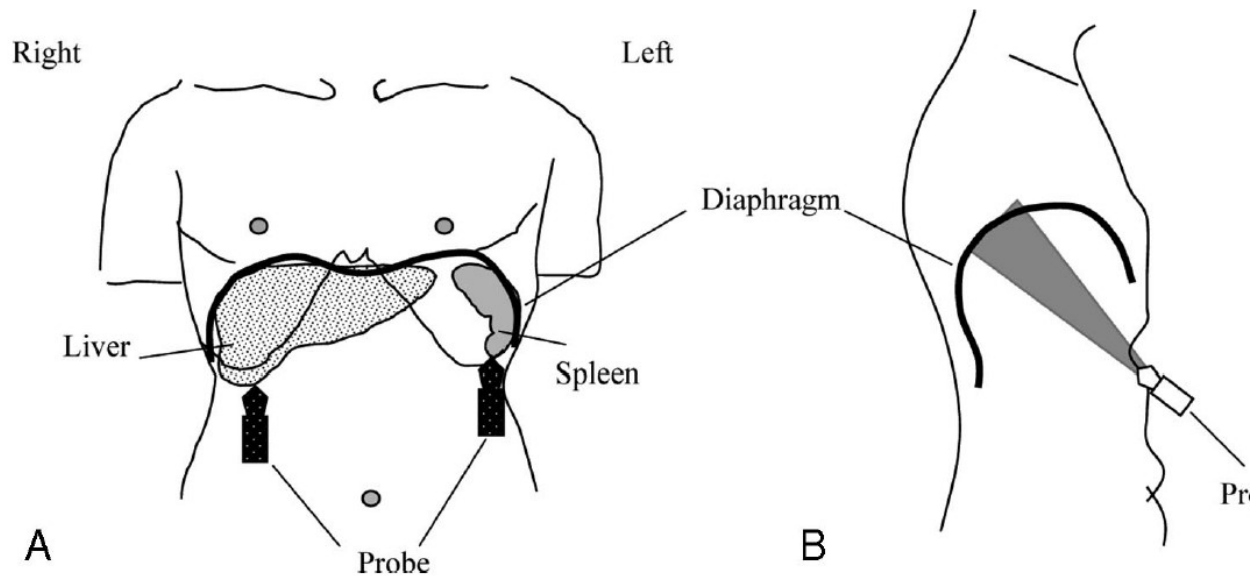
- Tracé neurogène périphérique : activation simple accélérée (SLA)
 - Tracé trop riche: myogène
- ***Mais +++:***
 - risque de pneumothorax
 - risque de lésion de la mammaire interne



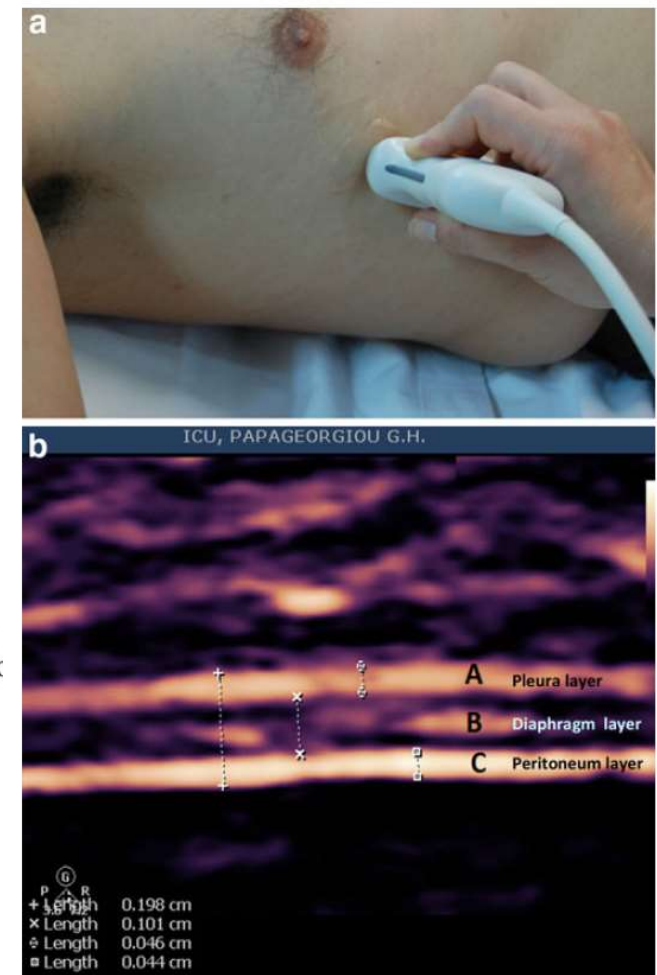
Comment explorer le diaphragme

1. EFR
2. Mesures non-invasives des pressions diaphragmatiques
3. Mesures invasives des pressions diaphragmatiques
4. Explorations electroneuromyographique
5. **Echographie diaphragmatique**
6. Nouvelles explorations

Echographie diaphragmatique



Boussuges, *Chest*, 2009



Matamis, *ICM*, 2013

Echographie diaphragmatique

2 types d'évaluation:

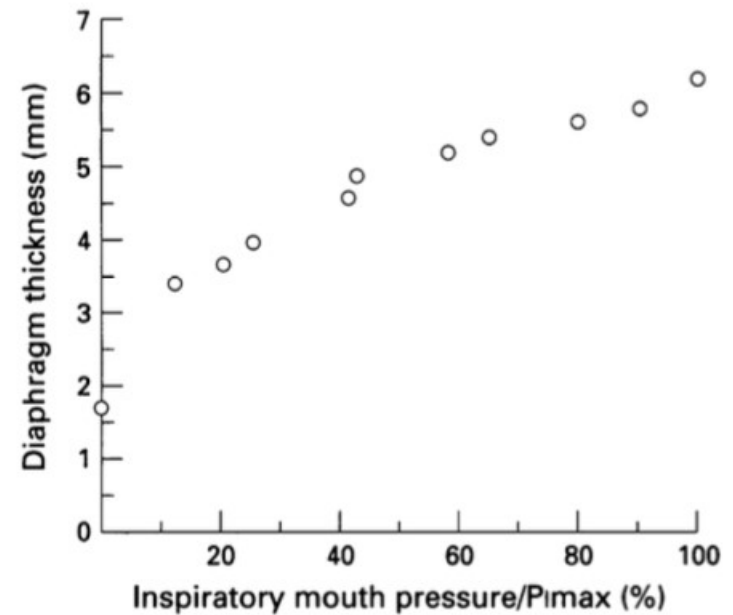
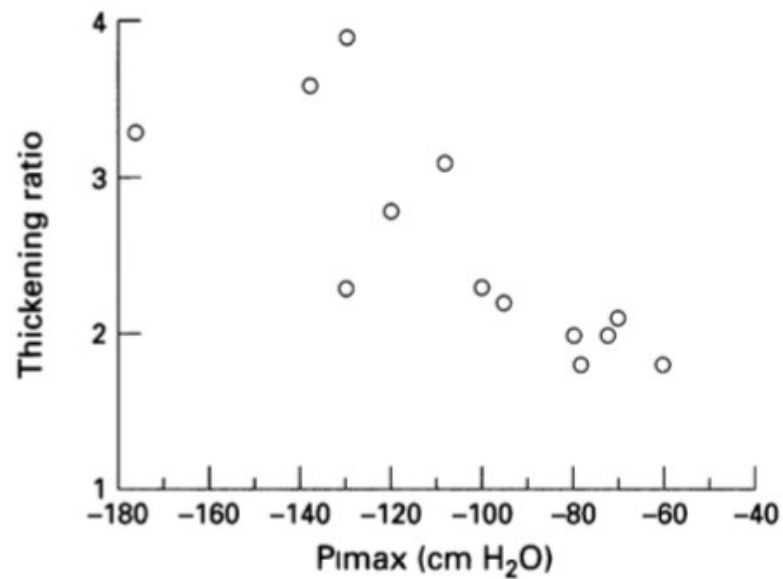
- excursion diaphragmatique au cours des mouvements respiratoires

	VS	CI	Sniff
Hommes	1,8±0,3	7,0±2,9	2,9±0,6
Femmes	1,6±0,3	5,7±1,0	2,6±0,5

Boussuges, *Chest*, 2009

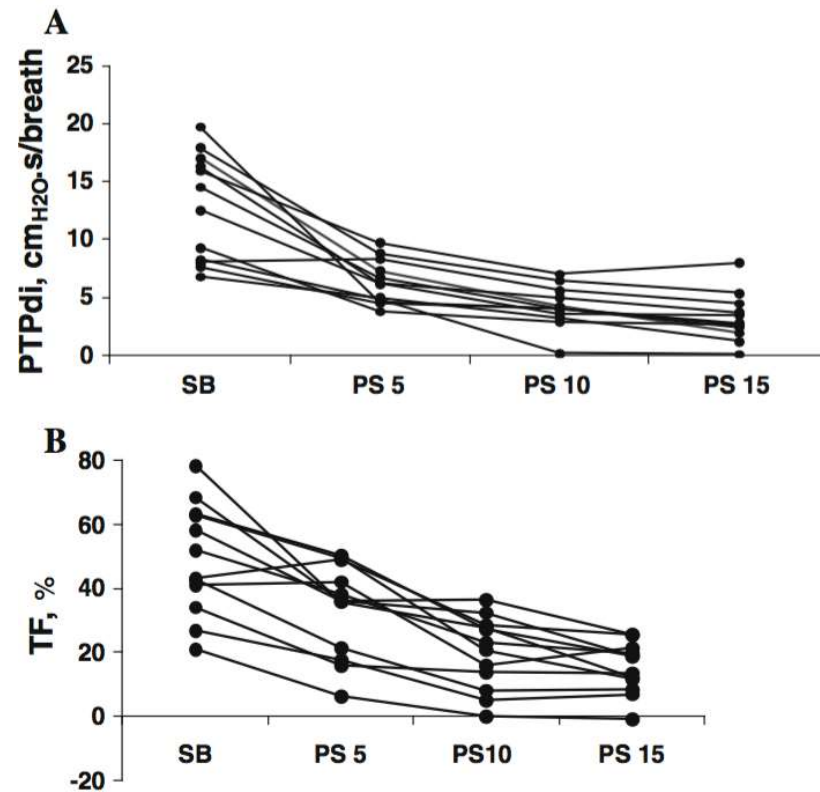
- épaisseur diaphragmatique au cours de mouvement de contraction maximale : inspiration à la CPT

$$TF = \frac{Ep_{\text{inspi max (CPT)}} - Ep_{\text{fin expi}}}{Ep_{\text{fin expi}} \text{ (CRF)}}$$



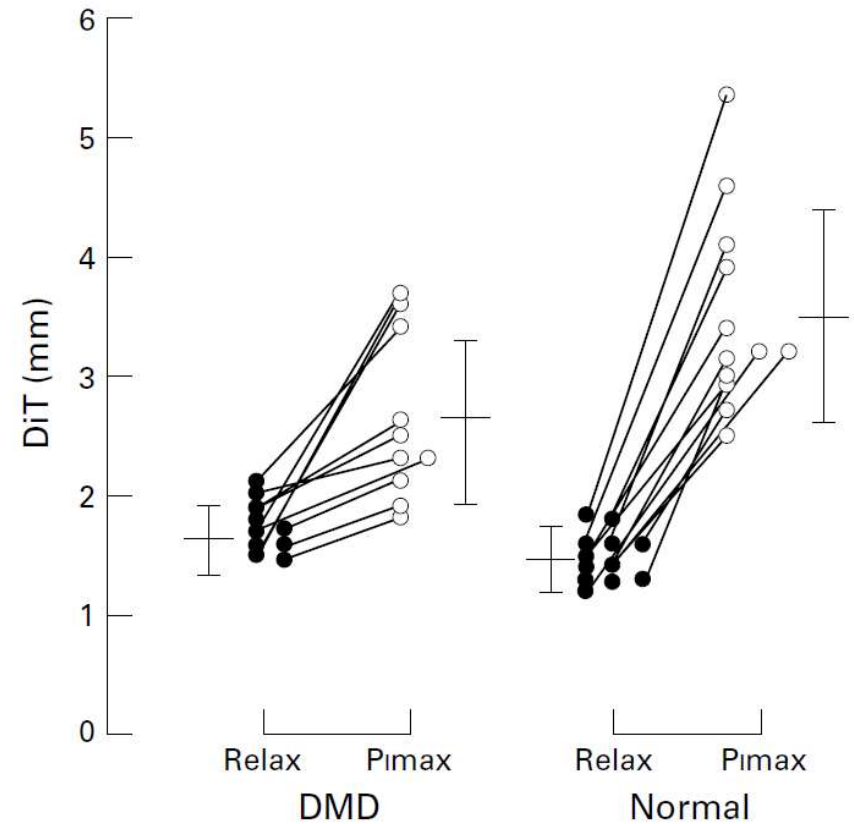
Ueki *Thorax* 1995

Effet de la VNI



Vivier *ICM* 2012

Myopathie de Duchenne



De Bruin *Thorax* 1997



Echographie diaphragmatique

Avantages:

- Bonne reproductibilité
- Analyse de l'excursion diaphragmatique peu sensible à la position **si** position de la sonde **strictement** perpendiculaire
-

Limites

- **Echogénicité** du sujet insuffisante
- Obtenir une position permettant une bonne reproductibilité
- Sous ventilation peu d'intérêt de l'analyse de l'excursion diaphragmatique
- Influence des volumes pulmonaires sur l'épaisseur du diaphragmaque

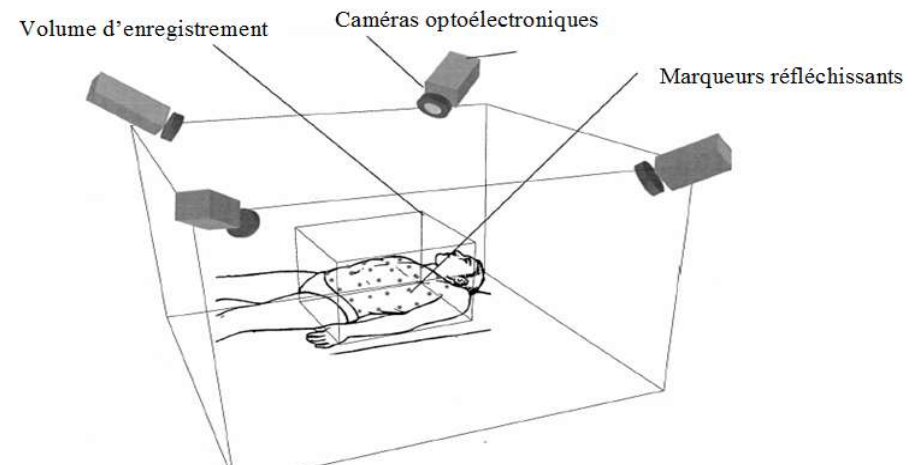


Comment explorer le diaphragme

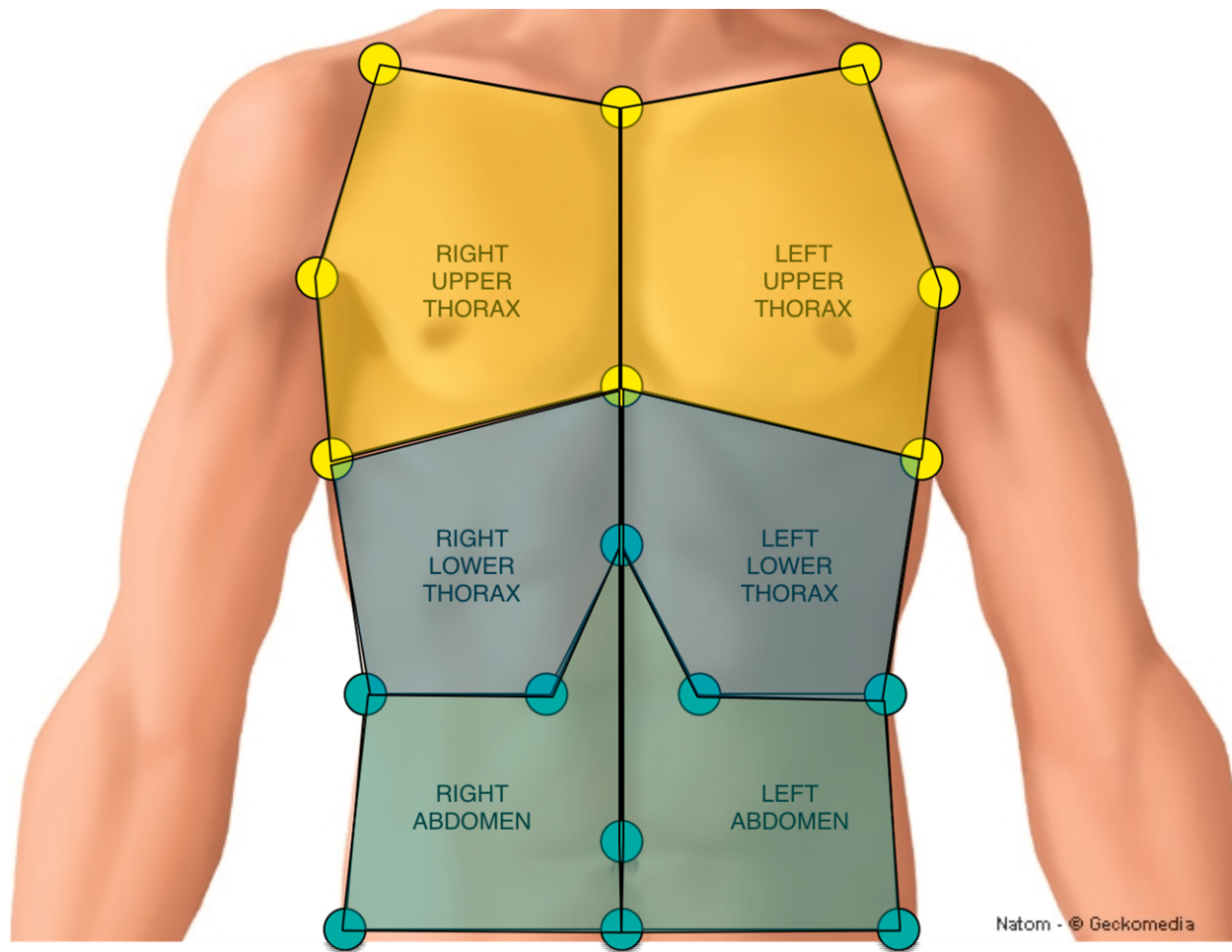
1. EFR
2. Mesures non-invasives des pressions diaphragmatiques
3. Mesures invasives des pressions diaphragmatiques
4. Explorations electroneuromyographique
5. Echographie diaphragmatique
6. **Nouvelles explorations**

Pléthysmographie par optoélectronique

- Technique **non** invasive
- Evaluation des volumes pulmonaire par la mesure en 3D des mouvements de la cage thoracique et de l'abdomen
- Détermination de compartiments pulmonaires et étude du pattern ventilatoire en ventilation spontanée , au cours des manœuvres forcées, sous ventilation



Contribution compartimentale aux volumes mobilisables





Avantages de la POE

- Noninvasive (et nonvolitionnelle)
- Exploration dynamique+++
 - Asymétrie (scoliose, paralysie unilat...)
 - Contribution abdominale (diaphragme)
- Différentes positions: assis/décubitus



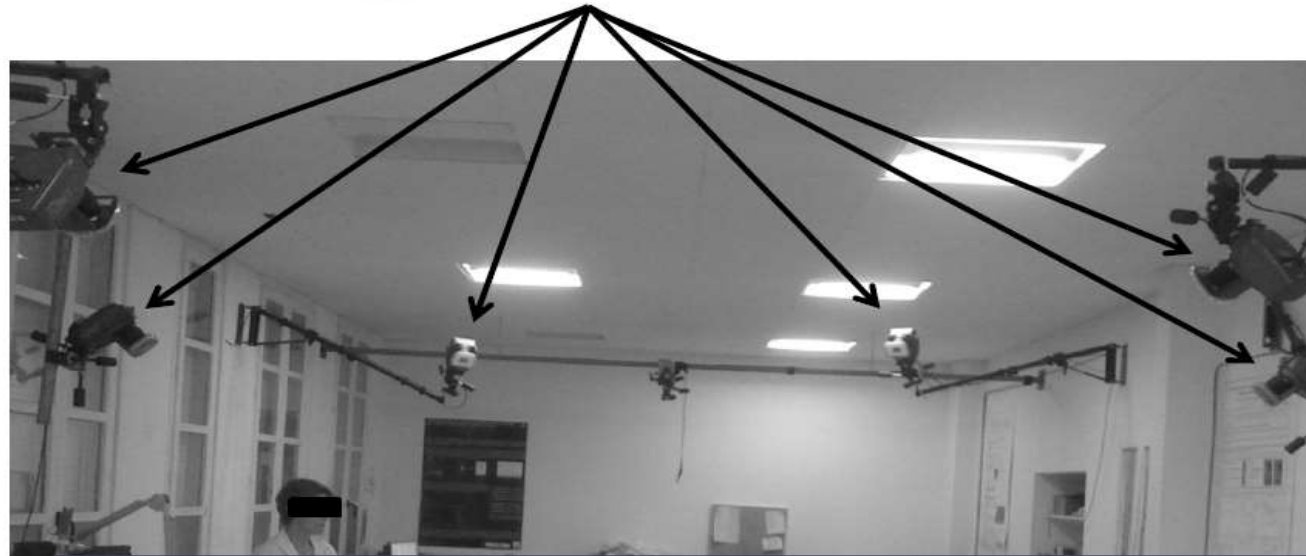
Avantages de la POE

- Pas de calibration spécifique
- Pas influencé par le milieu ambiant (température, hygrométrie, composition du gaz),
- Pas de dérive du signal
- Pas de connection avec le patient,
- Mesures non-influencées par les fuites

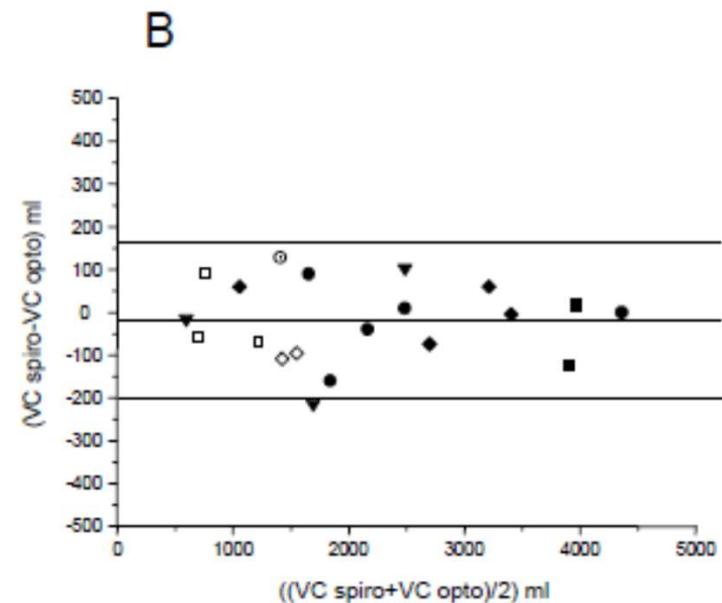
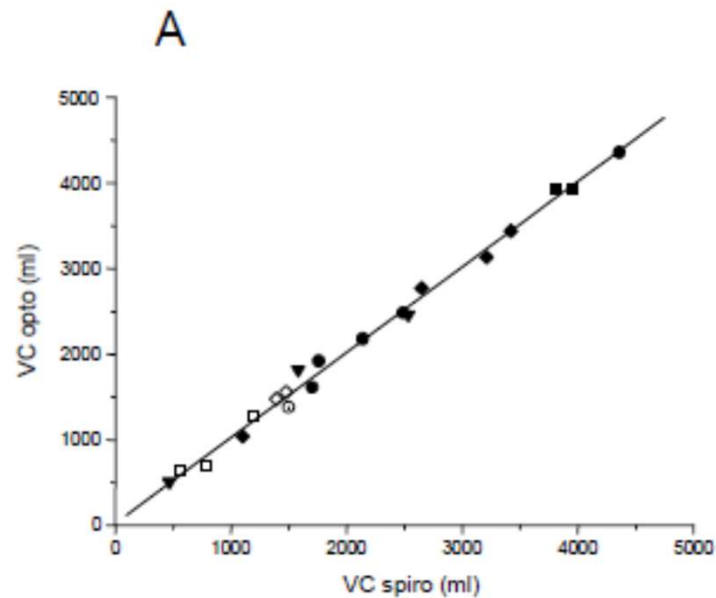
(pièce buccale/orifice de trachéotomie ou fuites sous ventilation non-invasive)

Première expérience

Optoelectronic cameras



Validation with the gold standart (spirometry)



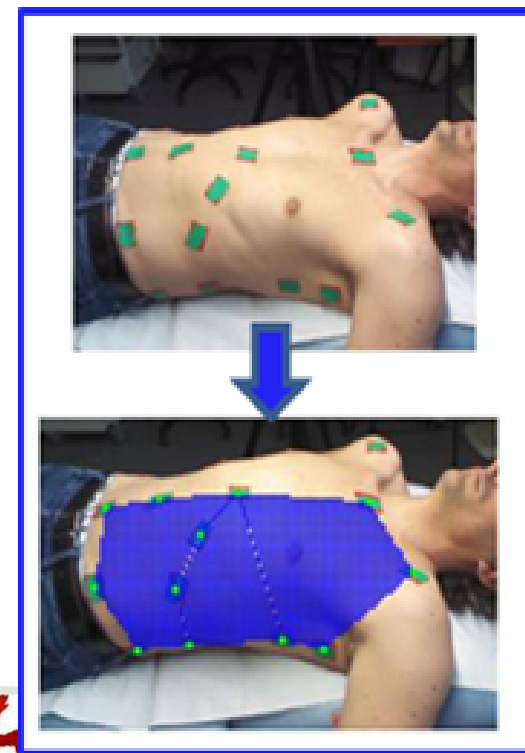
Boudarham **Respir Care**. 2012

Système au lit du patient

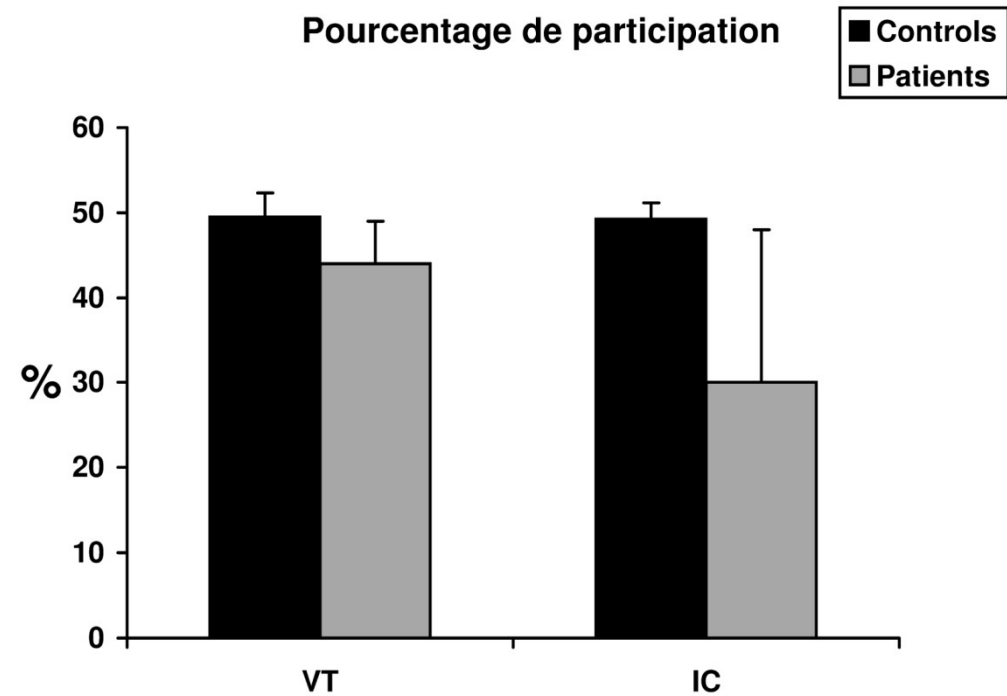
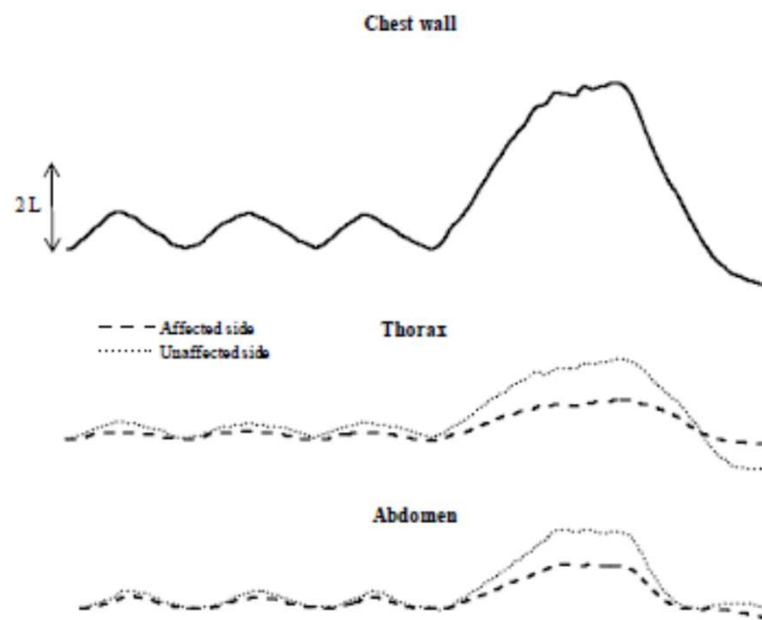
(Codamotion^R)



(Connit^R)

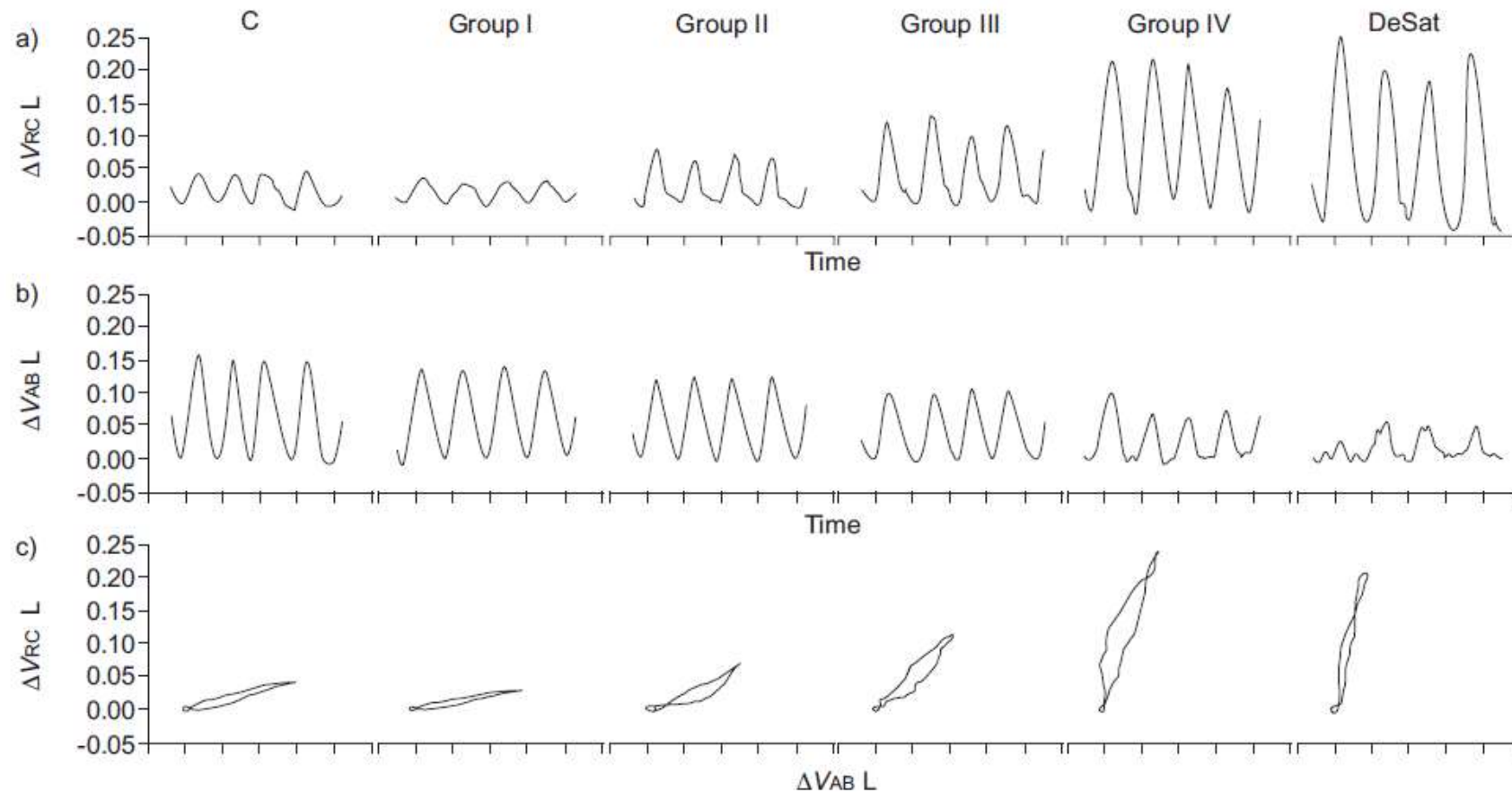


Paralysie diaphragmatique unilaterale

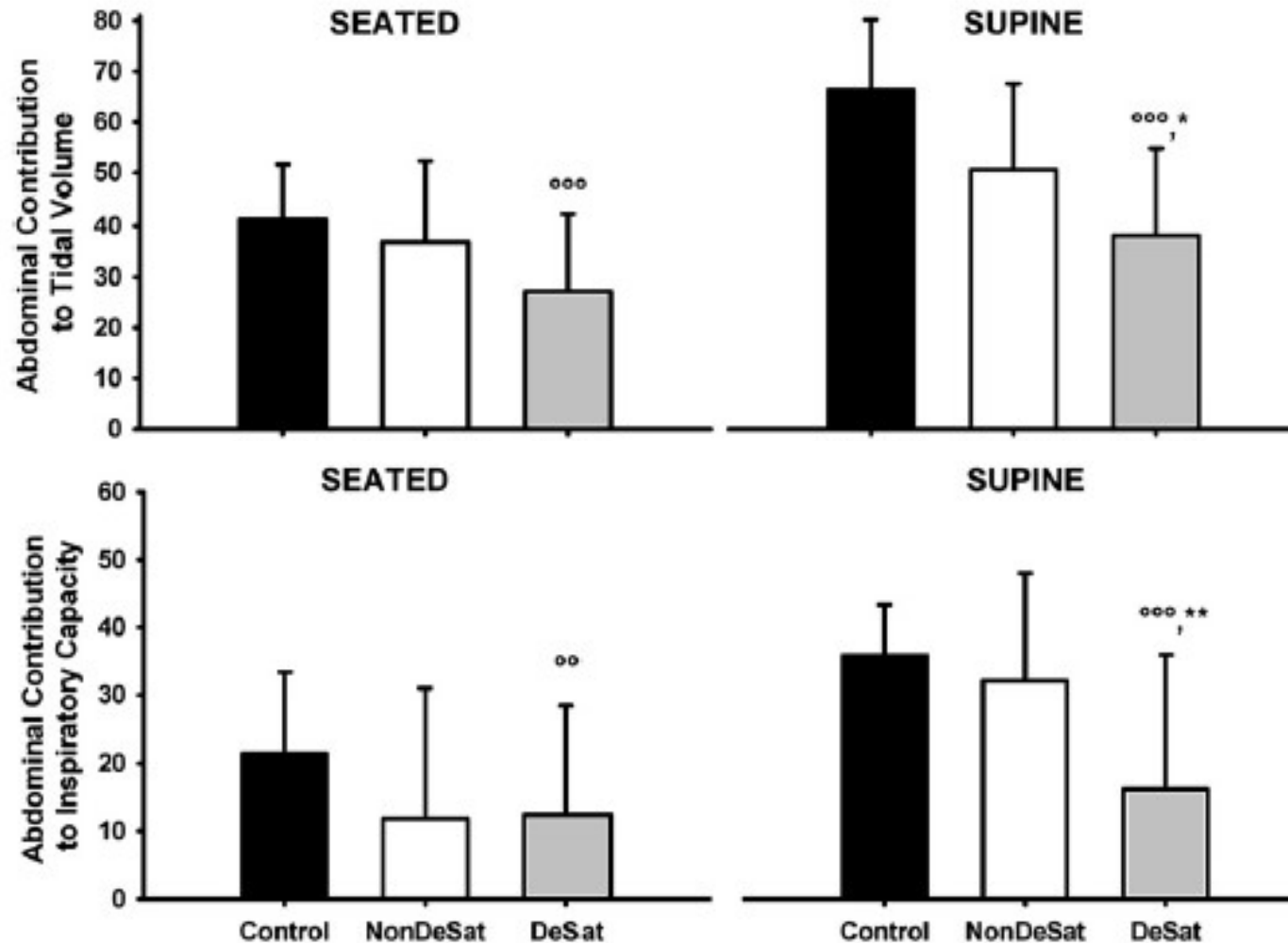


Participation of the undominant side

POE dans myopathies de DDB



POE dans myopathies de DDB





Conclusion

- Evaluation indirecte
- Combinaison des techniques permet d'améliorer la qualité du diagnostic d'atteinte diaphragmatique
- Poursuite du développement de techniques avec comme objectif: non invasives et non volitionnelles.