

# Explorations fonctionnelles respiratoires en pédiatrie

Cours du Dr Hélène Barrier - Assistante spécialiste, Pneumopédiatrie Lyon

Dr Priscille BIERMÉ-NEUVILLE- PH pneumo-allergologue pédiatre



# Rappels théoriques



# EFR ?

## Que peut-on mesurer ?

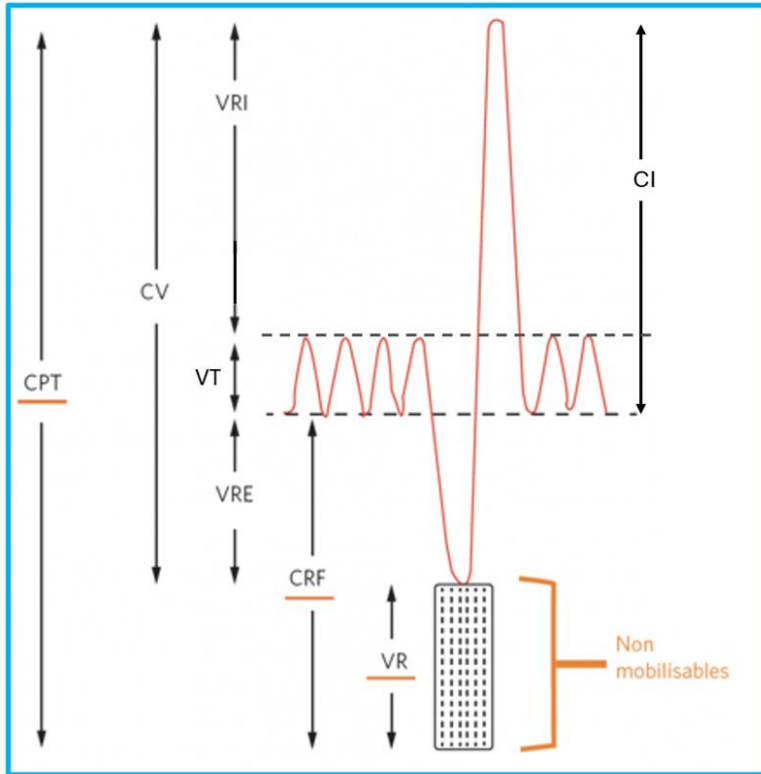
- Des **volumes pulmonaires et des débits** ventilatoires : peak-flow = DEP, spirométrie, dilution de l'hélium, pléthysmographie
- Des **résistances** des VA : interruption de débit, oscillations forcées, en pléthysmographie
- Un **coefficient de diffusion du CO** (KCO) et un **VA** pour calculer la DLCO
- Des **paramètres d'hématose** (PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>) par gazométrie artérielle ou capillaire artérialisée
- Un **indice de clairance pulmonaire** d'un gaz marqueur inerte (IPC, LCI)
- La **fraction expirée en NO (FeNO)**, le taux de NO dans les fosses nasales (**NO nasal**)
- La pression générée par les muscles respiratoires : **PI max, PE max, Sniff test**
- ...

# EFR ?

De nombreux tests existent :

- **Test de bronchodilatation** = test de réversibilité aux bronchodilatateurs
- **Test de provocation / bronchoconstriction / hyperréactivité bronchique** : stimuli directs (métacholine, ...), indirects (test de course , hyperventilation isocapnique = spontanée)
- **Test d'effort = EFX / VO2 max** pour diagnostiquer une éventuelle limitation à l'effort et mécanisme (cardiovasculaire, musculaire, respiratoire, mixte)
- **Test de marche 6 minutes** pour dépister une désaturation à l'effort
- **Test d'hyperventilation provoquée** : pour diagnostiquer un syndrome d'hyperventilation inappropriée avec hypocapnie persistante
- ...

# VOLUMES et DÉBITS : comprendre



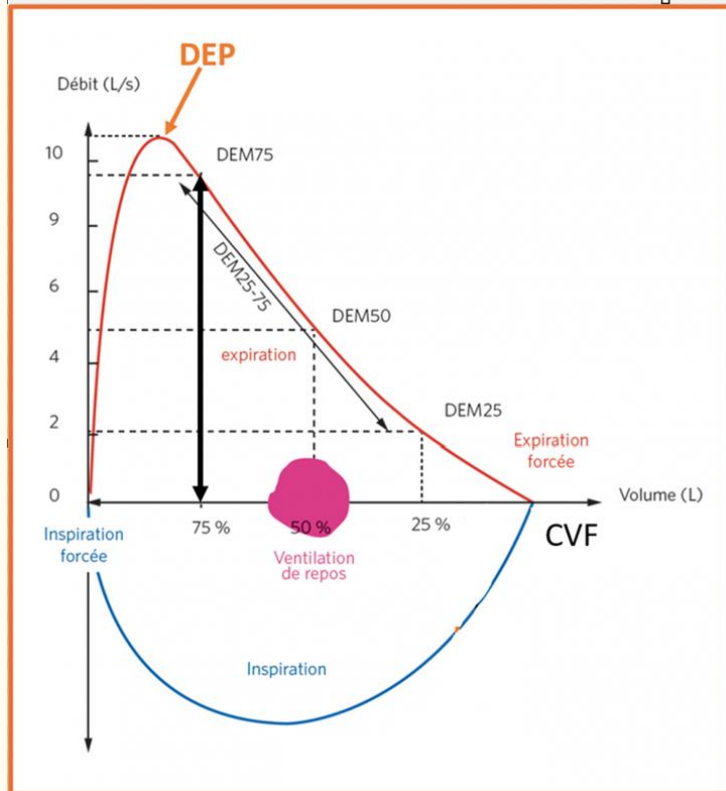
## Volumes dynamiques = mobilisables en totalité par la ventilation

- **volume courant (VT)** : déplacé en respiration calme
- **volumes de réserve (VRI, VRE)** : déplacés en inspirant ou en expirant au maximum, à la fin du VT
- **capacité inspiratoire (CI)** : mobilisé par une inspiration lente à la fin d'une expiration calme
- **capacité vitale (CV)** : ensemble du volume déplacé en ventilation maximale ( $VT + VRI + VRE$ ), en manœuvre lente (CVL) ou forcée (CVF)

## Volumes statiques = au moins en partie non mobilisables, avec du volume qui reste dans les poumons

- **volume résiduel (VR)** : volume restant dans les poumons après une expiration maximale
- **capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** : volume présent à l'équilibre statique du poumon, après une expiration normale
- **capacité pulmonaire totale (CPT)** : volume d'air maximal présent dans les VA + les poumons après une inspiration max.

# VOLUMES et DÉBITS : comprendre



Respiration initialement en volume courant (rond rose)

Puis inspiration profonde forcée

Puis expiration explosive, sans hésitation

- le débit augmente et atteint son maximum très rapidement : c'est le **DEP**
- pendant la première seconde de l'expiration maximale, le patient expire son **VEMS**
- la première partie de la courbe est assez dépendante de l'effort fourni par le patient (jusqu'à environ 65% de la CVF)
- puis le débit baisse jusqu'à ce que la totalité du volume pulmonaire mobilisable soit expirée = **jusqu'à la CVF**
- la deuxième partie de la courbe est plutôt indépendante de l'effort / la volonté du patient. **DEMM 25-75 = Débit Expiratoire Maximal Moyen** atteint entre 25% et 75% de la CVF

# QUELLE TECHNIQUE à QUEL ÂGE ?

**Dès 2 ANS** : mesure des **résistances par oscillations forcées** (peu réalisé en pratique courante)

**A partir de 3-4 ANS** : spirométrie = courbe débit-volume (mesure des volumes mobilisables), résistances par interruption de débit

**A partir de 5 - 6 ANS** :

- CRF par dilution de l'hélium, mesure des volumes non mobilisables, en respiration spontanée (pas de cabine, pas d'occlusion)
- ICP ou LCI : marqueur d'hétérogénéité de la ventilation
- NO nasal : examen de 1ère ligne dans la démarche diagnostique de la DCP

**A partir de 7 ANS environ** :

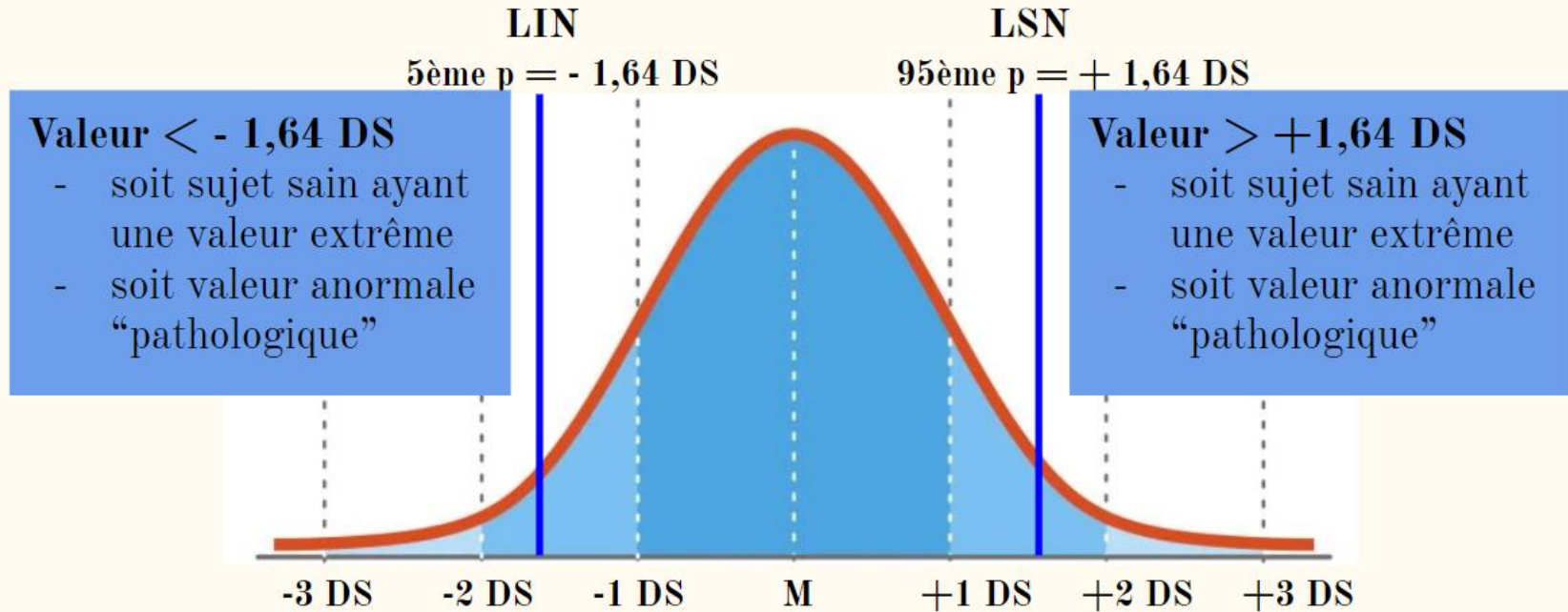
- **Pléthysmographie** : mesure des volumes non mobilisables (cabine, occlusion) et résistances
- PI max /PE max /Sniff test : étude des muscles respiratoires
- **FeNO** : reflet de l'inflammation éosinophilique des VA (phénotypage de l'asthme)
- DLCO : pour étudier la membrane alvéolo-capillaire

# COMMENT bien interpréter

- ❖ **Utiliser les bonnes normes : GLI mises à jour en 2021**, convertisseur GLI Lung Function Calculator (pour comparer aux EFR antérieures, ou obtenir le Z-Score de la DLCO qui n'est pas toujours paramétré) - dépendent de l'âge, du sexe, de la taille et de l'ethnie
  - **attention à la taille** : chez un enfant scoliotique ou myopathe, prendre en compte l'envergure / mesurer l'ulna et/ou le tibia
  - **attention à l'ethnie** : pas de normes disponibles pour les volumes non mobilisables en pléthysmographie
- ❖ Prendre en compte les conditions de réalisation : exacerbation respiratoire aiguë ou récente ? traitement BDCA pris il y a moins de 4 à 6H ?
- ❖ Avoir des informations sur la technique de réalisation des exercices



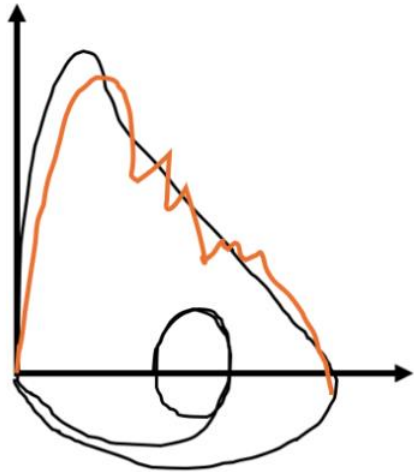
# NORMES : fini les pourcentages → utiliser le ZS



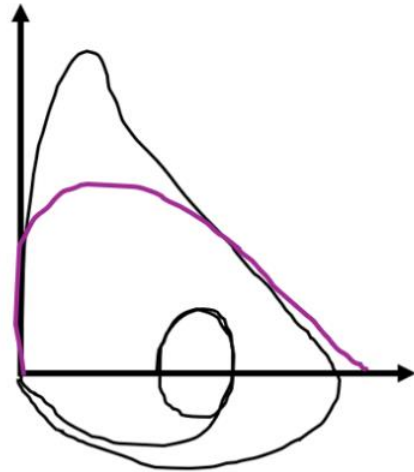
Z-Score : façon d'exprimer la mesure, en variation par rapport à la moyenne

Unité du Z-Score : déviation standard

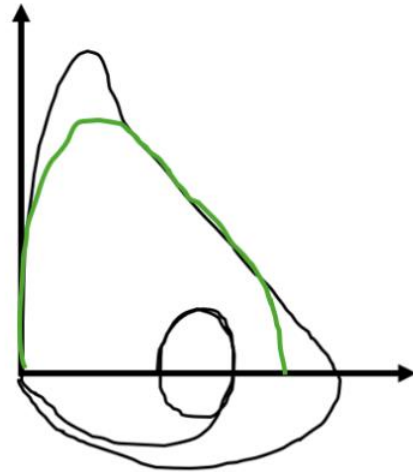
# SPIROMÉTRIE : que nous apprend la courbe ?



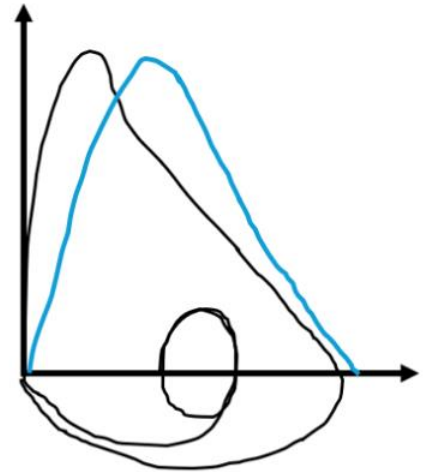
A.



B.

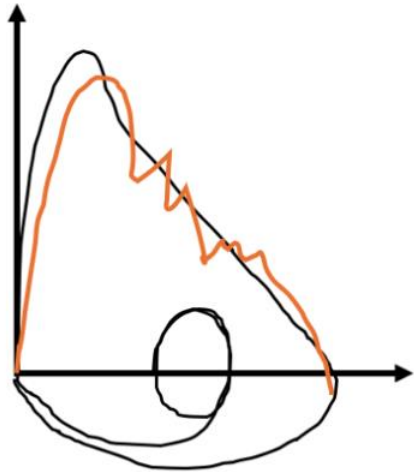


C.

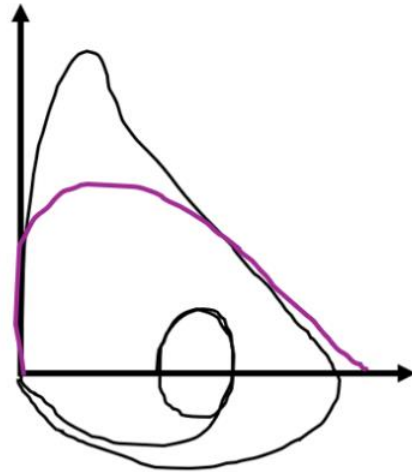


D.

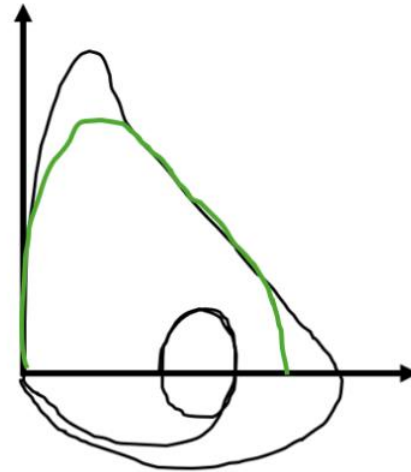
# SPIROMÉTRIE : que nous apprend la courbe ?



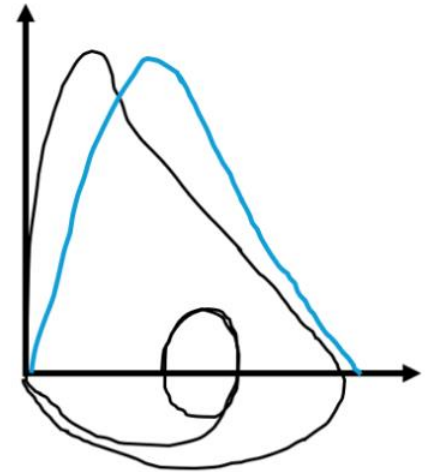
**A. artéfacts de  
toux et fermeture  
de glotte**



**B. effort sous  
maximal, DEP  
sous-donné**

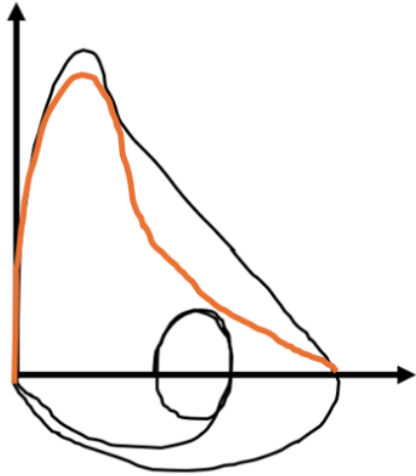


**C. expiration  
tronquée, CVF  
sous-estimée**

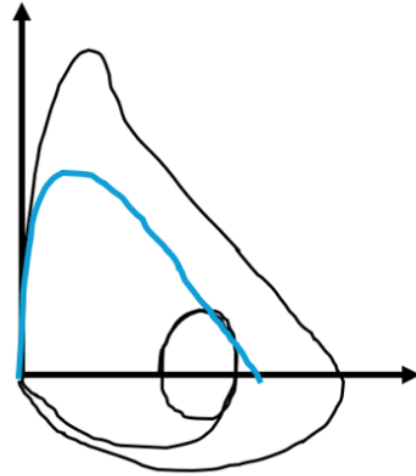


**D. hésitation /  
départ trop lent de  
l'expiration**

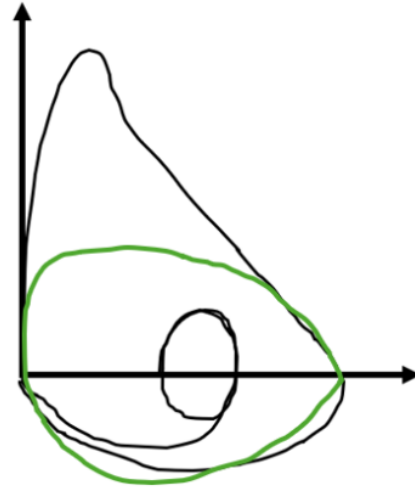
# SPIROMÉTRIE : que nous apprend la courbe ?



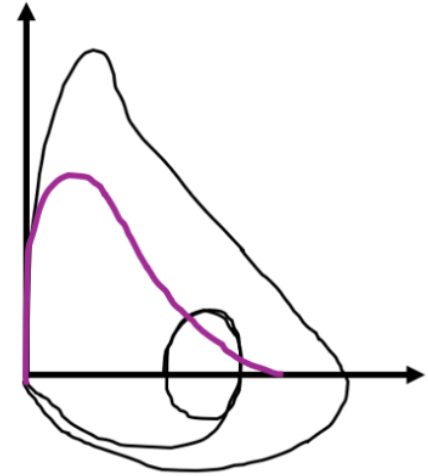
A.



B.

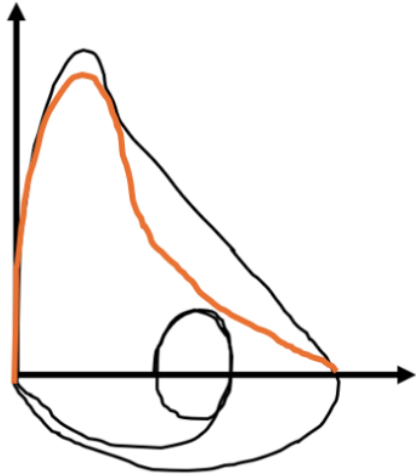


C.

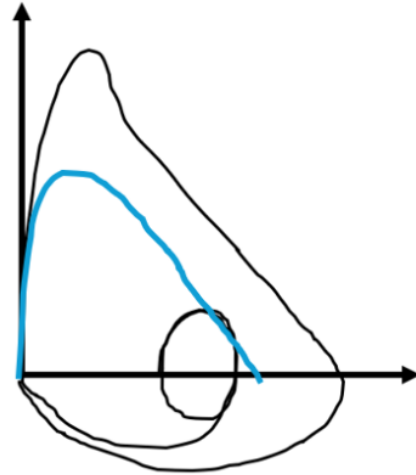


D.

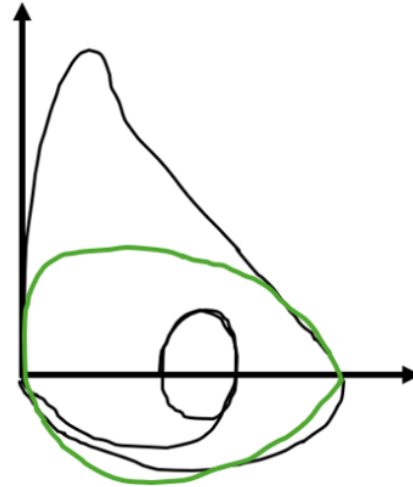
# SPIROMÉTRIE : que nous apprend la courbe ?



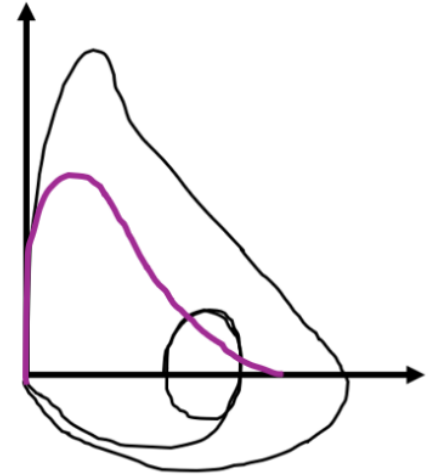
A. courbe DV concave, suspicion de TVO



B. courbe DV en "petit format", suspicion de TVR



C. courbe DV avec plateau expiratoire, suspicion d'atteinte trachéale



D. courbe DV concave + en petit format, suspicion de TV mixte

# SPIROMÉTRIE : les colonnes

	<b>Théo</b>	<b>LSN</b>	<b>Pré</b>	%Théo	<b>Z-Score</b>	Z-Score Théo	<b>Post</b>	%Téo	<b>Post/Pré</b>	<b>Z-Score</b>	Z-Score Théo
Date test			11.03.24				11.03.24				
Heure du test			14:42				14:50				

**Théo**: valeur théorique moyenne chez les enfants sains de même âge, sexe, taille et ethnique

**LSN ou LSN** : valeur située à - 1,64 et + 1,64 DS

**Pré** : valeur basale de l'enfant, pré-BD, en litre ou litre/sec

**ZS** : valeur basale de l'enfant, exprimée en DS / écart-type par rapport à la M

**Post** : valeur après VENTOLINE, en litre ou litre/sec

**ZS** : valeur après VENTOLINE, exprimée en DS

**Post/Pré** = anciennes reco : post-pré / pré, variation par rapport à la valeur pré-BD (12%)

**%Var** = nouvelles reco : post-pré / théo, variation par rapport à la valeur théorique du VEMS (10%)

<b>CVF</b>	L	2.40	2.86	2.13	88.9	-0.95	*	2.17	90.5	1.8	-0.81	*
<b>VEMS</b>	L	2.05	2.43	1.39	67.7	-2.82	*	1.60	77.9	15.0	-1.94	*
<b>VEM 0.5</b>	L			0.98				1.17		9.0		
<b>VEMS % CVF</b>	%	86.4	95.0	65.3	75.6	-2.78	*	73.8	85.4	13.0	-1.85	*
<b>DEP</b>	L/s	4.63	6.45	3.19	68.8	-2.22	*	4.01	86.5	25.7	-0.96	*
<b>DEMM 25/75</b>	L/s	2.36	3.35	0.84	35.8	-3.44	*	1.17	49.8	39.1	-2.52	*

# SPIROMÉTRIE : l'interprétation

## VEMS/CVF < - 1,64 DS

- Avec CVF normale : TVO
  - sévérité sur le VEMS < - 1,64 DS = léger < - 2,5 DS = modéré < - 4 DS = sévère
- Avec CVF < - 1,64 DS : TVO a minima, probable TV mixte avec syndrome restrictif associé
  - une CVF basse ne permet pas d'affirmer un syndrome restrictif (CPT basse dans 50% des cas)  
→ seule la mesure des volumes statiques peut confirmer un TVR

## VEMS/CVF ≥ - 1,64 DS

- Avec CVF normale : spirométrie normale
- Avec CVF < - 1,64 DS :
  - VEMS normal = vérifier la technique, possible expiration tronquée ?
  - VEMS < - 1,64 DS = spirométrie altérée avec rapport préservé (PRISM) :
    - Possible syndrome restrictif
    - Possible atteinte obstructive des voies aériennes distales (« syndrome obstructif périphérique »)
    - Possible effort sous maximal

# SPIROMÉTRIE : l'interprétation

## « Réversibilité significative » ou « Réponse exagérée aux bronchodilatateurs » ?

- En pratique : **4 bouffées de VENTOLINE**, 10 minutes de pause, nouvelle spirométrie
- **Systematique ?**
  - o En pratique : au moins une fois chez tout enfant suspect d'être asthmatique
  - o Consensus = inutile si  $VEMS > + 0,42 DS$  et  $VEMS / CVF > - 0,16 DS$  (même pourcentage de réversibilité entre les enfants sains et asthmatiques)
- **Définition : augmentation du VEMS et/ou de la CVF post BD  $\geq 10\%$  de la valeur théorique (avant = 12% de la valeur pré-BD)**



# PLÉTHYSMOGRAPHIE : les colonnes

		Théo	Pré	Pre%...	Z-Score	Z-Score
Date test			01.08.24			
Heure du test			11:19			
CRFpl	L	1.22	1.09	88.9	-0.56	
VR	L	0.60	0.75	124.4	0.48	
VRE	L	0.59	0.34	57.6	-1.91	
CPT	L	2.57	1.58	61.5	-3.23	
VR % CPT	%	21.5	47.3	220.7	2.65	
CRFpl% CPT	%	46.70	68.84	147.4	5.51	

**Théo: valeur théorique moyenne chez les enfants caucasiens sains de même âge, sexe, taille**

**Pré : valeur basale de l'enfant, en litre**

**Pré% : pourcentage de la valeur théorique**

**ZS : valeur basale de l'enfant, exprimée en DS**

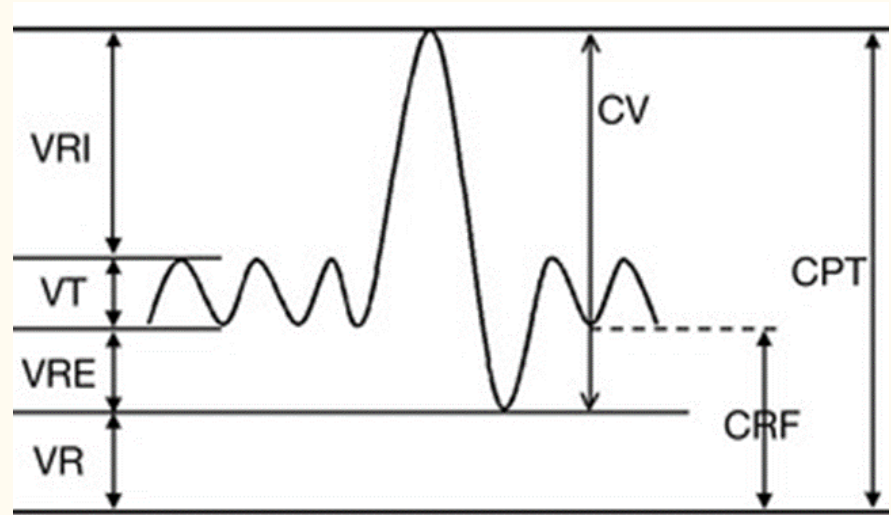
**Attention**, pas de normes disponibles pour les enfants non caucasiens → risque de conclure à tort à un trouble ventilatoire restrictif chez les populations :

- noires (volumes en moyenne plus bas de 12%)
- asiatiques (volumes en moyenne + bas de 6%)

# PLETH : l'interprétation

## CPT > + 1,64 DS

- **Rapports VR/CPT et/ou CRF/CPT normaux :**  
grands volumes pulmonaires physiologiques /  
poumons larges
- **Rapports VR/CPT et CRF/CPT > + 1,64 DS :**  
**distension thoracique (hyperinflation)**



## CPT normale

- Avec **VEMS et CVF normaux** : volumes normaux
- Avec **VEMS et CVF bas + rapport VEMS/CVF normal** : DVNS = déficit ventilatoire non spécifique (anciennement « syndrome obstructif périphérique »)
  - stable sans évolution dans 2/3 des cas
  - précurseur d'un processus restrictif ou obstructif dans 1/3 des cas

# PLETH : l'interprétation

## CPT < -1,64 DS : TV restrictif

- Avec CRF et VR bas : TVR simple ou pur

→ par exemple dans la fibrose

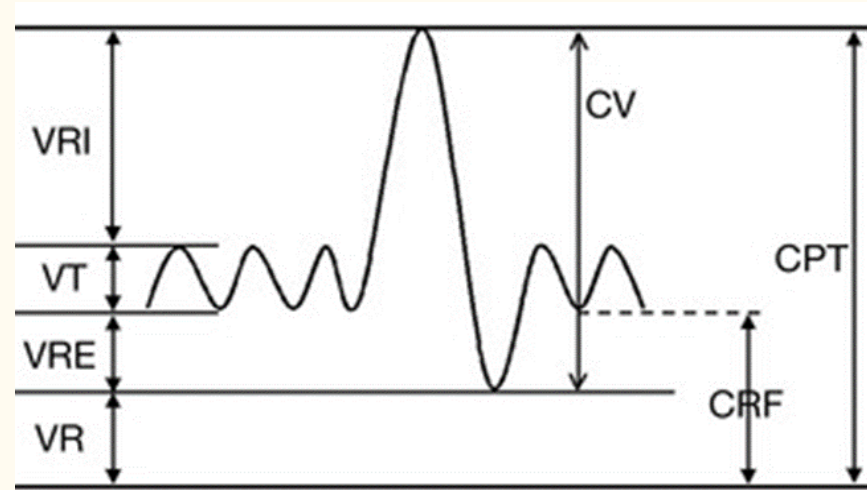
→ tous les volumes sont abaissés de manière homogène

- Avec rapports CRF/CPT et VR/CPT augmentés : TVR complexe

→ par exemple dans les maladies neuromusculaires

→ CPT basse par faiblesse du diaphragme, VR normal ou augmenté par manque de mobilisation de la cage thoracique (syndrome hypodynamique), CRF moins abaissée voire conservée car pas d'atteinte du parenchyme pulmonaire

- Avec VEMS/CVF bas : trouble ventilatoire mixte (obstructif et restrictif)



# PLETH : l'interprétation

## Distension thoracique (hyperinflation) une définition non consensuelle

Rapports VR/CPT et CRF/CPT augmentés

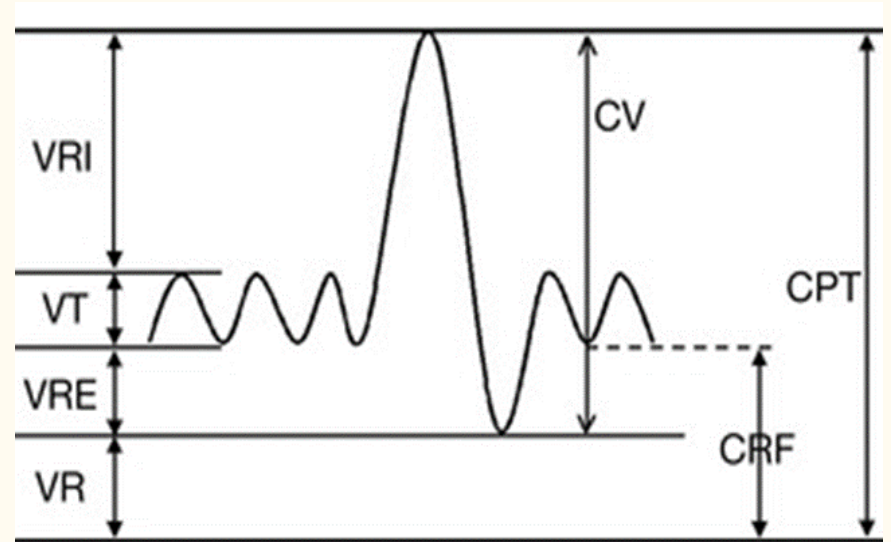
- Légère : VR augmenté\*
- Modérée : VR et CRF augmentés
- Sévère : VR, CRF et CPT augmentés

Situation typique = **BPCO avec TVO + emphysème**

## Piégeage gazeux (air trapping)

Rapport **VR/CPT augmenté** mais CRF/CPT normal

- soit sur un TVO
- soit sur un défaut d'expiration dans une MNM



**CRF et VRE ↗ à VR normal** : non pathologique, absence de relâchement musculaire lors de l'examen

$$DLCO = KCO \times VA$$

*KCO = coefficient de transfert du CO mesuré à travers la membrane AC*

*VA = volume alvéolaire mesuré par dilution*

*DLCO = TLCO = capacité de diffusion du CO, calculée*

### **Facteurs qui influencent la valeur de la DLCO :**

- Hémoglobine : le CO se fixe à l'Hb, donc la DLCO augmente en cas de polyglobulie et diminue en cas d'anémie → on corrige donc sur l'Hb pour s'affranchir de ce facteur
- L'altitude : baisse de la fraction inspirée en O<sub>2</sub>, augmentation de la DLCO
- L'exercice physique : l'augmentation du débit cardiaque entraîne une augmentation du volume capillaire pulmonaire, de l'Hb disponible et donc de la DLCO
- *Le taux de Carboxy-Hb : donc pas de tabac dans les 24H*

$$DLCO = KCO \times VA$$

*KCO = coefficient de transfert du CO mesuré à travers la membrane AC*

*VA = volume alvéolaire mesuré par dilution*

*DLCO = TLCO = capacité de diffusion du CO, calculée*

### DLCO > + 1,64 DS

- Augmentation du flux sanguin / du DC : Shunt G > D, asthme léger avec recrutement vasculaire, hyperthyroïdie, obésité
- Hémorragie intra-alvéolaire : avec diminution du VA

### DLCO < - 1,64 DS

- Avec VA abaissé et KCO normal : séquelle de pneumonectomie = perte localisée de volume, ou incapacité à mobiliser ce volume (maladie neuromusculaire, ou problème de technique)
- Avec VA abaissé et KCO abaissé : **anomalie de la structure alvéolo-capillaire avec perte de volume pulmonaire sur une PID ou de l'emphysème**
- Avec VA normal et KCO abaissé : anomalie vasculaire (vascularite, HTAP)

## RESUME : quelques définitions à retenir

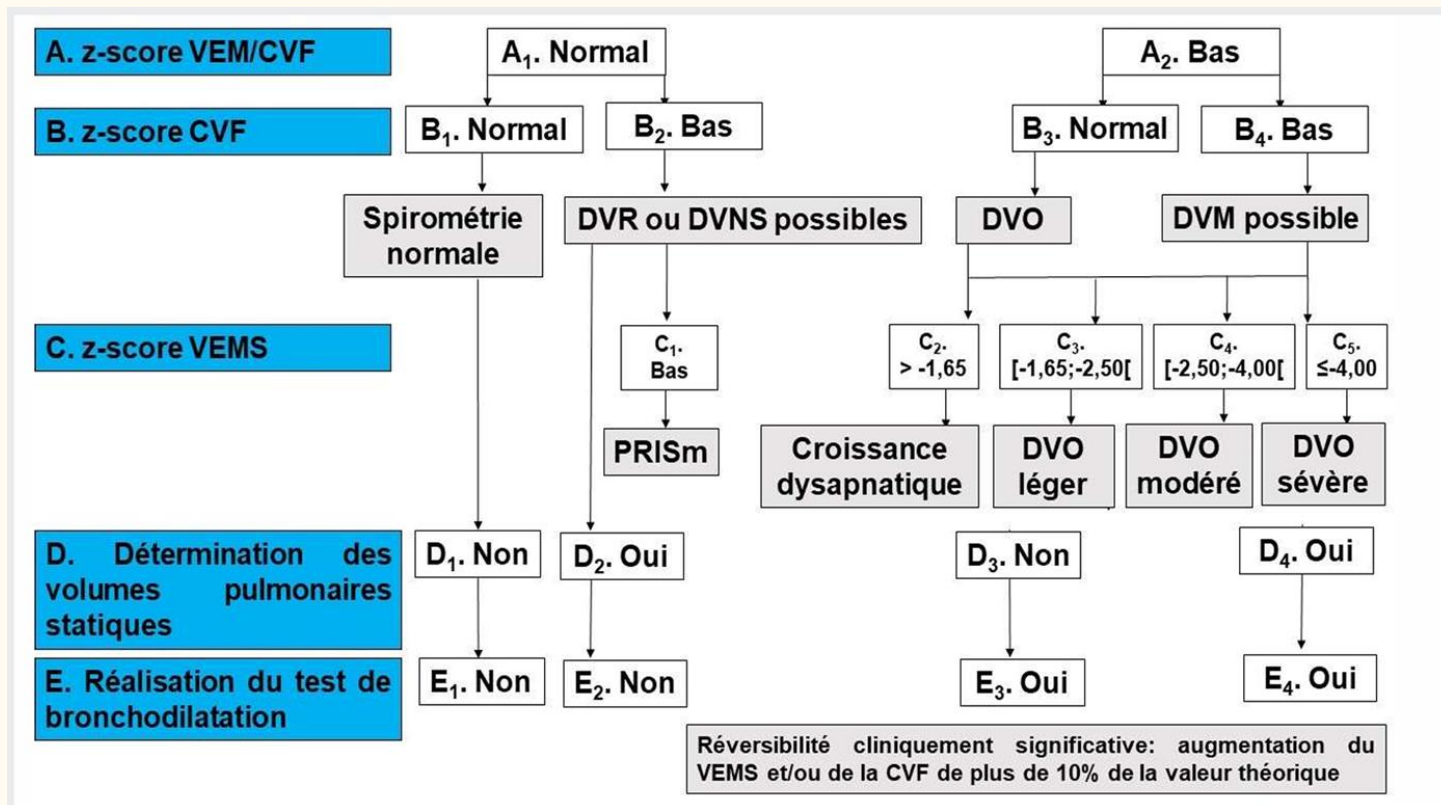
- **TVO** : **VEMS/CVF** < - **1,64 DS**, aspect concave de la courbe DV
  - **Réversibilité significative sur le VEMS et/ou la CVF** : + 10% par rapport à la valeur théorique en post VENTOLINE
- Une CVF basse ne suffit pas pour parler d'un syndrome restrictif
- **TVR** : **CPT** < - **1,64 DS**, pur ou complexe
- **TVM** : **VEMS/CVF** < - **1,64 DS** et **CPT** < - **1,64 DS**
- **TVNS** : VEMS bas, CVF basse, VEMS/CVF normal, CPT normale

# SEUILS utilisés en pratique

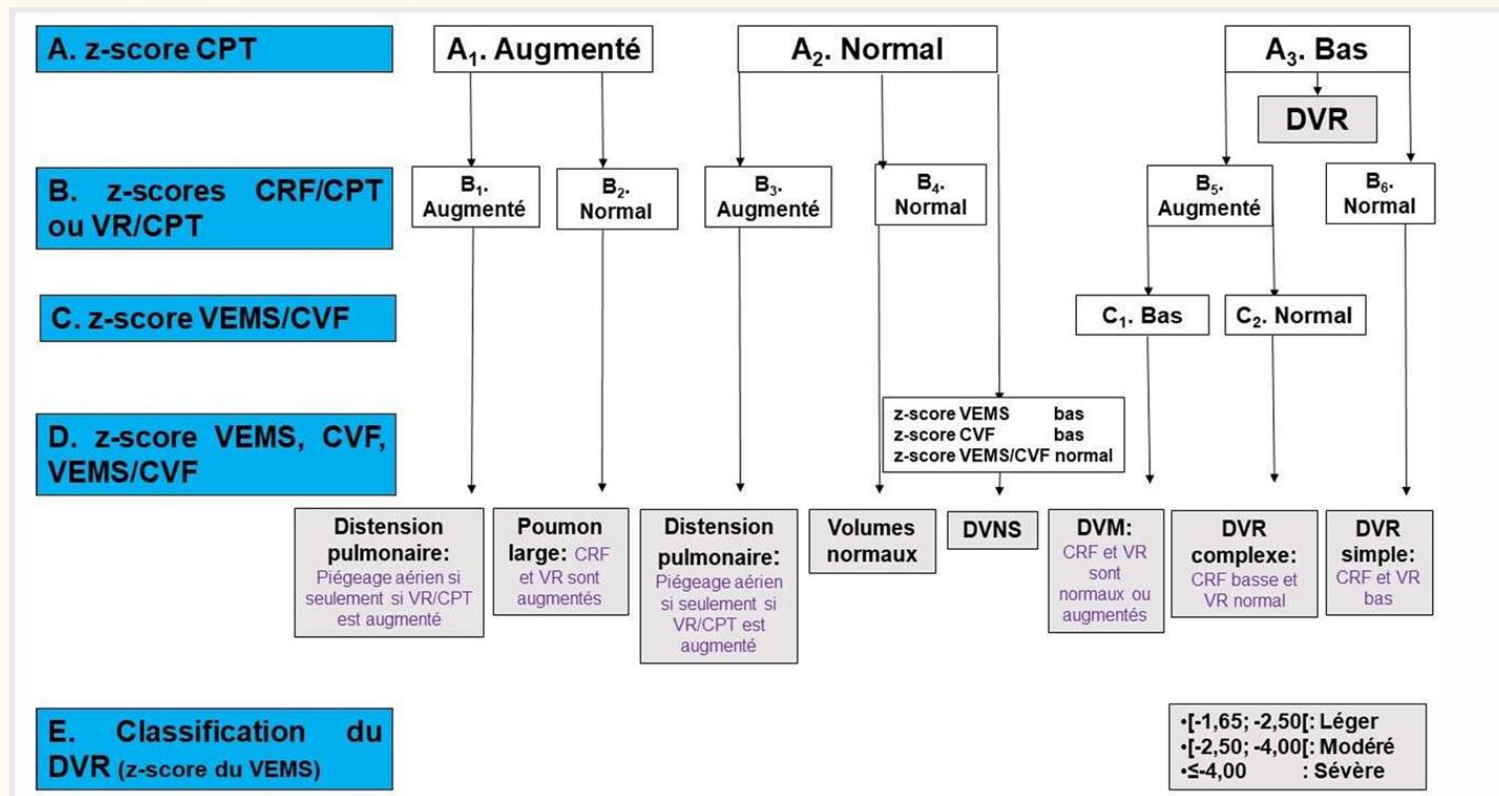
- **ICP = LCI<sub>2,5</sub> > 7,91** → hétérogénéité de la ventilation avec **atteinte obstructive des voies aériennes distales**
- **FeNO élevée** → inflammation éosinophilique des voies aériennes
  - > 35 ppb avant 12 ans (intermédiaire entre 20 et 35 ppb)
  - > 50 ppb après 12 ans (intermédiaire entre 25 et 50 ppb)
- **NO nasal > 250 ppb ou 77 nL/min** (en expi contre résistance ou apnée) : élimination du diagnostic de DCP, en l'absence de forte suspicion clinique
- **Chute VEMS > 20% après inhalation de métacholine** → hyperréactivité bronchique, bonne VPN pour éliminer un asthme en cas de probabilité clinique intermédiaire
- **Chute VEMS > 10% entre 0 et 30 minutes après un test de course** → bronchoconstriction induite par l'effort



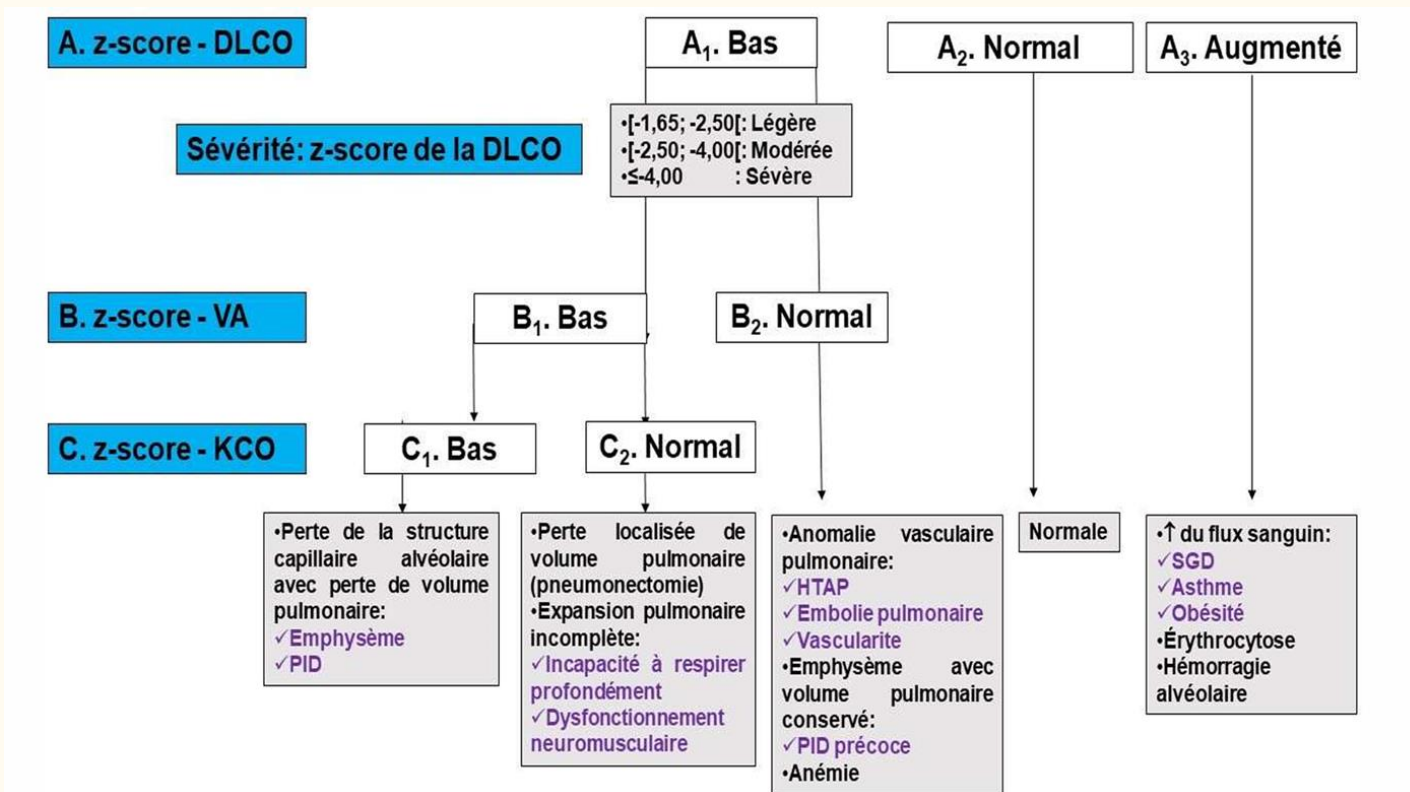
# CONCLUSION : algorithmes



# CONCLUSION : algorithmes



# CONCLUSION : algorithmes



# PROPOSITION POUR LES CR

EFR : technique.... correcte / partiellement maîtrisée / non maîtrisée\*

## ❖ *Résultats :*

- VEMS %, CVF%, VEMS/CVF 0,XX ; DEMM 25-75%

**Indiquer entre parenthèses (- X,X DS) seulement si anormal**

**VEMS/CVF : comme tous les rapports, moins d'erreurs si 0,XX (vs pourcentage)**

- Post VENTOLINE : +% par rapport aux VEMS théorique
- CPT%, VR%, CRF%, VR/CPT 0,XX
- DLCO %, KCO%

❖ *Interprétation :* pas de / trouble ventilatoire obstructif (léger/modéré/sévère), pas de / réponse exagérée aux bronchodilatateurs, pas de trouble ventilatoire restrictif, pas de distension thoracique, pas d'anomalie de la diffusion du CO