



# Epreuve d'effort cardiorespiratoire EFX Cas cliniques

Justine Frija-Masson et

Service de Physiologie

Hôpital Bichat-Claude Bernard

Agnès Bellocq

Service d'Explorations Fonctionnelles  
Respiratoire et de la Dyspnée

Hôpital Pitié Salpêtrière



# Déclaration de liens d'intérêt

**Dr Justine Frija Masson**

**Dr Agnès Bellocq**

Aucune rémunération ni avantage ni invitation par les entreprises pharmaceutiques ni par les sociétés prestataires de service et de matériel

Rémunérations par APHP et Sorbonne Universités  
Bénévolat (Présidente Réseau ARS IDF Récup'Air)

# Memento d'interprétation d'une EFX

- Maximalité :
  - clinique +++
  - paracliniques (plateau  $\dot{V}O_2$ , RV, pic FC%FMT,  $V_E/\dot{V}O_2$ , QR > 1,15, lactatémie > 5mM ou  $\Delta$ pH ou nadir de pH)
- Tolérance à l'exercice :
  - pic  $\dot{V}O_2$  % ref (Hansen Wasserman)
  - ml/min/kg ou METs coïncide à la clinique
  - Survenue du seul ventilatoire ( < 40% ref pic  $\dot{V}O_2$  : « désentraînement »)
- Existe-t-il une limite ?
  - Ventilatoire : pic  $V_E$  / 35 ou 40 x VEMS < 15%
  - Cardiocirculatoire et/ou musculaire :
    - pouls max  $O_2$  et sa cinétique,
    - réponse en FC (insuffisance chronotrope)
    - réponse en PA systolique (insuffisance hémodynamique)
- Existe-t-il des inadaptations ventilatoires ?
  - Hyperventilation :  $\dot{V}E/W$  ( 40L/100W),  $V_E/\dot{V}O_2$ ,  $V_E/V\dot{C}O_2$  au SV, au pic

# Cas clinique 1 : Madame T

- Lycéenne, pas d'antécédent, pas d'intoxication
- Consulte en cardiologie pour dyspnée
  - ECG, radio de thorax et échographie cardiaque normaux
- Clinique :
  - Dyspnée d'effort à la montée de plus d'un étage
  - Lors d'efforts intenses, sensation vertigineuse et gêne pour respirer
  - Pas de toux, pas de crachat, pas de sifflement, aucun réveil nocturne
  - Nijmegen à 16
- Scanner thoracique normal
- EFR complètes normales
- Gaz du sang effectué au repos en AA : pCO<sub>2</sub> 40 mmHg, pO<sub>2</sub> 90 mmHg, pH à 7,42, bicarbonates 26 mmol/l

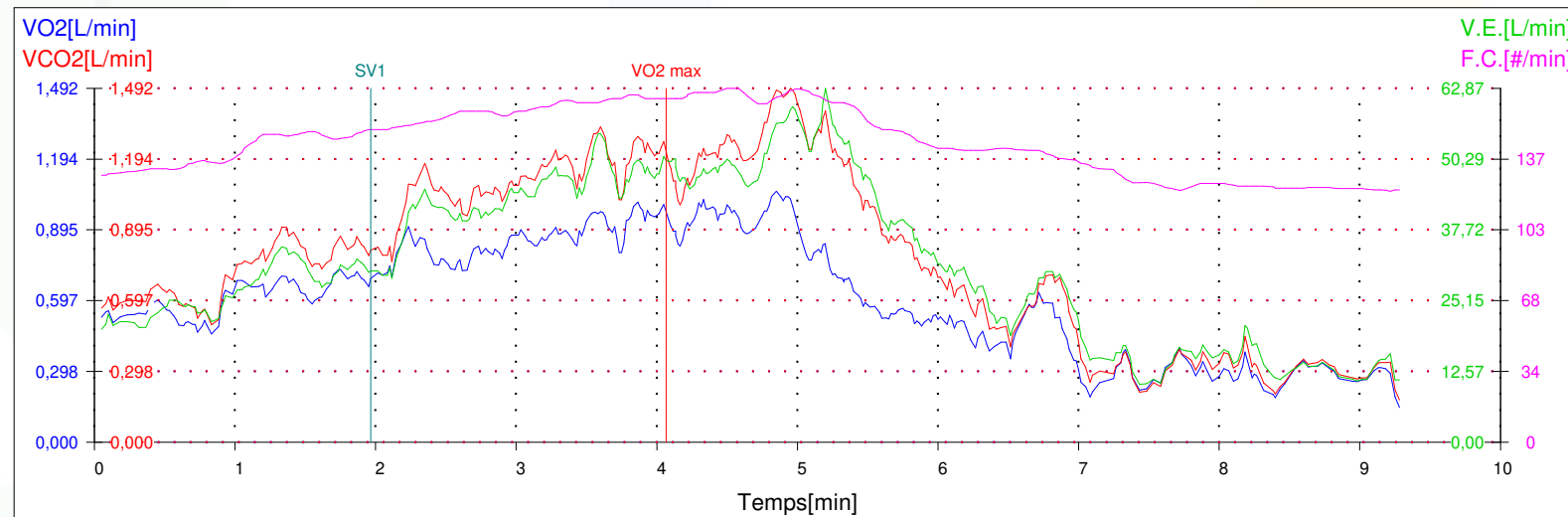
# Test de marche en air ambiant (madame T)

**Date mesure** 25.04.23  
**Temps...** 14:03

	<b>Début</b>	<b>Fin</b>
<b>6MWD</b>		720
<b>6MWD (%Théo)</b>		115
<b>FC</b>	105	122
<b>SpO2</b>	99	100
<b>Dyspnée</b>	0	6

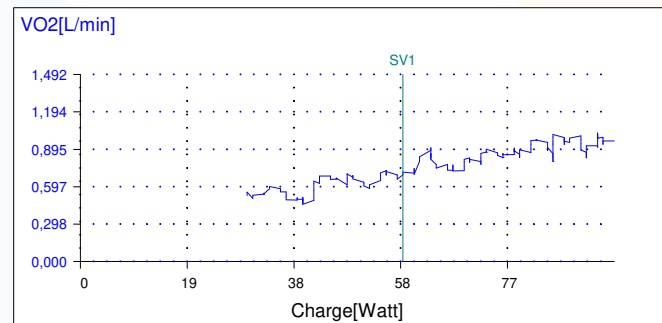
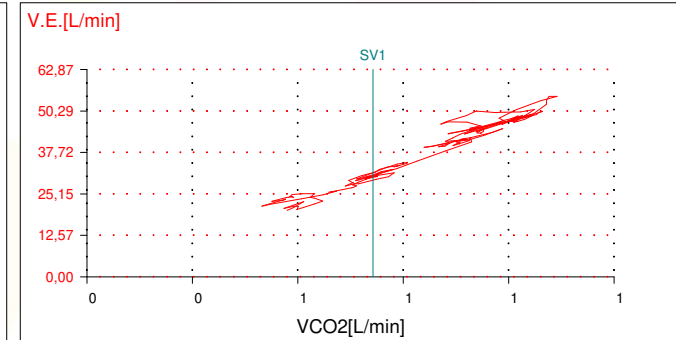
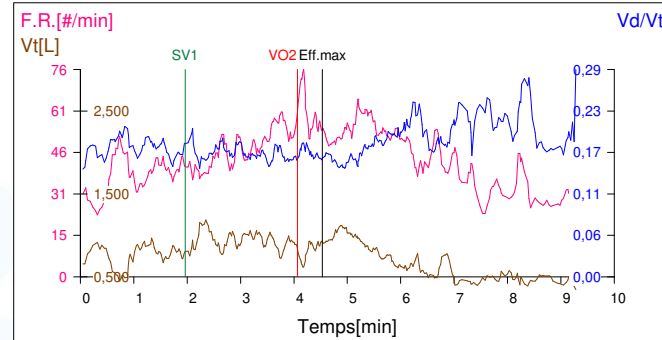
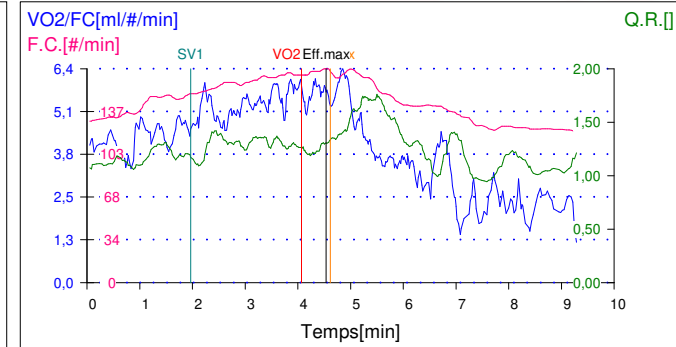
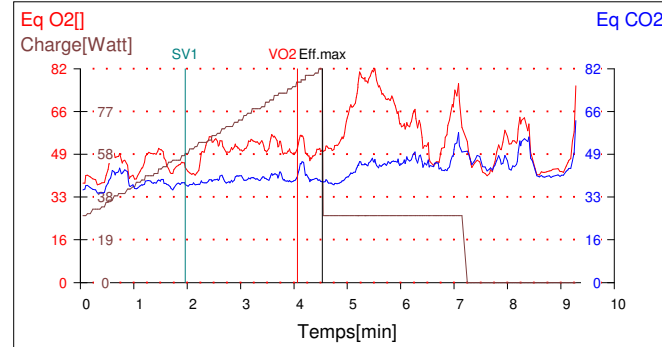
# EFX (madame T)

- Protocole : échauffement 2 minutes, exercice en rampe débutant à 30 W puis 15 W/min, récupération active deux minutes
- Arrêt pour dyspnée à 8/10 et fatigue musculaire à 8/10
- Paresthésies distales des MS et buccales, et lipothymie sans hypotension pendant la récupération



# EFX (madame T)

	Repos	SV 1	SV 1	SV 1	Vo2 max	Vo2 max	Vo2 max
	Mesuré	Mesuré	% Vo2 max	Max Préd	Mesuré	% Préd.	Préd.
Temps	min 00:00	01:58	48%	----	04:04	----	----
<b>Réponse globale</b>							
Charge	Watt	0	58	64%	41%	90	63%
Met		2,0	4,4	71%	----	6,2	----
VO2	L/min	0,313	0,690	71%	40%	0,972	57%
VO2 sp	ml/kg	7	15	71%	40%	22	57%
VCO2	L/min	0,297	0,809	66%	----	1,227	----
Q.R.		0,95	1,17	93%	----	1,26	----
Eq O2		33,1	44,1	86%	----	51,5	----
Eq CO2		34,9	37,6	92%	----	40,8	----
Dyspnée		1	1	20%	----	5	----
<b>Réponse Vent.</b>							
V.E.	L/min	10,36	30,42	61%	33%	50,05	55%
Vt	L	0,432	0,806	96%	----	0,836	----
F.R.	#/min	25,02	40,53	67%	----	60,57	----
Rés Ven	%	89	67	147%	----	45	----
Vd/Vt réel	mm Hg	0,25	0,33	90%	----	0,36	----
Cl	L	0,0	0,0	----	----	0,0	----
<b>Réponse Card.</b>							
F.C.	#/min	125	151	91%	79%	166	87%
TA Sys.	mm Hg	120	123	89%	----	139	----
TA Dia.	mm Hg	74	74	97%	----	76	----
VO2/FC	ml/#/min	2,5	4,6	78%	51%	5,9	65%
<b>Hématose</b>							
pH		7,42	7,42	100%	----	7,42	----
PaO2	mm Hg	90,0	90,0	100%	----	90,0	----
PaCO2	mm Hg	40,0	40,0	100%	----	40,0	----
P(A-a)O2	mm Hg	12,8	20,9	90%	----	23,3	----
PétCO2	mm Hg	35	32	111%	----	29	----



VO2 / Charge	[0% -> 100%]	7,316	ml/min / Watts
VO2 / Charge	[Manuel]	7,415	ml/min / Watts

# EFX (madame T)

- Critères de maximalité ?
- Borg à 8/10 pour le souffle et les muscles, atteinte de la FMT, plateau de VO<sub>2</sub>, équivalents
- Limitation à l'effort ?
- Cause de la limitation ? Diagnostic ?



# Cas clinique 2 : madame L

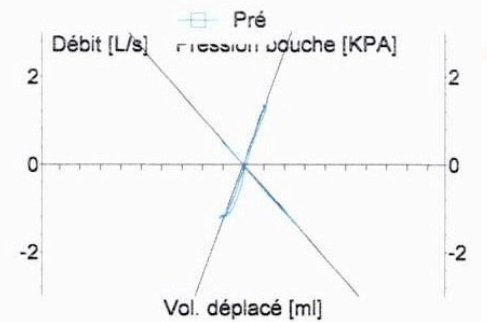
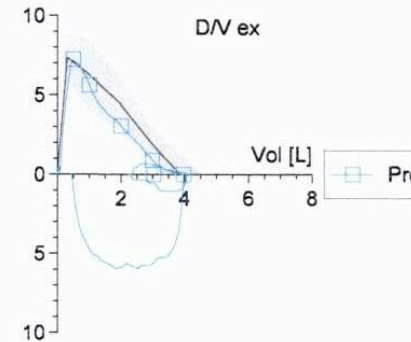
- 33 ans
- Maladie vasculaire portosinusoidale diagnostiqué à l'âge de 18 mois.
  - Hypertension portale avec VO (ligature en cours), patiente sous bêta bloquants
  - Volumineuse voies de dérivation (notamment volumineux shunt portosystémique rétrocardiaque), rate 15-17 cm
  - Pas de thrombose porte
  - Pas d'ascite (OMI récidivants sans rapport avec HTP),
  - Pas d'encéphalopathie
  - Anévrysmes spléniques (3 anévrysmes embolisés en 2015)
- En post partum (MFIU < 25 SA) découverte à l'échographie cardiaque d'un syndrome hépatopulmonaire symptomatique, PaO<sub>2</sub> > 60 mm Hg,

# ETT juillet 2023 (madame L)

- VG modérément dilaté 64 mm non hypertrophié, fonction systolique globale et segmentaire normale
- Pressions de remplissage VG normales
- OG modérément dilatée Vol 47 ml/m<sup>2</sup>
- Pas de valvulopathie mitrale (IM petite) ni aortique significative
- Aorte ascendante non dilatée
- Cavités droites et VCI non dilatées, PAPs 26 mmHg
- Péricarde sec
- Epreuve de contraste très positive à partir du 4ème cycle cardiaque évoquant un shunt extra cardiaque

# EFR (madame L)

		Mesure	LIN	LSN	Théo	%M/T
Date test		07.11.22				
CVF	L	3.95	3.15	4.56	3.85	103
VEMS	L	3.01	2.73	3.98	3.35	90
VEMS%CF	%	76.23	72.31	93.73	83.02	92
DEM75	L/s	5.65	4.09	8.53	6.31	90
DEM50	L/s	3.06	2.74	6.36	4.55	67
DEM25	L/s	0.89	0.97	3.24	2.11	42
DEMM	L/s	2.47	2.57	5.37	3.97	62
DEP	L/s	7.25	5.85	8.82	7.33	99
CRFpl	L	2.83	2.04	3.68	2.86	99
VRE	L	0.79	1.26	1.26	1.26	63
VR	L	2.04	1.03	2.18	1.61	127
CPT	L	6.05	4.51	6.48	5.50	110
VR%CPT	%	33.80	20.25	39.43	29.84	113
CV Max	L	4.01	3.23	4.61	3.92	102
VEMS%CV	%	76.23	72.31	93.73	83.02	92
RAW	kPa/(L/s)	0.36	0.30	0.30	0.30	119
SR AW	KPA*S	1.25	0.96	0.96	0.96	130



		Mesure	LIN	LSN	Théo	%M/T
Hb	g(Hb)/dL	13.40				
VA_SB	L	4.85	5.35	5.35	5.35	91
DLCO_SB	mmol/(min*kPa)	4.80	7.76	11.60	9.68	50
KCO_SB	mmol/(min*kPa*L)	0.99	1.29	2.23	1.76	56
DLCOcSB	mmol/(min*kPa)	4.80	7.76	11.60	9.68	50
KCOc	mmol/(min*kPa*L)	0.99	1.29	2.23	1.76	56

# Test de marche en AA : madame L

**Sexe:** féminin      **Age:** 32 Années  
**Taille:** 171 cm      **Poids:** 100.0 kg

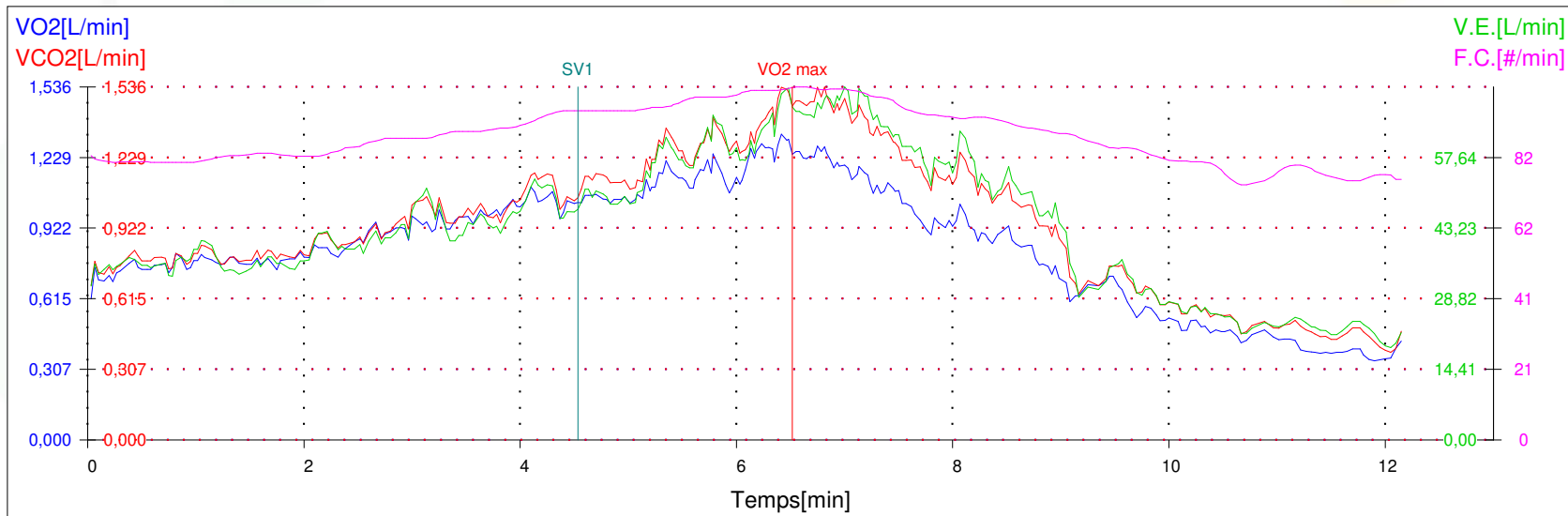
## Test de marche de 6 minutes

**Date mesure** 07.11.22  
**Temps...** 11:26

	Début	Fin
6MWD		480
6MWD (%Théo)		89
FC	64	104
SpO2	96	88
Dyspnée	4	10

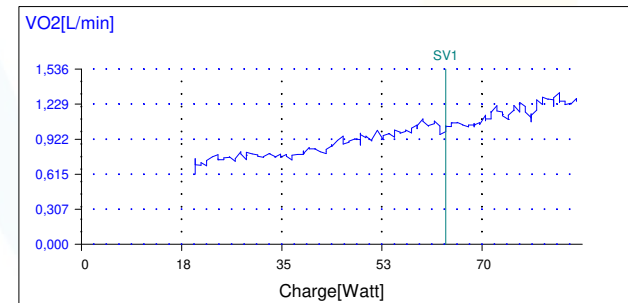
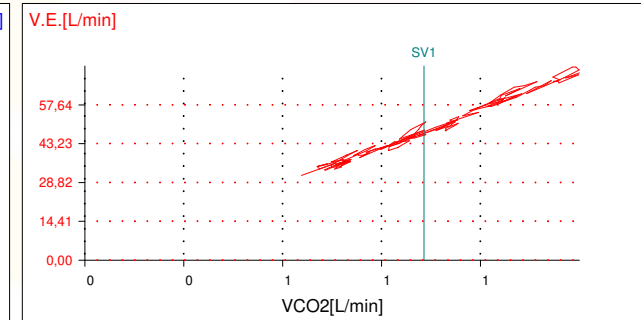
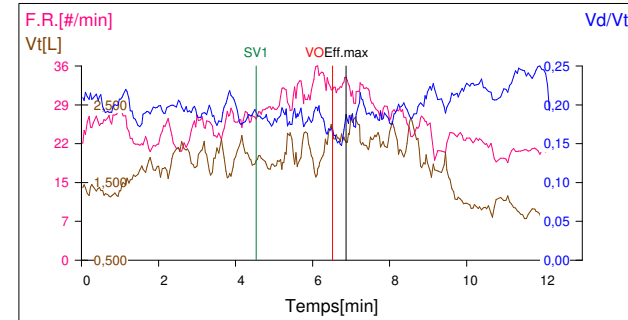
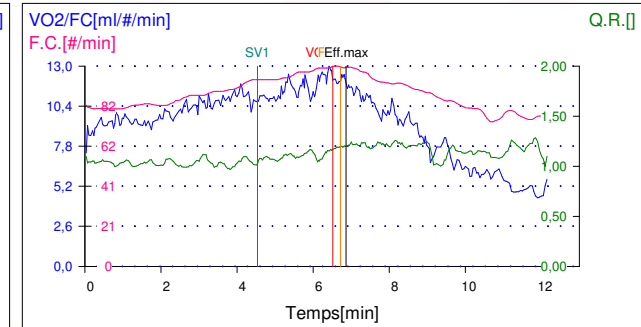
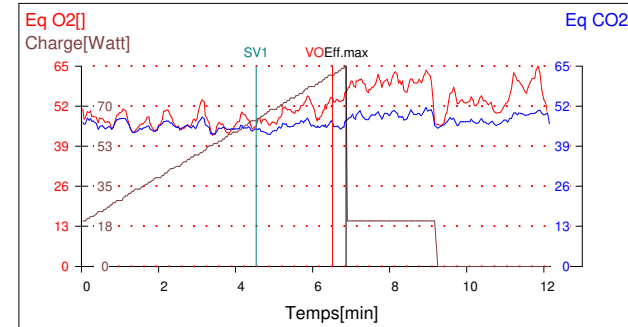
# EFX (madame L)

- Arrêt pour dyspnée (Borg à 7/10), Borg muscle 3/10
- Protocole : échauffement 2 minutes, exercice en rampe débutant à 20 W puis 10 W/min, récupération active deux minutes



# EFX (madame L)

	Repos	SV 1	SV 1	SV 1	Vo2 max	Vo2 max	Vo2 max	Eff.max	Eff.max
	Mesuré	Mesuré	% Vo2 max	% Max Préd	Mesuré	% Préd.	Préd.	Mesuré	Préd.
Temps	min	00:00	04:32	70%	----	----	----	06:52	----
Charge	Watt	0	64	76%	36%	84	47%	178	88 178
<b>Réponse Globale</b>									
Met		0,9	3,0	83%	----	3,6	----	3,5	----
VO2	L/min	0,306	1,033	83%	42%	1,244	51%	2,452	1,221 2,452
VO2 sp	ml/kg	3	10	83%	42%	12	51%	25	12 25
VCO2	L/min	0,274	1,053	72%	----	1,454	----	1,466	----
Q.R.		0,90	1,02	87%	----	1,17	----	1,20	----
Eq O2		40,8	45,6	83%	----	54,6	----	56,9	----
Eq CO2		45,5	44,7	96%	----	46,7	----	47,4	----
SpO2	%	94	91	100%	----	91	----	90	----
<b>Réponse Vent.</b>									
V.E.	L/min	12,48	47,09	69%	62%	67,94	89%	76,45	69,50 76,45
Vt	L	0,694	1,781	84%	----	2,131	----	2,022	----
F.R.	#/min	18,00	26,52	83%	----	32,01	----	34,38	----
Rés Ven	%	84	38	345%	----	11	----	9	----
VE/VCO2		45,55	44,70	96%	----	46,74	----	47,39	----
CI	L	2,6	2,6	100%	----	2,6	----	2,6	----
<b>Réponse Card.</b>									
F.C.	#/min	70	96	93%	54%	103	58%	177	102 177
TA Sys.	mm Hg	164	136	94%	----	145	----	145	----
TA Dia.	mm Hg	71	71	101%	----	70	----	70	----
VO2/FC	ml/#/min	4,4	10,8	89%	78%	12,1	87%	13,9	11,9 13,9
<b>Hématose</b>									
pH		7,43	7,42	100%	----	7,41	----	7,41	----
PaO2	mm Hg	74,0	61,4	112%	----	55,0	----	55,0	----
PaCO2	mm Hg	34,0	33,3	101%	----	33,0	----	33,0	----
P(A-a)O2	mm Hg	40,2	58,0	84%	----	68,9	----	69,6	----
P(a-A)CO2	mm Hg	0,0	0,0	----	----	0,0	----	0,0	----



VO2 / Charge	[0% -> 100%]	<b>11,167</b>	ml/min / Watts
VO2 / Charge	[Manuel]	<b>8,930</b>	ml/min / Watts

# EFX (madame L)

- Critères de maximalité ?
- Epuisement clinique (Borg dyspnée à 7/10), épuisement de la RV, QR > 1.10, équivalents au pic > 45
- Limitation à l'effort ?
- Portez-vous le diagnostic de SHV ?

# Profil de montée de la PA systolique : un indicateur ?

## Préalable : une mesure rigoureuse

- disposer d'une mesure fiable de la pression artérielle (manuelle, Tango ? Dynamap ?? ...)  
*“Automated BP devices are widely available and many of them have been designed for use during exercise, but these devices are **expensive** and prone to measurement **error** due to the effects of (chest) motion at high exercise intensities, especially affecting diastolic BP... If such devices are used, their accuracy should be validated against manual cuff measurements before routine use during CPET; **extreme hyper- or hypotensive systolic BP readings should be immediately confirmed by manual auscultation or pulse palpation using the BP system (cuff and pressure readings) which is in place”***

Radtke ERR 2019

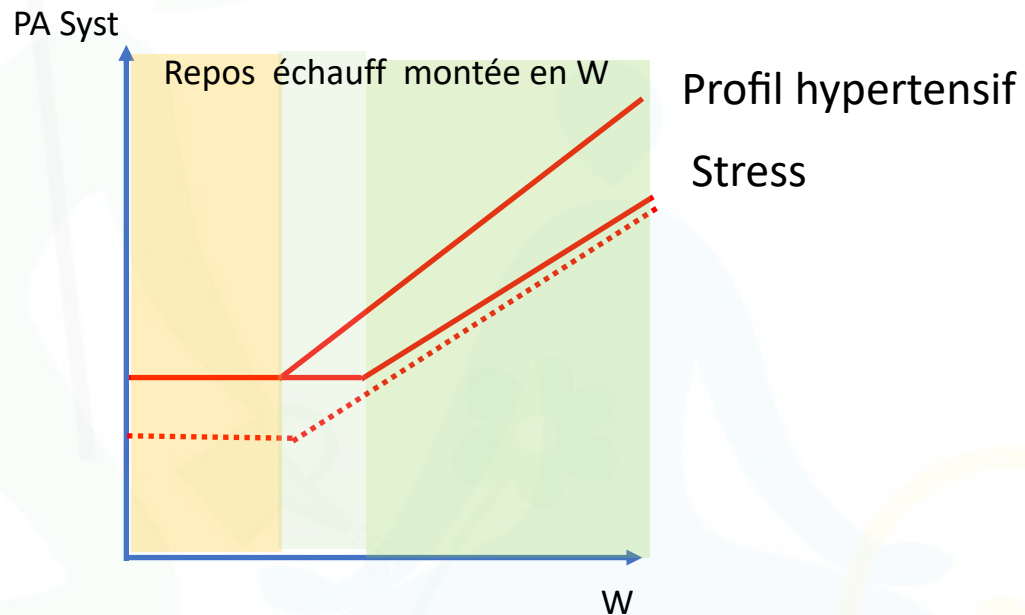
- Mesure à intervalle régulier : toutes les 2 minutes et au pic de l'effort
- Brassard bien positionné et adapté :  
obésité (si sous dimensionné : surestimation)  
maigreur (si surdimensionné : sous estimation)



# Profil de montée de la PA systolique : un indicateur ?

## PA de repos :

- un indicateur classique du contrôle tensionnel et éventuellement de révision du traitement antihypertenseur
- Si élevée : attention à la situation de stress  
si imputable au stress : plutôt sur la systolique et plateau en début d'exercice



# Profil de montée de la PA systolique : un indicateur ?

## Montée de la PA à analyser

en fonction de l'âge et de la montée en fréquence cardiaque

## Montée excessive

⇒ Arrêt prématuré de l'épreuve si PAS > 250 mm Hg PAD > 120 mm Hg

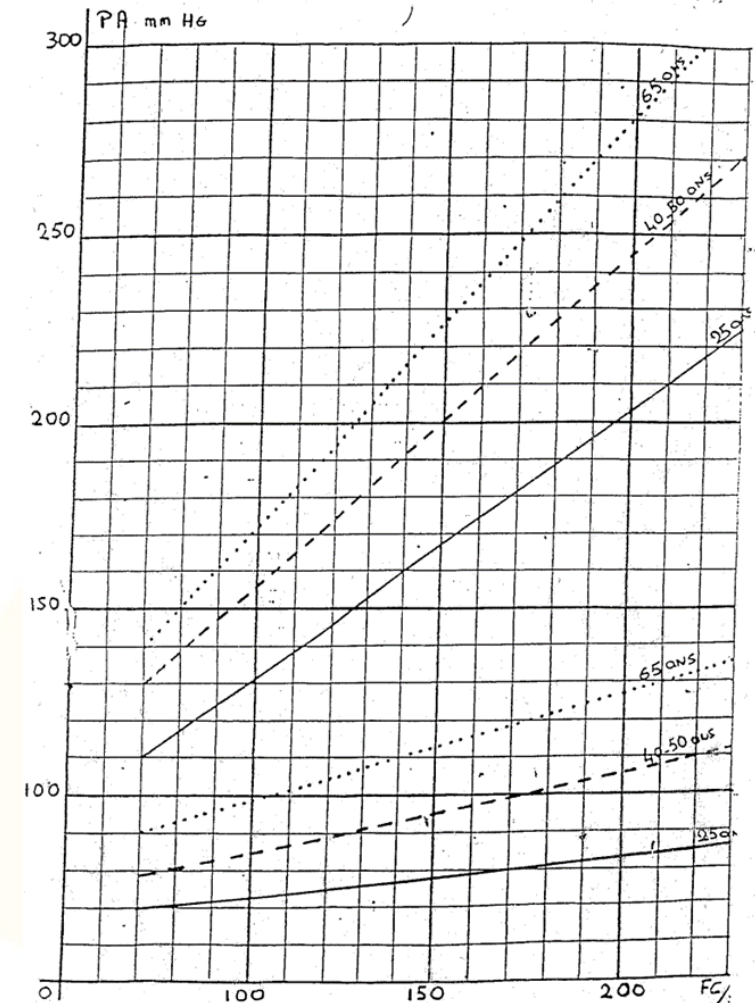
## Montée insuffisante : insuffisance hémodynamique

Comment la définir ?

Qu'en déduire ?

Baisse : si > 20 mm Hg durant l'épreuve

⇒ Arrêt prématuré de l'épreuve



# Profil de montée de la PA systolique : un indicateur ?

## Montée insuffisante de la PA systolique

- Quelle insuffisance retenir ?

≤ de 40 mmHg par rapport à la PA systolique attendue/âge et montée en FC ?

- Qu'en déduire ?

➤ Rechercher une atteinte organique ?

= un indicateur d'une insuffisance systolique ventriculaire gauche ?

Indication : échocardiographie, scanner coronaire ?

➤ Témoin d'un « désentraînement » cardiaque (origine fonctionnelle) ?

➤ Améliorable par le ré-entraînement à l'exercice ?

= insuffisance hémodynamique avec défaut de perfusion musculaire qui entraverait le ré-entraînement à l'exercice ?

# Homme âgé Ice restrictive Sur Pie Dgm D Mise en place RR

Homme 77 ans

Non fumeur, IMC 32 kg/m<sup>2</sup>

IRC restrictive sur paralysie diaphragm D 2014

Coronaropathie angioplastie CorD et HTA

S WPW ablation faisceau de Kent

SAS appareillé 2016

Diabète type 2

Coaprovel, Verapamil, Metformine, Paroxétine

Arrêt à 1,5 étages

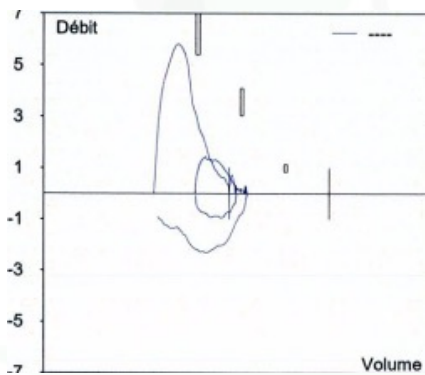
TVR CPT 65%ref

Tm6 420 m SpO2 stable 94-92%

Protocole		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
t	s				06:40	15:00				
Power	Watt			20	26	92			> 131	
Dyspnée	---			0	0	8				
Fatigue Musculaire	---			0	0	5				
Métabolique		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
VO2	mL/min		414	757	1106	1818	1712	106	> 1438	Normal
VO2/kg	mL/min/Kg		4,6	8,4	12,3	20,2	19,0	106	> 16,0	Normal
METS	---		1,6	2,4	3,5	5,8	5,4	106	> 4,6	Normal
QR	---		0,92	0,68	0,77	1,00	-	-	> 1,10	

Dyspnée

pic de VO<sub>2</sub> = 20,2 ml/min x kg 106% de la VO<sub>2</sub> max théorique



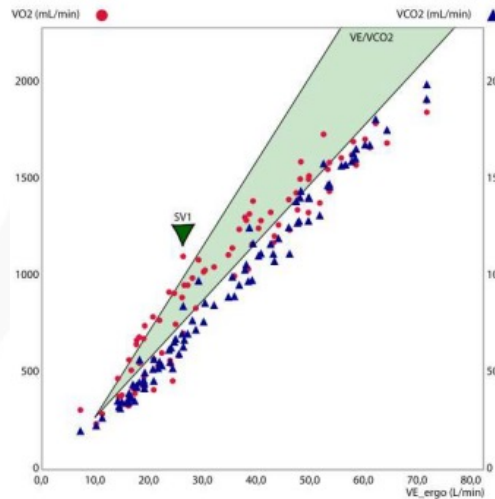
# Homme âgé Ice restrictive Sur Pie Dgm D Mise en place RR

Ventilatoire	Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
Pente VE/VCO2	---	<b>33,6</b>				28,6	117	< 33,5	<b>Elevé</b>
VE_ergo	L/min	17,8	20,6	26,4	71,8	-	-		
RR	%			57,7	<b>-15,0</b>	-	-	> 15,0	<b>Faible</b>
VC	L(btps)	0,866	0,694	1,301	1,622				
F.R	1/min	21	29,5	20,3	44,3				

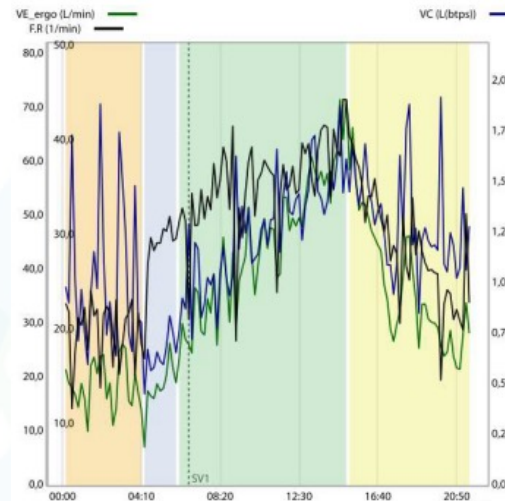
GdS		Palier #1	Palier #2	Palier #3	Palier #4	Palier #5
t	s	01:30	08:20 <sup>40W</sup>	10:40 <sup>58W</sup>	13:50 <sup>84W</sup>	15:10 <sup>10sec recup</sup>
PaCO2	mmHg	41	42	40	42	41
PaO2	mmHg	73	72	77	74	74
pH	---	7,44	7,44	7,45	7,42	7,40
SaO2	%	95	94	96	95	95
HCO3-	meq/L	27,6	27,8	27,5	26,2	25,1
La-	mmol/L	1,8	2,1	2,8	4,7	5,8
Hb	g/dL	14,7	-	-	-	-
VD/VT	---	0,40	0,35	0,36	0,34	0,33
P(a-et)CO2	mmHg	7	7	4	4	3
P(A-a)O2	mmHg	31	24	31	32	36

Limite ventilatoire nette (-15% x 35 ou 0% si x 40)

Peu d'inadaptations ventilatoires



+/- Hyperventilation  
 Pente  $V_E/VCO_2 = 34$   
 50L/min pour 75W

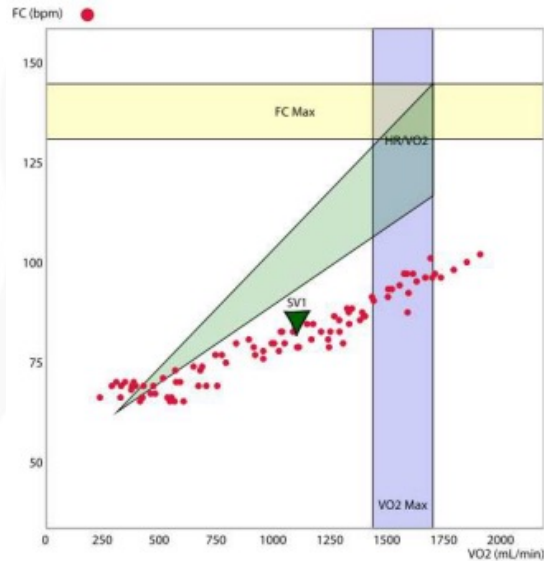


plateau  $V_T$  assez tardif ( $2,2 \times V_T$  repos)

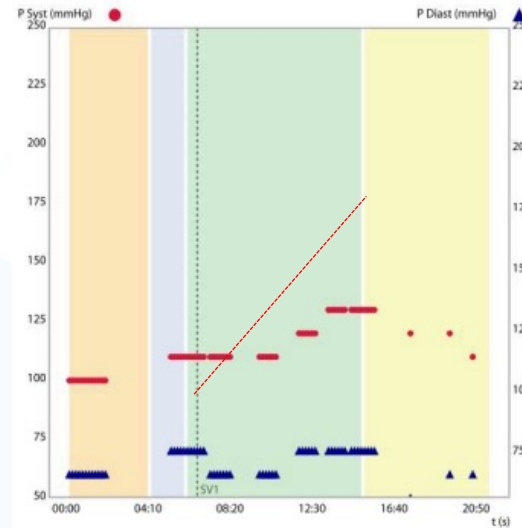
Pas de distension

# Homme âgé Ice restrictive Sur Pie Dgm D Mise en place RR

Cardiovasculaire		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
FC	bpm		67	73	77	101	145	70	> 130	Faible
RFC	bpm	24					-	-	< 15	Elevé
Pente VO2/Puiss.	mL/min/Watt	11,65					10,00	117	> 8,40	Normal
VO2/FC	mL/beat		7,4	10,3	14,4	18,0	11,8	153	> 9,4	Normal
P Syst	mmHg		100	110	110	130	-	-	< 210	Normal
P Diast	mmHg		60	70	70	70	-	-	< 90	Normal



Pouls max O<sub>2</sub> 153%ref  
mais  
RFC faible sous verapamil



Montée en PA faible  
même /montée faible en FC  
130 mm Hg au pic versus 170 mm Hg attendus

# Homme âgé Ice Restrictive Sur Pie Dgm D Mise en place RR

Arrêt du vérapamil et maintien du Coaprovel puis RR

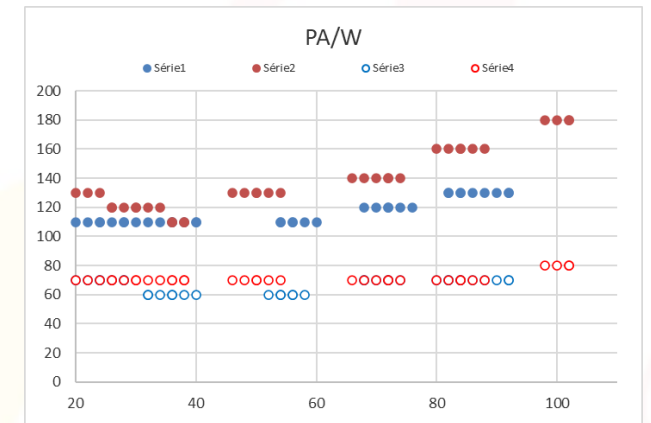
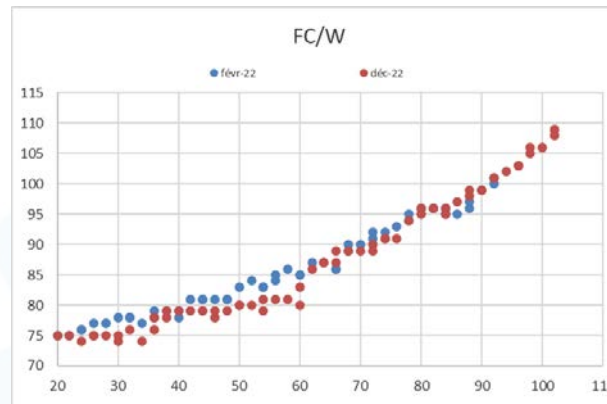
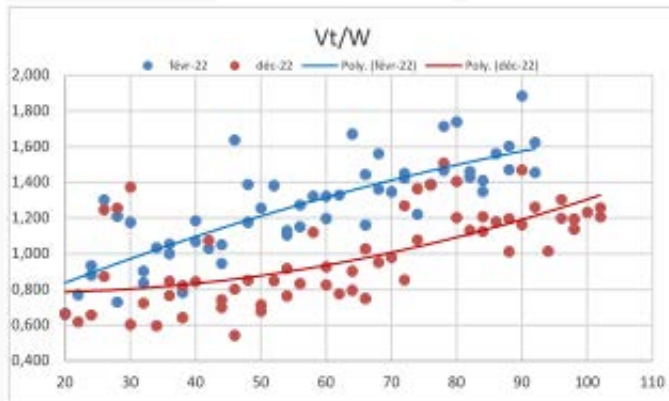
Pas de gain clinique mais en parallèle **accentuation du TVR** (-12% de CPT soit -500 mL)

TM6 altéré de 420 à 363 m

pic de  $VO_2$  de 20,2 à 17,8 mL/min x kg et  $W_{max}$  de 92 à 102 W

avec SV précoce à 38W et à 9,3 ml/min/kg (41%ref  $VO_2_{max}$ )

Limite ventilatoire toujours aussi nette avec moindre pic  $V_E$  et moindre pic  $V_T$  et amélioration de la réponse en FC et en PA



Mise sous VNI nocturne

Après RR (pas EFX) : légère diminution de la Dyspnée mais se sent beaucoup mieux (SGRQ tot de 49% à 32%)

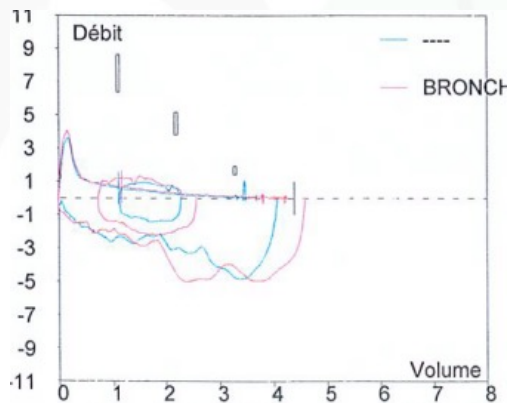
+12% CPT ( retour CPT initiale)

Tm6 de 363 m à 473 m (+30% + 110 m) Test de pédalage à W cste sable de 5 à 4 minutes et en 3 minutes de 43 à 50 levers de chaise

# Homme BPCO sévère avant mise en place RR

Homme 65 ans  
 Ex-fumeur, IMC 17 kg/m<sup>2</sup>  
 BPCO emphysème 4 RR 1996 à 2000  
 Résection nodule non K 2007  
 Pas d'ATCD cardiovasculaire  
 EchoG card normale

Arrêt à 2 étages  
 VEMS 35%  
 VR/CPT 127% DLCO 39%  
 Tm6 565 m SpO<sub>2</sub> stable 99-96%  
 Pimax 62%ref



Protocole	Mesure		Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
	t	s			06:30	12:00				
Puissance		Watt		20	23	<b>55</b>			> 199	
RPM		RPM		62	65	63				
Dyspnée		---			0	8				
Fatigue Musculaire		---			2	8				

Métabolique	Mesure		Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
VO <sub>2</sub>		mL/min	355	601	681	<b>1126</b>	1955	58	> 1642	<b>Faible</b>
VO <sub>2</sub> /kg		mL/min/Kg	6,3	9,3	10,5	<b>17,3</b>	30,1	58	> 25,3	<b>Faible</b>
VC0 <sub>2</sub>		mL/min	299	482	492	894				
METS		---	2,1	2,6	3,0	<b>5,0</b>	8,6	58	> 7,2	<b>Faible</b>
QR		---	0,83	0,80	0,72	<b>0,84</b>	-	-	> 1,10	

Dyspnée et MI  
 pic de VO<sub>2</sub> = 17,3 ml/min x kg 58% de la VO<sub>2</sub> max théorique



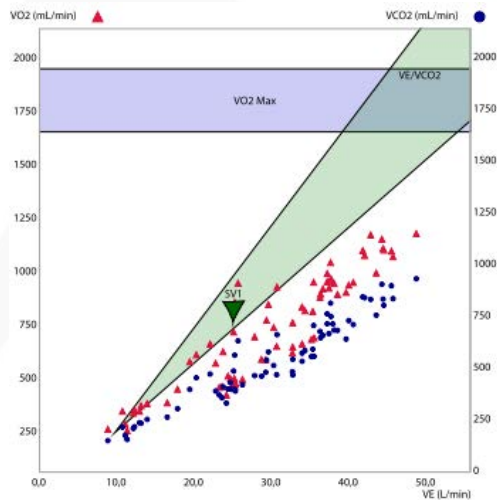
# Homme BPCO sévère avant mise en place RR

		Mesure	Repos	Échauffement	SVI	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
Ventilatoire	Pente VE/VCO2	---	<b>45,0</b>				26,6	169	< 31,5	<b>Elevé</b>
	VE/VCO2 interc.	L/min	5,4							
	OUES	ml/min/l/min	<b>1291</b>						> 2143	
	VE	L/min		18,2	30,6	25,2	45,6	-	-	
	Rés. Vent	%				41,2	<b>-30</b>	-	-	> 15,0 <b>Faible</b>
	VC	L(btps)		1,160	1,525	1,508	1,567			
	F Resp	1/min		16	20,1	16,7	29,1			

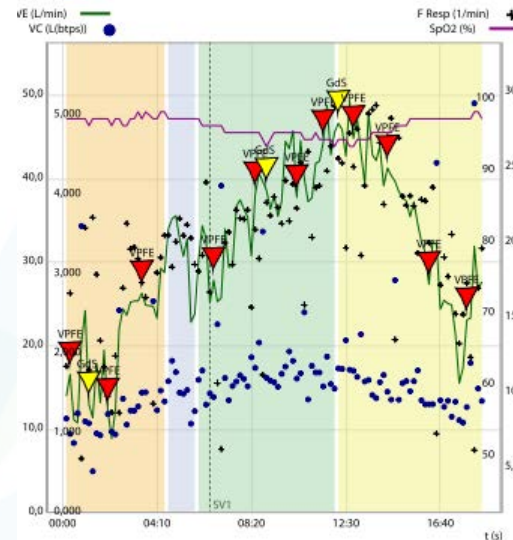
		Palier #1	Palier #2	Palier #3
t	s	01:10	09:00	12:10
PaCO2	mmHg	33	32 <sup>38W</sup>	36 <sup>10sec recup</sup>
PaO2	mmHg	90	81	72
pH	---	7,46	7,45	7,40
SaO2	%	98	97	94
HCO3-	meq/L	24,9	24,2	22,6
La-	mmol/L	1,0	2,2	3,8
Hb	g/dL	17,2	-	-
VD/VT	---	0,43	0,46	0,44
P(a-et)CO2	mmHg	5	6	7
P(A-a)O2	mmHg	17	26	32

Limite ventilatoire nette ( RV -30% x 35 ou -6% si x 40)

Inadaptations ventilatoires +++



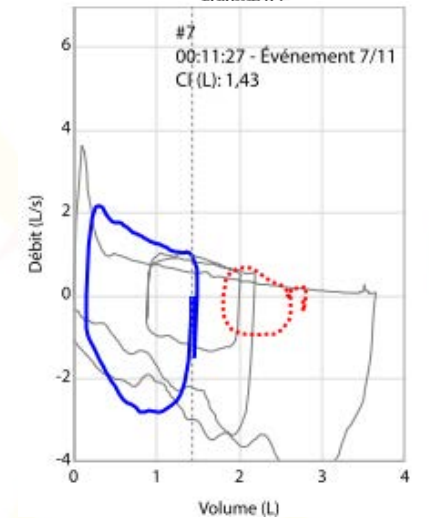
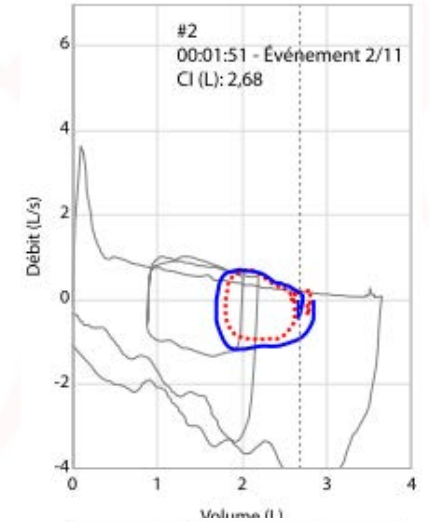
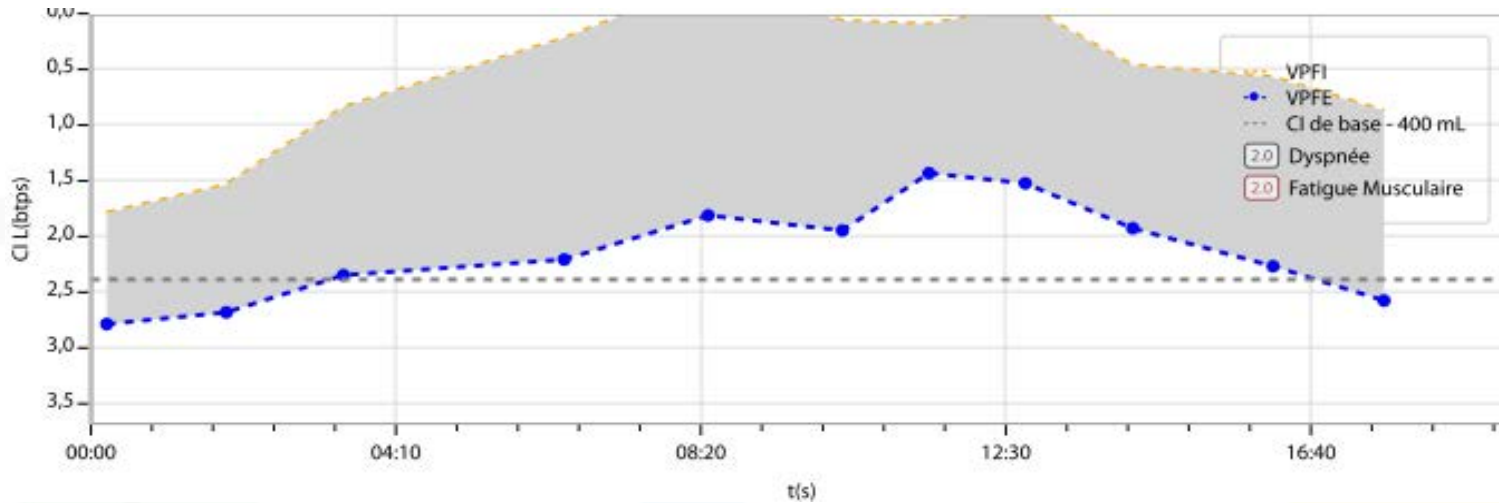
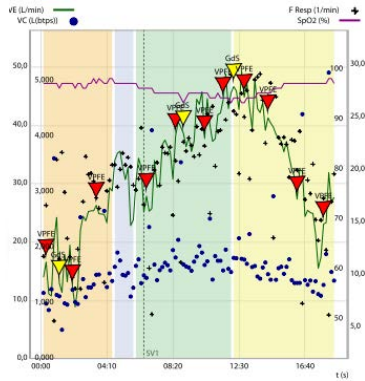
**Hyperventilation nette**  
 Pente  $V_E/V_{CO_2} = 45$   
 40L/min pour 50W



plateau  $V_T$  précoce  
 (1,7 x  $V_T$  repos)

# Homme BPCO sévère avant mise en place RR

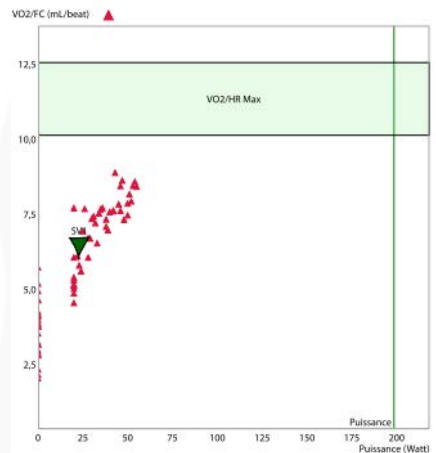
## Aggravation de la distension dynamique



		#1 (Basal)	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
t	s	00:13	01:51	03:27	06:28	08:26	10:16	11:27	12:46	14:14	16:09	17:40
Puissance	Watt	0	0	0	23	35	46	53	20	0	0	0
VRI	L	1,79	1,54	0,84	0,22	-0,29	0,06	0,10	-0,07	0,47	0,57	0,87
CI	L	2,79	2,68	2,35	2,21	1,81	1,95	1,43	1,52	1,93	2,27	2,58
VC	L(btps)	0,998	1,145	1,507	1,986	2,098	1,881	1,337	1,590	1,460	1,696	1,704
VRE	L	0,90	1,01	1,34	1,48	1,88	1,74	2,26	2,17	1,76	1,42	1,12

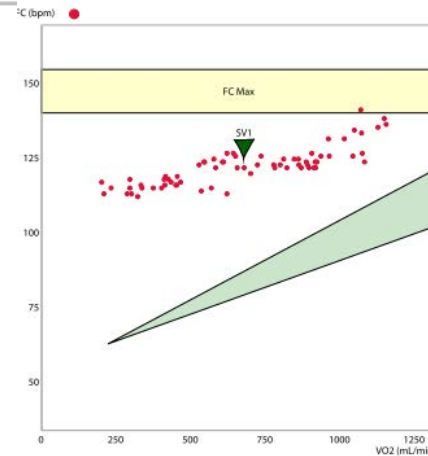
# Homme BPCO sévère avant mise en place RR

Cardiovasculaire		Mesure	Mesure							Normal	Niveau
			Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.			
FC	bpm		118	123	121	<b>141</b>	155	91	> 140	Normal	
Rés. FC	bpm	<b>30</b>					-	-	< 15	Normal	
FCR_1_minute	bpm	<b>2</b>					-	-	> 12	Faible	
Pente VO2/Puiss.	mL/min/Watt	<b>10,67</b>					10,00	107	> 8,40	Normal	
VO2/FC	mL/beat		4,0	4,9	5,6	<b>8,0</b>	12,6	63	> 10,1	Faible	
P Syst	mmHg		110	125	125	<b>160</b>	-	-	< 210	Normal	
P Diast	mmHg		60	90	90	<b>90</b>	-	-	< 90	Elevé	

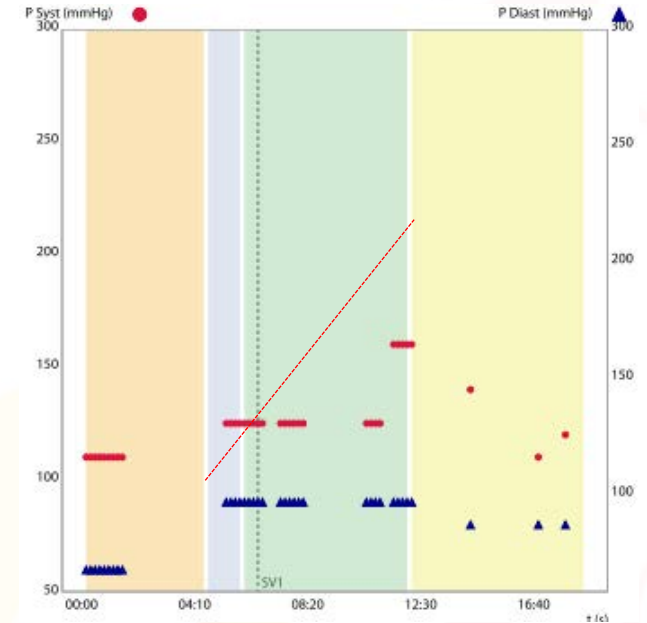


RFC un peu basse 30 bpm/MI partant d'une tachycardie (118 à 141 91%FMT)

Pouls max O2 abaissé 63%ref



Montée en PA faible  
160 mm Hg au pic versus 210 mm Hg attendus



Coroscaner : Score calcique coronarien élevé à 896 (88 ème percentile pour la classe d'âge et le sexe)  
Réseau coronarien droit dominant, athérome marqué avec sténose significative : examen classé CADRADS 4 P3  
IVA : Plaque calcifiée sténosante de l'IVA proximale et moyenne évaluée à 75 % en diamètre et longueur 6 mm  
Coronaire D : Plaque calcifiée sténosante au niveau de segment 1 évaluée à 50 % en diamètre et longueur 21 mm

# Profil de montée de la PA systolique

Vigilance si insuffisance hémodynamique conséquente (écart  $\geq 40$  mm Hg voire baisse)  
mais attention non spécificité

- Eliminer une organicité de cette insuffisance hémodynamique (échocardiographie, exploration coronarienne)

N.B. dissociation possible entre anomalies à l'angioscanner coronaire et coronarographie

- Témoin d'un « désentraînement » cardiaque ?  
améliorable par le ré-entraînement à l'exercice

ou

- cause de défaut de perfusion musculaire entravant le ré-entraînement à l'exercice  
surtout si se conjugue à une artériopathie des MI

# Détection d'une distension dynamique par des manœuvres répétées de capacité inspiratoire

## Méthodes :

- Réaliser avant l'EFX une courbe débit/volume en expiration et expiration forcée
- Bien expliquer la manœuvre au patient avant l'épreuve
- « gonfler rapidement par la bouche (masque) et à fond puis relâcher sans expirer à fond et reprendre rapidement une respiration adaptée »
- Faire 3 manœuvres reproductibles pendant la phase de repos puis toutes les 5 minutes pendant la phase d'exercice d'intensité progressive et éventuellement pendant la phase de récupération
- Veiller à exclure les cycles où CI au repos (sinon majeure  $V_T$ )

Détection d'une distension quand chute de la CI > 150 mL

# Homme âgé asthmatique avant mise en place RR

Homme 79 ans

Tabac 30 PA arret 2000, IMC 21 kg/m<sup>2</sup>

Asthme persistant

HTA, FA ablatée SAS non appareillé

Innovair 200/6 1bx 2/j Ventoline ald,

Vérapamil Losartan, Rosuvastatine, esoméprazole

Hosp. récente pour exacerbation sur grippe A

a eu 23j corticoïde oral en décroissance

ACT 15

Arrêt à 3 étages

TVO discret à modéré

Tm6 609 m

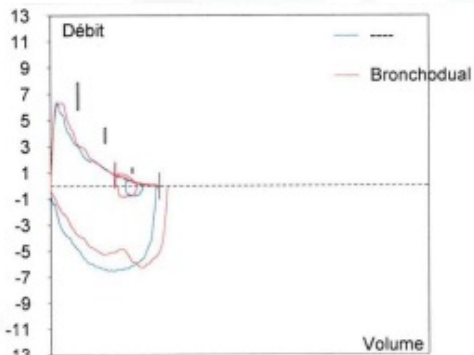
SpO<sub>2</sub> stable 98% pulsations 66 à 116 bpm

		Pré	% Préd.	Normal	Niveau					
Spirométrie	CVF	L	3,13	84						
	VEMS	L	1,98	71	> 1,78					
	VMV	L/min	79,3	74						
		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
Protocole	t	s			08:30	15:00				
	Puissance	Watt		20	45	<b>112</b>			> 162	
	RPM	RPM		61	58	64				
	Dyspnée	---			2	8				
	Fatigue Musculaire	---			0	5				
		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
Métabolique	VO <sub>2</sub>	mL/min	250	612	755	<b>1406</b>	1529	92	> 1284	Normal
	VO <sub>2</sub> /kg	mL/min/Kg	3,8	9,4	11,6	<b>21,6</b>	23,5	92	> 19,8	Normal
	VCO <sub>2</sub>	mL/min	202	466	623	1550				
	METS	---	1,3	2,7	3,3	<b>6,2</b>	6,7	92	> 5,6	Normal
	QR	---	0,81	0,76	0,82	<b>1,15</b>	-	-	> 1,10	Maximal

Dyspnée

pic de VO<sub>2</sub> = 22,3 ml/min x kg 105% de la VO<sub>2</sub> max théorique

SV (détection très fiable) survenue assez adaptée à 45W, 11,6 ml/min/kg (54%refVO<sub>2</sub>max)



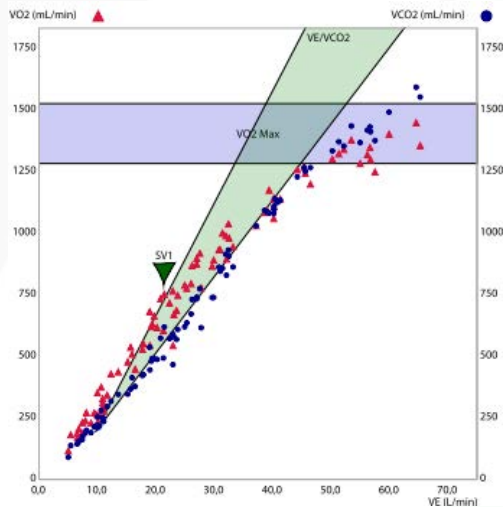
# Homme âgé asthmatique avant mise en place RR

		Mesure		Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
Ventilatoire	Pente VE/VCO2	---	<b>38,1</b>					28,2	135	< 33,1	<b>Elevé</b>
	VE/VCO2 interc.	L/min	-0,3								
	OUES	ml/min/l/min	<b>1585</b>							> 1717	
	VE	L/min		8,9	18,7	21,6	65,4	-	-		
	Rés. Vent	%				72,8	<b>6</b>	-	-	> 15,0	Normal
	VC	L(btps)		0,816	1,141	1,521	1,893				
	F Resp	1/min		12	16,6	14,2	34,5				

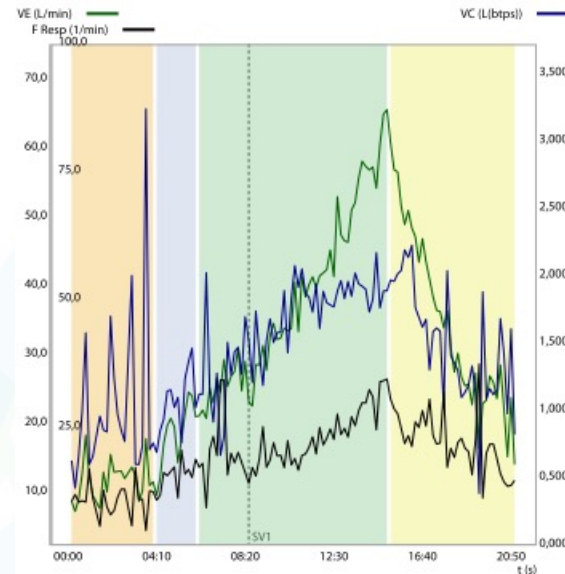
		Palier #1	Palier #2	Palier #3
t	s	02:10	09:50	15:10
PaCO2	mmHg	35	35	32
PaO2	mmHg	88	100	101
pH	---	7,41	7,40	7,33
SaO2	%	97	98	97
HCO3-	meq/L	22,7	22,0	21,5
La-	mmol/L	1,1	2,1	7,5
Hb	g/dL	14,8	-	-
VD/VT	---	0,36	0,25	0,26
P(a-et)CO2	mmHg	5	0	0
P(A-a)O2	mmHg	16	10	19

Limite ventilatoire ou tendance (RV 6% si x35 ou 17% si x 40)

Quelques inadaptations ventilatoires



Hyperventilation assez tardive

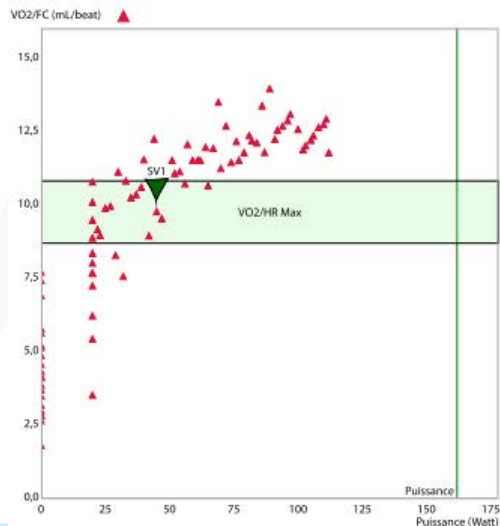


plateau  $V_T$  (2,5 fois  $V_T$  repos)  
Remontée en début de récupération

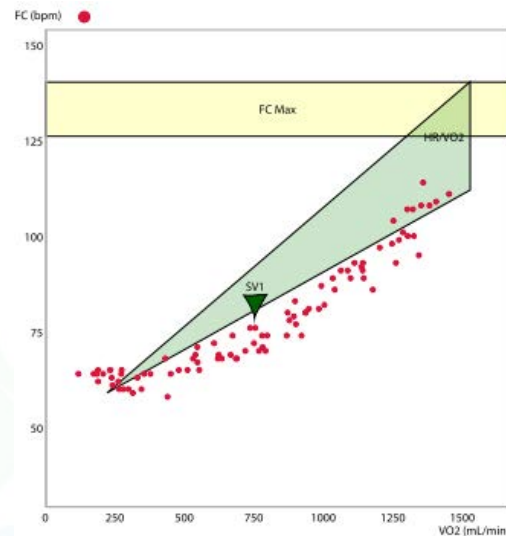
# Homme âgé asthmatique avant mise en place RR

	Mesure	Repos		Échauffement		SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau	HRR 44 bpm/mL
FC	bpm		64	70	77	<b>115</b>	141	82	> 127	<b>Faible</b>		
Rés. FC	bpm	<b>26</b>					-	-	< 15	<b>Elevé</b>		
FCR_1_minute	bpm	<b>18</b>					-	-	> 12	Normal		
Pente VO2/Puiss.	mL/min/Watt	<b>8,76</b>					10,00	88	> 8,40	Normal		
VO2/FC	mL/beat		4,6	8,7	9,8	<b>12,2</b>	10,8	113	> 8,7	Normal		
P Syst	mmHg		100	110	140	<b>190</b>	-	-	< 210	Normal		
P Diast	mmHg		75	80	80	<b>80</b>	-	-	< 90	Normal		

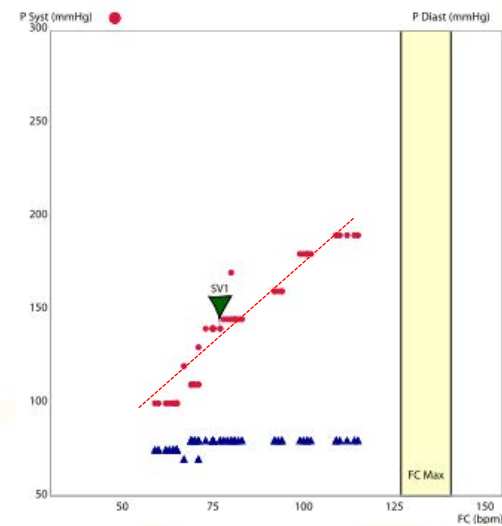
Pouls max O<sub>2</sub> 113%ref



RFC 44 bpm/L



Montée attendue en PA systolique

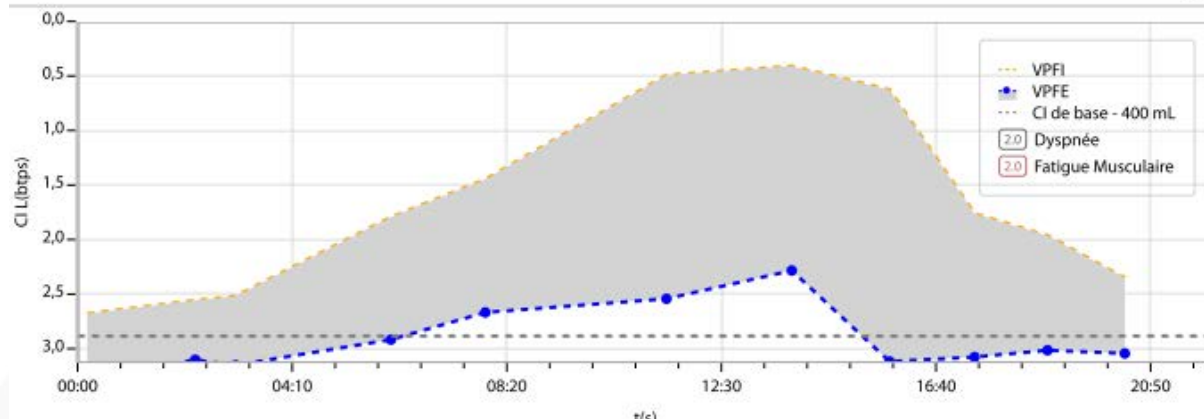
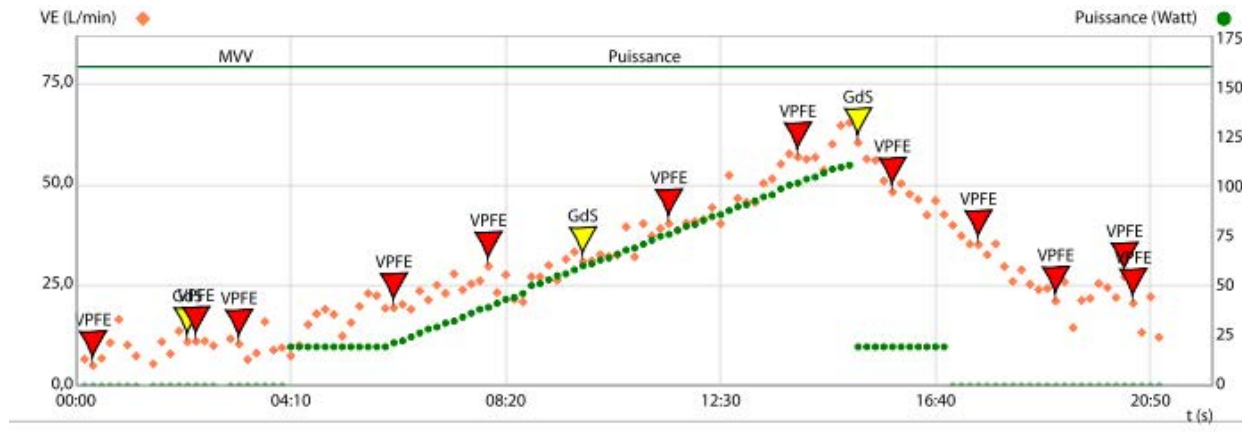


sous vérapamil et losartan

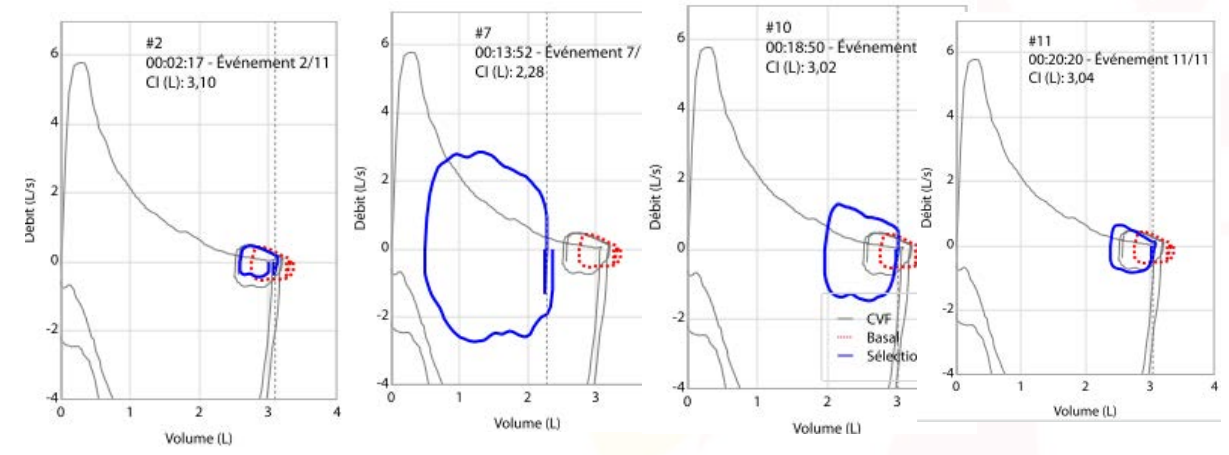
**RAS**



# Homme âgé asthmatique avant mise en place RR



t	s	00:11	02:17	03:04	06:05	07:55	11:26	13:52	15:46	17:25	18:50	20:20
Puissance	Watt	0	0	0	22	40	77	103	20	0	0	0
VRI	L	2,68	2,56	2,52	1,79	1,45	0,49	0,41	0,63	1,76	1,96	2,35
CI	L	3,28	3,10	3,15	2,92	2,67	2,54	2,28	3,12	3,08	3,02	3,04
VC	L (btps)	0,604	0,545	0,633	1,123	1,219	2,050	1,874	2,491	1,315	1,051	0,692
VRE	L	-0,15	0,03	-0,02	0,22	0,46	0,59	0,85	0,01	0,06	0,12	0,09



Survenue d'une distension dynamique à l'effort avec persistance modérée en début de récupération

Nécessité d'un échauffement (déjà ressenti)  
Renforcement du traitement de fond (dose de Cort inh) ?  
Observance ?

# Femme cyphoscoliose sévère avant mise en place RR

Femme 48 ans

Non fumeuse, IMC 19 kg/m<sup>2</sup>

IR restrictive sévère sur cyphoscoliose

Pas ATCD CV

Tt : VNI nocturne

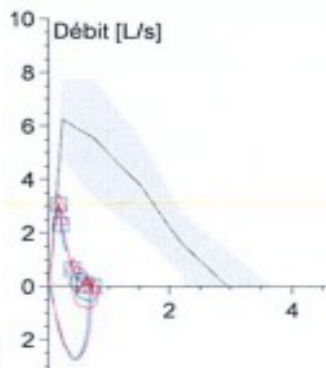
Décompensation 6 mois avant avec hospitalisation de 3 jours à Denver aux USA liée à Pneumopathie et tendance spastique traitée par corticoïde systémique et ABT

Infection COVID 19 en 2021

Arrêt à 3 étages

TVR sévère CPT 37%ref

Tm6 490 m SpO<sub>2</sub> 98 à 83% pulsations 113 à 131 bpm



		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
Protocole	t	s			06:30	11:20				
	Puissance	Watt		20	20	<b>35</b>			> 106	
	RPM	RPM		60	60	62				
	Dyspnée	---				8				
	Fatigue Musculaire	---				4				
		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
Métabolique	VO <sub>2</sub>	mL/min	374	415	660	<b>805</b>	1434	56	> 1205	Faible
	VO <sub>2</sub> /kg	mL/min/Kg	7,6	8,5	13,5	<b>16,4</b>	29,3	56	> 24,6	Faible
	VCO <sub>2</sub>	mL/min	352	389	578	894				
	METS	---	2,5	2,4	3,8	<b>4,7</b>	8,4	56	> 7,0	Faible
	QR	---	0,94	0,94	0,88	<b>1,14</b>	-	-	> 1,10	Maximal

pic de VO<sub>2</sub> = 16,4 ml/min x kg 105% de la VO<sub>2</sub> max théorique  
 SV (détection assez fiable) survenue précoce à 20W, 13,5 ml/min/kg  
 (44%refVO<sub>2</sub>max)

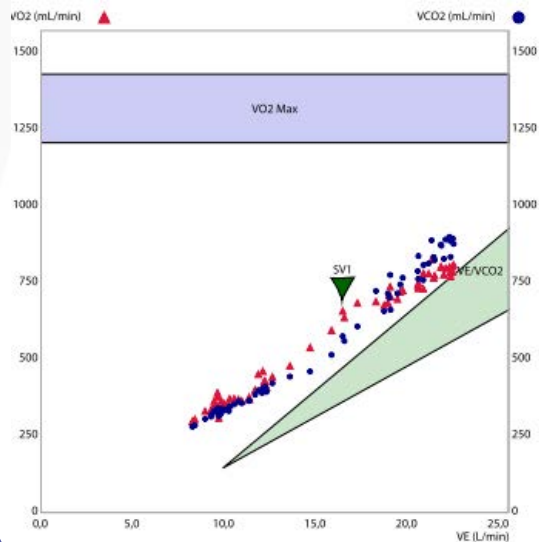
# Femme cyphoscoliose sévère avant mise en place RR

Ventilatoire			Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau
	Pente VE/VCO2	---	<b>18,0</b>						26,8	67	< 31,7
VE/VCO2 interc.	L/min	6,4									
OUES	ml/min/l/min	<b>1235</b>								> 1668	
VE	L/min		10,5	11,9	16,5	22,5	-	-			
Rés. Vent	%				32,0	<b>-6</b>	-	-		> 15,0	<b>Faible</b>
VC	L(btps)		0,353	0,336	0,420	0,470					
F Resp	1/min		30	35,5	39,3	47,9					

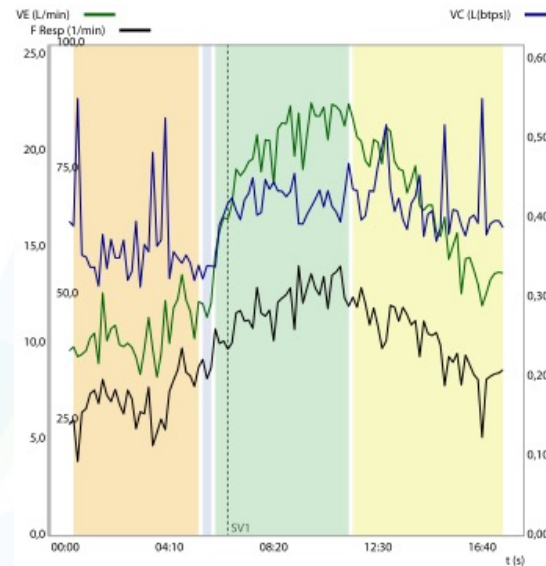
Gds			Palier #1	Palier #2	Palier #3
	t	s	02:00	08:50	11:30
PaCO2	mmHg	45	54	58	
PaO2	mmHg	80	62	58	
pH	---	7,40	7,32	7,29	
SaO2	%	96	90	86	
HCO3-	meq/L	26,7	24,7	23,7	
La-	mmol/L	0,6	3,0	4,9	
Hb	g/dL	14,8	-	-	
VD/VT	---	0,16	0,20	0,20	
P(a-et)CO2	mmHg	9	11	12	
P(A-a)O2	mmHg	19	33	34	

Limite ventilatoire ou tendance (RV -6% si x35 ou 7% si x 40)

Quelques inadaptations ventilatoires



Hyperventilation  
Pente faible

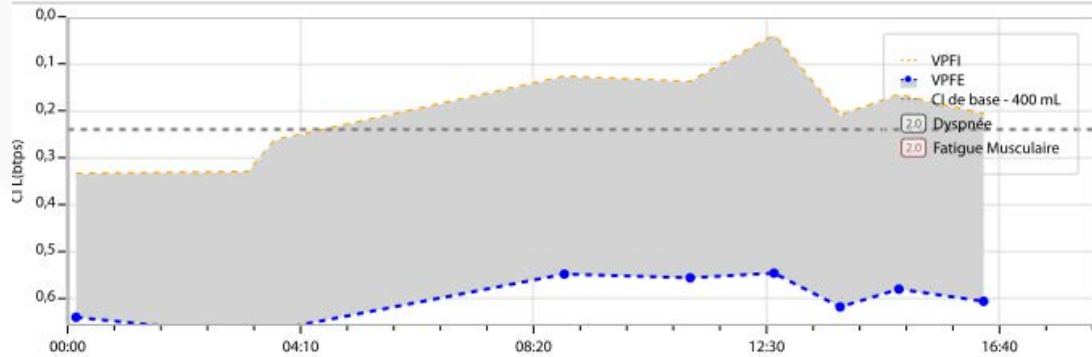


Majoration de la tachypnée présente dès le repos

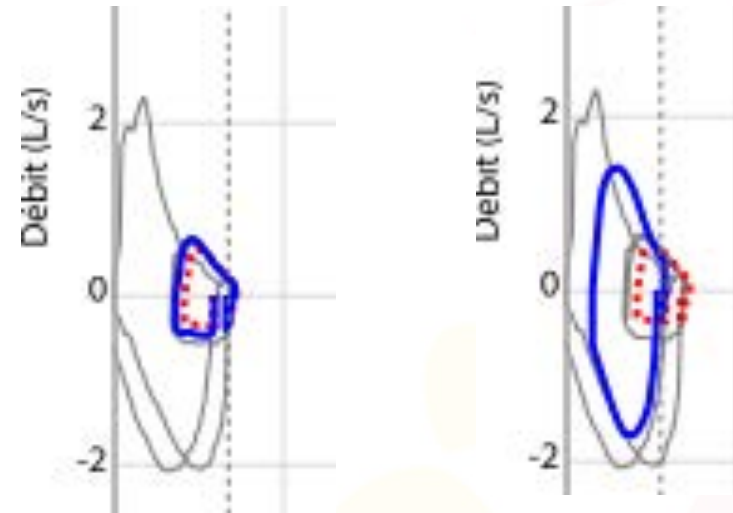
Plateau de  $V_T$  précoce (1,3 fois  $V_T$  repos)

Remontée en début de récupération

# Femme cyphoscoliose sévère avant mise en place RR



		t(s)								
		#1 (Basal)	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9
t	s	00:09	03:14	03:42	08:53	11:08	12:38	13:49	14:52	16:23
Puissance	Watt	-	0	0	23	34	20	0	0	0
VRI	L	0,34	0,33	0,26	0,13	0,14	0,04	0,21	0,17	0,21
CI	L	0,64	0,68	0,67	0,55	0,56	0,55	0,62	0,58	0,61
VC	L(btps)	0,305	0,346	0,403	0,420	0,417	0,506	0,407	0,413	0,398
VRE	L	0,02	-0,02	-0,01	0,11	0,10	0,11	0,04	0,08	0,05



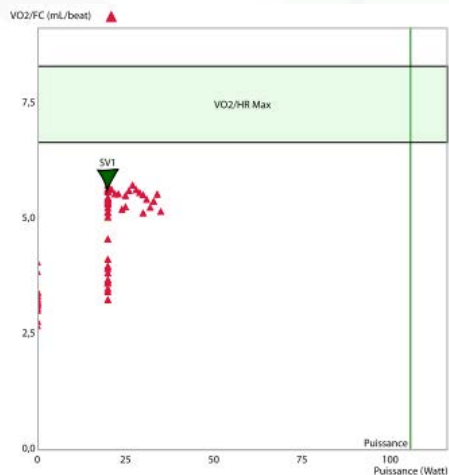
Survenue d'une distension dynamique à l'effort précoce et modérée  
Persistante en début de récupération

Arguments fonctionnels et cliniques pour une hyperréactivité bronchique à l'exercice

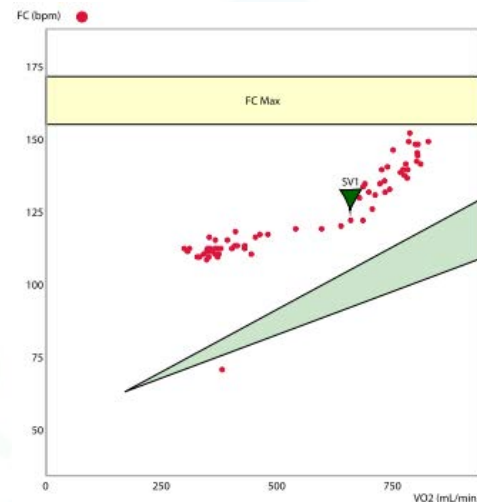
# Femme cyphoscoliose sévère avant mise en place RR

		Mesure	Repos	Échauffement	SV1	Max	Préd.	% Préd.	Normal	Niveau	
Cardiovasculaire	FC	bpm	113	112	121	<b>152</b>	172	88	> 155	Faible	HRR <b>90</b> bpm/mL
	Rés. FC	bpm					-	-	< 15	Elevé	
	FCR_1_minute	bpm	<b>7</b>				-	-	> 12	Faible	
	Pente VO2/Puiss.	mL/min/Watt	<b>8,90</b>				10,00	89	> 8,40	Normal	
	VO2/FC	mL/beat		3,7	3,7	5,5	<b>5,3</b>	8,3	> 6,7	Faible	
	P Syst	mmHg		130	130	135	<b>170</b>	-	< 190	Normal	
	P Diast	mmHg		80	80	80	<b>100</b>	-	< 90	Elevé	

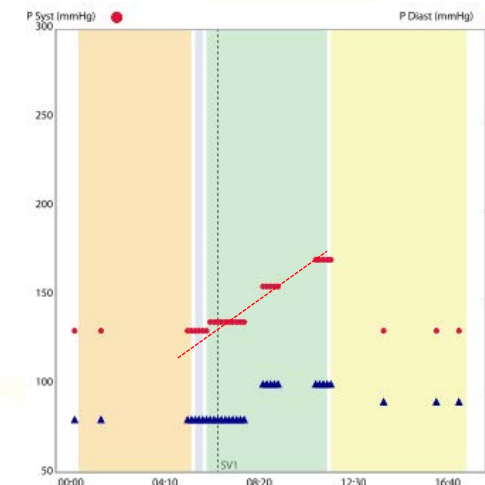
Pouls max O<sub>2</sub> 64%ref  
avec plateau très précoce



RFC très élevée 90 bpm/L  
partant tachycardie, 2 pentes



Montée assez faible en PA systolique  
170mmg vs 200 mmHg attendus



# Femme cyphoscoliose sévère avant mise en place RR

En pratique :

Instaurer un test thérapeutique : mis sous association inhalée de corticoïdes et bêta2-mimétique

Mise en place de la RR

Modalités : sous air ambiant

FC cible à 125/min soit vers 20W voire en fractionné initialement avec progression de la puissance et durée

Refaire en post-RR une EFX

⇒ part fonctionnelle et part organique ?



# Apport de l'EFX

## Apport diagnostique ?

⇒ Argument fonctionnel vers un diagnostic et/ou un mécanisme d'intolérance à l'exercice, de dyspnée  
Dans un contexte clinique et/ou de pathologie déjà connue

Garder en tête que la conclusion fonctionnelle de l'EFX doit si possible aboutir vers une possible prise en soin ou adaptation thérapeutique

## Avant mise en place d'une RR

- Aide à adapter le ré-entraînement : modalités (O2, FC cible)
- Aide à optimiser le ré-entraînement : adapter ou instaurer un traitement cardiovasculaire

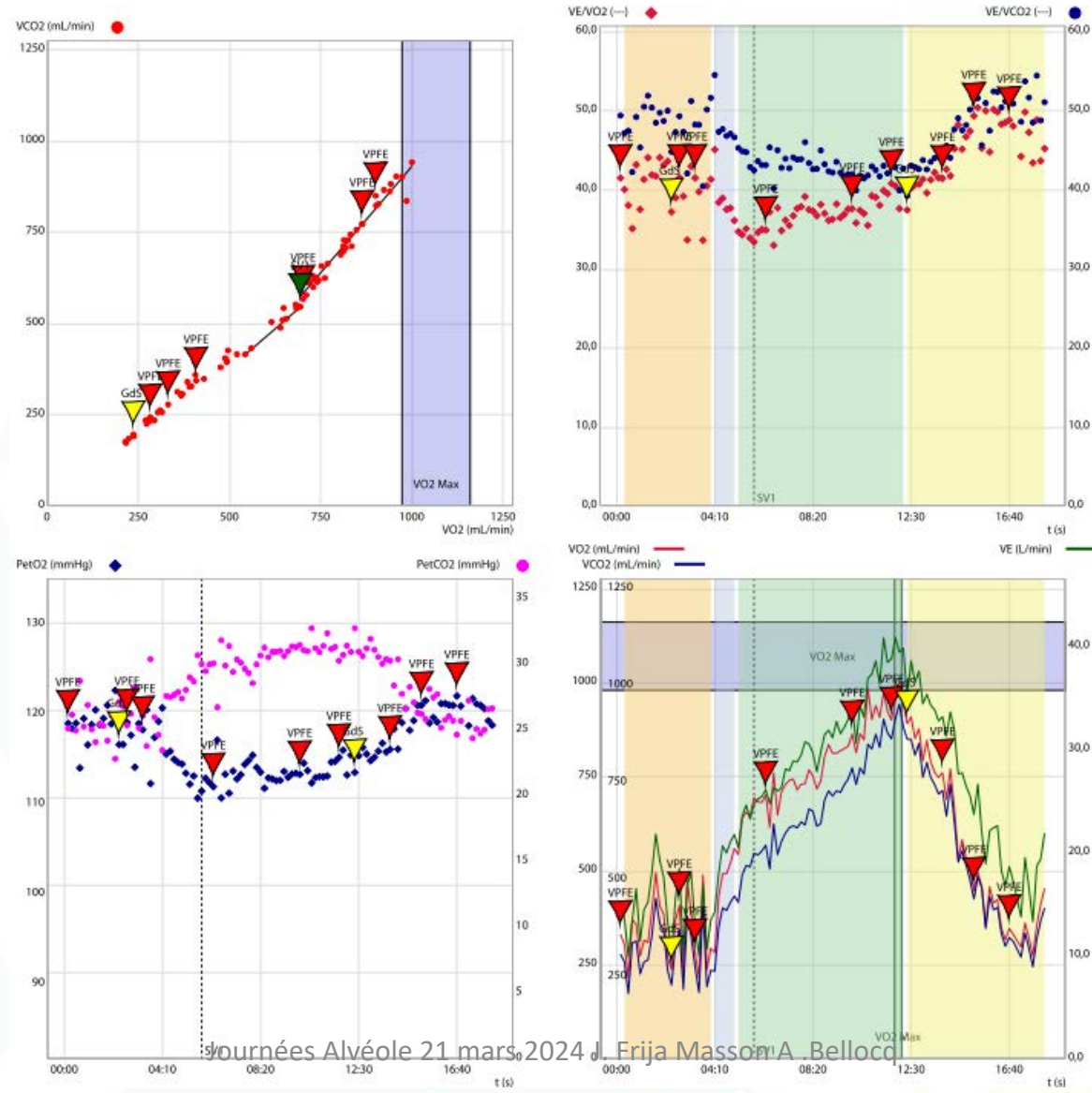


Merci de votre attention





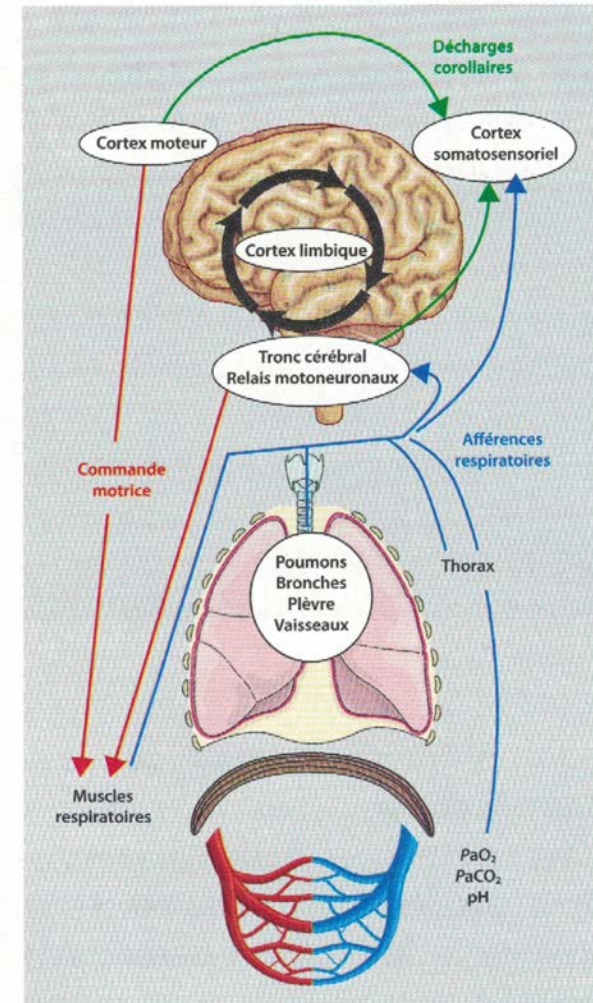
# Addendum : Détection SV



Journées Alvéole 21 mars 2024 J. Frija Masson A. Bellocq

# Demande ventilatoire

- Déterminants de la réponse ventilatoire
  - PaCO<sub>2</sub> et point de consigne
  - Production de CO<sub>2</sub>
  - Espace mort physiologique (VD/VT)
- $VE = [863 \times VCO_2] / [PaCO_2(1 - VD/VT)]$
- Pente VE/VCO<sub>2</sub>
  - Pente chez le sujet sain : 23-25 l/min
  - Intercept 4-5 l/min
  - Quelles données pour le calculer ?



# Hyperventilation

- Hyperventilation excessive
  - Réponse ventilatoire trop augmentée par rapport à la puissance mécanique développée
  - $VE/VO_2 > 45$  ?
- Hyperventilation disproportionnée
  - HV dont l'ampleur est au-delà de ce qui est attendu
  - $QR_{max} > 1,20$  et/ou  $VE/VO_{2SV} > 40$  et/ou  $VE/VO_{2max} > 50$
- Hyperventilation primaire vs secondaire (Palange 2007)

# Syndrome d'hyperventilation - définition

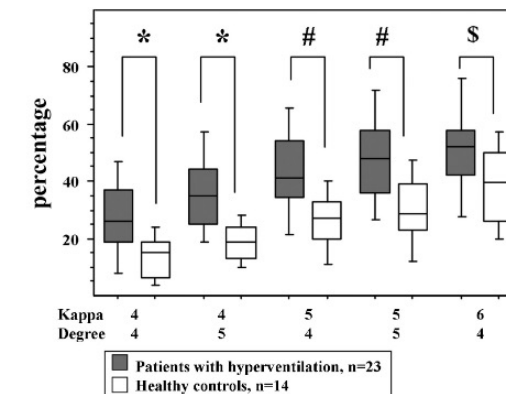
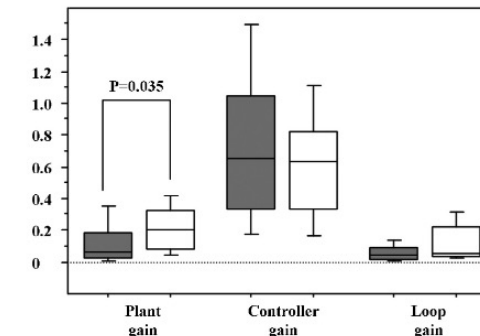
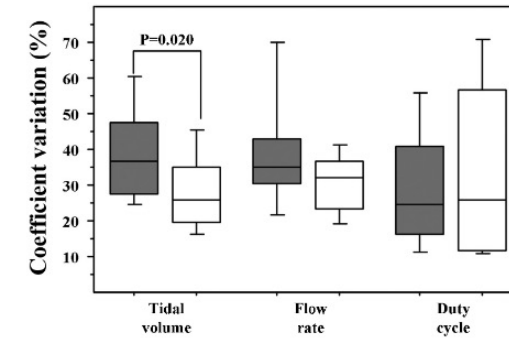
- Trouble fonctionnel respiratoire - « dysfunctional breathing »
  - Altération de la biomécanique ventilatoire qui induit des symptômes intermittents ou chroniques respiratoires et/ou non respiratoires
  - Avec ou sans hyperventilation
  - Critères diagnostiques ?

# Dysfunctional breathing

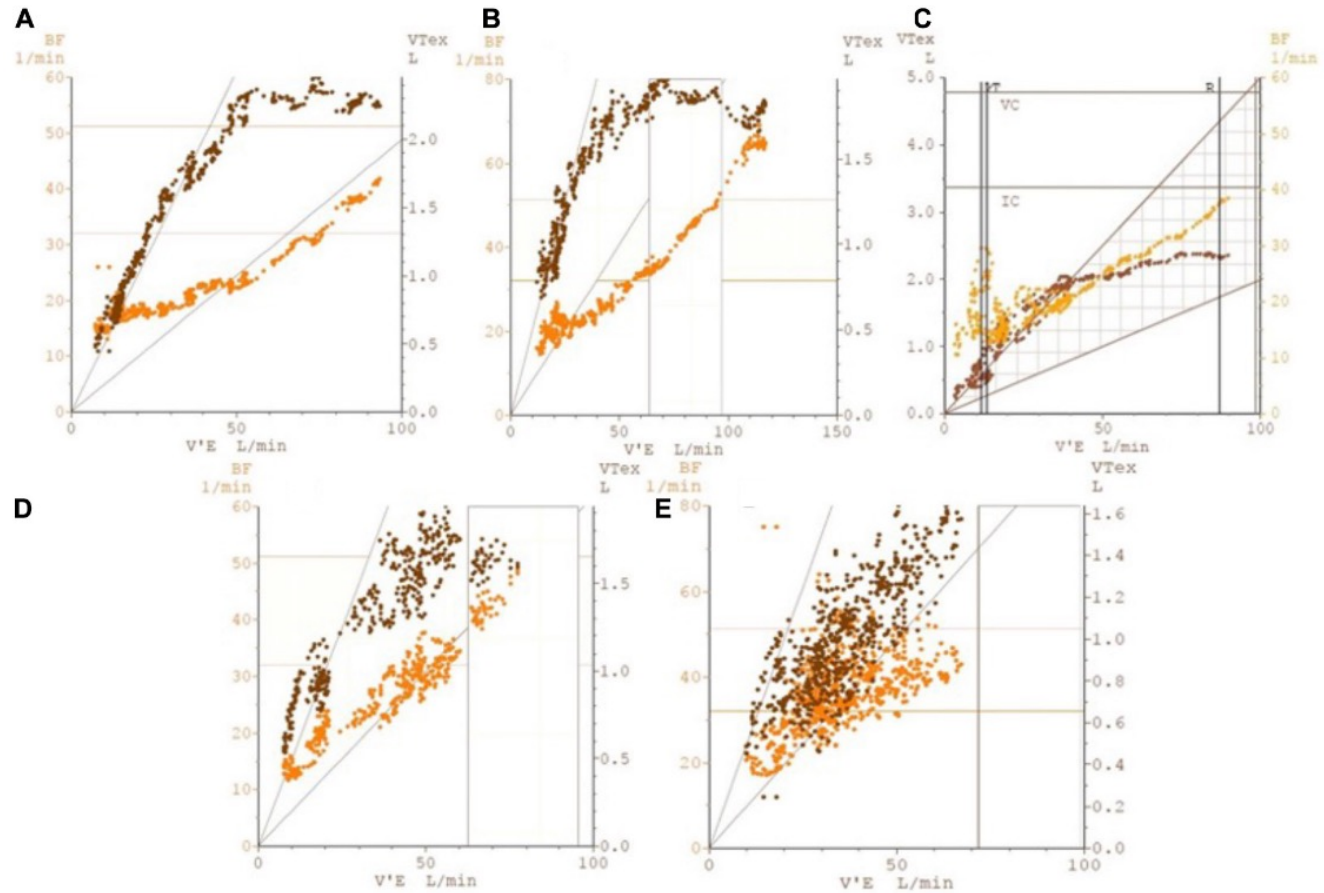
- Syndrome d'hyperventilation
- Soupirs périodiques
- Respiration thoracique dominante
- Expiration abdominale forcée
- Asynchronisme thoraco-abdominal

# Physiopathologie

- Bokov 2016 : N=23 sujets avec SHV, 14 contrôles
  - Complexité et variabilité respiratoire augmentées
  - Diminution du plant gain
  - Hypocapnie submissive ?
- Jack 2004
  - Hyperventilation de repos (hypocapnie et alcalose)
  - Hyperventilation d'exercice malgré réponse normale à l'hypercapnie hyperoxique
  - Réponse à l'hypoxie isocapnique basse
- Régression pendant le sommeil



# Comportement ventilatoire variable



Ionescu 2021

# SHV et qualité de vie

- Corrélations (Chenivesse 2014, n=21)
  - “Vitality” et “Physical Functioning” avec la FR au pic CPET ( $r = -0.644, p = 0.019$ ).
  - Fonctionnement social corrélé avec seuil ventilatoire ( $r = 0.629, p = 0.034$ ),  $V'E/V'CO_{2pic}$  ( $r = 0.650, p = 0.016$ ) and  $PaCO_{2pic}$  ( $r = -0.664, p = 0.027$ ).



# Grande diversité de symptômes

- Affectant habituellement plusieurs systèmes
- Induits par une HV physiologiquement inappropriée
- Reproduits totalement/partiellement par une HV volontaire

# Prévalence

- 6 - 10% des consultations médecine générale
- Prédominance féminine 1/1 à 1/6
- Entre 20 et 30 ans mais aussi l'enfant et le sujet âgé
- 20 à 40% dans l'asthme

# Diagnostic : dyspnée inexpliquée

- Diagnostic d'élimination ?
- Examen clinique normal
- Peut se présenter sous 3 formes , +/- associées :
  - Hyper ventilation aigue
  - Hyper ventilation chronique
  - Hyper ventilation à l'Exercice

# Diagnostic : symptômes d'hyperventilation

## Questionnaire de Nijmegen

Positif si score > 23/64

Sensibilité = 91%

Spécificité = 95%

VPP = 94%

VPN = 92%

QUESTIONNAIRE DE NIJMEGÉN					
NOM :	PRENOM :	DATE : __/__/__			
	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Très souvent
	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3	Score 4
Tension nerveuse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Incapacité à respirer profondément	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Respiration accélérée ou ralentie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Respiration courte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Palpitations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Froidur des extrémités	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vertiges	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anxiété	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poitrine serrée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Douleur thoracique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flou visuel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fourmillements dans les doigts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ankylose des bras et des doigts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sensation de confusion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ballonnement abdominal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fourmillements péri-buccaux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SOUS-TOTAL	--	--	--	--	--
<b>SCORE TOTAL : __ / 64</b>					

# EFX dans le diagnostic de SHV

- Pas de cut-off admis
- SHV avec hyperventilation de repos (Kinnula 1993)
  - Equivalent CO<sub>2</sub> suit une courbe normale en EFX mais plus élevé à la base
  - Pas forcément d'alcalose de repos
  - Corrélation négative EqCO<sub>2</sub> et PaCO<sub>2</sub> (r=0,77)
- Brat 2019
  - EqCO<sub>2</sub> plus élevé et PETCO<sub>2</sub> plus basse au repos et à l'effort

Table 4. Decision statistics for the change of V<sub>E</sub>/VCO<sub>2</sub> and P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> cut-off values and HVS.

V <sub>E</sub> /VCO <sub>2</sub> ratio						
Δ (peak-rest)	sensitivity	specificity	+LR	-LR	PPV	NPV
+5	31 (15-51)	97 (82-100)	9 (1.2-67)	0.7 (0.6-0.9)	90 (55-99)	58 (52-64)
0	52 (33-71)	83 (64-94)	3 (1.3-7.2)	0.6 (0.4-0.9)	75 (56-88)	63 (53-72)
-5	83 (64-94)	59 (39-76)	2 (1.3-3.2)	0.3 (0.1-0.7)	67 (56-76)	77 (59-89)
-10	97 (82-100)	34 (18-54)	1.5 (1.1-1.9)	0.1 (0.01-0.73)	60 (53-66)	91 (58-99)
P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> (mmHg)						
Δ (peak-rest)	sensitivity	specificity	+LR	-LR	PPV	NPV
-5	21 (8-40)	100 (88-100)	-	0.8 (0.7-1)	100	56 (51-60)
0	55 (36-74)	93 (77-99)	8 (2-31)	0.5 (0.3-0.7)	89 (67-97)	68 (58-76)
+5	83 (64-94)	62 (42-79)	2.2 (1.3-3.6)	0.3 (0.1-0.7)	69 (57-78)	78 (61-89)
+10	93 (77-99)	14 (4-32)	1.1 (0.9-1.3)	0.5 (0.1-2.5)	52 (48-56)	67 (28-91)

