

EXPLORATION FONCTIONNELLE RESPIRATOIRE

Cours destiné aux étudiants en kinésithérapie (L3)

- *Débora* TUKA DEBOLA
- Debora.tuka.debola@u-picardie.fr

Pourquoi étudier les explorations fonctionnelles respiratoires ?

- **EFR** fournissent des informations importantes sur le fonctionnement du système respiratoire.
- Interprétation nécessite une bonne compréhension de la **physiologie respiratoire sous-jacente**.
- La physiologie permet de comprendre :
 - ce que mesure chaque exploration ;
 - la signification des modifications observées ;
 - le lien entre les résultats fonctionnels et l'état clinique du patient

Objectif général

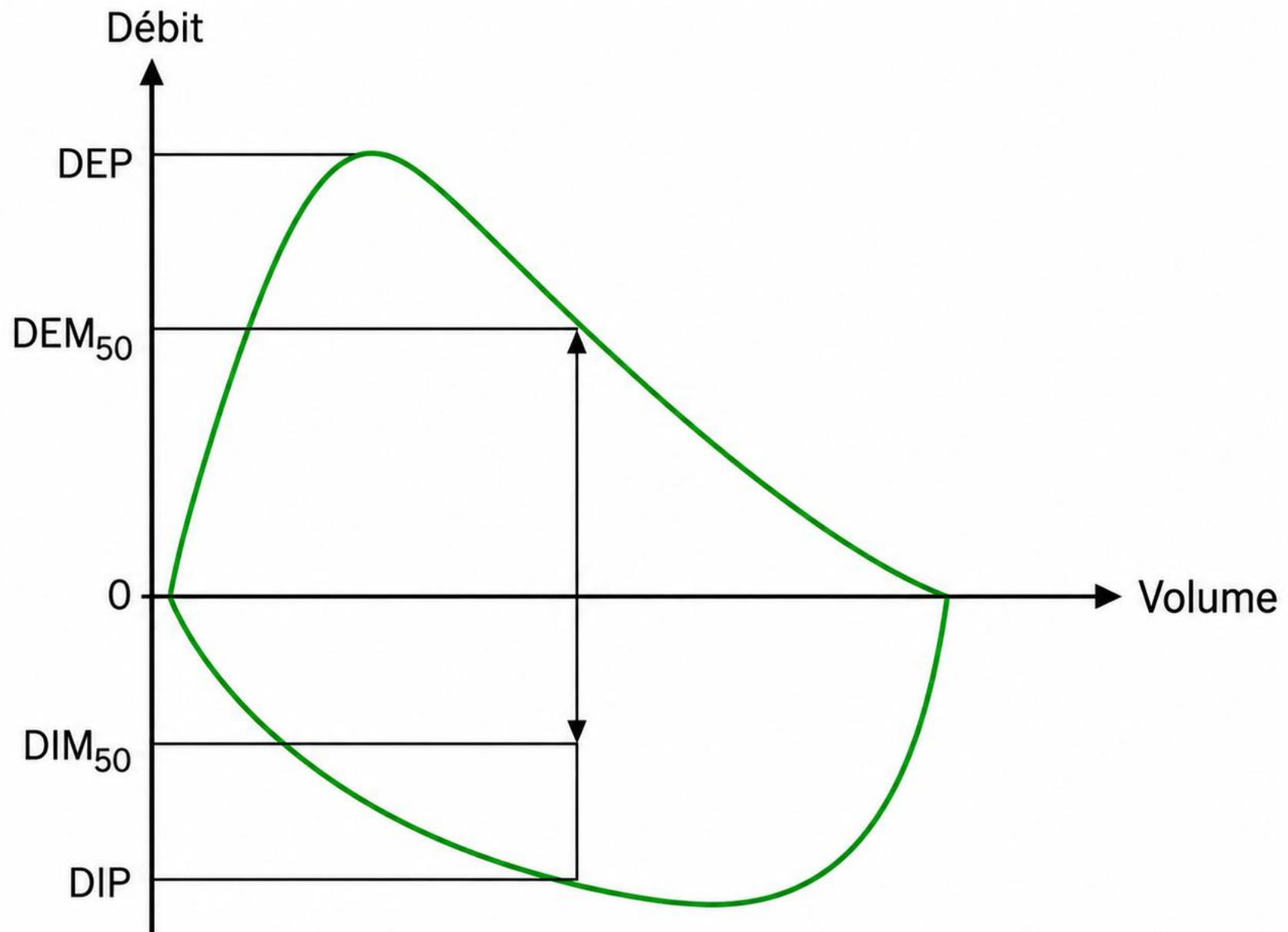
Comprendre et interpréter les principales explorations fonctionnelles respiratoires afin d'évaluer le fonctionnement du système respiratoire et d'en reconnaître les principales anomalies

Objectifs du cours

- Comprendre les principes physiologiques sur lesquels reposent les EFR.
- Connaître les principales explorations des propriétés mécaniques du système respiratoire
- Identifier et interpréter les principales anomalies fonctionnelles respiratoires.
- Comprendre les principes d'interprétation des gaz du sang,
- Comprendre l'intérêt des principales épreuves d'effort
- Relier les résultats des explorations fonctionnelles aux principales pathologies respiratoires et à la situation clinique du patient.

Plan du cours

- I. Exploration des propriétés mécaniques du système respiratoire
- II. Interprétation des gaz du sang
- III. Épreuves d'effort
- IV. Profils des anomalies fonctionnelles selon les pathologies



Débits inspiratoires maximaux

I. EXPLORATIONS DES PROPRIETES MECANIQUES RESPIRATOIRES

Cours destiné aux étudiants en kinésithérapie (L3)

- *Débora* TUKA DEBOLA
- Debora.tuka.debola@u-picardie.fr

Définition et objectifs

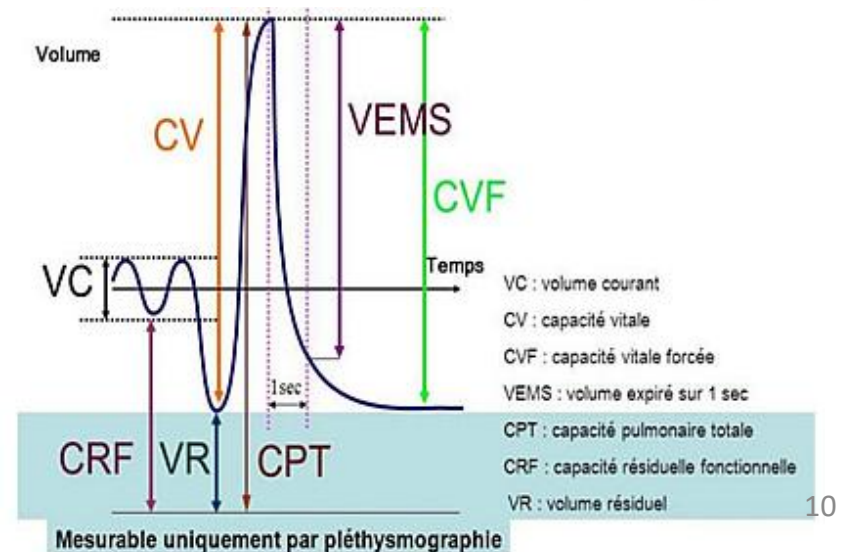
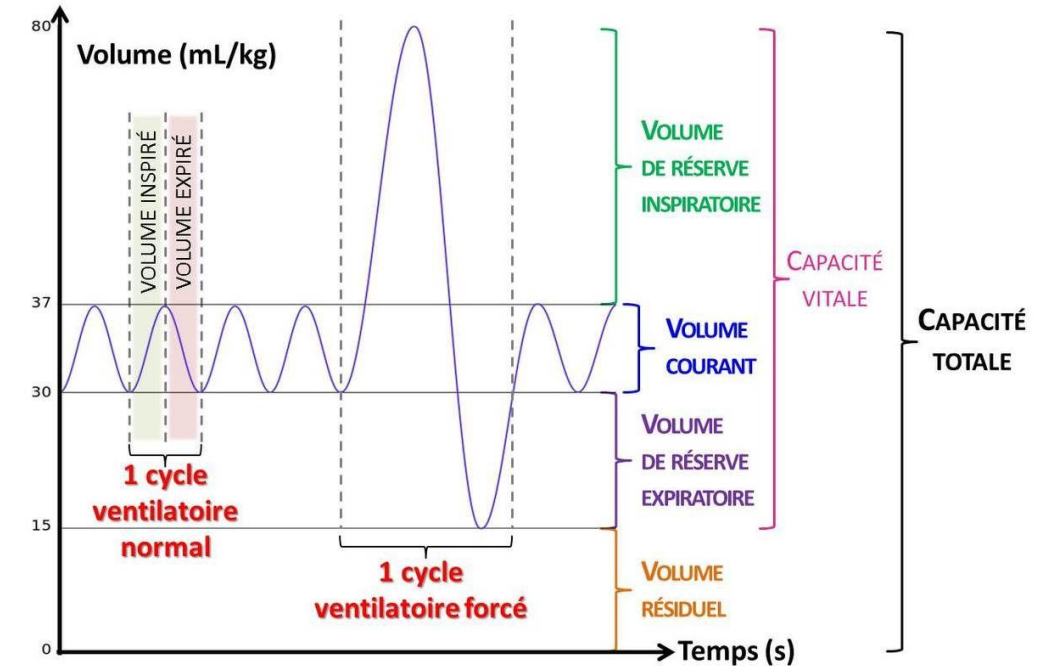
- **Définition** : Ensemble des examens permettant d'évaluer le fonctionnement mécanique de la **pompe ventilatoire** et des **voies aériennes**
- **Objectifs** : évaluer le fonctionnement de la pompe ventilatoire et des voies aériennes
 - Evaluer les débits aériens ;
 - Mesurer les volumes pulmonaires ;
 - Apprécier la distensibilité du poumon et de la paroi thoracique ;
 - Evaluer la résistance des voies aériennes ;
 - Apprécier la force des muscles respiratoires ;
 - Mettre en évidence les principales anomalies ventilatoires.

Principales explorations

- Débit expiratoire de pointe
- Spirométrie
- Exploration de la réactivité bronchique
- Boucle débit/volume
- Compliance statique
- Volumes pulmonaires
- Capacité de diffusion
- Puissance des muscles respiratoires
- Résistance des voies aériennes

Rappel physiologique (Volumes pulmonaires)

- **Volumes pulmonaires**
- **VT : Volume courant (autour de 500 ml)**
Volume d'air inspiré ou expiré lors d'une respiration normale.
- **VRI : Volume de réserve inspiratoire**
Volume supplémentaire pouvant être inspiré après une inspiration normale.
- **VRE : Volume de réserve expiratoire**
Volume supplémentaire pouvant être expiré après une expiration normale.
- **VR : Volume résiduel**
Volume d'air restant dans les poumons après une expiration maximale.
- **VEMS**
Volume Expiratoire Maximal en 1 seconde
→ volume expiré pendant la 1^{re} seconde d'une expiration forcée



Rappel physiologique (Capacités pulmonaires)

➤ Capacités pulmonaires

➤ CV : Capacité vitale

Volume maximal d'air que vous pouvez expirer après une inspiration profonde.

$$CV = VRI + VT + VRE$$

➤ CRF : Capacité résiduelle fonctionnelle

Volume d'air restant dans les poumons à la fin d'une expiration normale.

$$CRF = VRE + VR$$

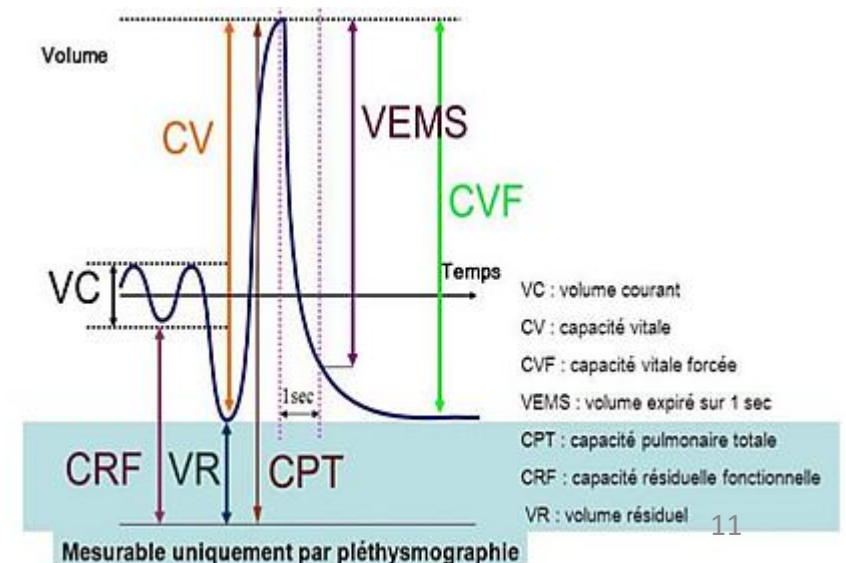
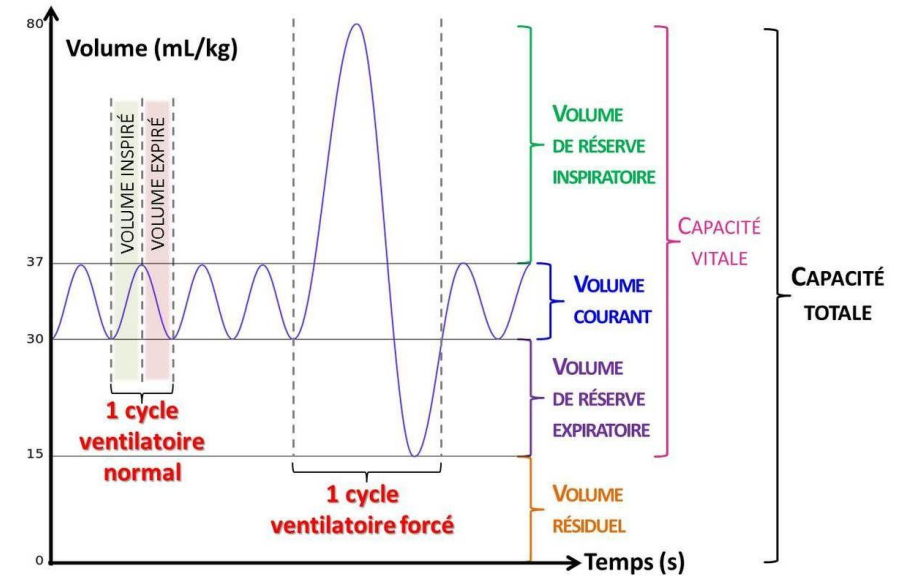
➤ CPT : Capacité pulmonaire totale

Volume total contenu dans les poumons après une inspiration maximale.

$$CPT = CV + VR$$

➤ CVF : Capacité Vitale Forcée

volume total expiré lors d'une expiration forcée après inspiration maximale



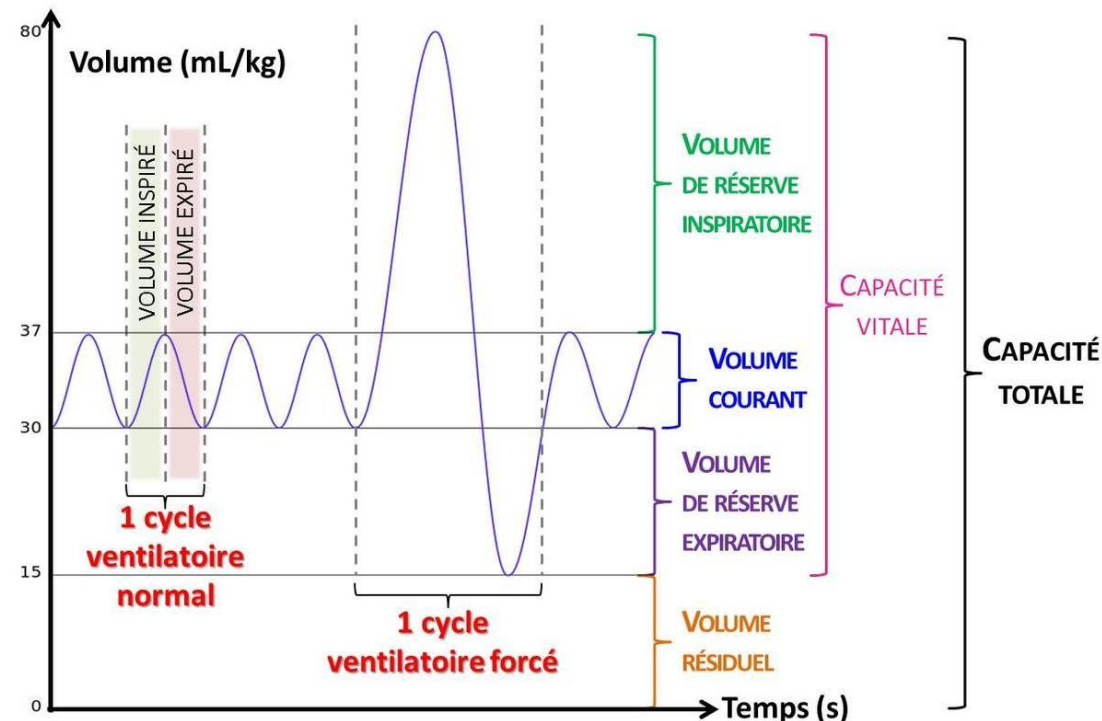
Rappel physiologique (Volumes pulmonaires)

Volumes

- **VT** : volume courant
- **VRI** : volume de réserve inspiratoire
- **VRE** : volume de réserve expiratoire
- **VR** : volume résiduel

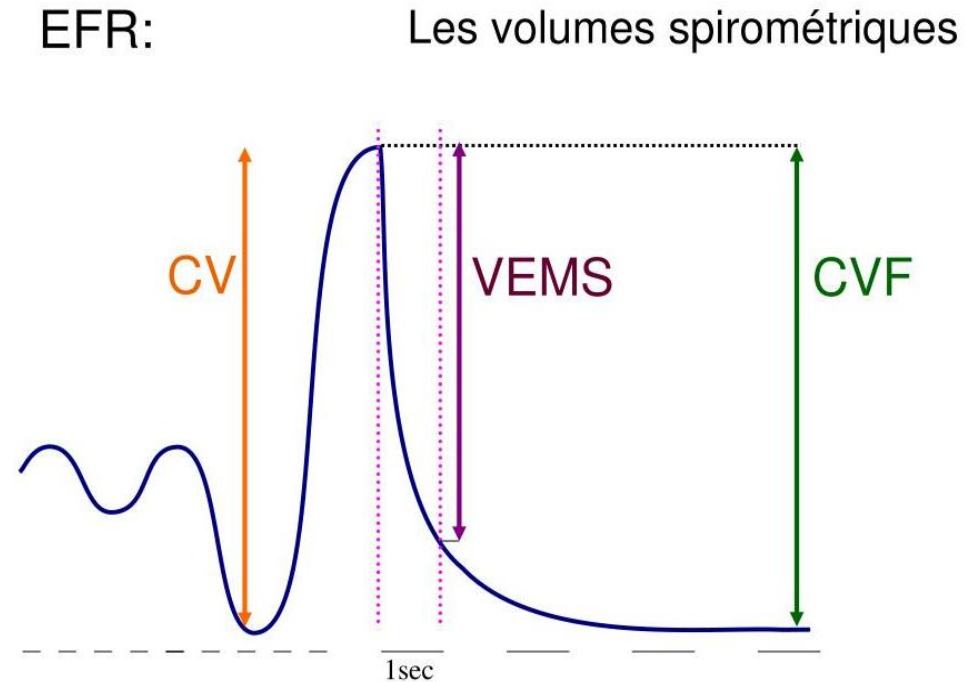
Capacités

- **CV** : capacité vitale
- **CRF** : capacité résiduelle fonctionnelle
- **CPT** : capacité pulmonaire totale



Rappel physiologique (Principaux paramètres spirométriques)

- **VEMS** : Volume Expiratoire Maximal en 1 sec
 - volume expiré pendant la première sec d'une expiration forcée
- **CVF** : Capacité Vitale Forcée
 - volume total expiré lors d'une expiration forcée après une inspiration maximale
- **VEMS/CVF**
 - rapport utilisé pour rechercher une obstruction bronchique



Rappel physiologique (Ventilation minute et ventilation alvéolaire)

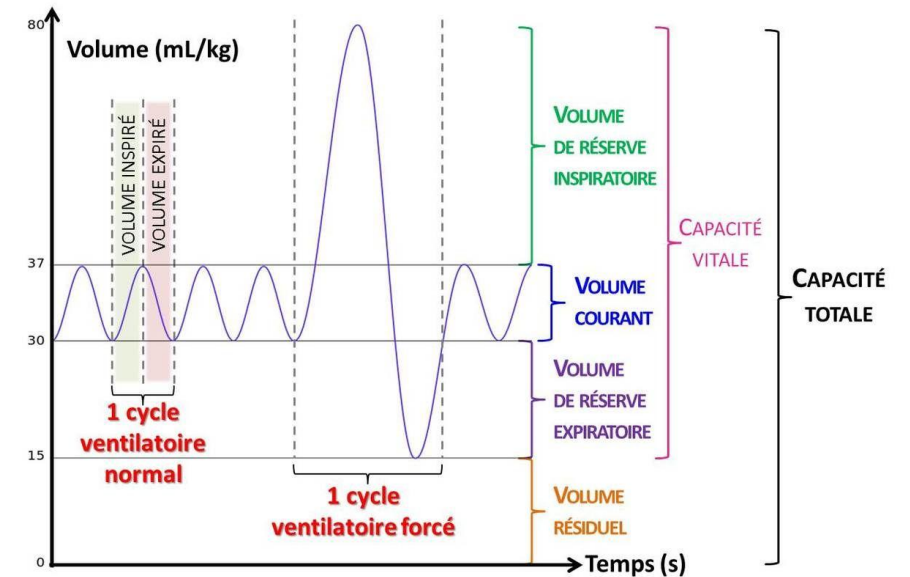
➤ Ventilation minute (Air qui entre et qui sort des poumons)

$$V_E = V_T \times F_R$$

➤ Ventilation alvéolaire

$$V_A = (V_T - V_D) \times F_R$$

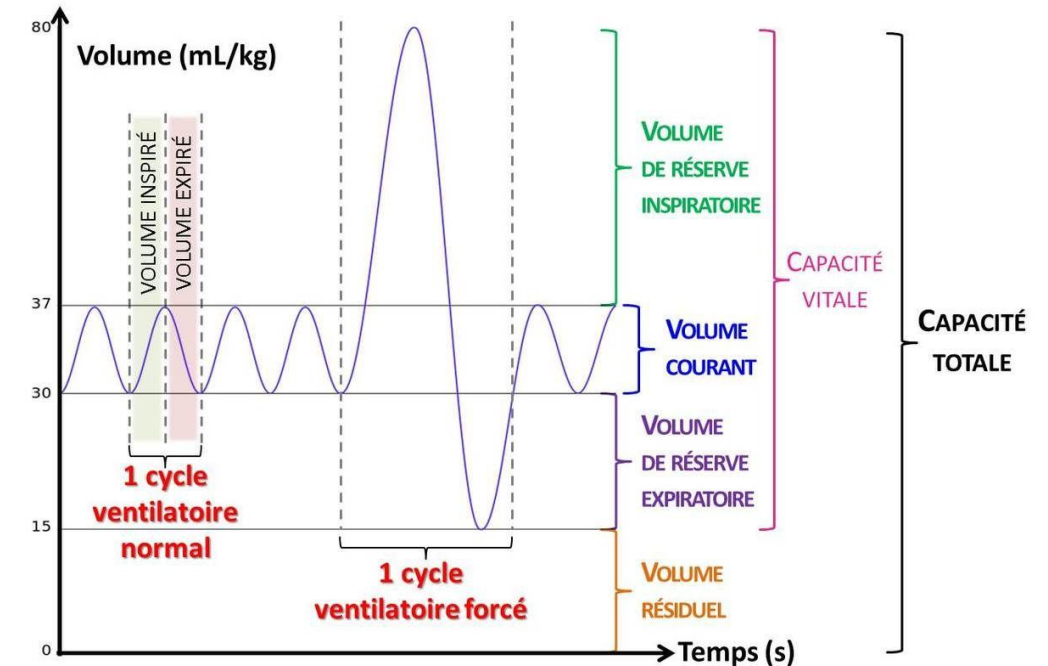
➤ V_D = espace mort



I.1.Débit expiratoire de pointe (DEP)

➤ **DEP** : débit expiratoire maximal (L/min) obtenu au cours d'une expiration réalisée avec un **effort maximal**, à partir de la **capacité pulmonaire totale (CPT)**..

➤ Inspiration complète jusqu'à la CPT
↓
Expiration forcée maximale
↓
Débit expiratoire maximal (DEP)



Physiologie du débit expiratoire de pointe

DEP : **vélocité la plus élevée du débit aérien**, obtenue transitoirement au cours d'une expiration forcée.

Il dépend :

- de la **résistance des voies aériennes** ;
- du **calibre des grosses voies aériennes** ;
- de la **force de rétraction du poumon** ;
- du **volume pulmonaire**

Il doit donc toujours être mesuré après une **inspiration complète**.

Schéma :

Inspiration complète



Volume pulmonaire élevé



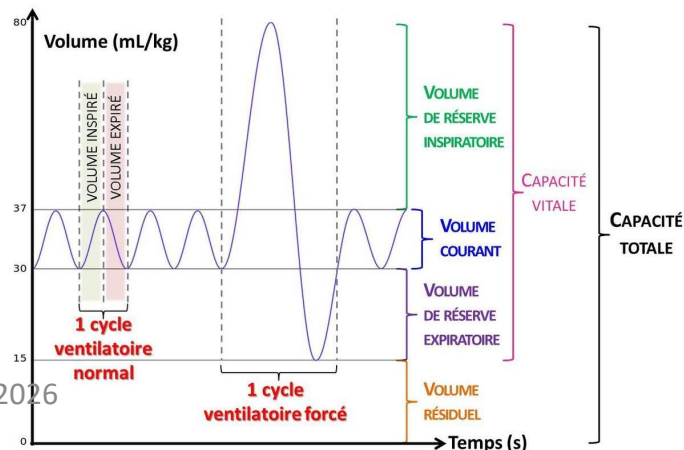
Force de rétraction pulmonaire importante



Expiration forcée



DEP

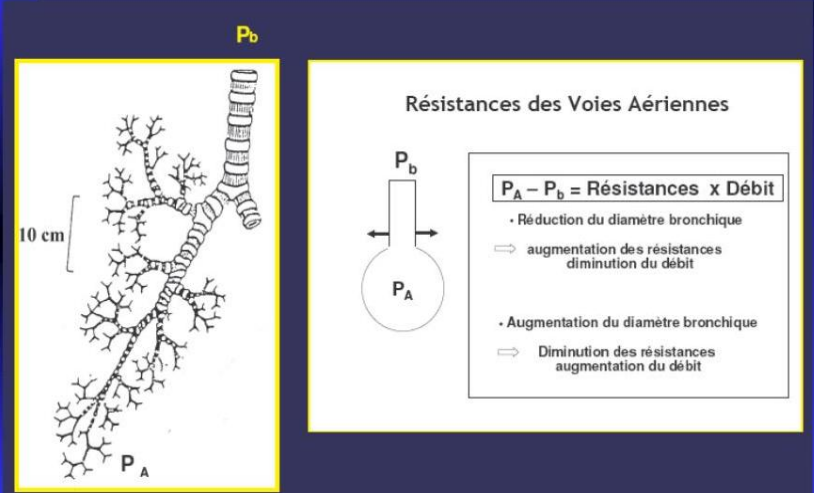


- **Volume** = quantité d'air contenue dans les poumons ou déplacée pendant la respiration.
Unité : **litres (L)** ou **millilitres (mL)**.
Exemples : VT, VR, CV, CPT.
- **Débit** = quantité d'air qui se déplace **par unité de temps**
Exemples : DEP, DEM

Intérêt du Débit expiratoire de pointe

Excellent indicateur du calibre des grosses voies aériennes

Résistance des voies respiratoires



Résistance totale à l'écoulement de l'air

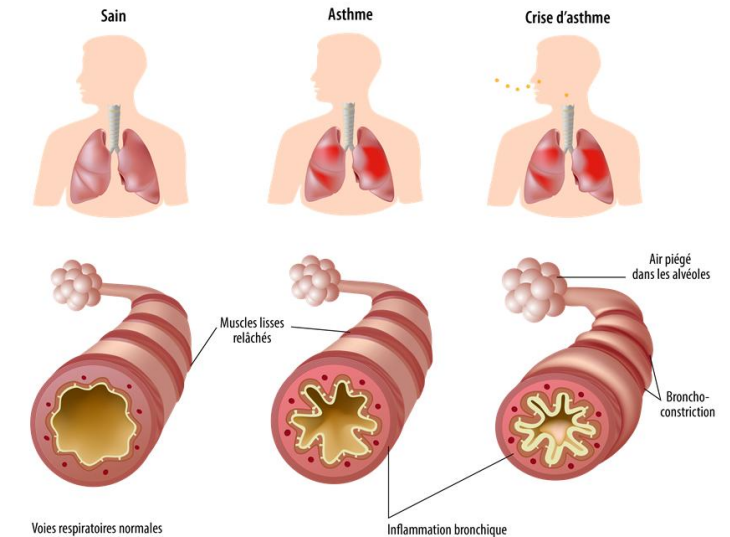
- 50% = voies aériennes supérieures
- 40% = voies aériennes centrales
- 10% = voies aériennes périphériques

Pathologie: lorsque les voies aériennes périphériques deviendront "parlantes" en terme de résistance, cela correspondra à une atteinte massive de ces voies. Il sera trop tard.

- Bronches = 25% des résistances des voies aériennes profondes (ou inférieures)
- Bronchioles = 25% des résistances des voies aériennes profondes (ou inférieures)

Pourquoi mesurer le DEP ?

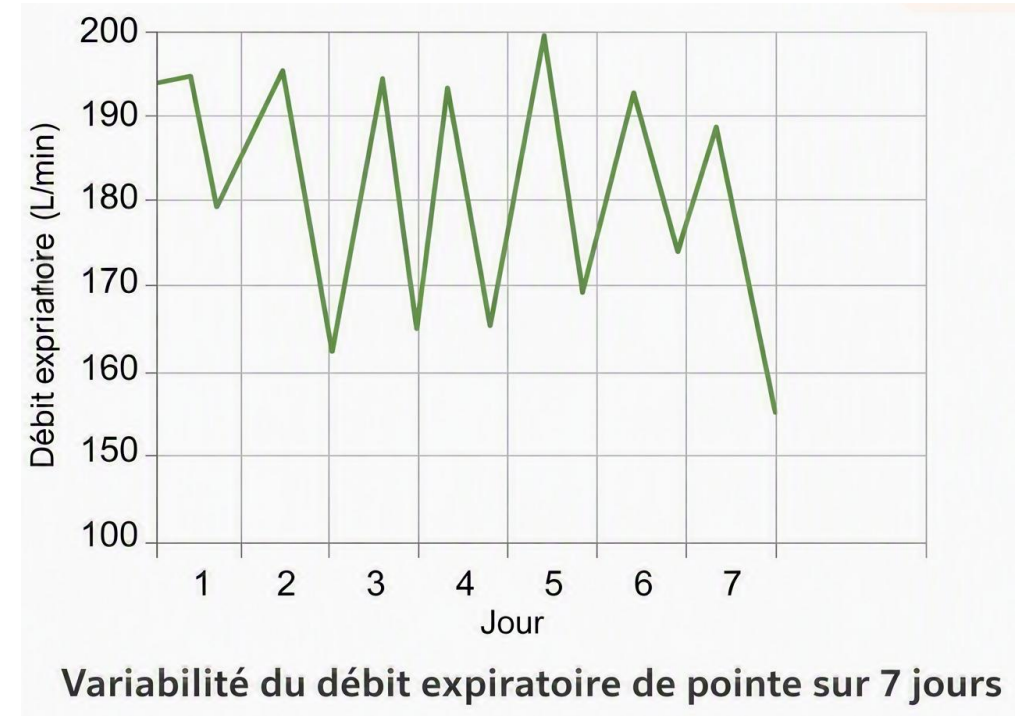
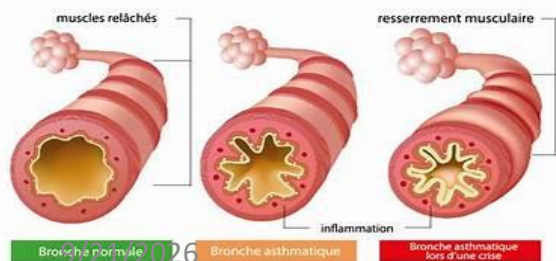
- DEP constitue un **bon indicateur du contrôle de l'asthme**.
- Nombreux patients asthmatiques perçoivent mal l'augmentation de la résistance des voies aériennes (mauvais percepteurs) et peuvent ne pas se rendre compte de la diminution de leur DEP.
- Sa mesure permet donc d'**objectiver précocement une diminution du débit** et peut conduire à une majoration du traitement ou au recours médical.



**Asthme inflammation
des bronches**

Variabilité du DEP dans l'asthme

- Une **grande variation diurne du DEP** est une caractéristique de l'asthme.
- Une différence supérieure à **20 %** entre la valeur la plus élevée et la valeur la plus basse au cours d'une même journée est caractéristique.
- La diminution du DEP est habituellement observée **en fin de nuit** : (**parasympathique ↑ + cortisol ↓ + hyperréactivité bronchique ↑**)

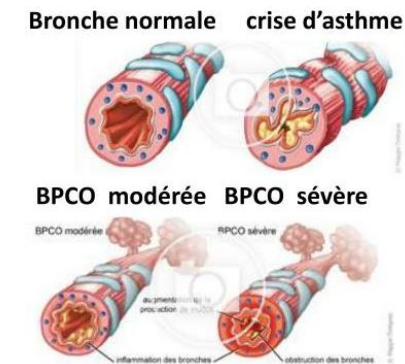


bronches plus ouvertes → résistance ↓ → DEP ↑

bronches plus rétrécies → résistance ↑ → DEP ↓

Surveillance du DEP à domicile

- Chez l'asthmatique, DEP peut être mesuré à domicile : **matin et soir (avant tout bronchodilatateur)**
- Valeurs reportées sur un graphique dans un **carnet de suivi**.
- Grande variation du DEP chez un asthmatique témoin d'un **mauvais contrôle de la maladie**.
- Absence de variabilité du DEP chez un **sujet fumeur présentant un syndrome obstructif** est en faveur d'une BPCO.



DEP et sévérité de l'asthme aigu

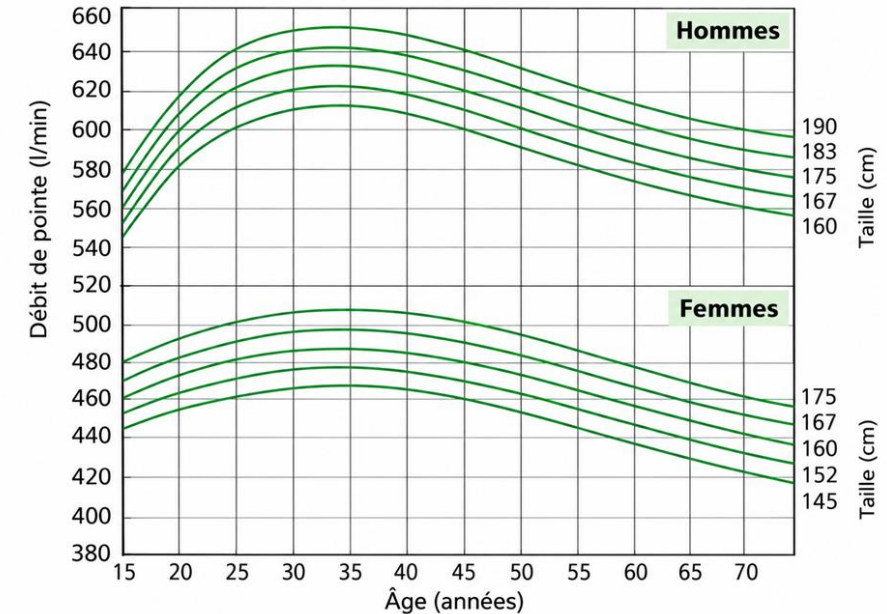
Chez un patient asthmatique :

- **DEP < 50 %** de la valeur prédite ou de la meilleure valeur personnelle
↓
caractérise un **asthme aigu grave**.
- **DEP = tiers de la valeur prédite ou de la meilleure valeur du patient : menace vitale.**
- **Asthme aigu hospitalisé : rester hospitalisé tant que la variation diurne du DEP n'est pas inférieure à 25 %**



Valeurs normales

Elles sont obtenues à partir de graphiques standardisés (figure 1.2).



Application clinique

Si un patient a :

DEP prédit = 600 L/min et DEP mesuré = 240 L/min

alors :

DEP : $240/600 \times 100 = 40\%$ de la valeur prédite.

Or 40 % < 50 %, le DEP est < à 50 % de la valeur prédite

Technique de mesure du DEP

Sujet doit

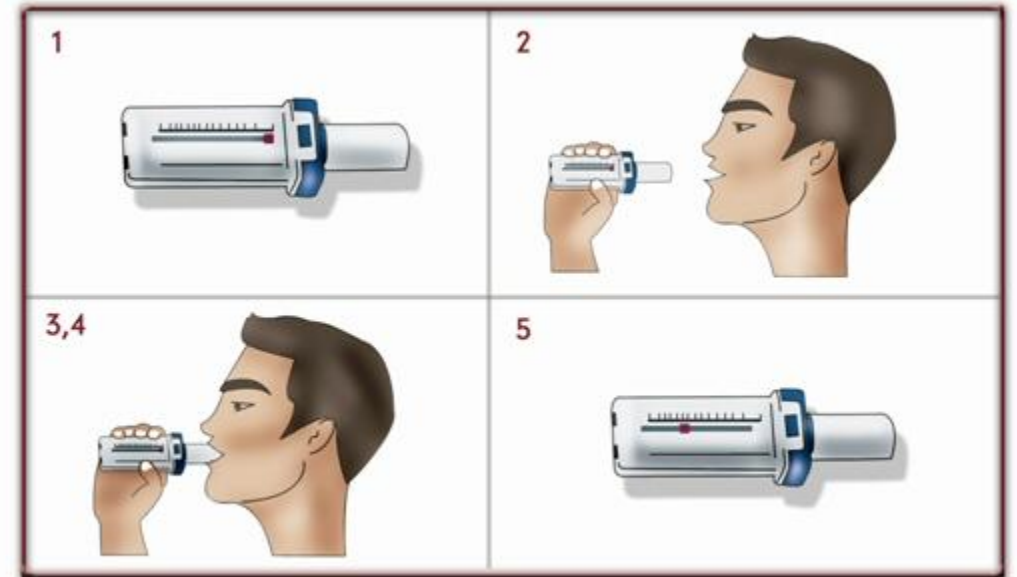
➤ **Prendre une inspiration maximale**



souffler brutalement, comme s'il voulait éteindre des bougies

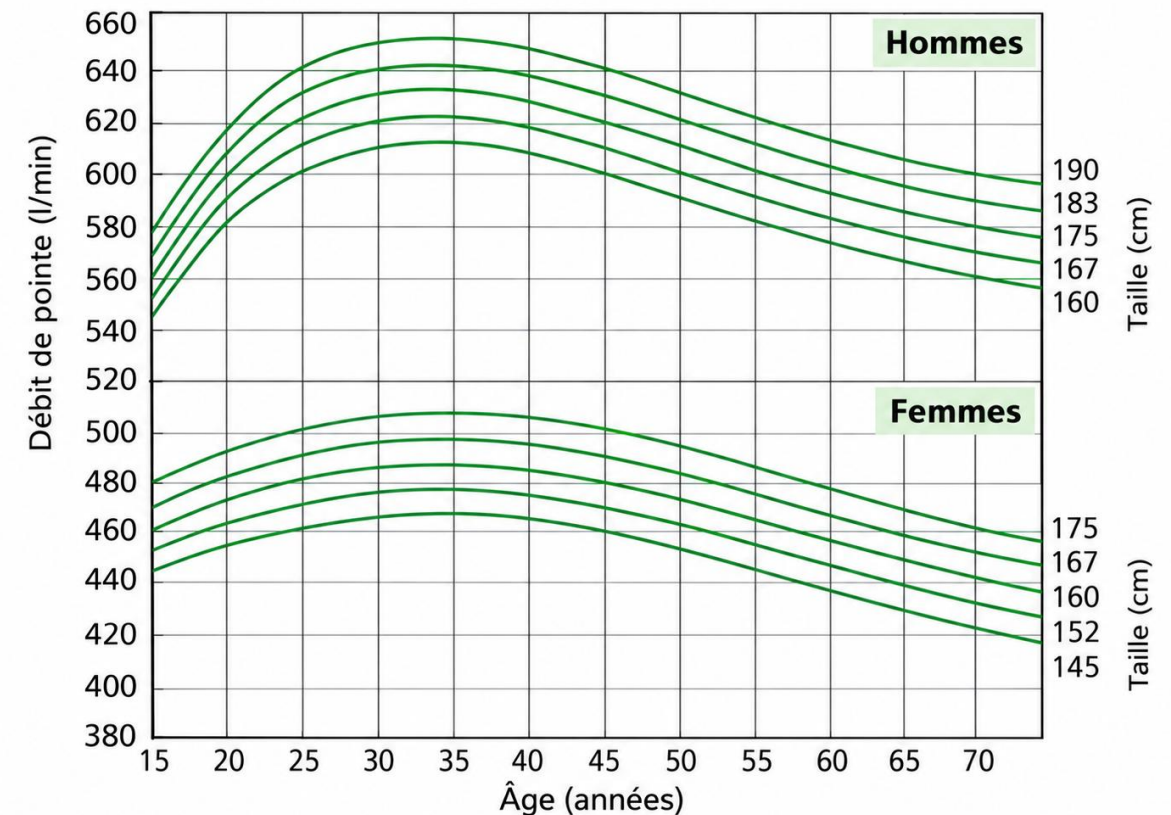
➤ **Réaliser trois mesures**

➤ **Retenir la valeur la plus élevée.**



Valeurs normales du DEP

- Valeurs normales du DEP sont obtenues à partir de **graphiques standardisés**.
- Les graphiques fx :
 - **âge** ;
 - **taille** ;
 - **sexe**.
- Chez l'enfant, la valeur théorique est identique chez les filles et les garçons de même taille. Les valeurs divergent ensuite au cours de l'adolescence.



Points clés sur le DEP

- La **variabilité diurne** du DEP est une caractéristique de la maladie asthmatique.
- La mesure du DEP : importante dans la PEC de l'asthme pour **prévoir une exacerbation, apprécier sa sévérité et suivre la récupération d'un asthme aigu.**
- Une diminution du DEP peut avoir **d'autres causes que l'asthme.**
- Le DEP n'est donc **pas, à lui seul, un test diagnostique.**
- Une valeur basse doit conduire à **d'autres explorations.**

1.2. Spirométrie : définition et paramètres principaux

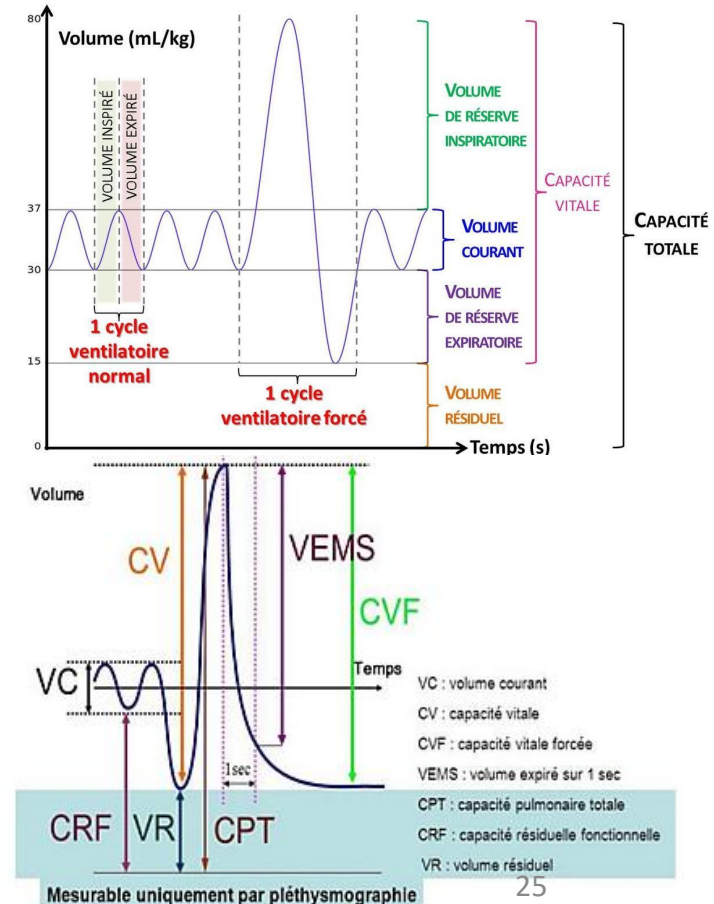
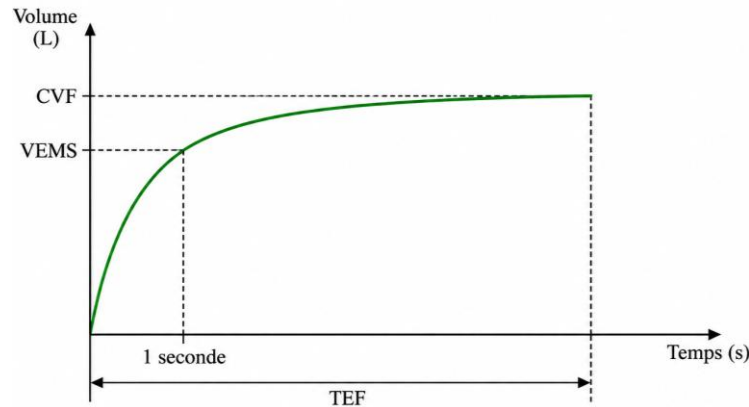
➤ **Spirométrie** : Examens fonctionnel respiratoire permettant d'évaluer la **fonction ventilatoire** en mesurant les volumes d'air mobilisés au cours de la respiration et les débits ventilatoires.

➤ **Spiromètre** : appareil qui réalise la mesure.

➤ **Spirogramme** : courbe **volume/temps**.

➤ Valeurs utilisées :

- **CVF : capacité vitale forcée**
→ volume total expulsé lors d'une expiration forcée réalisée après une inspiration maximale.
- **CV : capacité vitale**
→ volume total expulsé lors d'une expiration lente réalisée après une inspiration maximale.
- **VEMS : volume expiré maximal en 1 seconde**
→ volume expiré pendant la première seconde d'une manœuvre de CVF.
- **TEF : temps d'expiration forcée**
→ temps nécessaire pour réaliser une manœuvre de CVF.



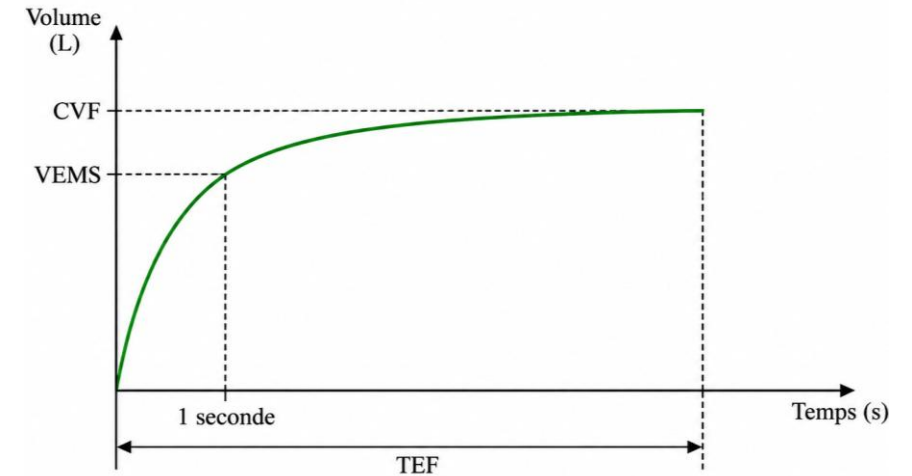
Physiologie : spirométrie au cours de deficits restrictifs et obstructifs

➤ VEMS

- volume expiré pendant un temps défini.
- reflète la **rapidité avec laquelle le poumon se vide** et donc, indirectement, le débit expiratoire.
- rapport : **VEMS / CVF** : peut être considéré comme un **rapport débit/volume**.

➤ Débits expiratoires forcés dépendent :

- de la force de rétraction du poumon ;
- de la capacité pulmonaire totale ;
- du calibre des voies aériennes ;
- de la force musculaire.



- **Volume** = quantité d'air contenue dans les poumons ou déplacée pendant la respiration.
Unité : **litres (L)** ou **millilitres (mL)**.
Exemples : VT, VR, CV, CPT.
- **Débit** = quantité d'air qui se déplace **par unité de temps**
Exemples : DEP, DEM

Spirogramme normal

Chez un sujet normal :

- la valeur maximale obtenue correspond à la **CVF** ;
- l'expiration de la CVF peut être réalisée en environ **3 à 4 secondes** ;
- la courbe commence à s'aplatir après environ **1 seconde** ;
- le débit diminue progressivement lorsque le poumon se vide ;
- le rapport **VEMS/CVF** est supérieur à **0,7**

CVF : capacité vitale forcée

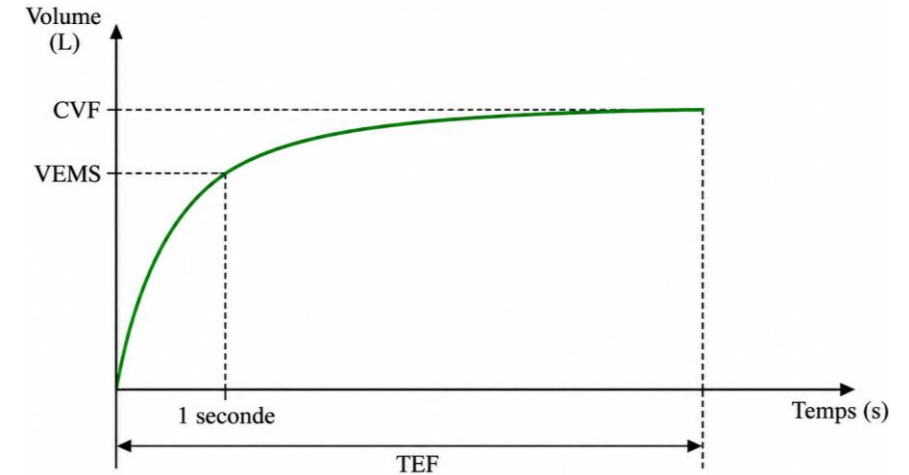
→ volume total expulsé lors d'une expiration forcée réalisée après une inspiration maximale.

VEMS : volume expiré maximal en 1 seconde

→ volume expiré pendant la première seconde d'une manœuvre de CVF.

TEF : temps d'expiration forcée

→ temps nécessaire pour réaliser une manœuvre de CVF.



Schéma

Inspiration maximale



Expiration forcée



VEMS à 1 seconde



Poursuite de l'expiration



CVF atteinte

Que apporte la spirométrie par rapport au débit de pointe ?

Rapport **VEMS/CVF** :

- Central dans l'évaluation initiale car il permet de classer une atteinte respiratoire comme :

Obstructive ou **restrictive**.

- DEP peut ne pas être affecté au stade initial d'une maladie restrictive.(donc tend sous estimer la maladie)
- Spirométrie : meilleure **reproductibilité** que le DEP, celui-ci étant dépendant de l'effort.

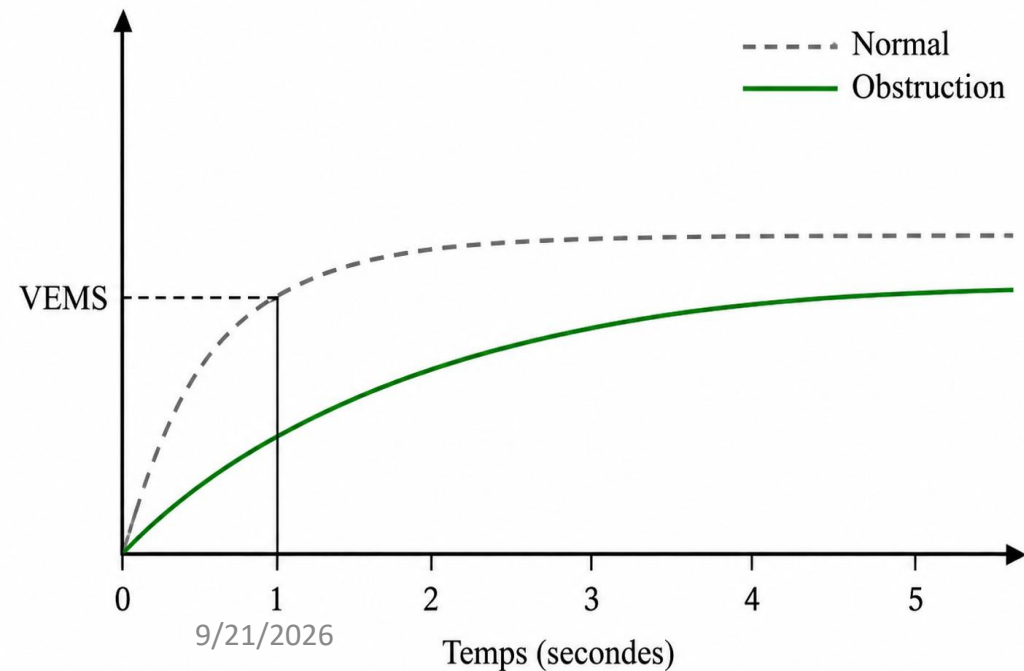


Profil spirométrique obstructif

➤ **VEMS/CVF < 0,7 : Obstruction des voies aériennes**

➤ Causes :

- BPCO ;
- emphysème ;
- asthme.
- bronchectasies ;



➤ Maladie obstructive : **volume pulmonaire peut être conservé**, mais l'obstruction limite le débit.

➤ **Obstruction des voies aériennes**

↓

Débit expiratoire ↓

↓

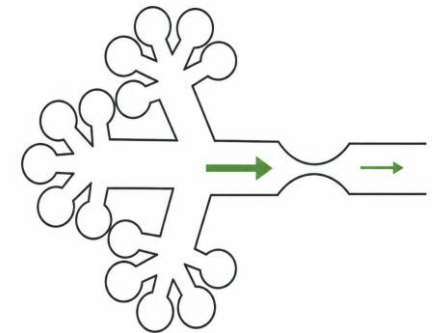
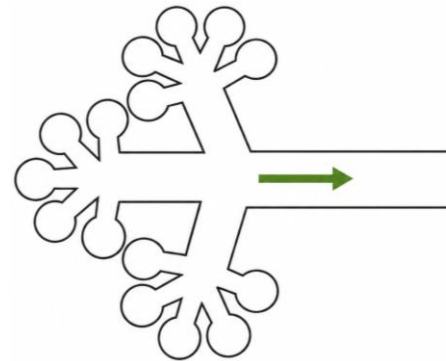
Vidange pulmonaire ralentie

↓

VEMS ↓

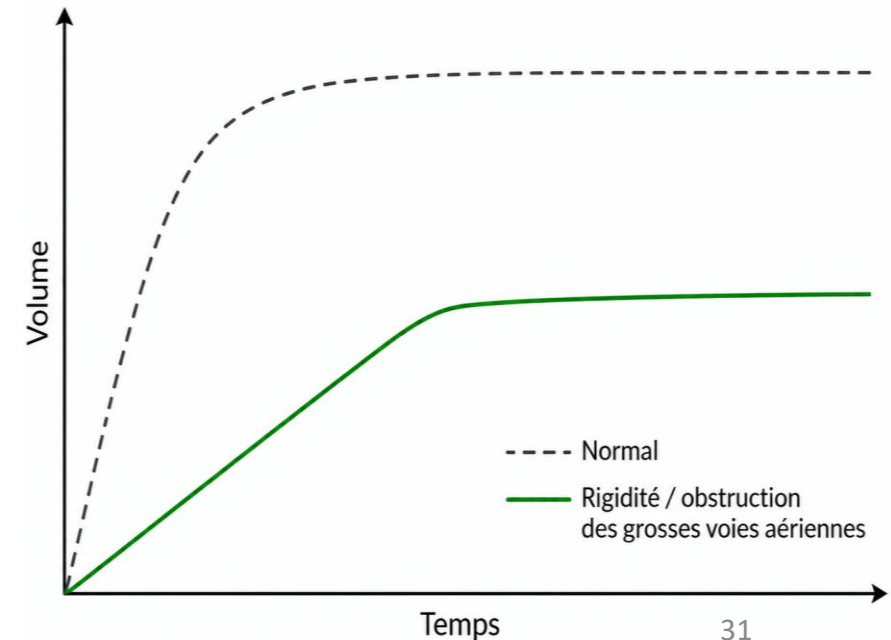
↓

VEMS/CVF ↓



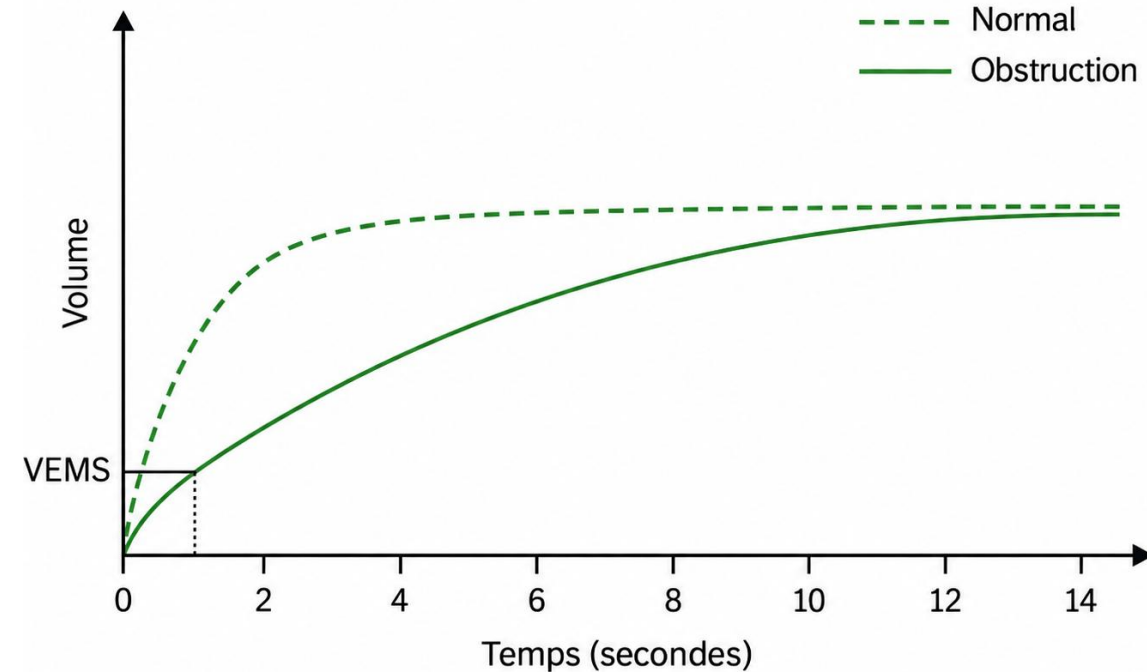
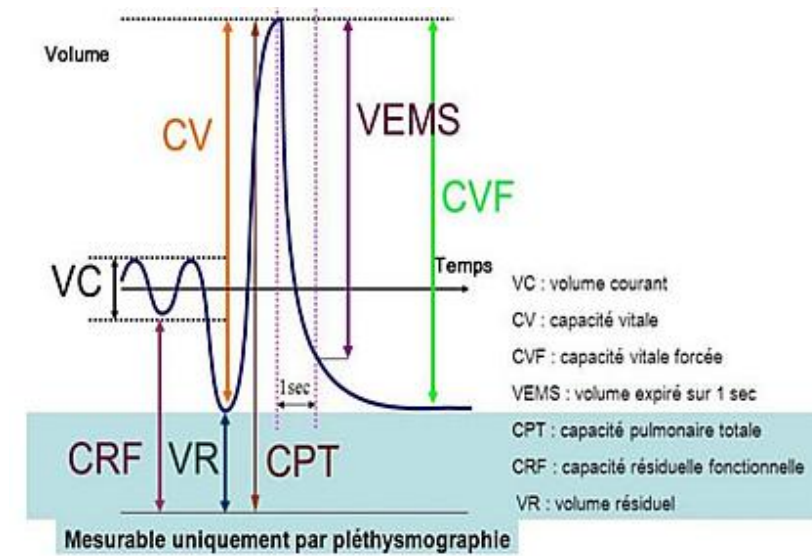
Obstruction des grosses voies aériennes : rigidité du spirogramme

- Débit expiratoire de pointe est plus affecté que le VEMS.
- $DEP / VEMS < 100$: obstruction des voies aériennes de gros calibre.
- Spirogramme : **aplatissement de sa partie ascendante (aspect de rigidité du spirogramme)**
- Courbe débit/volume objective mieux l'obstruction des voies aériennes de gros calibre.



Obstruction sévère

- **TEF** est le temps nécessaire pour exhaler la capacité vitale au cours d'une expiration forcée
- Sujet normales : **TEF** $\approx$ 3 secondes
- Limitation importante: **TEF** $\geq$ 15 secondes
- **Obstruction** $\uparrow$
 - $\downarrow$
 - Débit expiratoire** $\downarrow$
 - $\downarrow$
 - Vidange pulmonaire plus lente**
 - $\downarrow$
 - TEF**



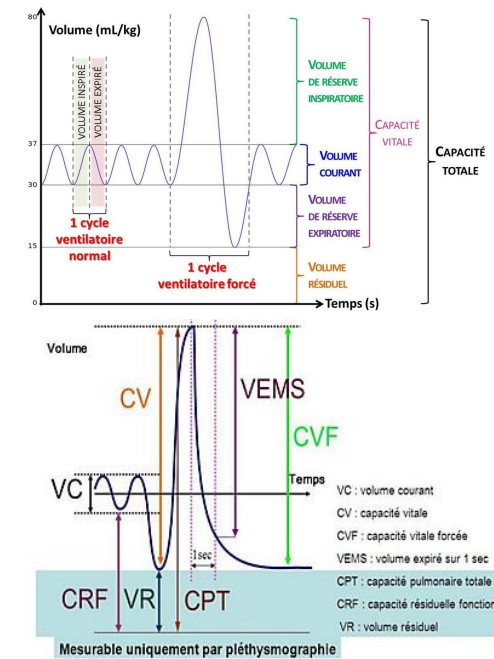
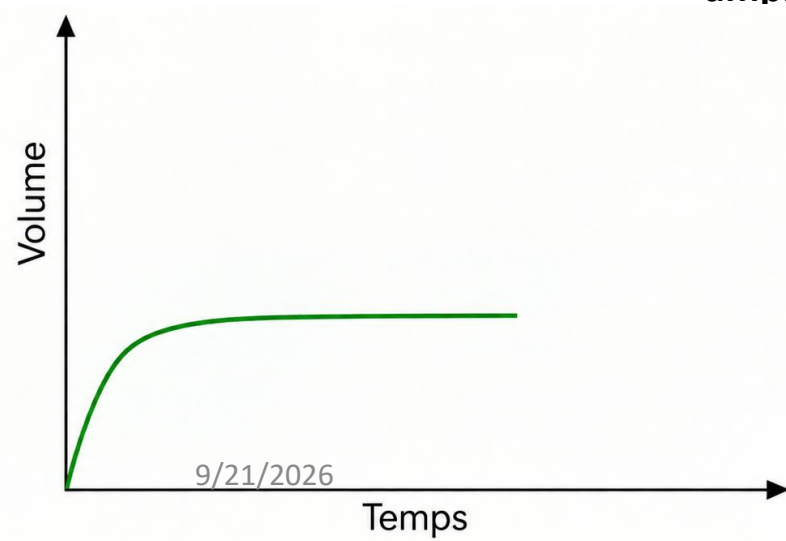
Spirogramme au cours d'une maladie obstructive sévère.
Le VEMS est fortement diminué et la vidange pulmonaire est très prolongée.

Spirométrie et maladies restrictives

Maladies restrictives : **limitation de l'expansion du volume pulmonaire.**

Déficit restrictif est caractérisé physiologiquement par une : **CPT ↓**

- Expansion du thorax limitée
↓
 - Expansion pulmonaire limitée
↓
 - CPT ↓
- CV ↓ / CVF ↓
↓
 - VEMS ↓ proportionnellement
↓
 - VEMS/CVF conservé ou élevé
 - Spirogramme conservé (forme relativement normale), mais son amplitude est réduite.



CV : Volume maximal d'air que vous pouvez expirer après une inspiration profonde.

CPT : Volume total contenu dans les poumons après une inspiration maximale

CVF : volume total expiré lors d'une expiration forcée après inspiration maximale

Technique de mesure de la CV et de la CVF

Mesure de la CV

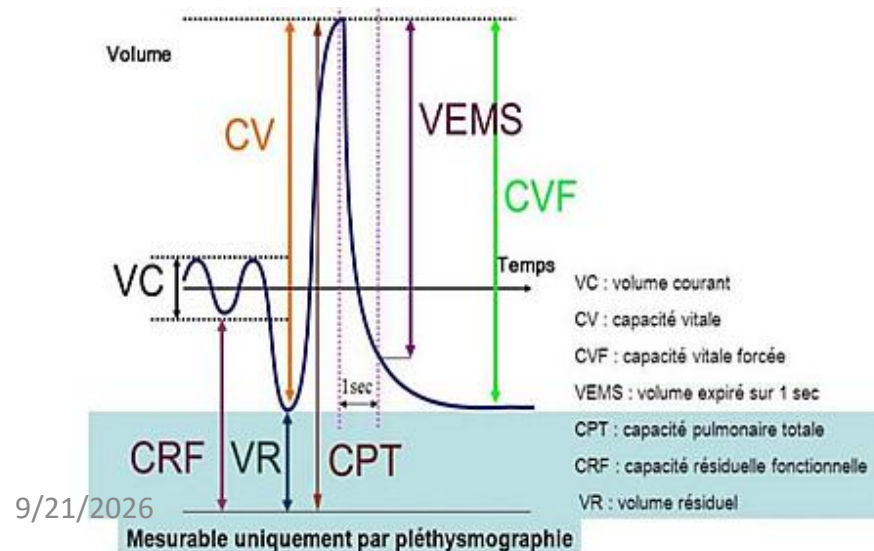
Inspiration complète et profonde



Expiration jusqu'à être totalement à bout de souffle

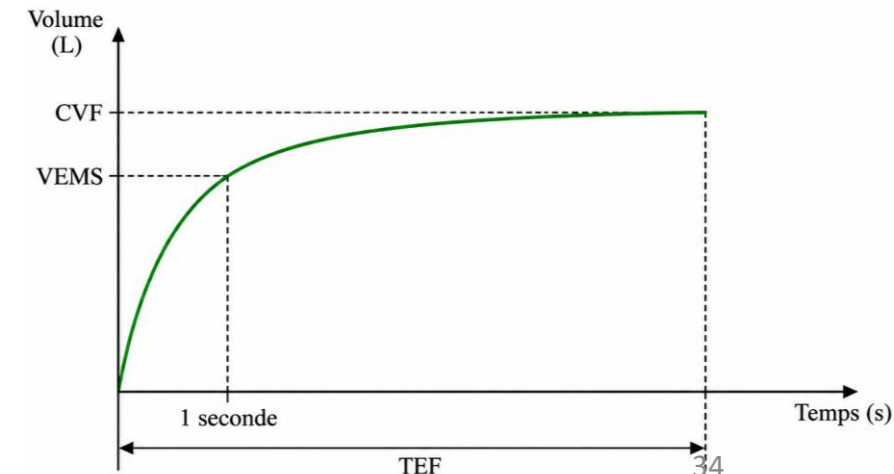


Volume résiduel atteint



Mesure de la CVF et VEMS

Même manœuvre est réalisée, mais le sujet doit souffler : aussi fort et aussi rapidement que possible.



Interprétation des résultats

- Les valeurs mesurées doivent être comparées

aux valeurs normales standardisées

notamment pour : le sexe ; la taille ; l'âge.

- Les résultats sont exprimés en **pourcentage de la valeur prédite.**

- L'aspect graphique de la courbe permet également de vérifier la cohérence de la manœuvre.

Valeurs théoriques typiques

- Homme de **20 ans**, taille **1,84 m** → VEMS : **5–6 L**
- Femme de **60 ans**, taille **1,69 m** → VEMS : **2,7–3,5 L**
- **VEMS < 1 L** → signe d'une limitation fonctionnelle majeure
- **VEMS = 0,4 L** → valeur extrêmement basse
- Le rapport **VEMS/CVF** est normalement supérieur à **0,75**
- Il peut atteindre environ **0,9 chez l'adolescent**
- Il peut diminuer jusqu'à environ **0,7 chez le sujet âgé en bonne santé**

Résumé : profils obstructif et restrictif

Maladie obstructive

Voies aériennes obstruées



Vidange pulmonaire ralentie



VEMS ↓



VEMS/CVF ↓

Maladie restrictive

Remplissage / expansion pulmonaire ↓



CVF ↓ + VEMS ↓ proportionnellement



VEMS/CVF normal ou élevé

I.3. Exploration de la réactivité bronchique

- Evaluation médicale de la tendance des bronches à se contracter de façon excessive (hyperréactivité) face à divers stimuli.
- Exploration de la réactivité bronchique comprend deux types de tests
 - le **test de bronchodilatation** ;
 - le **test d'hyperréactivité bronchique**

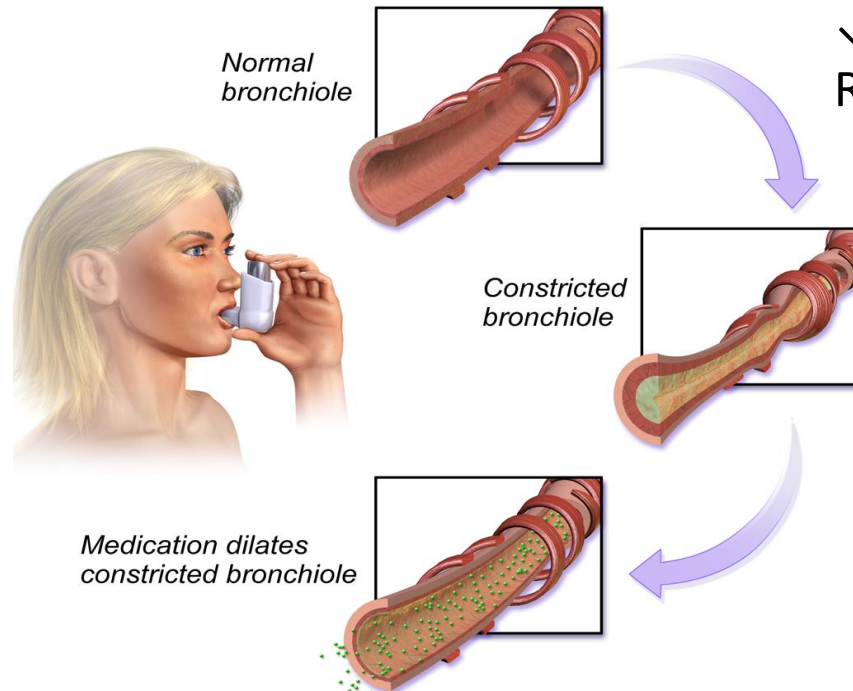
Test de bronchodilatation (technique)

- Test à réaliser chez un patient **en état stable**.
- Avant le test :
 - β 2-agonistes de courte durée d'action : arrêt pendant **4 à 8 heures** ;
 - β 2-agonistes de longue durée d'action et théophyllines à effet prolongé : arrêt pendant **24 heures**
- Le VEMS est mesuré :
 - **avant inhalation bronchodilatateur**
↓
puis **20 minutes après un β 2-agoniste ou 45 minutes après l'ipratropium**

Test de bronchodilatation

- La spirométrie est réalisée **avant et après l'administration d'un bronchodilatateur**.
- Le **VEMS** est la mesure privilégiée en raison de sa bonne reproductibilité.
- Une augmentation de **12 %** ; et d'au moins **200 mL** du **VEMS** ou de la **CVF** témoigne d'une **réversibilité**.

➤ Spirométrie initiale
↓
Administration d'un bronchodilatateur
↓
Nouvelle spirométrie
↓
VEMS ou CVF ↑ de 12 % et 200 mL
↓
Réversibilité



Pourquoi ce test : Réversibilité : asthme et BPCO

BPCO et ASTHME : différences?

BPCO :

- Grosses bronches, système cholinergique
- Diminution des débits expiratoires
- Dégradation progressive et irréversible
- Tabac le plus souvent

ASTHME :

- Maladie inflammatoire chronique des VA
- Sujets prédisposés, sifflements et toux
- Diminution des débits expiratoires, réversible
- Hyperréactivité bronchique à de nombreux stimuli

Test d'hyperréactivité bronchique (principe)

- **Test d'hyperréactivité bronchique** évalue la réponse des voies aériennes à une substance capable de provoquer une **bronchoconstriction**.
- Substances utilisées : **histamine** et **méthacholine**.
- Chez le sujet normal, la réponse bronchoconstrictrice est limitée.
- Chez le sujet présentant une hyperréactivité bronchique, la réponse est beaucoup plus importante.

Substance bronchoconstrictrice



Bronchoconstriction



VEMS ↓



Mesure de l'importance de la réponse bronchique

Test d'hyperréactivité bronchique PD20 et PC20

- **PD20** : Dose de substance bronchoconstrictrice nécessaire pour provoquer une **↓ du VEMS de 20 %**
- **PC20** : Concentration de substance bronchoconstrictrice nécessaire pour provoquer une **↓ du VEMS de 20 %**
- Substance : **histamine et la méthacholine**

- Patient inhale des doses croissantes : **histamine** ou **méthacholine**.
- VEMS mesuré après chaque dose.
- Dose nécessaire pour provoquer une diminution de **20 % du VEMS** déterminée interpolation.

Dose faible



VEMS mesuré



Dose ↑



VEMS mesuré



Doses progressivement ↑



VEMS ↓ de 20 %

Valeurs de référence

Histamine :

- **PD20 normale $> 4 \mu\text{mol}$**
- **PC20 normale $> 8 \text{ mg/mL}$**
- **PD20 $> 4 \mu\text{mol}$ → réponse considérée comme normale**
- **PD20 $\leq 4 \mu\text{mol}$ → hyperréactivité bronchique**
- **PC20 $> 8 \text{ mg/mL}$ → réponse considérée comme normale**
- **PC20 $\leq 8 \text{ mg/mL}$ → hyperréactivité bronchique**

Méthacholine :

- **PC20 $> 16 \text{ mg/mL}$: réponse bronchique normale**
- **PC20 entre 4 et 16 mg/mL : hyperréactivité limite**
- **PC20 entre 1 et 4 mg/mL : hyperréactivité légère**
- **PC20 $< 1 \text{ mg/mL}$: hyperréactivité modérée à sévère**

Signification d'un test d'hyperréactivité positif

- Test positif témoigne d'une **hyperréactivité bronchique**.
- Cette hyperréactivité peut être observée dans :
 - l'asthme ;
 - la bronchite chronique ;
 - la phase de récupération d'une infection respiratoire ;
 - l'insuffisance cardiaque gauche ;
 - certains fumeurs asymptomatiques.
 - **5 % des sujets normaux.**

Test positif ≠ diagnostic automatique d'asthme
Témoin avant tout d'une hyperréactivité bronchique.

Intérêt du test d'hyperréactivité bronchique

➤ Indications :

- Exclusion de l'asthme chez un patient avec des épisodes de toux fréquentes et une fonction respiratoire normale et une suspicion de l'asthme
- Explorer une toux non productive

➤ Un test positif est en faveur du diagnostic d'un asthme

➤ Un test de normal : exclut un asthme

Hyperréactivité et toux chronique

➤ Une toux chronique peut être liée à un asthme même en l'absence de sifflement.

Toux chronique non productive



Spirométrie parfois normale



Test de provocation bronchique



Hyperréactivité positive



Asthme possible

Sécurité et contre-indications

- Réactions secondaires sévères sont rares,
- Mais un **matériel de réanimation** doit être disponible.
- Contre-indications mentionnées :
 - asthme sévère récent ;
 - **VEMS < 75 % de la valeur théorique ;**
 - infarctus du myocarde récent ;
 - accident vasculaire cérébral récent.

Synthèse : exploration de la réactivité bronchique

➤ **Test de bronchodilatation**

→ recherche une **réversibilité de l'obstruction**

➤ **Test d'hyperréactivité bronchique**

→ recherche une **sensibilité excessive des bronches**

Obstruction présente

→ **bronchodilatateur**

→ **amélioration du VEMS ?**

→ **test de réversibilité**

Spirométrie normale mais suspicion clinique

→ **histamine / méthacholine**

→ **chute du VEMS ?**

→ **test d'hyperréactivité bronchique**

II. BOUCLE DEBIT/VOLUME

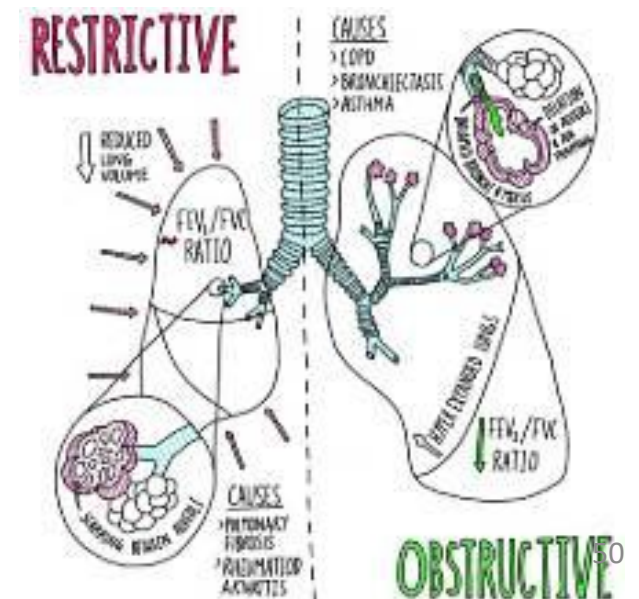
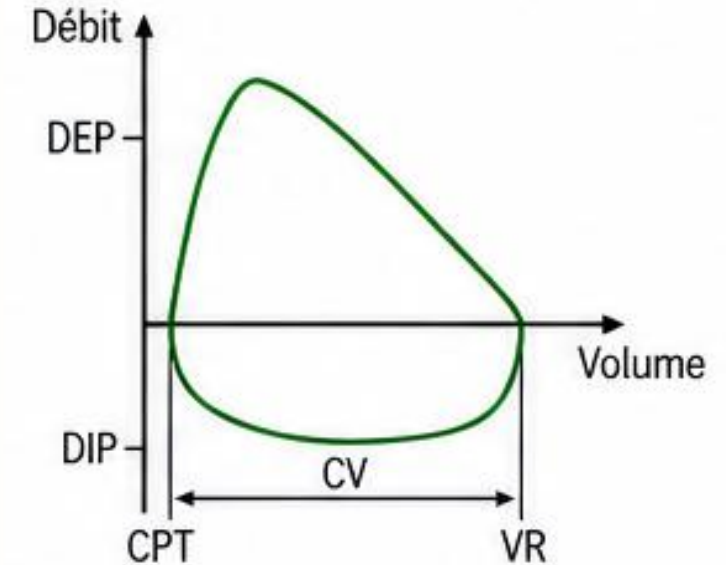
Cours destiné aux étudiants en kinésithérapie (L3)

- *Débora* TUKA DEBOLA
- Debora.tuka.debola@u-picardie.fr

La boucle débit/volume

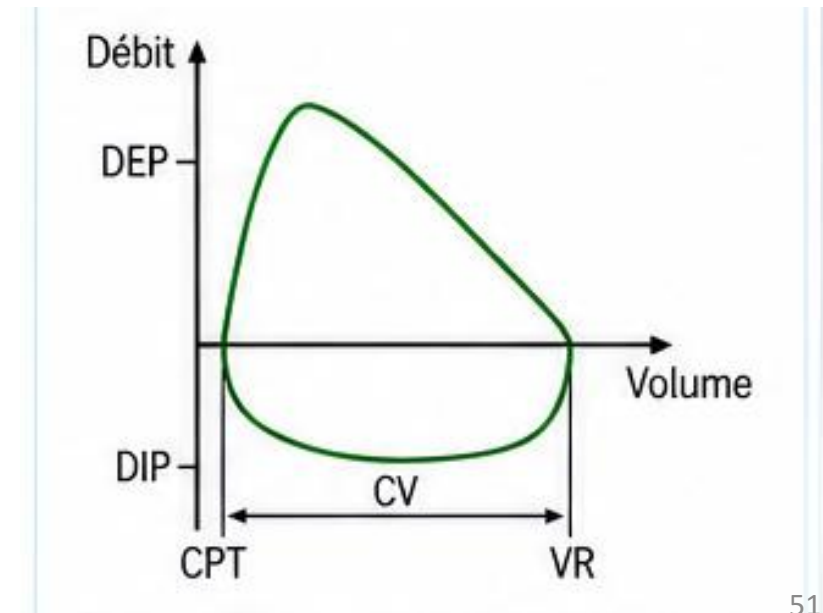
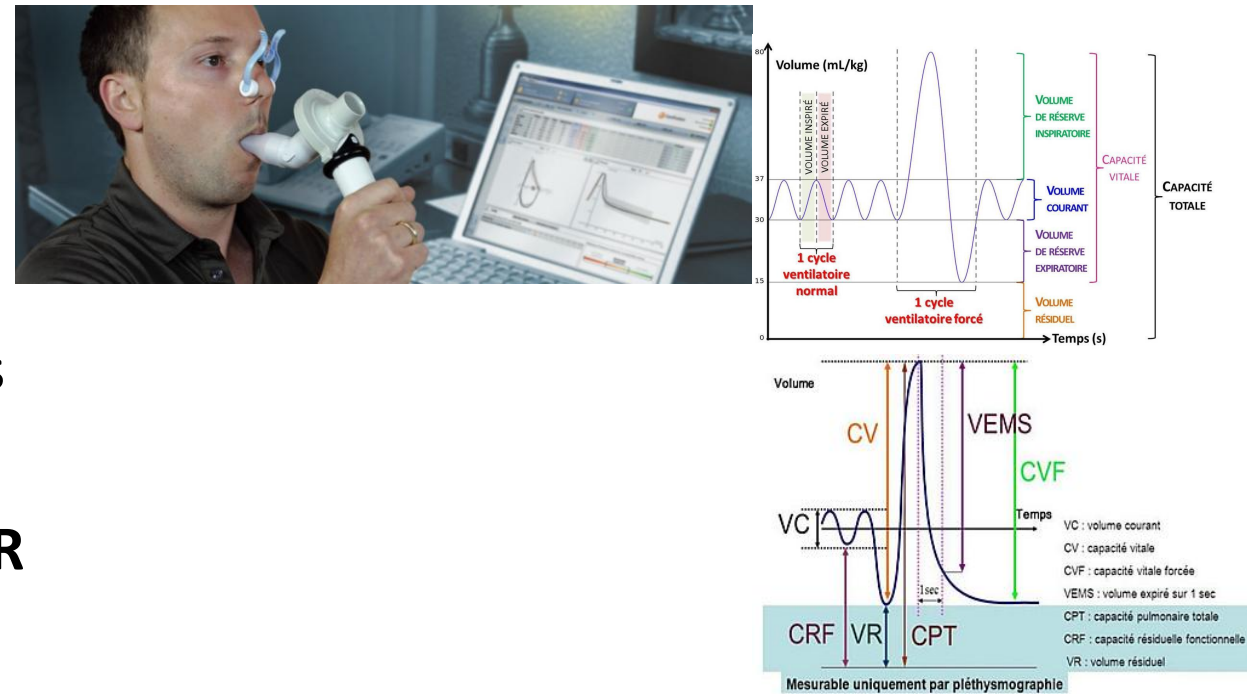
- Boucle débit/volume : représentation graphique des débits inspiratoires et expiratoires en fonction du volume pulmonaire au cours d'une manœuvre respiratoire forcée.
- Comporte :
 - une branche expiratoire ;
 - une branche inspiratoire.
- Permet d'analyser la forme de la courbe et d'identifier : trouble obstructif ; un trouble restrictif

1. Boucle débit/volume normale



La boucle débit/volume

- Technique : inspirer puis expirer dans un tuyau relié à un appareil qui calcule les volumes et les débits
- Sujet réalise une manœuvre de **CVF** jusqu'au **VR**
- À la fin de l'expiration, il réalise une **inspiration complète et brutale** pour revenir à la CPT.
- Boucle comporte :
 - ✓ Relation **débit/volume expiratoire maximal** ;
 - ✓ Relation **débit/volume inspiratoire maximal**.
 - ✓ Chaque point représente le **débit maximal pour un volume donné**.
- Débit inspiratoire de pointe est de **75 % du DEP**.



Débit expiratoires maximaux et débits expiratoires forcés

➤ Mesure à différents niveaux de la capacité vitale :

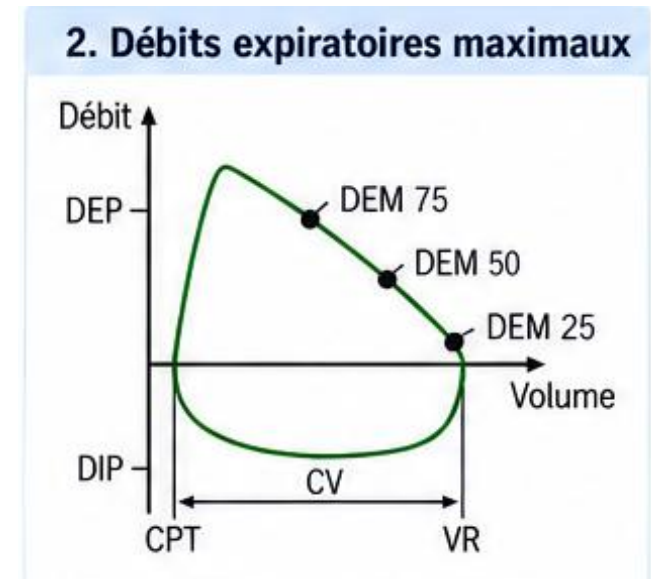
- **DEM 75** : DEM à 75 % de la CV ;
- **DEM 50** : DEM à 50 % de la CV ;
- **DEM 25** : DEM à 25 % de la CV.
- **DEM 25** (la plus affectée par l'obstruction).

➤ La forme de la partie descendante de la courbe doit également être observée.

CV : capacité vitale

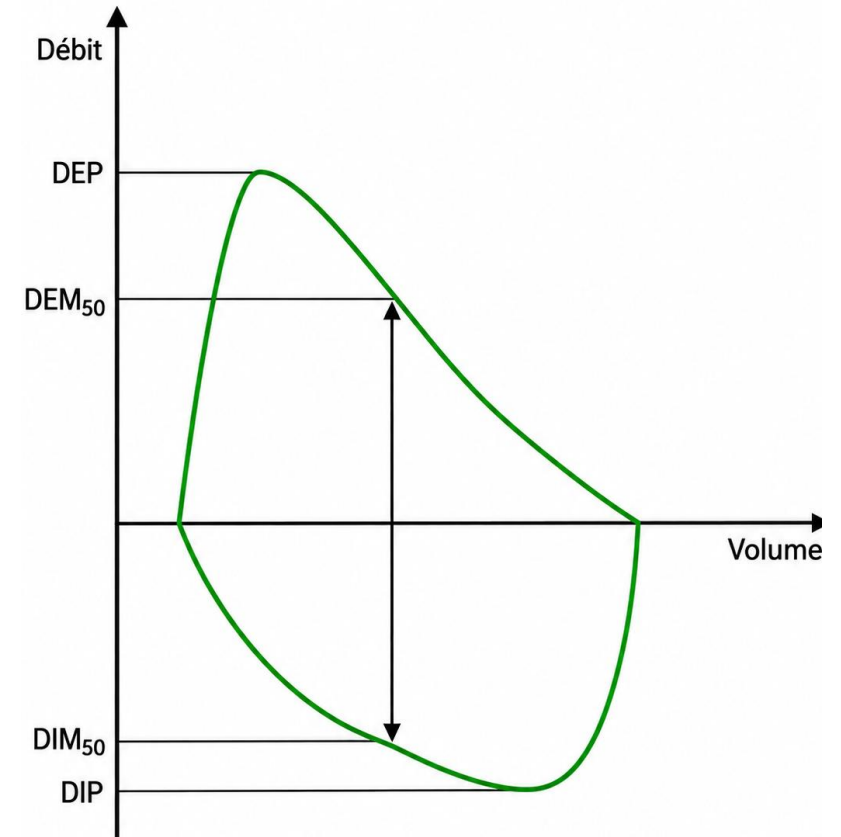
→ volume total expulsé lors d'une expiration lente réalisée après une inspiration maximale.

DIM 50 : débit inspiratoire maximal à 50 % de la CV (égal ou légèrement supérieur au DEM 50).



Débits inspiratoires maximaux : interprétation de la courbe

- Partie sous l'axe horizontal : débits inspiratoires.
- Débit inspiratoire maximal (**DIM**) : < au débit expiratoire maximal (**DEM**)
- DIM = **75 % du DEM**
- À 50 % de la CV : DIM 50 ≈ DEM 50
- chez un sujet normal : **DEM 50 ≈ DIM 50**
- Modification de cette relation : **obstruction des VA**



DEM₅₀ < DIM₅₀ → obstruction expiratoire → obstruction intrathoracique

DIM₅₀ < DEM₅₀ → obstruction inspiratoire → obstruction extrathoracique

Aspect anormaux de la bouche débit /volume

Aspect de réduction

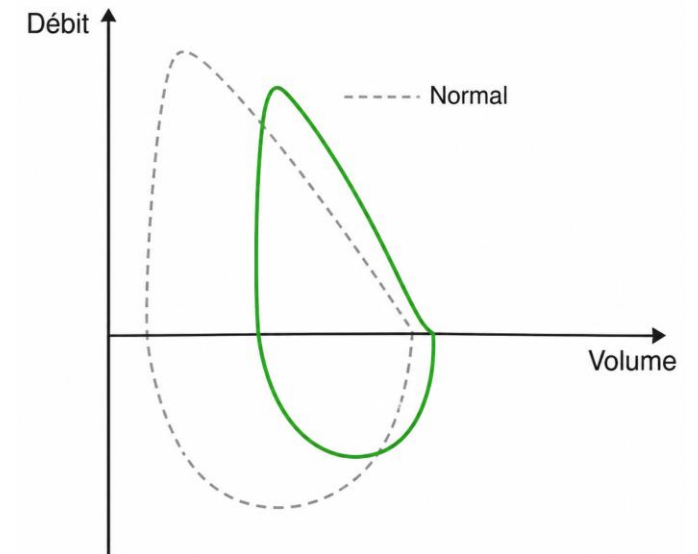
Première modification observée est une **réduction de la CV**.

- Rigidité du poumon augmente + augmentation de la force de rétraction à l'expiration.
- Débit de pointe peut donc être maintenu malgré une perte de volume.
- force de rétraction du poumon : pente descendante plus abrupte + débit de pointe identique et jusqu' au volume résiduel + prendre un aspect convexe.

➤ CV : Capacité vitale

Volume maximal d'air que vous pouvez expirer après une inspiration profonde.

$$CV = VRI + VT + VRE$$



Restriction précoce

Aspect anormaux de la boucle débit /volume

Aspect de réduction

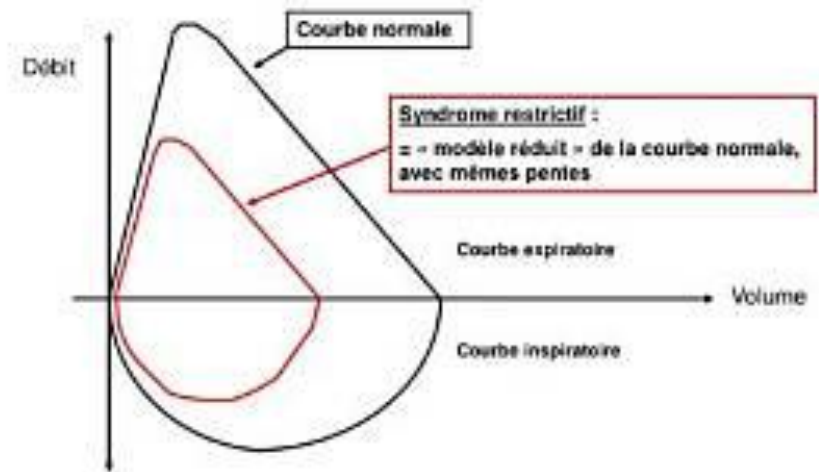
- **CPT est réduite,**
- la courbe : forme normale, mais amplitude réduite.
- Cet aspect peut être observé :
- après pneumonectomie ;
- Epanchement pleural abondant

➤ **CPT : Capacité pulmonaire totale**

Volume total contenu dans les poumons après une inspiration maximale.

$$\text{CPT} = \text{CV} + \text{VR}$$

Courbe débit/volume dans le syndrome restrictif

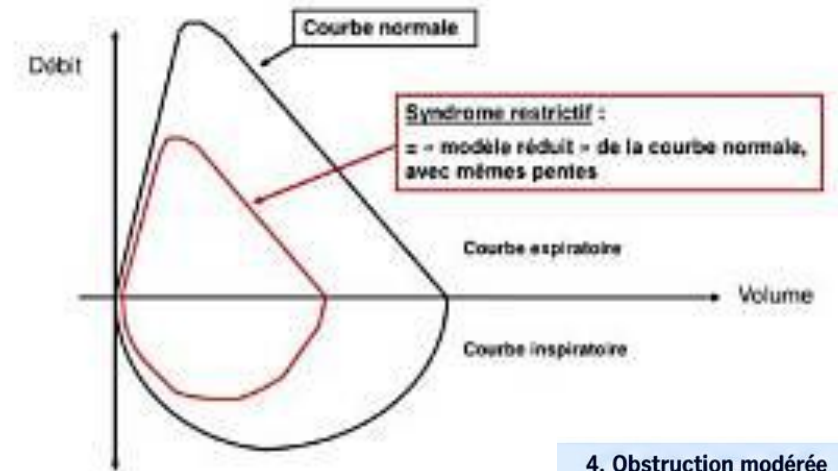


Aspect anormaux de la boucle débit /volume

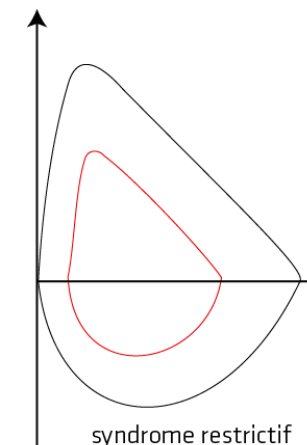
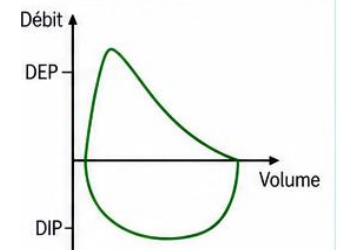
Restriction modérée

- une diminution de la CV ;
- une diminution du débit de pointe ;
- **CPT est réduite,**
- Courbe : forme normale, mais amplitude réduite.
- Convexité possible de la partie descendante de la courbe expiratoire. (**témoin d'un vidange rapide**)
- **Contraste avec l'obstruction chronique des voies aériennes**

Courbe débit/volume dans le syndrome restrictif



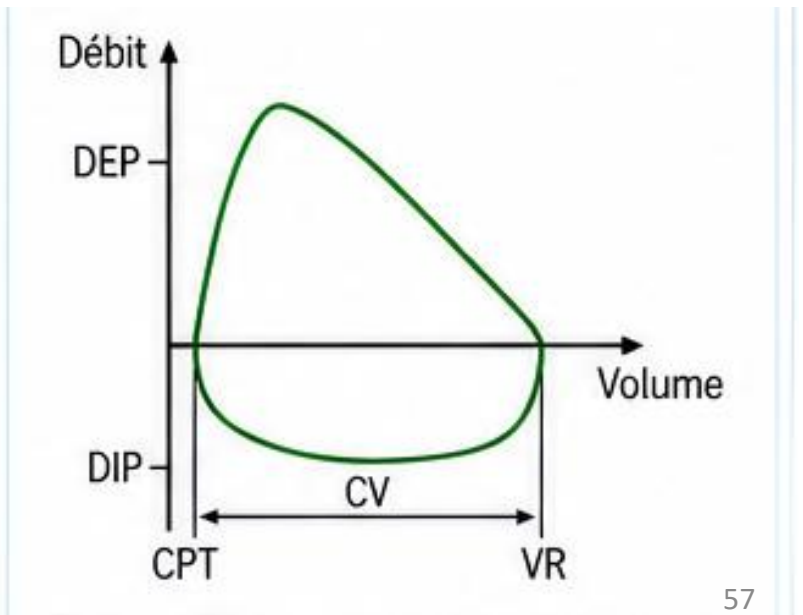
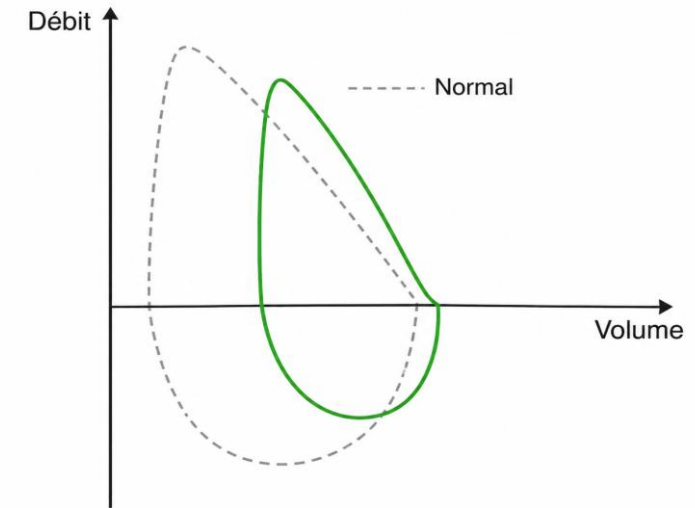
4. Obstruction modérée



Aspect anormaux de la boucle débit /volume

Restriction sévère

- CV et débit de pointe sont diminués.
- Amplitude de l'ensemble de la boucle est réduite.
- Forme générale de la courbe débit/volume reste proche de la normale.
- CPT et VR sont réduits → déviation vers la droite



Limitation des débits aériens

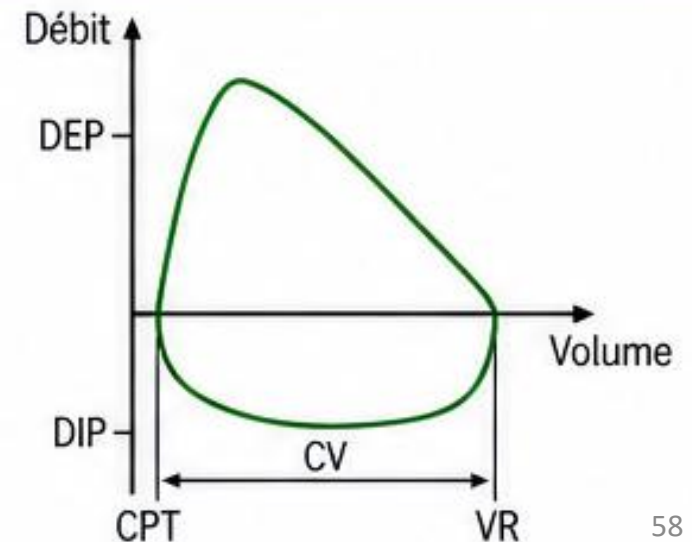
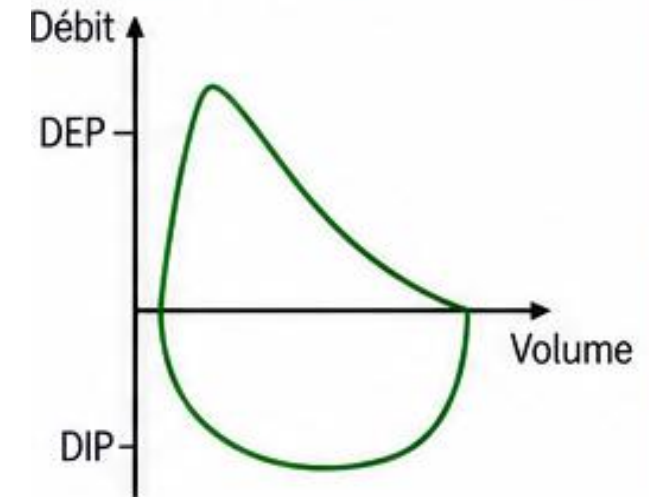
Aspect d' obstruction

➤ **concavité de la partie terminale descendante de la courbe expiratoire**

- Traduit la fermeture des voies aériennes.
- Peut apparaître précocement alors que les valeurs spirométriques sont encore normales.
- Indicateur le plus sensible de l' asthme ou d' une maladie débutante des voies aériennes dont les valeurs spirométriques restent normales

9/21/2026

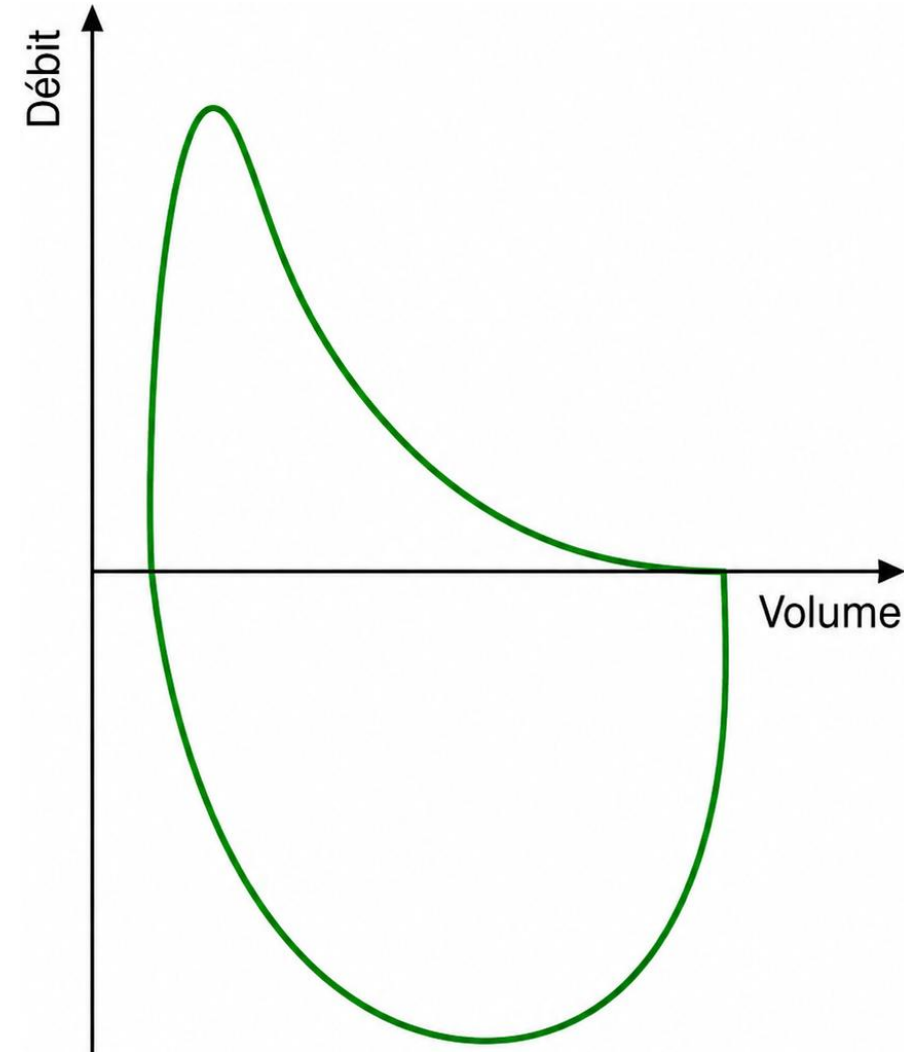
4. Obstruction modérée



Limitation des débits aériens

Obstruction moyenne

- Avec la progression de l'obstruction, la partie terminale descendante de la courbe expiratoire devient davantage **concave sur toute la partie descendante**.
- Une « queue » apparaît à la fin de la courbe.
- Débit expiratoire de pointe diminué
- Hauteur de la courbe expiratoire diminuée par rapport à la hauteur de la courbe inspiratoire.



Limitation des débits aériens

➤ Avec l'aggravation de l'obstruction :

➤ **Obstruction ↑**

↓

Concavité expiratoire ↑

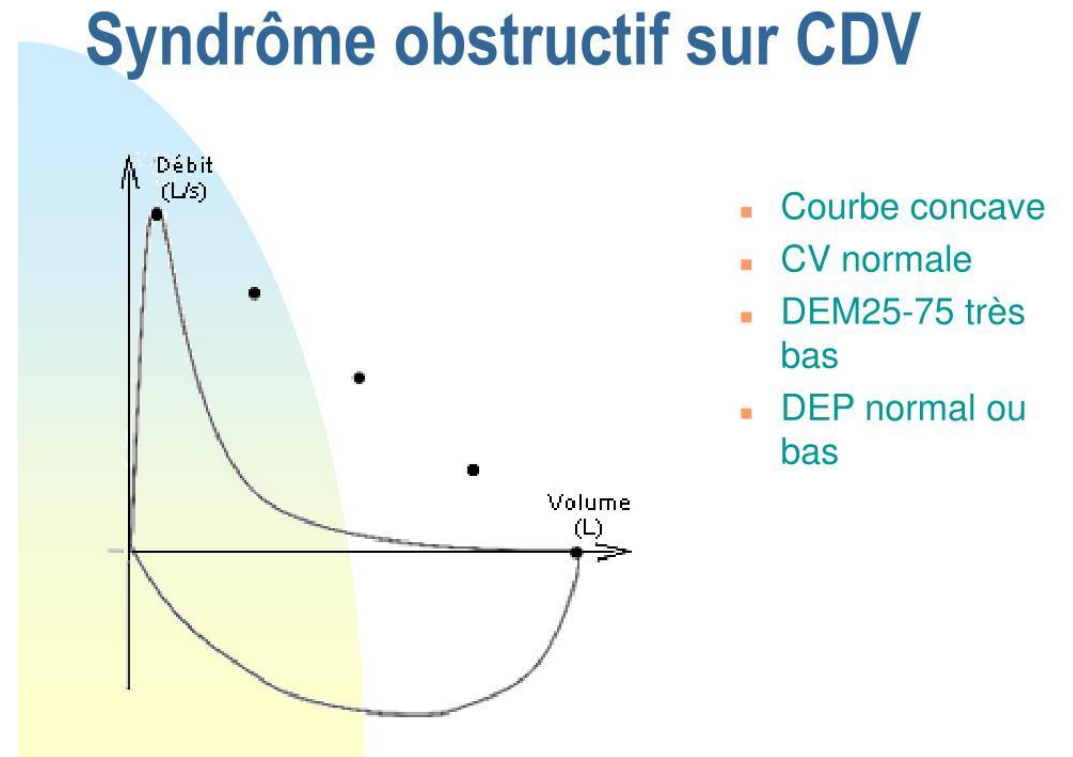
↓

DEP ↓

↓

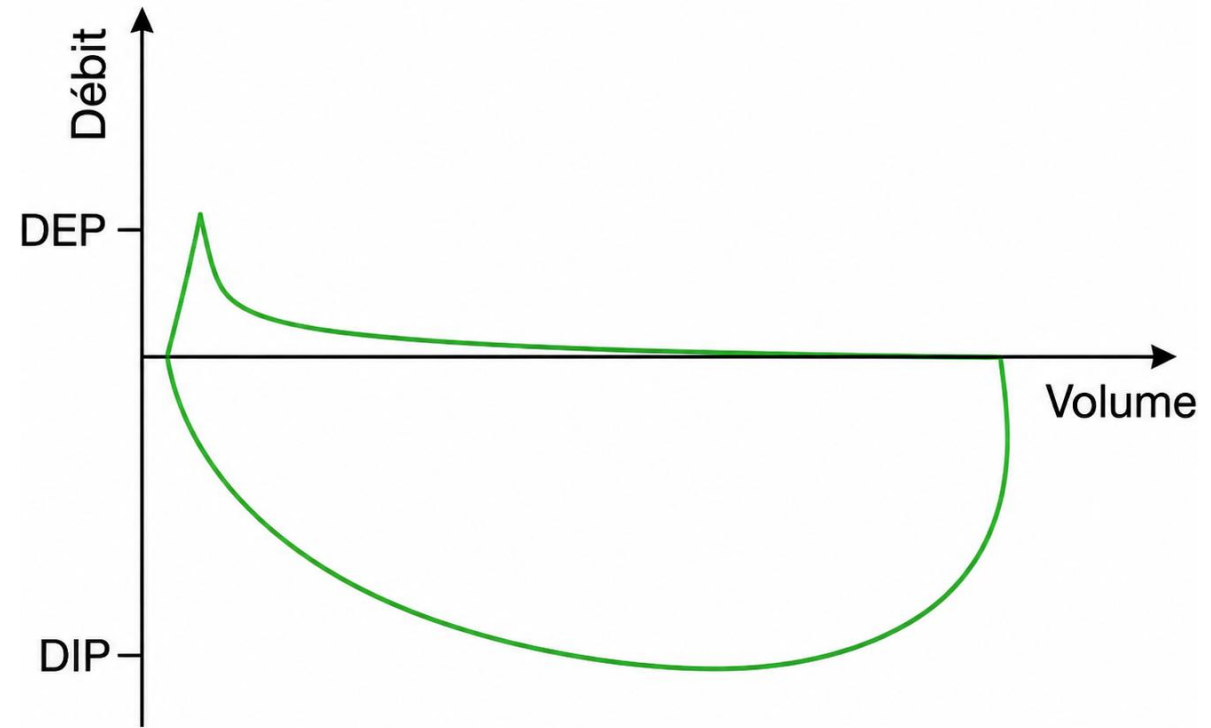
Vidange pulmonaire de plus en plus limitée

➤ La concavité dans l'ensemble de la partie descendante de la courbe expiratoire.

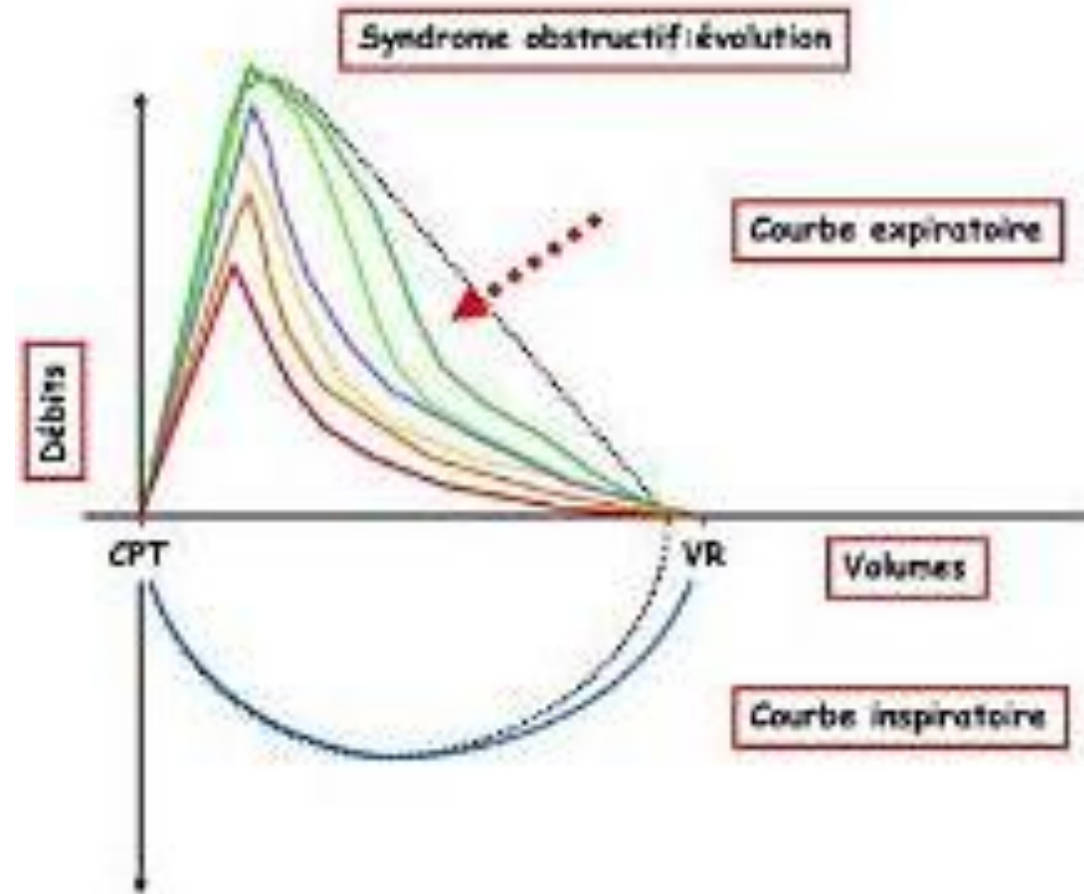


Limitation des débits aériens

- En cas d'obstruction sévère :
- **DEP** est **fortement diminué** et très faible par rapport au DIP
- **Obstruction sévère**
 - ↓
 - DEP ↓↓↓**
 - ↓
 - Effondrement rapide du débit expiratoire**



Limitation des débits aériens



Aspect anormaux de la bouche debit /volume

Obstruction des grosses voies aériennes

➤ Obstruction extrathoracique

- paralysie des cordes vocales ;
- compression cervicale par une tumeur ou un goitre ;
- lésion trachéale située au-dessus de la fourchette sternale ;

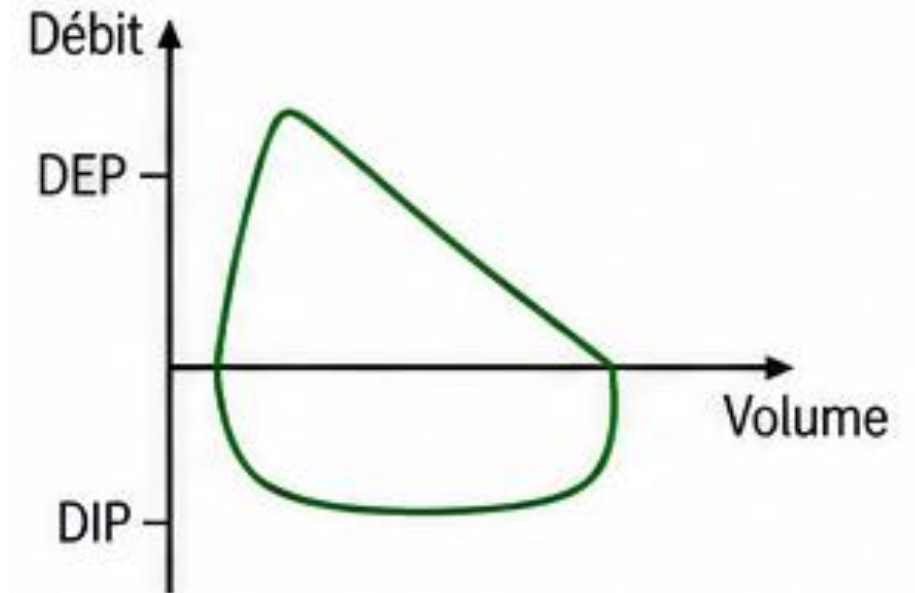
Comment sera la courbe????

Aspect anormaux de la bouche débit /volume

Obstruction extrathoracique :

- **Courbe inspiratoire est aplatie** : diminution importante du **(DIP)**.
- Pendant l'inspiration, la pression à l'intérieur des voies aériennes devient **négative**, ce qui tend à rapprocher leurs parois.
- Dans le thorax, les VA restent ouvertes grâce à l'expansion des **muscles inspiratoires**.
- Au niveau de la **trachée extrathoracique** : anneaux cartilagineux maintiennent la VA ouverte ; son diamètre diminue légèrement pendant l'inspiration.
- **Obstruction extrathoracique** : rétrécissement accentué pendant l'inspiration : les parois se rapprochent autour de la zone obstruée et le débit diminue

6. Obstruction extrathoracique

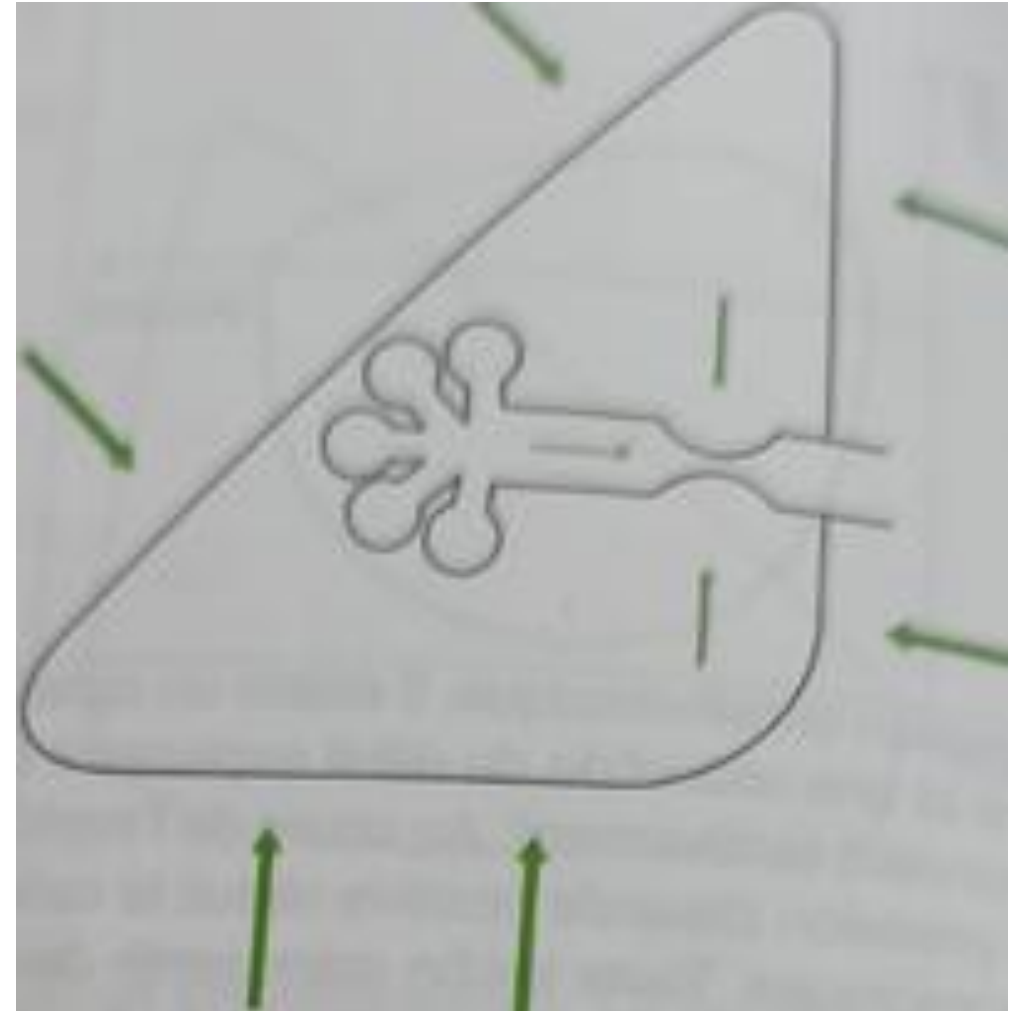


Aspect anormaux de la bouche débit /volume

Collapsus expiratoire des voies aériennes

Pendant l'expiration :

- la pression pleurale devient positive ;
- la pression alvéolaire devient également positive ;
- l'air se déplace de l'alvéole vers les grosses VA ;
- la pression pleurale exercée sur les VA tend à réduire son calibre.



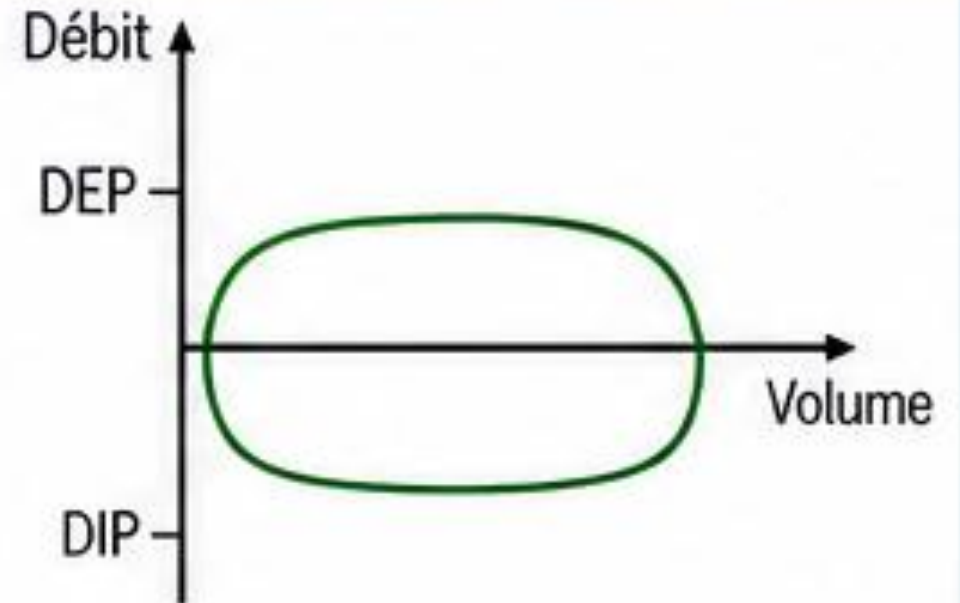
Aspect anormaux de la boucle débit /volume

Obstructions rigides fixées

La diminution du débit concerne :

- l'inspiration ;
- l'expiration.

8. Obstruction fixe des grosses voies aériennes

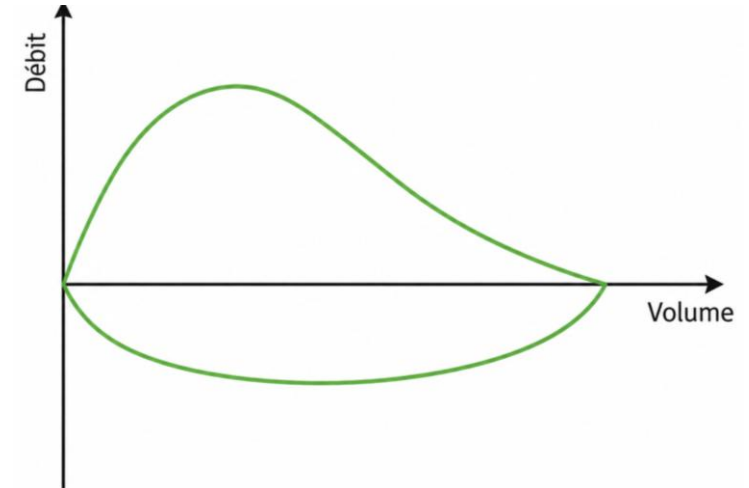


Aspect anormaux de la boucle débit /volume

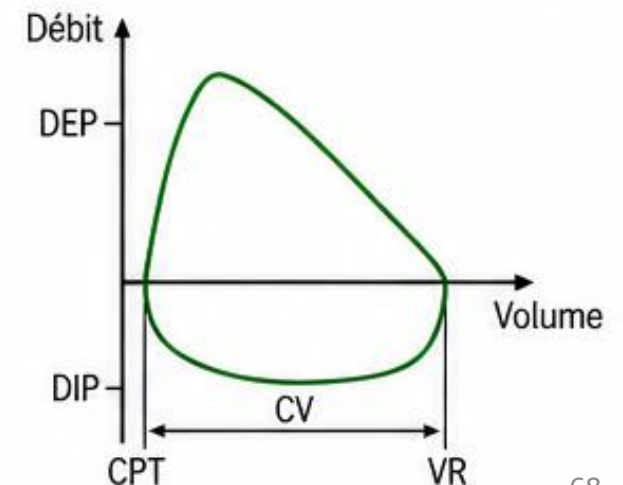
Maladies neuromusculaires (Faiblesse des muscles respiratoires)

- **Faiblesse musculaire généralisée**
- Ascension de la courbe expiratoire vers le **débit de pointe** est plus progressive par rapport à l' ascension brutale habituelle.
- **Débit expiratoire de pointe (DEP)** est diminué et survient plus tardivement.
- Partie inspiratoire étant davantage dépendante de l'effort, elle est proportionnellement plus réduite.
- **DIM 50 diminue davantage que le DEM 50.**
- **DEM 50 > DIM 50.**

9/21/2026



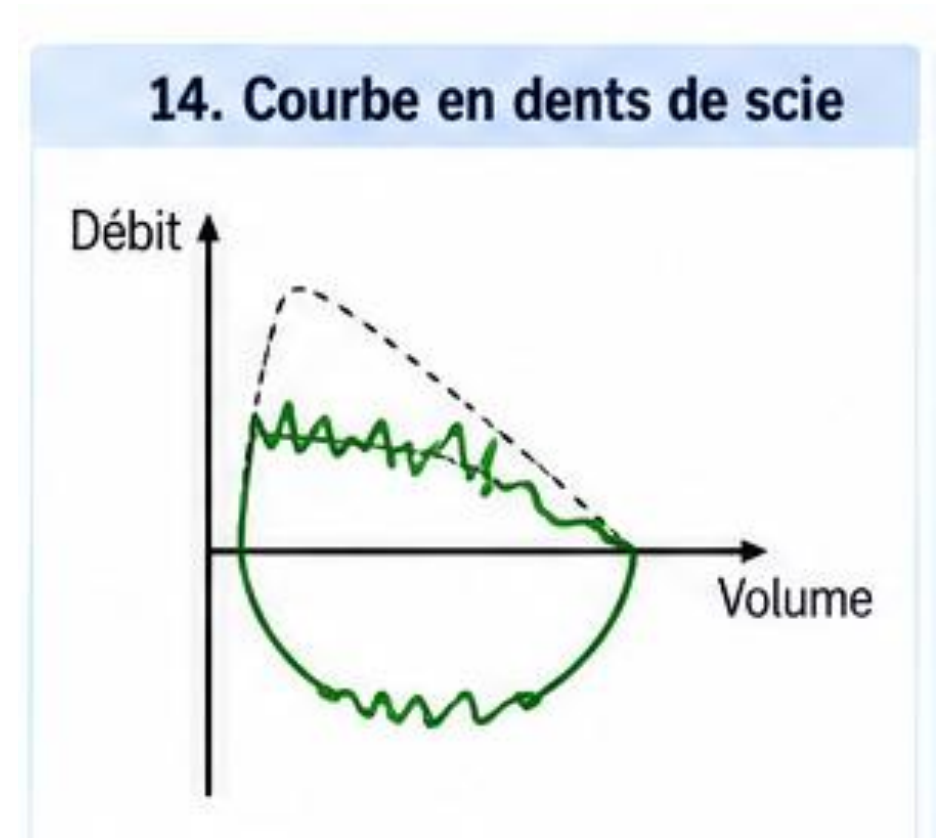
1. Boucle débit/volume normale



Aspect anormaux de la bouche débit /volume

Courbe en dents de scie

- Instabilité reproductible des voies aériennes : ouvertures et de fermetures
- Maladies neurologiques, dystonies, d'atteintes bulbaires, du syndrome d'apnée du sommeil, brûlures des voies aériennes.

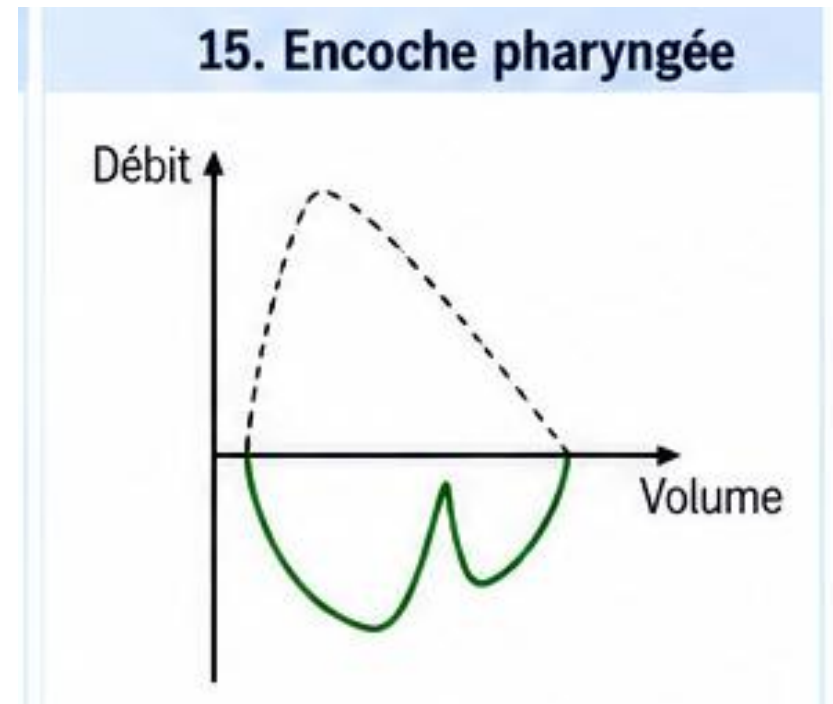


ouverture partielle de la voie aérienne → débit ↑
fermeture ou rétrécissement transitoire → débit ↓

Aspect anormaux de la bouche débit /volume

Encoche pharyngée

- Contrôle de la musculature pharyngée nécessaire au cours d'inspiration forcée pour prévenir le collapsus provoqué par la pression négative pour maintenir les VA > ouvertes
- Collapsus complet du pharynx peut survenir pendant l'inspiration.
- Il provoque une **encoche sur la partie inspiratoire de la boucle.**
- Dysfonction des cordes vocales, sujet normal lors d'un premier essai avant qu'il ne soit entraîné à maintenir ses voies aériennes supérieures ouvertes au cours de cette manœuvre non naturelle



Résumé : interprétation de la boucle débit/volume

- **Maladie obstructive** : concavité de la partie descendante de la courbe expiratoire.
- **Maladie restrictive** : partie descendante de la courbe expiratoire plus abrupte, puis diminution de l'amplitude de la boucle avec conservation de sa forme générale.
- **Obstruction des voies aériennes extrathoraciques** : aplatissement de la courbe inspiratoire.
- **Obstruction des grosses voies aériennes intrathoraciques** : aplatissement de la courbe expiratoire.