

Édition
2024

LA SPIROMÉTRIE : GUIDE PRATIQUE

Ines Ghannouchi¹⁻³ (MD, PhD)
Fatma Guezguez¹⁻³ (MD)
Amani Sayhi¹⁻³ (MD)

Sonia Rouatbi¹⁻³ (MD, PhD)
Helmi Ben Saad¹⁻³ (MD, PhD)

1. Service de Physiologie et explorations fonctionnelles, EPS Farhat Hached, Sousse, Tunisie.
2. Laboratoire de Physiologie, Faculté de Médecine de Sousse, Tunisie.
3. Laboratoire de recherche "Insuffisance Cardiaque", LR12SP09, EPS Farhat Hached Sousse, Tunisie.



Association Tunisienne
de Physiologie Clinique (ATPC)

avec le soutien du
groupe Chiesi



SOMMAIRE

	Page
INTÉRÊTS	4
PRINCIPES DE MESURE	5
PARAMÈTRES MESURÉS/CALCULÉS	7
CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ D'UNE COURBE DÉBIT/VOLUME	9
BASES D'INTERPRÉTATION	11
DÉFICITS VENTILATOIRES OBSTRUCTIFS EXTRATHORACIQUES	16
ALGORITHME D'INTERPRÉTATION DES DONNÉES SPIROMÉTRIQUES	18
SPIROMÉTRIE NORMALE	19
DÉFICIT VENTILATOIRE OBSTRUCTIF INTRATHORACIQUE PROXIMAL	20
CAS PARTICULIER 1: CROISSANCE DYSANAPTIQUE	22
CAS PARTICULIER 2: PRESERVED RATIO IMPAIRED SPIROMETRY	23
SIGNES SPIROMÉTRIQUES INDIRECTS D'UN DÉFICIT VENTILATOIRE RESTRICTIF OU D'UN DÉFICIT VENTILATOIRE NON SPÉCIFIQUE	24
CAS PARTICULIER: DÉFICIT VENTILATOIRE OBSTRUCTIF AVEC CVF BASSE	26
TEST DE BRONCHODILATATION	27
BRONCHO-PNEUMOPATHIE CHRONIQUE OBSTRUCTIVE	29
EVALUATION DU CHANGEMENT DES PARAMÈTRES FONCTIONNELS RESPIRATOIRES AU FIL DU TEMPS	32
SYNTHÈSE D'INTERPRÉTATION D'UNE SPIROMÉTRIE	35
LISTE DES ABRÉVIATIONS	36
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37

INTÉRÊTS

DIAGNOSTIC

- Évaluer la fonction respiratoire en présence de symptômes, de signes physiques ou d'anomalies biologiques (gazométriques en particulier)
- Mesurer l'effet d'une pathologie sur la fonction respiratoire
- Dépister les individus exposés à un risque de pathologie respiratoire
- Évaluer le risque préopératoire
- Évaluer le pronostic d'une maladie
- Évaluer l'état de santé avant le début d'une activité physique, professionnelle ou de loisir

SURVEILLANCE

- Évaluer l'effet d'une intervention thérapeutique
- Décrire l'évolution d'une maladie touchant la fonction respiratoire
- Surveiller les personnes exposées à des agents nocifs pour la santé respiratoire
- Rechercher des réactions indésirables à des médicaments ayant une toxicité pulmonaire connue

ÉVALUATION D'UNE INVALIDITÉ

- Dans le cadre d'un programme de réhabilitation cardiorespiratoire
- Dans la perspective d'une assurance
- Dans un contexte médico-légal

SANTÉ PUBLIQUE

- Enquêtes épidémiologiques
- Dérivation des formules de référence (équations de référence ou normes)
- Recherche clinique



PRINCIPES DE MESURE

Le succès de la spirométrie dépend de nombreux facteurs:

1. Préparation convenable du spiromètre

- Calibration du spiromètre par une seringue de volume connu (3 L par exemple).
- Les nouveaux spiromètres sont dotés de capteurs intégrés de mesure des conditions ambiantes **ATPS** (conditions physiques d'un gaz qui se trouve à la Température Ambiante, à la Pression ambiante (pression atmosphérique) en temps réel. La conversion des conditions **ATPS** en conditions **BTPS** (**B**: body, **T**: température, **P**: pression, **S**: saturé en vapeur d'eau) se fait automatiquement au niveau du spiromètre. **Les débits bronchiques et les volumes pulmonaires sont toujours exprimés en BTPS.**

2. Préparation du sujet

- Position assise
- Dos droit
- Menton légèrement élevé
- Cou légèrement en extension

3. Explication et démonstration des manoeuvres respiratoires

Commencer les manoeuvres après la mise du pince nez et de l'embout buccal.

4. Exécution convenable et surveillance soigneuse des manoeuvres respiratoires

Respiration normale (3-5 respirations courantes) suivie d'une inspiration maximale puis d'une expiration forcée et prolongée: **manoeuvre de la capacité vitale forcée (Fig.1a)**

5. Autre variante de la manoeuvre (capacité vitale inversée ou inspiratoire ou lente)

Expiration lente suivie d'une inspiration maximale puis d'une expiration forcée et prolongée (**Fig.1b**).

PRINCIPES DE MESURE

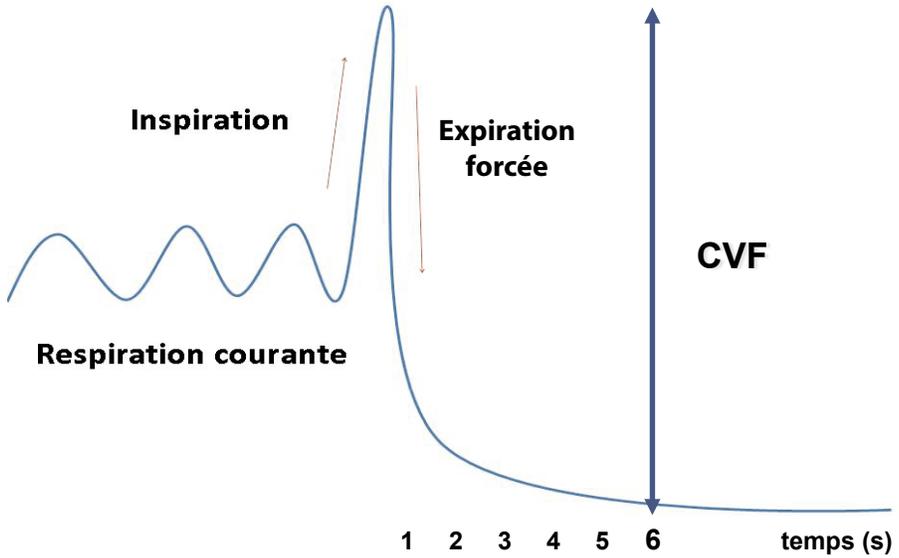


Fig.1a. Capacité vitale forcée (CVF)

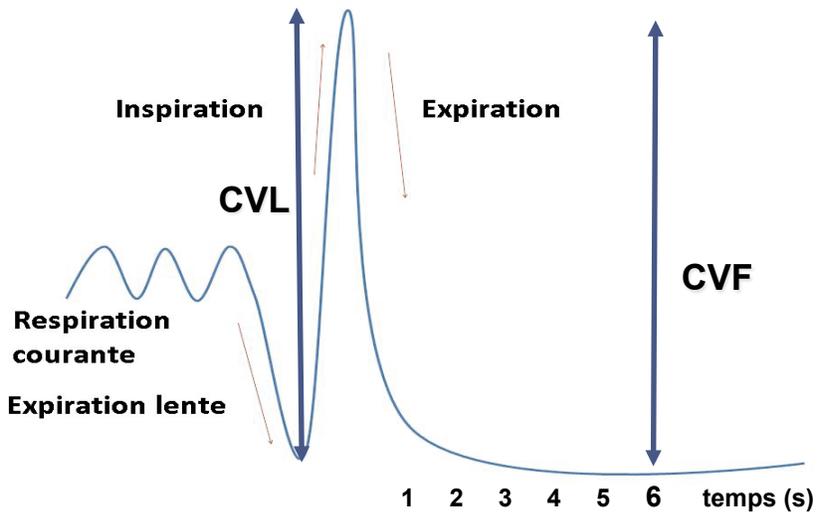


Fig.1b. Capacité vitale lente (CVL)

PARAMÈTRES MESURÉS/CALCULÉS

Deux présentations des courbes sont possibles:

- Tracé volume-temps (**Fig.2a**)
- Courbe débit-volume (**Fig.2b**)

VOLUMES MOBILISABLES

- Volume courant (**Vt**, «t» pour tidal (marée), L)
- Volume de réserve inspiratoire (**VRI**, L)
- Volume de réserve expiratoire (**VRE**, L)

CAPACITÉS PULMONAIRES

- Capacité vitale lente mesurée lors de la manoeuvre d'expiration lente (**CVL**, L) = VT + VRI + VRE
- Capacité vitale forcée mesurée lors de la manoeuvre d'expiration forcée (**CVF**, L)

RAPPORTS

- **VEMS/CVF (valeur absolue)**
- **VEMS/CVL (valeur absolue)**

DÉBITS VENTILATOIRES

- Volume expiratoire maximal en 1 seconde (**VEMS**, L)
- Débit expiratoire de pointe (**DEP**, L/s)
- Débits maximaux intermédiaires expiratoires à x% de la CVF (L/s): **DEM_{25%}**, **DEM_{50%}**, **DEM_{75%}**, **DEM_{25-75%}** (ou **DEMM** pour débit expiratoire maximal médian)
- Débit maximal inspiratoire à 50% de la capacité vitale inspiratoire forcée (**DIM_{50%}**, L/s)

Notes:

- La pléthysmographie permet la mesure des résistances bronchiques, de la conductance des voies aériennes et du volume gazeux thoracique (**VGT**, L), équivalent de la capacité résiduelle fonctionnelle (**CRF_{plet}**) (**Fig.3**).
- Les méthodes de dilution d'hélium ou du rinçage d'azote permettent la mesure de la CRF (L) (**Fig.3**).
- Les volumes non mobilisables calculés sont le volume résiduel (**VR**,L) et la capacité pulmonaire totale (**CPT**, L) (**Fig.3**).

PARAMÈTRES MESURÉS/CALCULÉS

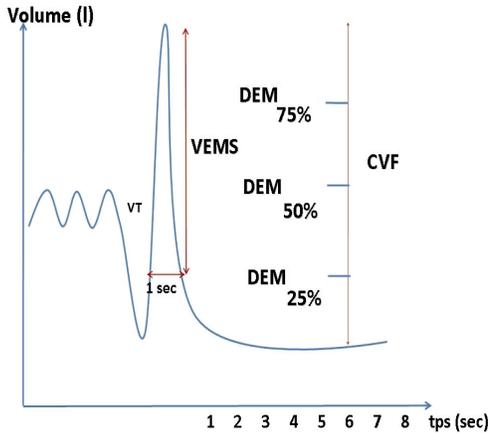


Fig.2a. Tracé volume-temps

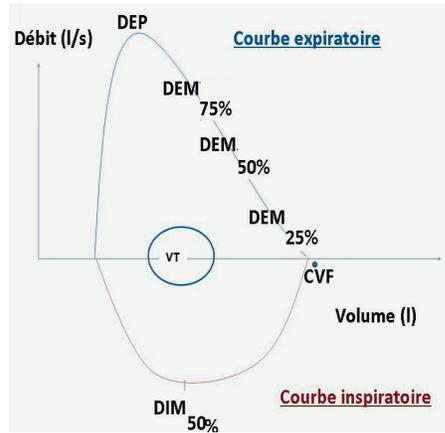


Fig.2b. Courbe débit-volume

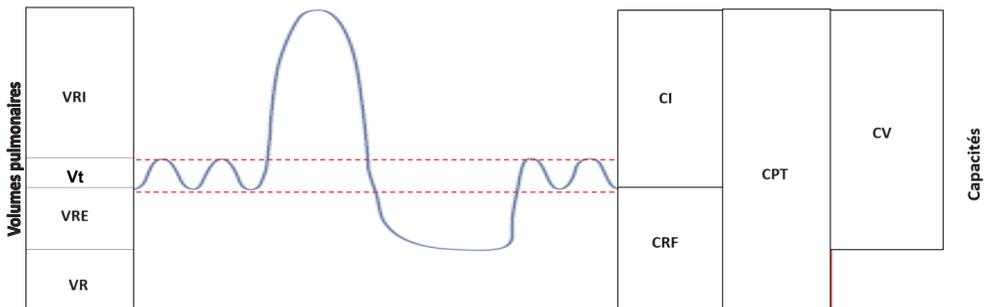


Fig.3. Présentation volume-temps

Abréviations: **Vt (L):** volume courant. **VEMS (L):** Volume expiratoire maximal en 1 seconde
CVF (L): capacité vitale forcée. **DEP (L/s):** débit expiré de pointe. **DEMx% (L/s):** débit expiré quand x% de la CVF reste à expirer. **s:** seconde. **DIM_{50%} (L/s):** débit maximal inspiratoire à 50% de la CVF inspiratoire. **V:** volume. **VRI (L):** volume de réserve inspiratoire. **VRE (L):** volume de réserve expiratoire. **VR (L):** volume résiduel. **CI (L):** capacité inspiratoire (= VRI + Vt). **CV (L):** capacité vitale lente (=VRI + Vt + VRE). **CRF (L):** capacité résiduelle fonctionnelle (= VRE + VR). **CPT (L):** capacité pulmonaire totale (= CV + VR).

CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ INTRA-MANOEUVRE

1. Bon départ de l'expiration: départ rapide et énergique (Fig.4a).

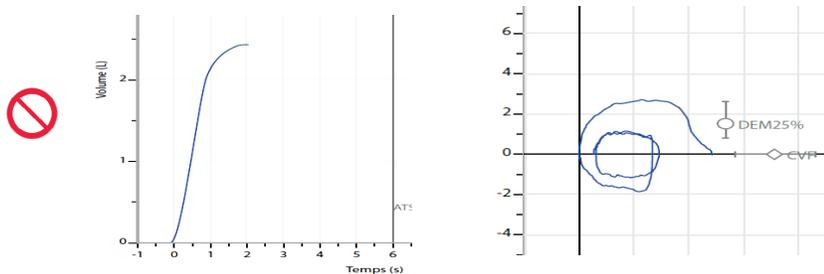


Fig.4a. Mauvais départ de l'expiration

2. Absence de toux: surtout lors de la 1^{ère} s de l'expiration (Fig.4b).

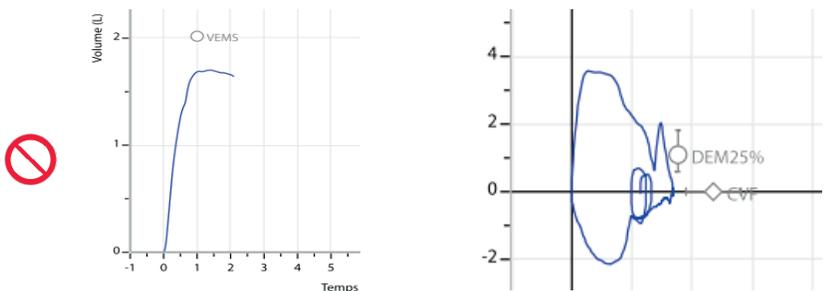


Fig.4b. Toux lors de l'expiration

3. Absence de variation de débit: expiration à la même vitesse du début jusqu'à la fin (Fig.4c).

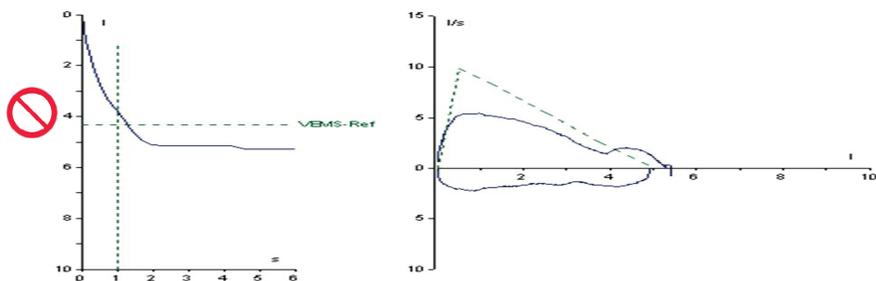
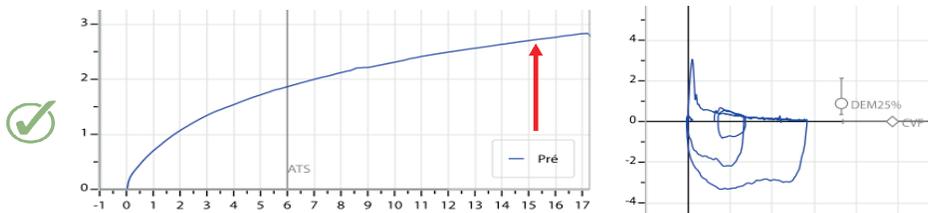
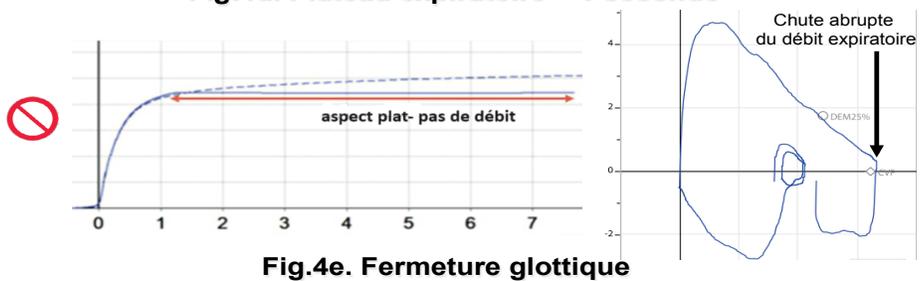
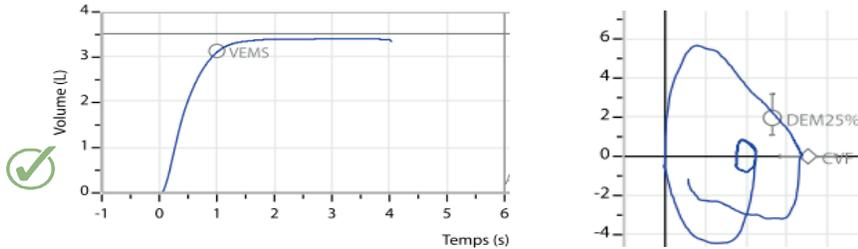


Fig.4c. Débit expiratoire variable

CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ INTRA-MANOEUVRE

4. Pas de fin prématurée de l'expiration: plateau d'une seconde (Fig. 4d) en l'absence de fermeture glottique (Fig.4e), ou un temps expiratoire de 15 secondes même en l'absence de plateau expiratoire (Fig.4f).



CRITÈRE D'ACCEPTABILITÉ INTER-MANOEUVRES = REPRODUCTIBILITE

Ecart entre les 2 valeurs les plus élevées de la CVF (et du VEMS) ne dépasse pas :

- 150 ml si âge > 6 ans
- 100 ml ou 10% si âge < 6 ans

BASES D'INTERPRÉTATION

La base d'interprétation repose sur DEUX éléments:

1^{ER} ÉLÉMENT: aspect de la courbe débit-volume (Fig.5):

- Courbe normale (Fig.5a)
 - Obstruction bronchique intrathoracique 'distale' (Fig.5b)
 - Obstruction bronchique intrathoracique 'proximale':
 - Intrinsèque (OBI, Fig.5c): caractéristique de la BPCO et de l'asthme. Elle porte à la fois sur les débits inspiratoires et expiratoires.
 - Extrinsèque (OBE, Fig.5d): observée dans l'emphysème panlobulaire. Elle porte préférentiellement sur les débits expiratoires.
- La distinction est schématique, car en cas de BPCO évoluée il y a souvent association de lésions de BPCO et d'emphysème panlobulaire.
- Obstruction unilatérale d'une bronche souche (mécanisme soupape) (Fig.5e)
 - Aspect en coup de hache (évoque un emphysème panlobulaire) (Fig.5f)
 - Aspect de limitation du débit expiratoire (Fig.5g)
 - Aspect en dent de scie (Fig.5h): évoque une hypercollapsibilité pharyngée comme dans le cas du syndrome d'apnées hypopnées obstructives au cours du sommeil par exemple.

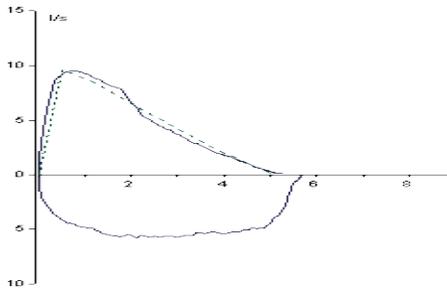


Fig.5a. Spirométrie d'allure normale

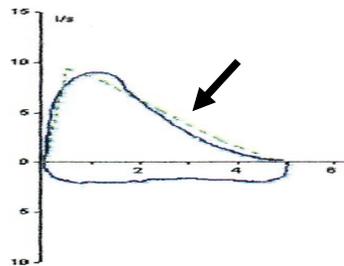


Fig.5b. Obstruction bronchique 'distale' (courbe concave vers le haut, flèche)

BASES D'INTERPRÉTATION

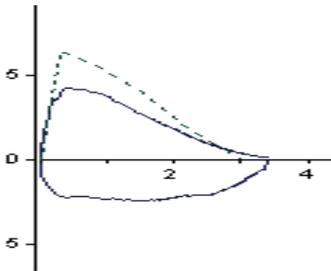


Fig.5c. Obstruction bronchique intrinsèque

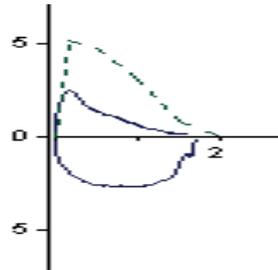


Fig.5d. Obstruction bronchique extrinsèque

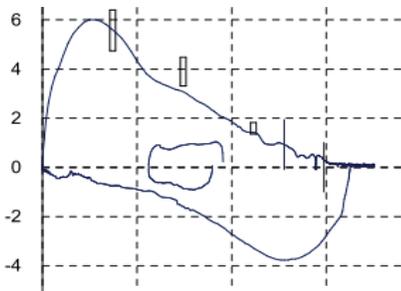


Fig.5e. Obstruction unilatérale d'une bronche souche

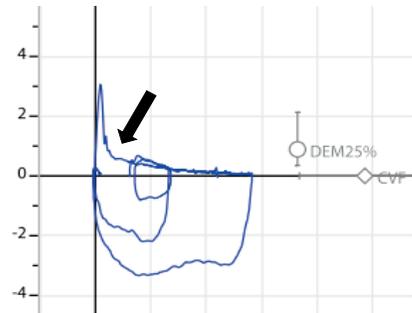


Fig.5f. Aspect en « coup de hache » (flèche)

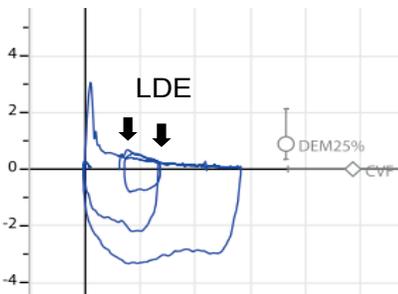


Fig.5g. Limitation totale du débit expiratoire (LDE: chevauchement entre les courbes d'expirations courante et forcée)

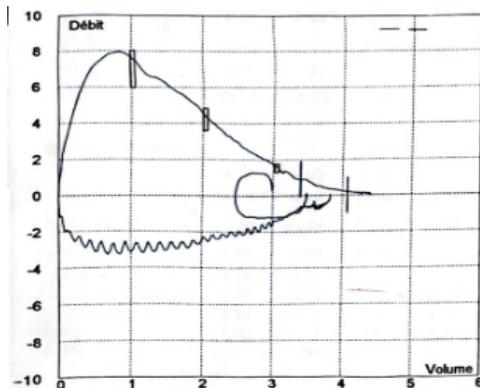


Fig.5h. Aspect en dents de scie (hypercollapsibilité pharyngée)

BASES D'INTERPRÉTATION

2^{ÈME} ÉLÉMENT: comparaison des valeurs spirométriques mesurées/calculées avec celles prédites par les équations de référence (valeurs théoriques, normes) établies chez des sujets sains issus de la même population.

Un paramètre spirométrique est considéré comme diminué (donc anormal) si son z-score est inférieur à «-1,645» (Fig.6a).

✓ **Formule du z-score:** méthode LMS [lambda (asymétrie), mu (médiane), sigma (coefficient de variation)]

$$Z \text{ de } Y = ((Y/\mu)^\lambda - 1)/(\lambda \times \sigma)$$

Z: z-score

Y: valeur mesurée (VEMS par exemple)

μ (Mu): valeur de référence

λ (Lamda): coefficient de variation des valeurs (de VEMS) observées dans la population de référence

σ (Sigma): indice d'asymétrie des valeurs (de VEMS) de la population de référence

Notes:

Si la spirométrie est faite dans le cadre de dépistage, une donnée spirométrique est considérée anormale si son z-score est inférieur à «-1,96».

- Capacité des normes du global lung initiative (GLI) à représenter la population tunisienne contemporaine: démontrée pour les données spirométriques dans le groupe ethnique «Caucasien».
- Les normes sont valables pour les sujets âgés de 3 à 91 ans.
- Normes GLI: implémentées dans les nouveaux spiromètres. À défaut elles peuvent être consultées sur logiciel téléchargeable (Fig.6b.) ou en ligne via le lien suivant: gli-calculator.ersnet.org
- Utilisation du z-score ou du 5^{ème} percentile ne change pas les résultats de l'interprétation. Cependant, l'utilisation du z-score est préférable pour sa simplicité et c'est le paramètre utilisé pour évaluer la sévérité d'un éventuel déficit.

BASES D'INTERPRÉTATION

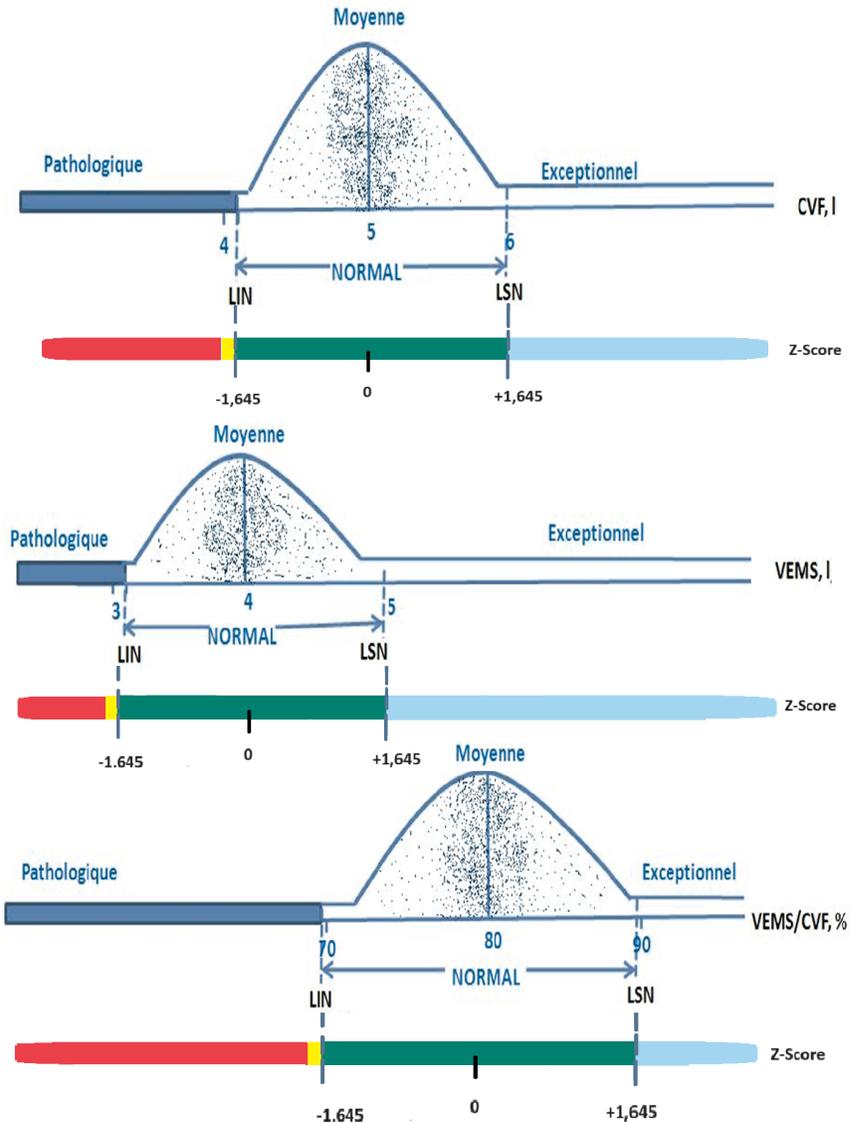


Fig.6a. Exemples d'interprétation basée sur le z-score.

CVF: capacité vitale forcée, LIN: limite inférieure de la normale, LSN: limite supérieure de la normale, VEMS: volume expiré maximal à la première seconde

BASES D'INTERPRÉTATION

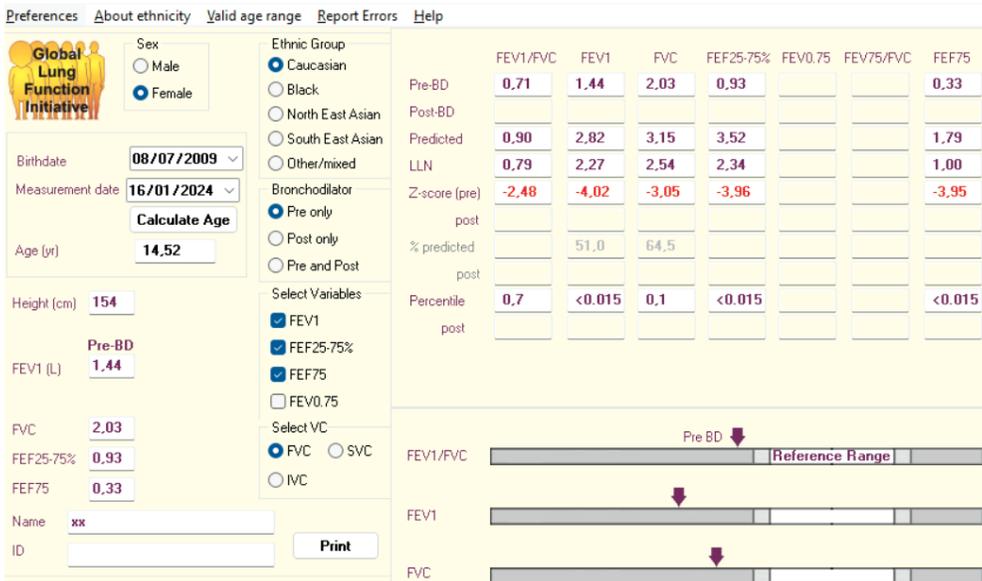


Fig.6b. Exemple d'interprétation basée sur le z-score

(normes mondiales publiées en 2012 par le Global Lung Initiative (GLI), disponibles via <http://gligastransfer.org.au/calcs/spiro.html>)

Notes:

- Les données spirométriques dépendent du sexe, de l'âge, de la taille et de l'origine ethnique.
- Ces paramètres doivent être soigneusement consignés lors de l'introduction des données spirométriques afin de déterminer de manière fiable les valeurs de référence.
- Pour les personnes âgées ou ayant une malformation rachidienne (eg; scoliose très importante), l'envergure (distance entre les bouts des doigts d'un bras tendu aux doigts de l'autre bras tendu en passant par la poitrine) peut remplacer la taille dans la détermination des valeurs de référence spirométriques.

DÉFICIT VENTILATOIRE OBSTRUCTIF (DVO) EXTRATHORACIQUE

- Secondaire à un obstacle siégeant au niveau des voies aériennes extrathoraciques (pharynx, larynx et partie extrathoracique de la trachée) peut être **fixe (Tumeur, Fig.7a) ou variable (Hypercollapsibilité des voies aériennes en cas d'obésité, Fig.7b)**.
- Un DVO extrathoracique ne provoque ni la diminution du VEMS ni celle de la CVF à un stade initial de l'atteinte, mais il peut affecter le DEP.
- Un rapport VEMS/DEP augmenté est évocateur d'un DVO extrathoracique et incite à établir des courbes débit-volume inspiratoire et expiratoire.

Paramètres permettant de différencier une obstruction extrathoracique d'une obstruction intrathoracique

	Extrathoracique		Intrathoracique
	Fixe	Variable	
DEP	↓	N ou ↓	↓
DIM_{50%}	↓	↓	N ou ↓
DIM_{50%}/DEM_{50%}	=1	< 1	> 1

DEP: débit expiratoire de pointe. **DIM_{50%}:** débit inspiratoire maximal à 50% de la capacité vitale forcée (CVF) inspiratoire. **DEM_{50%}:** débit expiratoire quand 50% de la CVF reste à expirer. **N:** normal. **↓:** diminué.

Notes:

Si une obstruction des voies aériennes supérieures est suspectée, il est nécessaire:

- D'obtenir des DEP et des manoeuvres inspiratoires forcées maximaux et reproductibles.
- De confirmer sa présence par imagerie et/ou endoscopie.

DÉFICIT VENTILATOIRE OBSTRUCTIF (DVO) EXTRATHORACIQUE

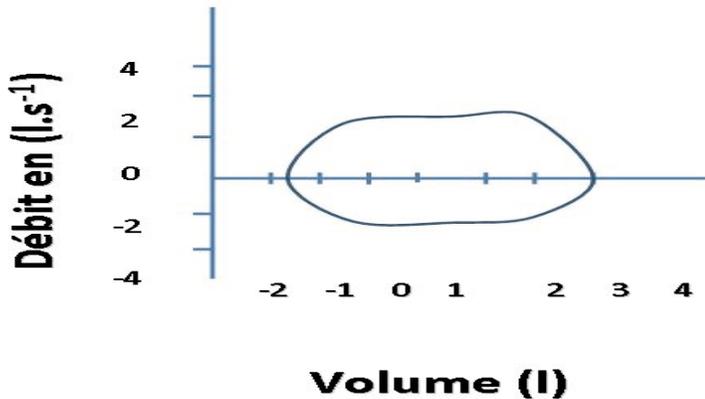


Fig.7a. DVO extrathoracique fixe

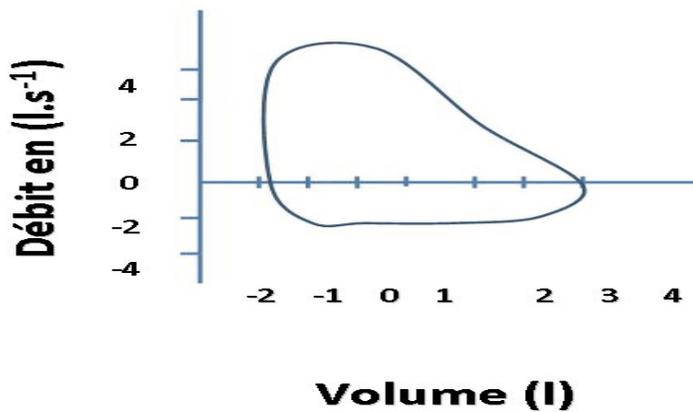


Fig.7b. DVO extrathoracique variable

Note:

selon l'ERS/ATS-2021, un rapport VEMS/DEP > 8 ml/L/min chez un adulte est en faveur d'une obstruction centrale ou supérieure.

ALGORITHME D'INTERPRÉTATION DES DONNÉES SPIROMÉTRIQUES

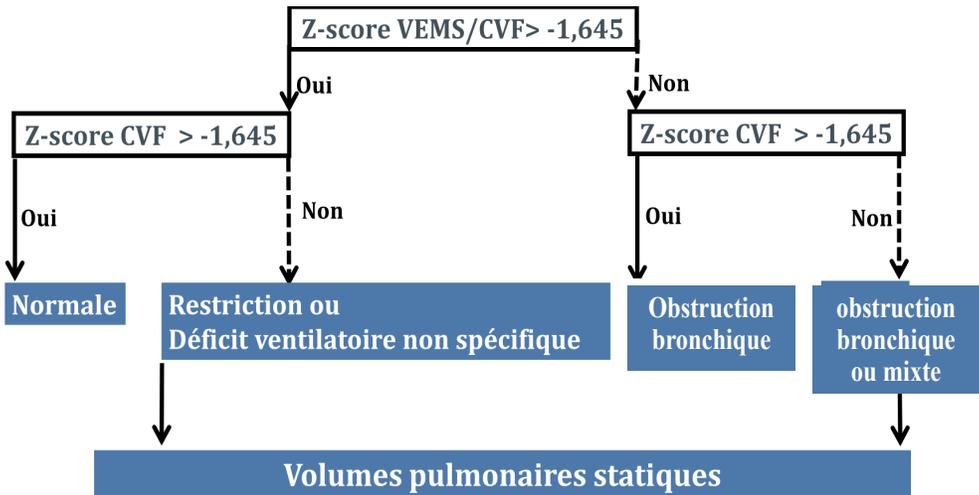


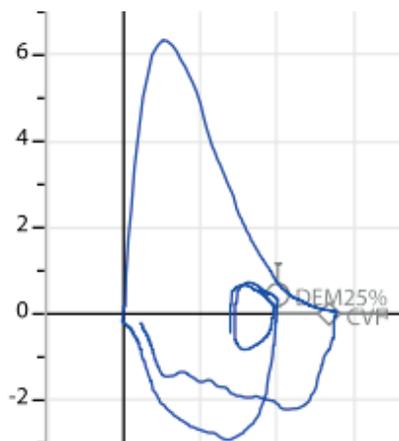
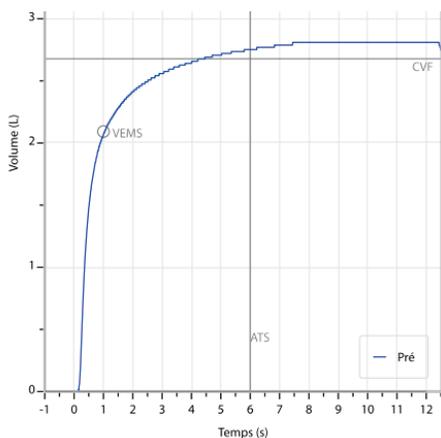
Fig.8. Algorithme d'interprétation d'une spirométrie

CVF: capacité vitale forcée, VEMS: volume expiratoire maximal à la première seconde.

- En commençant par le rapport VEMS/CVF, vérifier l'existence d'un DVO. En cas d'obstruction, une CVF basse évoque une restriction associée (déficit mixte) et doit faire compléter les explorations par une détermination de la CPT.
- Si le rapport VEMS/CVF est normal, ce qui signifie l'absence d'un DVO, il faut à nouveau évaluer la CVF. Si elle est normale, la spirométrie est normale. Si la CVF est basse, il peut y avoir une restriction. Ceci doit être confirmé par la détermination de la CPT. Si la CPT est basse, il s'agit d'un déficit ventilatoire restrictif. Si une restriction est exclue devant une CPT normale, la baisse de la CVF avec un VEMS/CVF normal correspond au déficit ventilatoire non spécifique.

SPIROMÉTRIE NORMALE

- ❑ Définition selon **ERS/ATS-2021**: z-score du rapport VEMS/CVF > -1,645, z-score CVF > -1,645 et z-score VEMS > -1,645 (**Fig.9**)



		Mesure	Préd.	% Préd.	z score	
CVF	L	2,81	2,68	105	0,30	
VEMS	L	2,16	2,09	103	0,20	
VEMS/CVF%	%	76,8	78,6	98	-0,24	

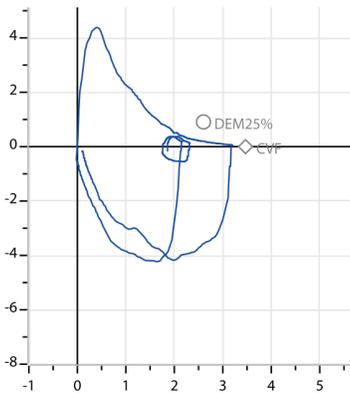
Fig.9. Spirométrie normale

DÉFICIT VENTILATOIRE OBSTRUCTIF (DVO) INTRATHORACIQUE PROXIMAL

❑ Définition selon **ERS/ATS-2021**: z-score du VEMS/CVF pré-bronchodilatateur < -1,645.

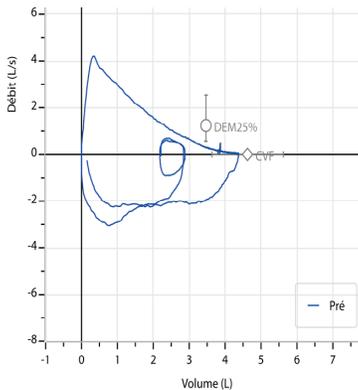
❑ CLASSIFICATION DE LA SÉVÉRITÉ DU DVO (ERS/ATS-2021):

- **léger (Fig.10a)** : z-score du VEMS entre -1,65 et -2,50
- **modéré (Fig.10b)** : z-score du VEMS entre -2,51 et -4,00
- **sévère (Fig.10c)** : z-score du VEMS < -4,01



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	3,23	3,47	93	-0,51	
VEMS	L	1,87	2,78	67	-2,41	
VEMS/CVF%	%	58,0	80,5	72	-2,99	

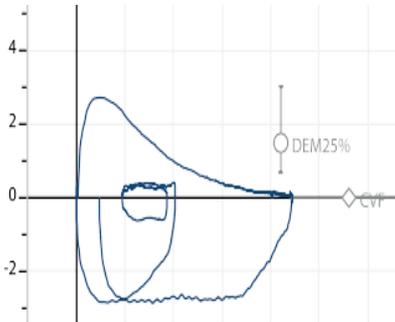
Fig.10a. DVO (z-score du rapport VEMS/CVF < -1,645) léger (z-score du VEMS à -2,41)



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	4,38	4,62	95	-0,41	
VEMS	L	2,34	3,69	63	-2,75	
VEMS/CVF%	%	53,5	80,1	67	-3,54	

Fig.10b. DVO (z-score du rapport VEMS/CVF < -1,645) modéré (z-score du VEMS à -2,75)

DÉFICIT VENTILATOIRE OBSTRUCTIF (DVO) INTRATHORACIQUE PROXIMAL



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	4,45	5,61	79	-1,61	
VEMS	L	1,94	4,42	44	-4,13	
VEMS/CVF%	%	43,5	79,2	55	-4,39	

Fig.10c. DVO (z-score du rapport VEMS/CVF <- 1,645) sévère (z-score du VEMS à -4,13)

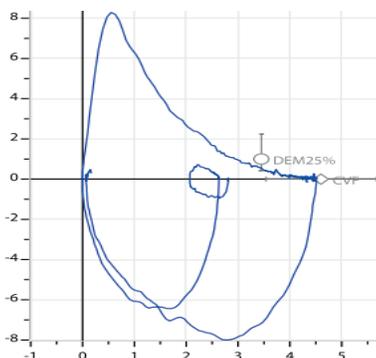
Note: Signes indirects d'obstruction

En dehors des données spirométriques, d'autres paramètres déterminés à l'aide de la pléthysmographie peuvent renseigner sur l'existence d'une obstruction:

- ✓ Distension pulmonaire: Augmentation du rapport VR/CPT
- ✓ Résistances des voies aériennes par les techniques d'oscillations forcées.

Cas particulier 1: croissance dysanaptique

- ❑ Définition selon **ERS/ATS-2021**: z-score du VEMS/CVF pré-bronchodilatateur < -1,645 et z-score du VEMS > -1,645 (**Fig.10d**).
- ❑ Il peut s'agir d'une variante de la normale ou témoigner d'une propension à l'obstruction.
- ❑ Ce profil est présent chez les sujets jeunes, de sexe masculin et de grande taille avec une CVF élevée.
- ❑ La distinction entre croissance dysanaptique et DVO dépend de la probabilité clinique de pathologie obstructive, et des résultats d'autres tests tels que l'évaluation de la réponse aux bronchodilatateurs, la mesure de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO), de la force musculaire ou l'épreuve d'effort.

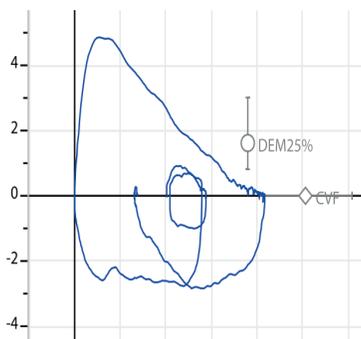


	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	4,51	4,60	98	-0,14	
VEMS	L	2,96	3,59	82	-1,24	
VEMS/CVF%	%	65,6	78,3	84	-1,78	

Fig.10d. Croissance dysanaptique
(z-score du rapport VEMS/CVF < - 1,645
et z-score du VEMS > - 1,645)

Cas Particulier 2: PRISm ou preserved ratio impaired spirometry

- ❑ Définition selon **ERS/ATS-2021**: VEMS/CVF pré-bronchodilatateur normal (z-score $> -1,645$) et baisse du VEMS et/ou de la CVF (z-score $< -1,645$) (**Fig.10e**).

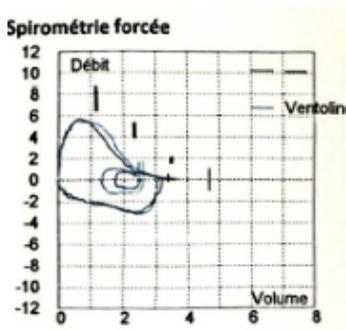


	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	4,17	5,06	82	-1,46	
VEMS	L	3,26	4,13	79	-1,69	
VEMS/CVF%	%	78,1	81,9	95	-0,62	

Fig.10e. PRISm (z-score du rapport VEMS/CVF $> -1,645$, z-score du VEMS $< -1,645$)

❑ Selon GOLD 2024:

- Le PRISm est défini par un rapport VEMS/CVF **post-bronchodilatateur $\geq 0,70$ et un VEMS post-bronchodilatateur $< 80\%$** . La présence d'un PRISm chez un sujet tabagique constitue une pré-BPCO (**Fig.10f**).
- Prévalence du PRISm: 7,1% en population générale et 11,3% chez les fumeurs et ex-fumeurs.
- Le PRISm est associé à une plus grande mortalité toutes causes confondues.
- **Devenir au fil du temps** : Spirométrie normale, obstructive ou restrictive.



	PRÉ BD				POST BD		
	mesurée	Préd	% Préd	z-score	Mesurée	% Préd	z-score
CVF (L)	3,56	4,67	76	-1,74	3,66	78	-1,59
VEMS (L)	2,48	3,66	68	-2,3	2,62	72	-2,04
VEMS/CVF (%)	69,52	78,60	88	-1,35	71,67	91	-1,05

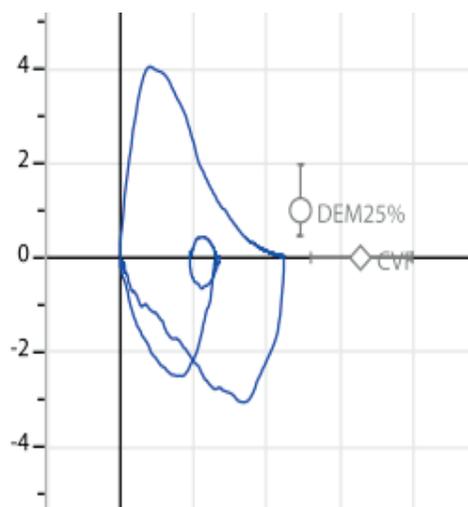
Fig.10f. PRISm (Rapport VEMS/CVF post-bronchodilatateur $\geq 0,70$ et un VEMS post-bronchodilatateur $< 80\%$)

SIGNES SPIROMÉTRIQUES INDIRECTS D'UN DÉFICIT VENTILATOIRE RESTRICTIF OU D'UN DÉFICIT VENTILATOIRE NON SPÉCIFIQUE

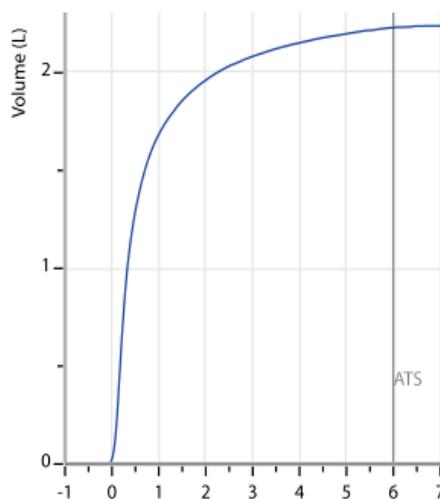
Le déficit ventilatoire restrictif et le déficit ventilatoire non spécifique sont évoqués devant une baisse de la CVF (z-score < -1,645) avec un rapport VEMS/CVF normal (z-score ≥ -1,645).

Note: devant cette situation, il faut compléter l'exploration par la détermination de la CPT par pléthysmographie corporelle totale. En effet, le déficit ventilatoire restrictif est défini par un z-score de la CPT < -1,645 (**Fig.11a**).

Si la CPT est normale (z-score CPT ≥ -1,645), alors il s'agit d'un déficit ventilatoire non spécifique (**Fig.11b**).



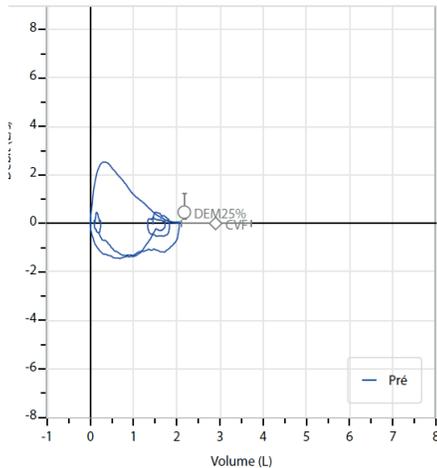
	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	2,23	3,28	68	-2,57	<input type="checkbox"/>
VEMS	L	1,70	2,67	64	-2,81	<input type="checkbox"/>
VEMS/CVF%	%	76,4	81,8	93	-0,85	<input type="checkbox"/>



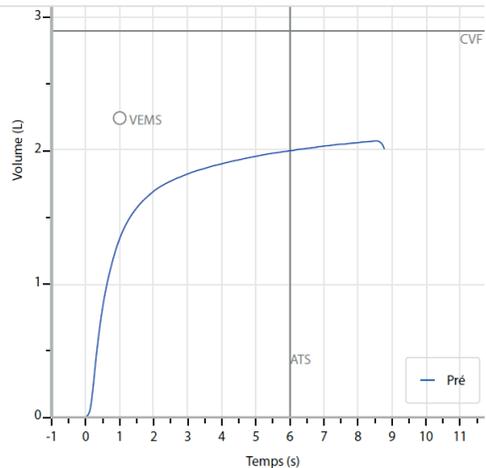
	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CRF (Pléth)	L	2,57	2,37	108	0,41	<input type="checkbox"/>
CPT(Pléth)	L	3,66	4,77	77	-2,15	<input type="checkbox"/>
CV	L	2,40	3,54	68	-2,57	<input type="checkbox"/>
CI	L	1,09	2,37	46	-2,86	<input type="checkbox"/>
VRE	L	1,32	1,03	128	0,67	<input type="checkbox"/>
VR (Pléth)	L	1,26	1,25	100	0,01	<input type="checkbox"/>
VR/CPT(Pléth)	%	34,3	26,1	132	1,29	<input type="checkbox"/>

Fig.11a. Signes indirect (z-score de la CVF < -1,645) et direct (z-score de la CPT < -1,645) du déficit ventilatoire restrictif

SIGNES SPIROMÉTRIQUES INDIRECTS D'UN DÉFICIT VENTILATOIRE RESTRICTIF OU D'UN DÉFICIT VENTILATOIRE NON SPÉCIFIQUE



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score	
CVF	L	2,07	2,90	71	-1,75
VEMS	L	1,41	2,24	63	-2,22
VEMS/CVF%	%	68,4	78,0	88	-1,22
VEMS/CVmax%	%	62,6	78,0	80	-1,88
DEM25-75%	L/s	0,94	1,89	50	-1,52
DEP	L/s	2,53	-	-	-



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score	
CRF (Pleth)	L	2,69	2,85	94	-0,29
CPT (Pleth)	L	4,15	5,08	82	-1,45
CV	L	2,26	3,05	74	-1,94
CI	L	1,46	2,25	65	-1,73
VRE	L	0,80	0,74	108	0,13
VR (Pleth)	L	1,89	1,99	95	-0,18

Fig.11b. Déficit ventilatoire non spécifique (z-score de la CVF <-1,645 et z-score de la CPT ≥-1,645).

Notes:

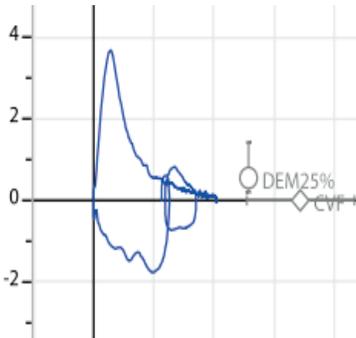
- Le déficit ventilatoire non spécifique peut être un indicateur précoce:
 - ✓ D'un processus restrictif dans lequel la baisse de la CVF n'est pas encore accompagnée d'une baisse du VR.
 - ✓ D'une obstruction où le collapsus des petites voies aériennes réduit la CVF et augmente le VR avant que le rapport VEMS/CVF ne chute.
- Il serait utile de compléter la spirométrie par :
 - La mesure des résistances des voies aériennes ou la réalisation d'un test de bronchodilatation.
 - La mesure de la CVL. Si elle s'écarte de plus de 100 ml de la CVF (c'est à dire (CVL-CVF) > 100 ml), cela suggère un collapsus des voies aériennes au cours de l'expiration forcée.

CAS PARTICULIER: DÉFICIT VENTILATOIRE OBSTRUCTIF AVEC CVF BASSE

DÉFINITION: baisse du VEMS/CVF (z-score < -1,645) avec baisse de la CVF (z-score < -1,645).

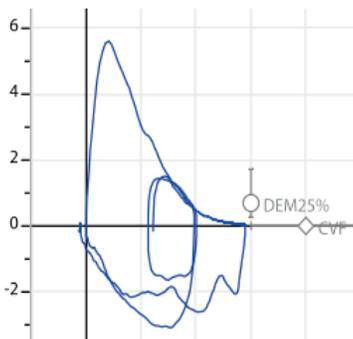
À compléter par une pléthysmographie qui peut montrer:

- Z-score CPT $\geq -1,645$: DVO pur (**Fig.12a**)
- Z-score CPT < -1,645: déficit ventilatoire mixte (**Fig.12b**)



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score	
CVF	L 2,04	3,43	60	-2,59	
VEMS	L 1,17	2,64	44	-3,14	
VEMS/CVF%	% 57,0	77,0	74	-2,33	
CRF (Pléth)	L 4,25	3,03	140	1,72	
CPT(Pléth)	L 5,88	5,84	101	0,05	

Fig.12a. Déficit ventilatoire obstructif pur



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score	
CVF	L 2,66	4,01	66	-2,23	
VEMS	L 1,66	3,08	54	-2,77	
VEMS/CVF%	% 62,7	77,0	81	-1,82	
CRF (Pléth)	L 3,30	3,39	98	-0,12	
CPT(Pléth)	L 5,12	6,56	78	-1,78	

Fig.12b. Déficit ventilatoire mixte

Notes:

1. Un déficit ventilatoire mixte est défini par la coexistence d'une obstruction (z-score du rapport VEMS/CVF < -1,645) et d'une restriction (z-score de la CPT < -1,645).
2. En cas de baisse concomitante du rapport VEMS/CVF et de la CVF, il est possible que la réduction de la CVF soit due à une augmentation du VR, et la détermination de la CPT permet d'exclure une restriction associée.

TEST DE BRONCHODILATATION

INDICATIONS

- Présence d'une obstruction bronchique
- Bilan de suivi d'un asthmatique même si la spirométrie est normale

TECHNIQUE

Inhalation séparée et à 30 secondes d'intervalle de:

- 4 bouffées d'un β_2 -agoniste de courte durée d'action (dose totale 400 μg)

ET/OU

- 160 μg (4 x 40 μg) d'un anti-cholinergique

Refaire la spirométrie après:

- ≥ 10 -15 min si β_2 -agoniste de courte durée d'action
- ≥ 30 -45 min si anti-cholinergique

INTERPRÉTATION

Selon l'ERS/ATS-2021, quel que soit l'âge, le test de bronchodilatation est cliniquement significatif si:

- \uparrow du VEMS $> 10\%$ par rapport à la valeur théorique **ET/OU**
- \uparrow de la CVF $> 10\%$ par rapport à la valeur théorique (**Fig.13a, Fig.13b**)

Selon GINA-2024: le test de bronchodilatation est cliniquement significatif

1. Chez l'adulte si:

- \uparrow du VEMS ≥ 200 mL (valeur absolue) et $\geq 12\%$ (par rapport à la valeur initiale) **ET/OU**
- \uparrow de la CVF ≥ 200 mL (valeur absolue) et $\geq 12\%$ (par rapport à la valeur initiale)

2. Chez l'enfant, si \uparrow du VEMS $\geq 12\%$ (par rapport à la valeur théorique)

3. Un test de bronchodilatation cliniquement significatif permet de confirmer une variabilité excessive de la fonction respiratoire, nécessaire au diagnostic d'asthme. Chez l'adulte, une augmentation de plus de 15% et 400 ml augmente la certitude diagnostique.

4. Chez l'asthmatique (enfants ou adultes), une grande réversibilité aux bronchodilatateurs est considérée comme un facteur de risque indépendant supplémentaire pour les exacerbations.

TEST DE BRONCHODILATATION

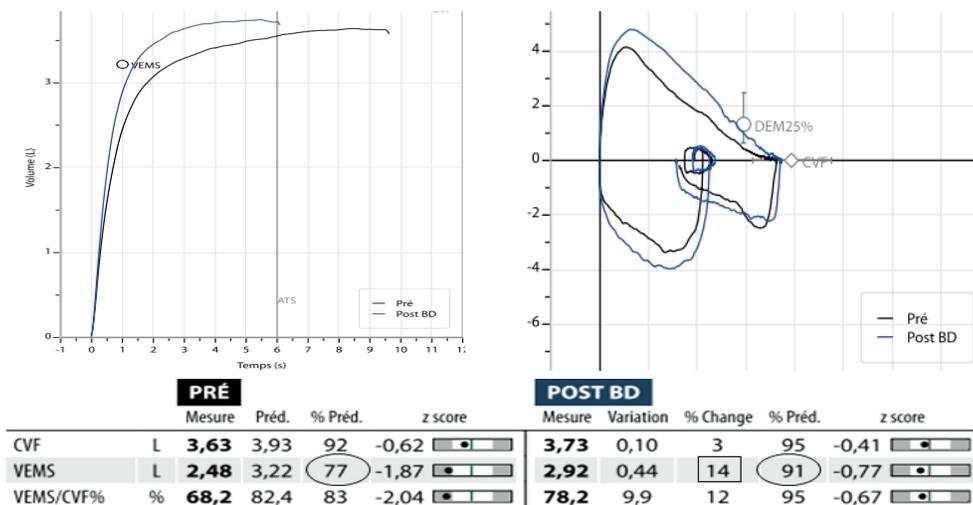


Fig.13a. Test de bronchodilatation cliniquement significatif
[↑ du VEMS de 14% (=91-77) par rapport à la théorique]

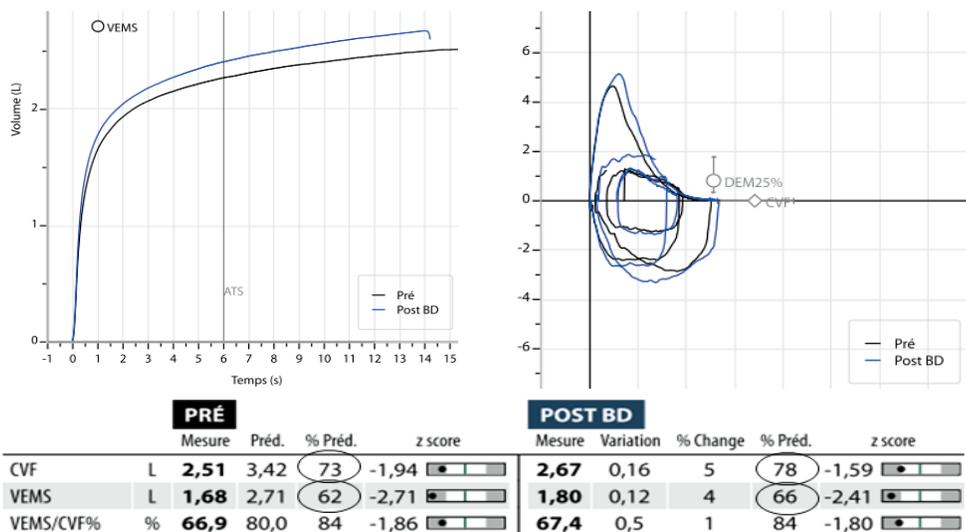


Fig.13b. Test de bronchodilatation non cliniquement significatif

BRONCHO-PNEUMOPATHIE CHRONIQUE OBSTRUCTIVE (BPCO)

La spirométrie est l'examen minimal recommandé qui permet le **diagnostic positif** de la BPCO. Elle permet aussi de classer la sévérité de l'obstruction bronchique de la BPCO.

- **DIAGNOSTIC POSITIF:**

Le rapport VEMS/CVF post-bronchodilatateur (post-BD) $< 0,70$.

- **REMARQUES:**

1. Si la première spirométrie trouve un rapport VEMS/CVF post-BD situé entre 0,60 et 0,80, il est souhaitable de refaire une autre spirométrie (à 15 jours d'intervalle par exemple) avant de retenir le diagnostic d'une BPCO.
2. Si la première spirométrie trouve un rapport VEMS/CVF post-BD $< 0,60$, le diagnostic d'une BPCO peut être retenu.

- **SÉVÉRITÉ DE L'OBSTRUCTION BRONCHIQUE DE LA BPCO:**

4 stades basés sur le VEMS post-BD exprimé en pourcentage de la valeur théorique

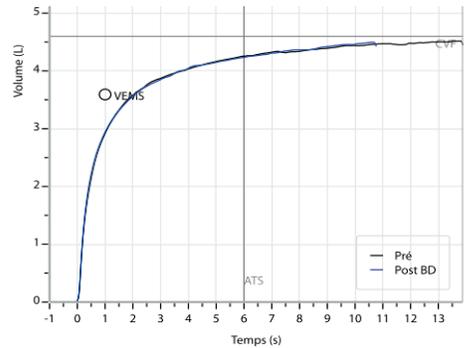
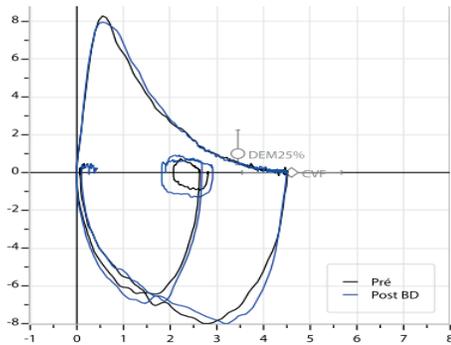
GOLD 1: légère (Fig.14a) : VEMS post-BD $\geq 80\%$

GOLD 2: modérée (Fig.14b): $50\% \leq$ VEMS post-BD $< 80\%$

GOLD 3: sévère (Fig.14c) : $30\% \leq$ VEMS post-BD $< 50\%$

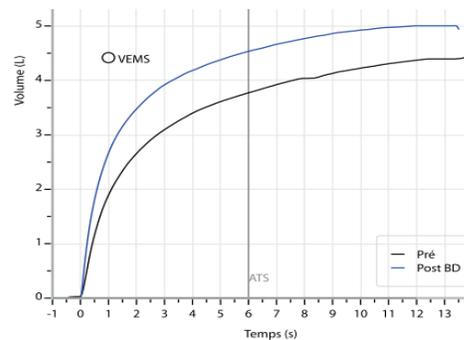
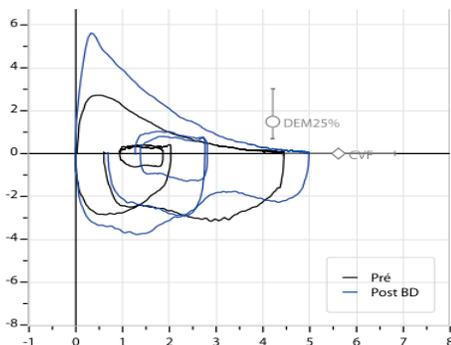
GOLD 4: très sévère (Fig.14d) : VEMS post-BD $< 30\%$

BRONCHO-PNEUMOPATHIE CHRONIQUE OBSTRUCTIVE (BPCO)



PRÉ					POST BD					
	Mesure	Préd.	% Préd.	z score	Mesure	Variation	% Change	% Préd.	z score	
CVF	L	4,51	4,60	98	-0,14	4,49	-0,02	-1	98	-0,17
VEMS	L	2,96	3,59	82	-1,24	2,98	0,02	0	83	-1,21
VEMS/CVF%	%	65,6	78,3	84	-1,78	66,3	0,7	1	85	-1,69
FET100%	s	13,7	-	-	-	10,5	-3,2	-	-	-

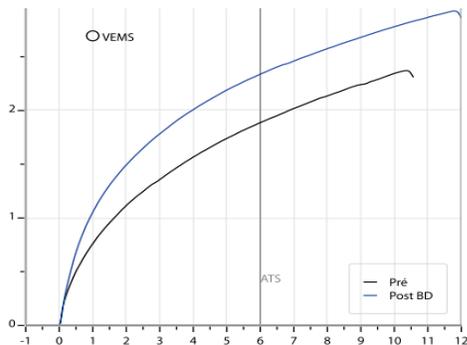
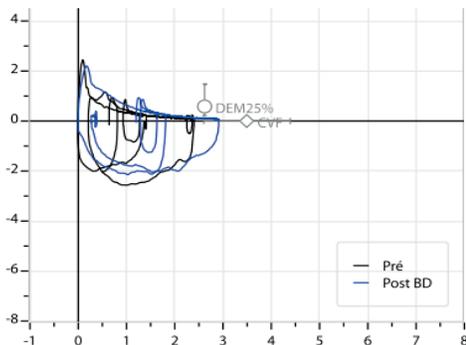
Fig.14a. BPCO (VEMS/CVF post-BD = 0,66) GOLD 1 (VEMS post-BD = 83%)



PRÉ					POST BD					
	Mesure	Préd.	% Préd.	z score	Mesure	Variation	% Change	% Préd.	z score	
CVF	L	4,45	5,61	79	-1,61	5,00	0,55	10	89	-0,85
VEMS	L	2,00	4,42	45	-4,03	2,69	0,69	16	61	-2,95
VEMS/CVF%	%	45,0	79,2	57	-4,28	53,8	8,9	11	68	-3,45

Fig.14b. BPCO (VEMS/CVF post-BD à 0,54) GOLD 2 (VEMS post-BD = 61%)

BRONCHO-PNEUMOPATHIE CHRONIQUE OBSTRUCTIVE (BPCO)



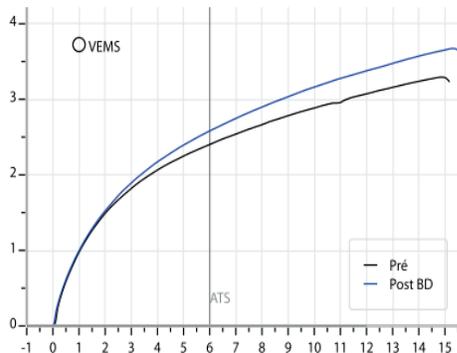
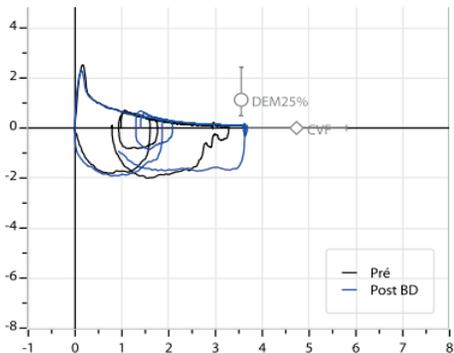
PRÉ

	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	2,73	3,49	78	-1,41	<input type="checkbox"/>
VEMS	L	0,90	2,69	34	-3,73	<input type="checkbox"/>
VEMS/CVF%	%	33,2	77,3	43	-4,48	<input type="checkbox"/>

POST BD

	Mesure	Variation	% Change	% Préd.	z score		
CVF	L	2,92	0,19	5	84	-1,06	<input type="checkbox"/>
VEMS	L	1,07	0,17	6	40	-3,43	<input type="checkbox"/>
VEMS/CVF%	%	36,7	3,6	5	48	-4,23	<input type="checkbox"/>

Fig.14c. BPCO (VEMS/CVF post-BD = 0,37) GOLD 3 (VEMS post-BD = 40%)



PRÉ

	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	3,28	4,73	69	-2,27	<input type="checkbox"/>
VEMS	L	1,03	3,72	28	-4,87	<input type="checkbox"/>
VEMS/CVF%	%	31,2	78,9	40	-5,10	<input type="checkbox"/>

POST BD

	Mesure	Variation	% Change	% Préd.	z score		
CVF	L	3,66	0,38	8	77	-1,67	<input type="checkbox"/>
VEMS	L	1,01	-0,01	0	27	-4,89	<input type="checkbox"/>
VEMS/CVF%	%	27,7	-3,6	-5	35	-5,29	<input type="checkbox"/>

Fig.14d. BPCO (VEMS/CVF post-BD = 0,28) GOLD 4 (VEMS post-BD = 27%)

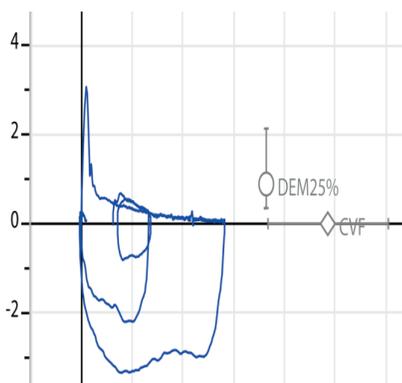
ÉVALUATION DU CHANGEMENT DES PARAMÈTRES FONCTIONNELS RESPIRATOIRES AU FIL DU TEMPS

L'ERS/ATS-2021 recommande de comparer les résultats obtenus avec les résultats précédents, afin de repérer le déclin excessif de la fonction respiratoire causé par une exposition à des agents nocifs ou une maladie sous-jacente.

☐ Adulte:

- **Quotient du VEMS (VEMSQ):** VEMS divisé par les valeurs du 1^{er} percentile spécifique au sexe des valeurs absolues du VEMS trouvées chez les adultes atteints de maladies pulmonaires (0,4 litre pour les femmes et 0,5 litre pour les hommes) (**Fig.15**).
- **VEMSQ = 1:** constitue le « seuil » nécessaire à la survie
- **Déclin normal du VEMSQ:**
Une unité/18 ans chez l'adulte sain
Une unité/10 ans chez les fumeurs et les sujets âgés

ID1		Sexe	Âge	Poids (kg)	Taille (cm)
	1526/24	Homme	62,8	77,00	183,0
Date de Naissance	ID2	IMC (kg/m ²)	Fumeur	Années avec t...	Cig/Jour
03/07/1961	--	23,0	--	--	--
Médecin		Classe 2		Groupe ethnique	
--	--	--	--	Caucasien	



	Mesure	Préd.	% Préd.	z score		
CVF	L	2,82	4,86	58	-2,85	<input type="checkbox"/>
VEMS	L	0,71	3,71	19	-4,70	<input type="checkbox"/>
VEMS/ CVF%	%	25,1	76,7	33	-5,13	<input type="checkbox"/>

Fig.15. VEMSQ

Homme de 63 ans qui a un VEMS à 0,71 litre.

$VEMSQ = 0,71/0,5 = 1,42$.

Une valeur du VEMSQ proche

de 1 indique un risque de mortalité accru

ÉVALUATION DU CHANGEMENT DES PARAMÈTRES FONCTIONNELS RESPIRATOIRES AU FIL DU TEMPS

☐ Enfant et adolescent:

- **Score de changement:** permet d'identifier des changements de la fonction pulmonaire d'un enfant malade qui sont supérieurs à ce qui peut être trouvé chez les enfants en bonne santé du même âge
- **Calcul:**

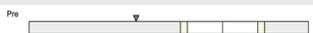
$$\bullet \Delta VEMS \text{ score} = \frac{Z VEMS_{t2} - (r \times Z VEMS_{t1})}{\sqrt{1-r^2}}$$

- $r = 0,642 - 0,04 \times \text{temps} (t_2 - t_1 \text{ en années}) + 0,020 \times \text{âge à } t_1 \text{ (années)}$
- t_1 : première mesure
- t_2 : deuxième mesure
- $Z VEMS$: z-score du VEMS

- **Valeur normale:** entre -1,96 et +1,96

- **Exemple: Score de changement,**

Il s'agit d'une fille âgée de 14,5 ans dont le VEMS est passé de 1,71 L (64%) à 1,44 L (52%) en l'espace de 18 mois ($r = 0,8424$).

Visite	Âge (ans)	Taille (cm)	VEMS (L)	Z-score VEMS
15/07/2022	13,02	153	1,71	-2,95 
16/01/2024	14,52	154	1,44	-3,95 

**Le score de changement correspondant est de «-2,72»:
déclin accéléré de la fonction respiratoire**

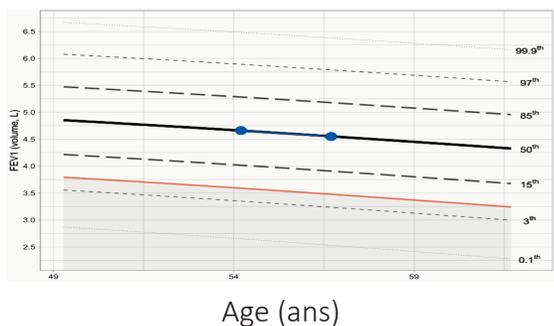
ÉVALUATION DU CHANGEMENT DES PARAMÈTRES FONCTIONNELS RESPIRATOIRES AU FIL DU TEMPS

- ❑ **Les courbes de trajectoires de la fonction respiratoire:** étudier l'évolution de la fonction respiratoire en fonction du temps (**Fig.16**)

Exemple

Visite	Âge (ans)	VEMS (L)	CVF (L)
1 ^{ère} visite	54,2	4,66	6,7
2 ^{ème} visite	56,7	4,55	5,95

VEMS (L)



CVF (L)

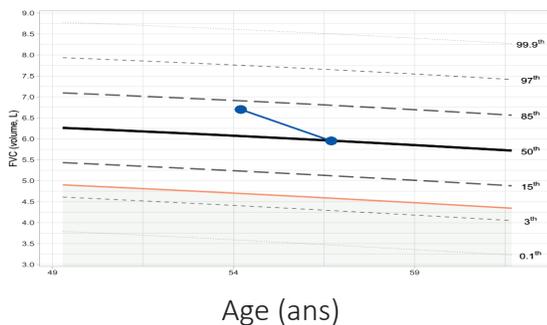


Fig.16. Suivi du VEMS et de la CVF

Deux spirométries réalisées à 2 ans d'intervalle chez le même sujet.

VEMS: déclin physiologique puisque il garde la même trajectoire.

CVF: déclin accéléré bien qu'elle soit dans le même couloir de la normale

SYNTHÈSE D'INTERPRÉTATION D'UNE SPIROMÉTRIE

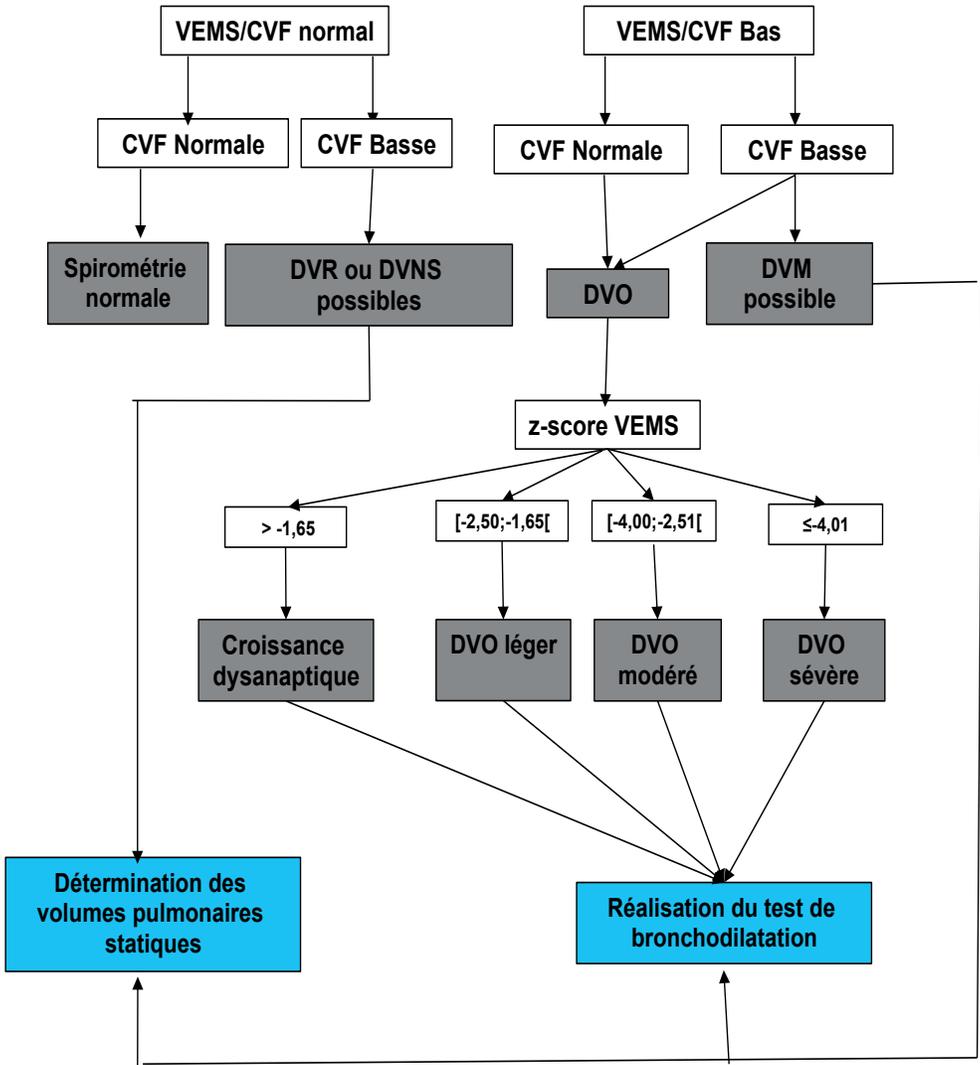


Fig.17. Algorithme d'interprétation d'une spirométrie

CVF: capacité vitale forcée, DVM: déficit ventilatoire mixte, DVO: déficit ventilatoire obstructif, DVR: déficit ventilatoire restrictif, VEMS: volume expiré maximal à la première seconde

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ATPS	: Ambiante Température Pression et Saturation en eau
BTPS	: Body Temperature Pression et Saturation en eau
BD	: Bronchodilatateurs
BPCO	: Bronchopneumopathie chronique obstructive
CPT	: Capacité pulmonaire totale
CRF	: Capacité résiduelle fonctionnelle
CVF	: Capacité vitale forcée
CVL	: Capacité vitale lente
DEP	: Débit expiratoire de pointe
DEMx%	: Débits maximaux intermédiaires expiratoires à x% de la CVF
DIM 50%	: Débit inspiratoire maximal à 50% de CVF inspiratoire
DVO	: Déficit ventilatoire obstructif
ERS/ATS	: European Respiratory Society/American Thoracic Society
GINA	: Global initiative for asthma
GLI	: Global lung function initiative
GOLD	: Global initiative for chronic obstructive lung disease
LIN	: Limite inférieure de la normale
LSN	: Limite supérieure de la normale
OBE	: Obstruction bronchique extrinsèque
OBi	: Obstruction bronchique intrinsèque
PRISm	: Preserved ratio impaired spirometry
VEMS	: Volume expiré maximal à la première seconde
VGt	: Volume gazeux thoracique
VR	: Volume résiduel
VRE	: Volume de réserve expiratoire
VRI	: Volume de réserve inspiratoire
Vt	: Volume courant

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATS. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis* 1991; 144: 1202-18.
- Ben Saad H, Rouatbi S, Raoudha S, Tabka Z, LaouaniKechrid C, Hassen G, et al. [Vital capacity and peak expiratory flow rates in a North-African population aged 60 years and over: influence of anthropometric data and parity]. *Rev Mal Respir*. 2003;20(4):521-30.
- Miller MR, et al. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J* 2005;26(1):153-61.
- Ben Saad H, Tfiha M, Harrabi I, Tabka Z, Guenard H, Hayot M, et al. Factors influencing pulmonary function in Tunisian women aged 45 years and more. *Rev Mal Respir*. 2006;23(4 Pt 1):324-38.
- Ben Saad H, Ben AttiaSaafi R, Rouatbi S, Ben Mdella S, Garrouche A, Zbidi A, et al. Which definition to use when defining airflow obstruction?. *Rev Mal Respir*. 2007;24(3 Pt 1):323-30.
- Ben Saad H, Ben AttiaSaafi R, Rouatbi S, Ben Mdella S, Garrouche A, HadjMtir A, et al. Which definition to use when defining reversibility of airway obstruction?. *Rev Mal Respir*. 2007;24(9):1107-15.
- Quanjer PH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J*; 2012.
- Ben Saad H, El Attar MN, HadjMabrouk K, Ben Abdelaziz A, Abdelghani A, Bousarssar M, et al. The recent multi-ethnic global lung initiative 2012 (GLI2012) reference values don't reflect contemporary adult's North African spirometry. *Respir Med*. 2013;107(12):2000-8.
- Ben Saad H, Ben Amor L, Ben Mdella S, Ghannouchi I, Ben Essghair M, Bougmiza I, et al. The diagnosis of COPD is recommendation dependent. *Tunis Med*. 2014;92(7):474-81.
- El Attar MN, HadjMabrouk K, Ben Abdelaziz A, Abdelghani A, Bousarssar M, Limam K, et al. Applicability of the Old European Respiratory Society/European Community for Steel and Coal reference equations for spirometry interpretation in Tunisian adult population. *Tunis Med*. 2014;92(8-9):574-80.
- Affes Z, Rekik S, Ben Saad H. Defining obstructive ventilatory defect in 2015. *Libyan J Med*. 2015;10(1):28946.
- Celli BR, et al. An official American thoracic society/European respiratory society statement: research questions in COPD. *Eur Respir J* 2015;45(4):879-905.
- Ben Saad H. Promoting the inclusion of vital-capacity data in the bronchodilator response. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2017;12:1243-5.
- Ben Saad H. Promoting the Inclusion of Lung Volumes in the Reversibility Evaluation. *Respir Care*. 2017;62(2):255-6.
- Ben Salah N, et al. The Z-score: A new tool in the interpretation of spirometric data. *Tunis Med* 2017; 95: 767-71
- Kammoun R, Ghannouchi I, Rouatbi S, Ben Saad H. Defining and grading an obstructive ventilatory defect (OVD): 'FEV(1)/FVC lower limit of normal (LLN) vs. Z-score' and 'FEV(1) percentage predicted (%pred) vs. Z-score'. *Libyan J Med*. 2018;13(1):1487751.

- Graham BL, et al. Standardization of spirometry 2019 update. An official American thoracic society and European respiratory society technical statement. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2019;200(8):e70-e88.
- Ben Saad H. Interpretation of respiratory functional explorations of deficiency and incapacity in adult. *Tunis Med*. 2020;98(11):797-815.
- Anane I, Guezguez F, Knaz H, Ben Saad H. How to Stage Airflow Limitation in Stable Chronic Obstructive Pulmonary Disease Male Patients? *Am J Mens Health*. 2020;14(3):1557988320922630.
- Guezguez F, Ben Saad H. What constitutes a «clinically significant» bronchodilator response in children? *EurRespir J*. 2020;55(5).
- Kammoun R, Ben Saad H. From deficiency to handicap in the respiratory field: lung function tests (LFT) norms and quality of life (QOL) questionnaires validated for the Tunisian population. *Tunis Med*. 2020;98(5):378-95.
- Guezguez F, Knaz H, Anane I, Bougrida M, Ben Saad H. The 'clinically significant' bronchodilator responsiveness (BDR) in children: a comparative study between six definitions of scholarly societies and a mini-review. *Expert Rev Respir Med*. 2021;15(6):823-32.
- Hall GL, Filipow N, Ruppel G, Okitika T, Thompson B, Kirkby J, et al. Official ERS technical standard: Global Lung Function Initiative reference values for static lung volumes in individuals of European ancestry. *EurRespir J*. 2021;57(3).
- Ben Saad H. Review of the current use of global lung function initiative norms for spirometry (GLI-2012) and static lung volumes (GLI-2021) in Great Arab Maghreb (GAM) countries and steps required to improve their utilization. *Libyan J Med*. 2022;17(1):2031596.
- Stanojevic S, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *EurRespir J*. 2022;60(1).
- Ben Saad H. Deterioration of FEV₁ in primary ciliary dyskinesia: What about the conditional change score? *PediatrPulmonol*. 2023;58(11):3038-9.
- Guezguez F, Ghannouchi I, Sayhi A, Charfedji E, Yahyaoui A, Rouatbi S, et al. How to interpret parameters of routine lung function tests in 2023? *Tunis Med*. 2023;101(3):323-33.
- Abdesslem M, Ghannouchi I, Ben Saad H. The pressing need for standardised diagnostic criteria for obstructive ventilatory impairment in adults and children. *Int J Tuberc Lung Dis*. 2024;28(3):166-7.
- Global strategy for prevention, diagnosis and management of COPD (2024 report). www.goldcopd.com.
- Global Strategy for Asthma Management and Prevention (2024 update). <http://ginasthma.org/2024-gina-report-global-strategy-for-asthma-management-and-prevention/>
- https://gli-calculator.ersnet.org/lung_tracker/ (2024)



**TROIS DISPOSITIFS,
UNE SEULE FORMULATION EXTRA-FINE**



Foster® NEXThaler® 100/6



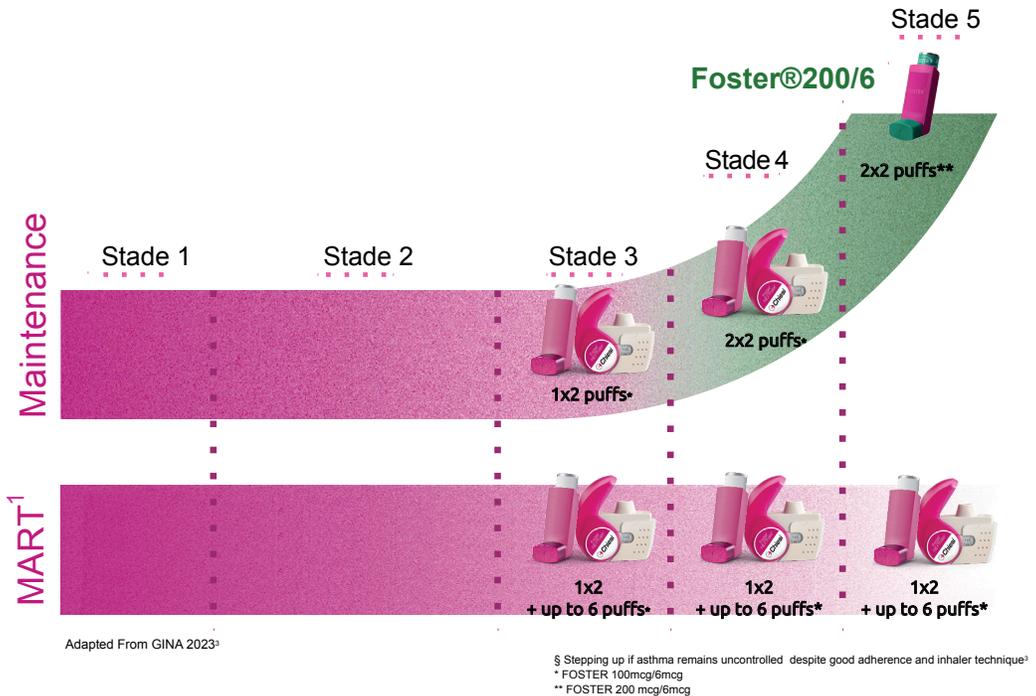
Foster® 100/6 pMDI



Foster® 200/6 pMDI

Foster®
reach. treat. benefit.

La Famille de Foster® offre une **posologie flexible** en fonction des besoins de vos patients asthmatiques :¹⁻³



1. Foster 100/6 SmPC
2. Foster 200/6 SmPC
3. Global Initiatives for Asthma (GINA) 2023
- a. De Backer et al, J Aerosol Med Pulm Drug Deliv 2010; 23(3):137-148
- b. Calverley et al, Respir Med 2010; 104(12):1858-1868
- c. Singh et al, BMC Pulm Med 2014; 14:43
- d. Terzano et al, Respir Res 2012;13:112
- e. Müller et al, BMC Pulm Med 2011; 11:40
- f. Foster®100/6 pMDI SmPC
- g. Foster®NEXThaler®100/6 SmPC
- h. Vos et al, Respiration 2013; 86:393-401

SCAN ME



Pour une information complète sur le Foster®, consultez le RCP en flashant ce QR code