

# Standardisation de la spirométrie

M.R. Miller, J. Hankinson, V. Brusasco, F. Burgos, R. Casaburi, A. Coates, R. Crapo, P. Enright, C.P.M. van der Grinten, P. Gustafsson, R. Jensen, D.C. Johnson, N. MacIntyre, R. McKay, D. Navajas, O.F. Pedersen, R. Pellegrino, G. Viegi, J. Wanger

<b>Table des matières</b>	
<b>Généralités</b> .....	17S24
<b>Manœuvre du VEMS et de la CVF</b> .....	17S25
Définitions .....	17S25
Matériel .....	17S25
Exigences .....	17S26
Affichage .....	17S26
Validation .....	17S26
Contrôle qualité .....	17S26
<i>Contrôle qualité pour les appareils mesurant le volume</i> .....	17S26
<i>Contrôle qualité pour les appareils mesurant le débit</i> .....	17S27
Procédure de mesure de la CVF .....	17S27
Critères intra-manœuvre .....	17S28
Critères de début du test .....	17S28
Critères de fin de test .....	17S28
Critères supplémentaires .....	17S29
Résumé des critères d'acceptabilité d'une manœuvre expiratoire .....	17S29
Critères inter-manœuvres .....	17S29
Répétabilité des manœuvres .....	17S29
Nombre maximum de manœuvres .....	17S30
Sélection des résultats du test .....	17S30
Autres indices dérivés .....	17S31
VEM <sub>t</sub> .....	17S31
<i>Rapport du VEMS au volume expiré,     VEMS/CVF et VEMS/CV</i> .....	17S31
DEM <sub>25-75</sub> .....	17S31
DEP .....	17S31
Courbe débit-volume maximale expiratoire .....	17S31
Définitions .....	17S31
Matériel .....	17S31
Procédure de mesure de la courbe débit-volume forcé .....	17S31
Évaluations intra- et inter-manœuvres .....	17S32
Exemples de boucles débit-volume .....	17S32
Test de réversibilité .....	17S34
Méthode .....	17S34
Commentaires sur la dose et le mode d'administration .....	17S34
Détermination de réversibilité .....	17S34
<b>Manœuvres de CV et de CI</b> .....	17S34
Définitions .....	17S34
CV et CVI .....	17S34
CI .....	17S35
Matériel .....	17S35
Procédure de mesure de la CVL et de la CI .....	17S35
CVL .....	17S35
CI .....	17S36
Utilisation d'un pince-nez .....	17S36
Critères intra-manœuvre .....	17S36
Critères inter-manœuvres .....	17S36
Sélection des résultats du test .....	17S36
<b>Débit expiratoire de pointe</b> .....	17S36
Définition .....	17S36
Matériel .....	17S36
Procédure de mesure du DEP .....	17S37
Critères intra-manœuvre .....	17S37
Critères inter-manœuvres .....	17S37
Sélection des résultats du test .....	17S37
<b>Ventilation maximale minute</b> .....	17S37
Définition .....	17S37
Matériel .....	17S37
Procédure de mesure de la VMM .....	17S38
Critères intra-manœuvre .....	17S38
Critères inter-manœuvres .....	17S39
Sélection des résultats du test .....	17S39
<b>Considerations techniques</b> .....	17S39
Recommandations minimales pour les systèmes de spirométrie .....	17S39
Correction pour les conditions btps .....	17S39
Commentaires .....	17S39
Signaux pour tester les spiromètres .....	17S40
Méthode .....	17S40
Test d'exactitude .....	17S40
Test de répétabilité .....	17S40
Signaux pour tester les débitmètres de pointe .....	17S40
Méthode .....	17S41
Test d'exactitude .....	17S41
Test de répétabilité .....	17S41
Signaux pour tester la VMM .....	17S41
<b>Abréviations</b> .....	17S41
<b>Annexe</b> .....	17S42

**Correspondance** : V. Brusasco  
Médecine Interne, Université de Gênes, V.le Benedetto XV, 6,  
I-16132 Gênes, Italie.  
vito.brusasco@unige.it

Réception version princeps à la Revue : 23.03.2005.  
Acceptation définitive : 05.04.2005.

**Ce document est la traduction de** : Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Crapo R, Enright P, van der Grinten CP, Gustafsson P, Jensen R, Johnson DC, MacIntyre N, McKay R, Navajas D, Pedersen OF, Pellegrino R, Viegi G, Wanger J. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005 ; 26 : 319-338.

## Généralités

La spirométrie est une mesure physiologique de la façon dont un individu inspire ou expire des volumes d'air au cours du temps. On peut obtenir cette information soit au travers de la mesure de variations de volumes, soit au travers de la mesure de variations de débit.

La spirométrie est un outil précieux pour évaluer la santé respiratoire, tout comme la mesure de la pression artérielle fournit des informations importantes sur la santé cardiovasculaire. Par contre, à elle seule, la spirométrie ne permet pas au clinicien de poser directement un diagnostic étiologique. Quelques indications de la spirométrie sont données par le *tableau 1*.

Ce document met particulièrement l'accent sur la capacité vitale forcée (CVF) qui correspond au volume mobilisé lors d'une expiration maximale aussi complète que possible commencée après une inspiration complète. Il met aussi l'accent sur le volume expiré maximal pendant la première seconde (VEMS), qui correspond au volume expiré pendant la première seconde d'une manœuvre de CVF. D'autres variables spirométriques dérivées de la manœuvre de CVF sont aussi expliquées, mais avec un moindre niveau de détail.

**Tableau 1.**

Indications de la spirométrie

### 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 un pronostic  
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
- dans la perspective d'une assurance
- dans un contexte médico-légal

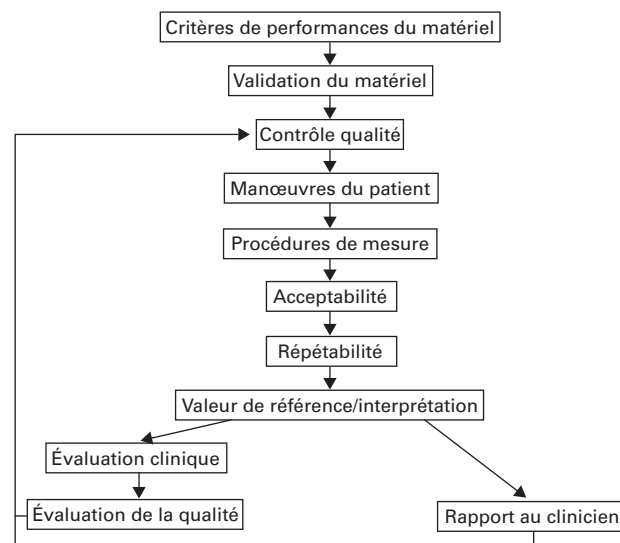
### Santé publique

Enquêtes épidémiologiques  
Dérivation des formules de référence  
Recherche clinique

Les mesures spirométriques peuvent être réalisées avec de nombreux types de matériel. Elles nécessitent une coopération entre le patient et l'examineur, et les résultats obtenus dépendent de facteurs tant techniques que personnels (*fig. 1*). En diminuant la variabilité des résultats et en améliorant l'exactitude des mesures, les limites de la normale pour les populations peuvent être resserrées et les anomalies détectées plus facilement. La première publication de l'ATS (*American Thoracic Society*) sur la standardisation de la spirométrie a fait suite à l'atelier Snowbird en 1979 [1]. Une première mise à jour a ensuite été effectuée en 1987 et une deuxième en 1994 [2, 3]. Une initiative similaire a été réalisée par la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, produisant le premier document de standardisation européenne en 1983 [4]. Une mise à jour a ensuite été effectuée en 1993 pour produire le document officiel de l'ERS (*European Respiratory Society*) [5]. Les différences entre les deux publications les plus récentes de l'ATS et de l'ERS sont généralement mineures, à ceci près que le document de l'ERS traite les volumes pulmonaires absolus tandis que celui de l'ATS ne le fait pas.

Ce document regroupe les vues de l'ATS et de l'ERS afin de produire des éléments de référence dont les applications puissent être les plus larges possibles. Il concerne les définitions, le matériel et les procédures liées au patient. Tous les appareils d'enregistrement concernés doivent être conformes aux exigences décrites dans le présent texte, qu'ils aient été conçus pour une fonction de diagnostic ou bien de surveillance. Il n'y a pas de catégorie séparée pour les appareils dits de « surveillance ».

Bien qu'il incombe aux fabricants de produire des systèmes pour les explorations fonctionnelles respiratoires conformes à toutes les recommandations décrites ici, il est possible que certains appareils ne remplissent pas tous ces critères.



**Fig. 1.**  
Étapes standards d'une spirométrie.

Dans ce cas, les fabricants doivent clairement identifier celles des exigences qui ne sont pas remplies. Les fabricants sont chargés de démontrer l'exactitude et la fiabilité des systèmes qu'ils commercialisent, mais l'utilisateur doit s'assurer que les mesures de l'appareil restent exactes. L'utilisateur doit aussi se conformer à la réglementation locale, qui peut stipuler des exigences supplémentaires. Enfin, ces directives sont des directives minimales qui ne suffisent pas toujours dans toutes les situations (comme la recherche, les études épidémiologiques, les évaluations longitudinales et les surveillances dans le cadre de la médecine du travail).

## Manœuvres du VEMS et de la CVF

### Définitions

La capacité vitale forcée correspond au volume maximum d'air expiré au cours d'un effort maximum effectué à partir d'une inspiration maximale. Elle est exprimée en litres à la température corporelle et à pression ambiante saturée en vapeur d'eau (conditions BTPS ; voir section sur la correction BTPS).

Le VEMS correspond au volume maximum d'air expiré au cours de la première seconde d'une expiration forcée à partir d'une inspiration maximale, exprimée en litres aux conditions BTPS.

### Matériel

#### Exigences

Le spiromètre doit être capable d'accumuler des volumes pendant ou moins 15 secondes (des périodes plus longues sont recommandées) et de mesurer des volumes  $\geq 8$  l (BTPS) avec une exactitude d'au moins  $\pm 3\%$ , ou  $\pm 0,050$  l si cette valeur est plus élevée, avec des débits compris entre 0 et  $14 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ . La résistance totale à l'écoulement d'air à  $14,0 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  doit être  $< 1,5 \text{ cmH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $0,15 \text{ kPa}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  ; voir section Recommandations minimales pour les systèmes de spirométrie). Cette résistance totale doit être mesurée en utilisant tous les tubes, valves, pré-filtres, etc., placés entre le patient et le spiromètre. Des variations de la résistance peuvent être observées avec certains appareils à cause de la condensation de la vapeur d'eau, et les exigences d'exactitude doivent être remplies dans des conditions BTPS pendant une durée suffisante pour permettre jusqu'à huit manœuvres de CVF successives, effectuées sur une période de 10 minutes sans déconnexion de l'appareil.

#### Affichage

Pour un contrôle qualité optimal, l'affichage des deux courbes débit-volume et volume-temps est utile. L'opérateur doit vérifier visuellement le déroulement de chaque manœuvre dans un but d'assurance qualité, avant de passer à la manœuvre suivante. Ceci a pour but de vérifier que les tracés sont conformes aux exigences minimales de taille et de résolution décrites dans les présentes recommandations.

L'affichage de la courbe débit-volume fournit plus d'informations pendant la première partie (première seconde) de la manœuvre de CVF. En effet, dans la mesure où les débits mesurés à ce moment sont directement fonction de la pression pleurale (et en particulier le débit expiratoire de pointe), la courbe débit-volume permet d'évaluer l'importance de l'effort expiratoire réalisé par le patient. La possibilité de superposer une série de courbes débit-volume enregistrées au point d'inspiration maximale peut être utile pour évaluer la répétabilité et détecter des efforts sous-maximaux. Cependant, si le point d'inspiration maximale varie d'une manœuvre à l'autre, l'interprétation des résultats est difficile parce que les débits mesurés à des volumes considérés identiques sont en fait atteints à des volumes pulmonaires absolus différents.

L'affichage de la courbe volume-temps pendant la manœuvre de CVF fournit quant à lui plus d'informations sur la dernière partie de la manœuvre. Une courbe volume-temps de taille suffisante permet aussi d'effectuer des mesures indépendantes et des calculs à partir des paramètres des manœuvres de CVF. Pour les tracés relevés au cours d'essais multiples, l'utilisateur doit pouvoir identifier la chronologie des manœuvres.

La courbe volume-temps doit afficher une durée au moins égale à 0,25 seconde, et au mieux 1 seconde, avant tout changement de volume. Ceci est nécessaire pour calculer le volume rétro-extrapolé (voir section Critères de début du test), et pour évaluer l'effort pendant la première partie de la manœuvre. Le temps zéro, défini par le volume rétro-extrapolé, doit apparaître au point zéro du tracé. Les dernières 2 secondes de la manœuvre doivent apparaître sur le tracé afin de confirmer la fin satisfaisante du test (voir section Critères de fin du test).

Lorsqu'une courbe volume-temps est imprimée, l'échelle du volume doit être  $\geq 10 \text{ mm}\cdot\text{L}^{-1}$  (BTPS). Pour un affichage à l'écran, l'échelle de  $5 \text{ mm}\cdot\text{L}^{-1}$  est satisfaisante (tableau II).

Lorsque les mesures sont réalisées manuellement, l'échelle de temps doit être  $\geq 20 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , mais des échelles de temps encore plus grandes sont préférables ( $\geq 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) [1, 6, 7]. Lorsque la courbe volume-temps est utilisée en même temps qu'une courbe débit-volume (c'est à dire que les deux courbes sont disponibles pour l'interprétation et

**Tableau II.**

Échelles minimums de temps, volume et débit recommandées pour les sorties graphiques.

Paramètre	Affichage à l'écran		Affichage sur papier	
	Résolution requise	Échelle	Résolution requise	Échelle
Volume#	0,050 L	5 mm.L <sup>-1</sup>	0,025 L	10 mm.L <sup>-1</sup>
Débit#	0,200 L.s <sup>-1</sup>	2,5 mm.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>	0,100 L.s <sup>-1</sup>	5 mm.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>
Temps	0,2 s	10 mm.s <sup>-1</sup>	0,2 s	20 mm.s <sup>-1</sup>

# : le rapport d'aspect correct d'affichage du débit en fonction du volume est égal à deux unités de débit pour une unité de volume.

qu'aucune mesure manuelle n'est effectuée), l'échelle de temps peut être ramenée à  $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  (tableau II). Cette exception se justifie par le fait que la courbe débit-volume peut permettre le contrôle de qualité pendant la première partie de la manœuvre de CVF, la courbe volume-temps étant alors utilisée pour évaluer la dernière partie de la manœuvre de CVF, ce qui rend l'échelle de temps moins critique.

### Validation

Il est fortement recommandé d'évaluer les systèmes de spirométrie à l'aide de seringues mécaniques actionnées par ordinateur, ou tout système équivalent, et de le faire de façon à tester la gamme des expirations pouvant être rencontrées dans la population testée. Tester la performance des équipements ne fait pas partie des tâches habituelles des laboratoires (voir section Signaux pour tester les spiromètres).

### Contrôle qualité

Le contrôle qualité et l'étalonnage des appareils sont une étape importante des bonnes pratiques de laboratoire. Les exigences suivantes constituent un minimum : 1) tenir un registre des résultats d'étalonnage ; 2) disposer de la traçabilité des interventions de quelque nature que ce soit rendues nécessaires au bon fonctionnement des appareils (réparations, etc.) ; 3) relever les dates des mises à jour ou changements des logiciels et du matériel informatique ; et 4) répéter les vérifications d'étalonnage et procédures de contrôle qualité si un appareil est changé ou déplacé (par ex. pour des enquêtes industrielles), et ce avant de recommencer à utiliser l'appareil pour de nouveaux tests.

Les aspects clés du contrôle qualité des appareils sont résumés au tableau III.

L'étalonnage proprement dit est la procédure qui permet d'établir le lien entre les valeurs de débit ou de volume déterminées par le capteur et le débit ou le volume réel.

La procédure de vérification de l'étalonnage est différente et est utilisée pour confirmer que l'appareil est réglé

dans les limites de l'étalonnage, par ex.  $\pm 3\%$  de la valeur exacte. Si un appareil ne satisfait pas à la vérification de l'étalonnage, un nouvel étalonnage de l'appareil doit être effectué. Les vérifications de l'étalonnage doivent être effectuées une fois par jour, ou plus souvent si le fabricant le requiert.

La seringue utilisée pour vérifier l'étalonnage du volume des spiromètres doit avoir une exactitude de  $\pm 15 \text{ ml}$  ou  $\pm 0,5\%$  de la gamme complète ( $15 \text{ ml}$  pour une seringue de  $3 \text{ l}$ ), et le fabricant doit stipuler l'intervalle qu'il recommande entre les vérifications de l'étalonnage à la seringue. Les utilisateurs ne doivent pas oublier qu'une seringue avec une butée réglable ou variable peut ne plus délivrer le volume prévu si la butée a été re-réglée ou accidentellement déplacée. La présence de fuites doit être recherchée périodiquement sur les seringues d'étalonnage (par ex. une fois par mois) ; ceci peut être effectué en essayant de les vider après avoir obstrué la sortie. Une seringue tombée par terre ou abîmée doit être considérée comme ne permettant plus un étalonnage fiable jusqu'à ce qu'elle soit vérifiée.

L'exactitude de l'échelle de temps de l'enregistreur mécanique doit être évaluée avec un chronomètre au moins une fois par trimestre. Une exactitude de  $\leq 2\%$  doit être obtenue.

### Contrôle qualité pour les appareils mesurant le volume

L'exactitude du volume du spiromètre doit être vérifiée au moins une fois par jour au moyen d'une seule vidange d'une seringue étalonnée de  $3 \text{ l}$ . Il est fortement recommandé de vérifier l'étalonnage une fois par jour afin de détecter tout problème dans les 24 heures et aussi de définir la variabilité du laboratoire d'un jour à l'autre. Des vérifications plus fréquentes sont parfois nécessaires dans des conditions particulières, telles que : 1) pendant des enquêtes industrielles ou d'autres études où un grand nombre de manœuvres est effectué chez des patients ; l'étalonnage des appareils doit alors être vérifié plus d'une fois par jour [8] ; et 2) lorsque la température ambiante varie (par ex. études de terrain), l'exactitude du volume doit alors être vérifiée plus d'une fois par jour et le facteur de correction en conditions BTSP mis à jour autant que de besoin.

L'exactitude du volume de la seringue doit être vérifiée en déterminant si le volume mesuré se situe dans les limites acceptables. Par exemple, si la seringue a une exactitude de  $0,5\%$ , une lecture à  $\pm 3,5\%$  est appropriée.

La seringue d'étalonnage doit être conservée et utilisée dans des conditions de température et d'humidité identiques à celles du lieu où est effectué le test. L'idéal est de conserver la seringue à proximité du spiromètre, à l'abri d'une source de lumière directe et de toute source de chaleur.

La présence de fuites doit impérativement être recherchée dans les systèmes de spirométrie volumétrique tous les jours [9,10]. Les fuites peuvent être détectées en appliquant une pression positive constante  $\geq 3,0 \text{ cmH}_2\text{O}$  ( $0,3 \text{ kPa}$ ) à un spiromètre dont on obstrue la sortie (de préférence au niveau de l'embout buccal ou en incluant ce dernier). Toute perte de volume observée  $> 30 \text{ ml}$  après  $1 \text{ min}$  indique la présence d'une fuite [9, 10] qui doit être corrigée.

**Tableau III.**

Résumé du contrôle qualité du matériel.

Test	Intervalle minimum	Action
Volume	Quotidien	Vérification de l'étalonnage avec une seringue de $3 \text{ L}$
Fuite	Quotidien	Pression constante de $3 \text{ cmH}_2\text{O}$ ( $0,3 \text{ kPa}$ ) pendant $1 \text{ min}$
Linéarité du volume	Trimestriel	Paliers de $1 \text{ L}$ avec une seringue d'étalonnage mesurés sur toute la gamme de volume
Linéarité du débit	Hebdomadaire	Tester au moins trois gammes de débits différentes
Temps	Trimestriel	Vérification de l'enregistreur mécanique avec un chronomètre
Logiciel	Nouvelles versions	Relever la date d'installation et effectuer un test avec un patient « connu »

L'étalonnage des spiromètres à volume doit être vérifié au moins une fois tous les trimestres, sur toute la gamme de volume à l'aide d'une seringue étalonnée [11] ou une norme de volume équivalente. La valeur lue pour le volume doit se situer à  $\pm 3,5\%$  de la valeur réelle ou 65 ml si cette valeur est plus élevée. Cette limite intègre la limite d'exactitude de 0,5 % pour une seringue de 3 l. La procédure de vérification de la linéarité donnée par le fabricant peut être utilisée si elle correspond à une des procédures suivantes : 1) injections consécutives de volumes croissants par paliers de 1 l en comparant le volume observé avec le volume mesuré cumulé correspondant, par ex. 0-1, 1-2, 2-3, 6-7 et 7-8 l, pour un spiromètre de 8 l ; et 2) injection d'un volume de 3 l en commençant avec un volume minimal du spiromètre, et en répétant la procédure par paliers de 1 l dans la position de départ, par ex. 0-3, 1-4, 2-5, 3-6, 4-7 et 5-8 l, pour un spiromètre de 8 l.

La linéarité est considérée comme acceptable si le spiromètre est conforme aux exigences d'exactitude du volume pour tous les volumes testés.

#### Contrôle qualité pour les appareils mesurant le débit

En ce qui concerne l'exactitude du volume, les vérifications de l'étalonnage doivent être effectuées au moins une fois par jour, à l'aide d'une seringue de 3 l vidangée au moins trois fois pour donner une gamme de débits compris entre 0,5 et 12 L.s<sup>-1</sup> (avec des temps d'injection de 3 l  $\leq 6$  s et  $\geq 0,5$  s). Le volume à chaque débit doit être conforme à l'exigence d'exactitude de  $\pm 3,5\%$ . Pour les appareils utilisant des capteurs de débit jetables, un nouveau capteur provenant du stock utilisé pour tester les patients doit être testé chaque jour.

En ce qui concerne la linéarité, l'étalonnage du volume doit être vérifié une fois par semaine à l'aide d'une seringue de 3 l avec trois débits relativement constants et faibles, ensuite trois débits moyens, et finalement trois débits élevés. Les volumes obtenus avec chacun de ces débits doivent être conformes à l'exigence d'exactitude de  $\pm 3,5\%$ .

#### Procédure de mesure de la CVF

La manœuvre de CVF se compose de trois phases distinctes : 1) inspiration maximale ; 2) une première expiration « explosive » ; et 3) une expiration complète jusqu'à la fin du test.

Le technicien doit effectuer une démonstration de la technique appropriée et suivre la procédure décrite au *tableau IV*. Le patient doit inspirer rapidement et à fond à partir de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF), l'embout buccal de l'appareil doit alors être mis en place (si ce n'est déjà fait) en s'assurant que les lèvres sont bien refermées dessus et que la langue ne vient pas l'obstruer. Il faut ensuite démarrer la manœuvre de CVF sans attendre. Des réductions de DEP et de VEMS sont observées lorsque l'inspiration qui précède immédiatement l'expiration forcée est lente et/ou lorsqu'il y a une pause à la capacité pulmonaire totale (CPT) trop longue [12]. Par conséquent, il est important que l'inspiration soit rapide et que la pause inspiratoire soit la plus courte possible (au maximum 1-2 s). Le test part du principe que l'expiration

#### Tableau IV.

Procédures pour enregistrer la capacité vitale

##### Vérifiez l'étalonnage du spiromètre

##### Expliquez le test

##### Préparez le patient

Interrogez le sur un tabagisme éventuel, des maladies récentes, l'utilisation de médicaments, etc.

Pesez le et mesurez la taille sans chaussures

##### Lavez-vous les mains

##### Expliquez et montrez le test au patient, y compris

La position correcte avec la tête légèrement relevée

Inspirez rapidement et complètement

Positionnez l'embout buccal (circuit ouvert)

Expirez avec une force maximale

##### Effectuez la manœuvre (méthode du circuit fermé)

Demandez au patient de se placer correctement

Mettez en place le pince-nez, et demandez au patient de prendre

l'embout buccal en bouche en refermant les lèvres dessus

Demandez au patient d'inspirer à fond et rapidement avec une pause < 1 s à la CPT\*

Demandez ensuite au patient d'expirer à fond jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'air à expirer tout en gardant le tronc vertical (pas d'antéflexion en fin d'effort expiratoire)

Répétez les instructions, si nécessaire, en encourageant le patient à faire un effort maximum

Répétez la manœuvre au moins trois fois; il ne faut généralement pas effectuer plus de huit manœuvres

Vérifiez la répétabilité du test et effectuez des manœuvres supplémentaires si nécessaire

##### Effectuez la manœuvre (méthode du circuit ouvert)

Demandez au patient de se placer correctement

Mettez en place le pince-nez

Demandez au patient d'inspirer à fond et rapidement avec une pause < 1 s à la CPT\*

Demandez lui de prendre l'embout buccal en bouche en refermant les lèvres dessus

Demandez ensuite au patient d'expirer à fond jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'air à expirer tout en gardant le tronc vertical (pas d'antéflexion en fin d'effort expiratoire)

Répétez les instructions, si nécessaire, en encourageant le patient à faire un effort maximum

Répétez la manœuvre au moins trois fois; il ne faut généralement pas effectuer plus de huit manœuvres

Vérifiez la répétabilité du test et effectuez des manœuvres supplémentaires si nécessaire.

\*CPT : capacité pulmonaire totale.

forcée fait suite à une inspiration maximale, que le patient doit donc impérativement prendre avant de commencer la manœuvre de CVF. Il faut demander au patient d'expirer « violemment », et non pas simplement de souffler, et de vider ses poumons au maximum. Pendant la manœuvre, il faut encourager le patient avec un langage corporel approprié et des phrases telles que « continuez, encore, encore ». Il est particulièrement utile d'observer le patient de temps en temps pour repérer une détresse éventuelle, tout en observant le tracé ou l'affichage à l'écran pendant le test, pour obtenir un effort maximal. Si le patient se plaint d'étourdissements, il faut arrêter la manœuvre car elle peut provoquer une syncope à cause d'une interruption prolongée du retour veineux au thorax. Ce risque est plus important chez les patients âgés et chez les personnes avec une restriction de l'écoulement d'air. Chez certains patients, on peut éviter la syncope en effectuant une manœuvre de capacité vitale « lente » inspiratoire ou expiratoire (voir section Manœuvres de CV et de CI) au lieu

de la manœuvre de CVF. Une réduction de l'effort à mi-parcours de la manœuvre [13] peut produire un volume expiratoire plus élevé chez certains patients, mais il ne s'agit plus alors d'une expiration forcée maximale. Il n'est pas nécessaire de retirer un appareil dentaire s'il est bien adapté, car dans ce cas la géométrie oro-pharyngée est préservée, et les résultats de spirométrie sont généralement meilleurs lorsque l'appareil est en place [14].

Avec des instructions adéquates, les enfants dès l'âge de 5 ans sont souvent capables d'effectuer des manœuvres de spirométrie acceptables [15]. Les techniciens évaluant la fonction pulmonaire chez l'enfant doivent être spécialement formés. Un environnement clair et agréable, avec des jouets adaptés à différents âges, de la lecture et des activités artistiques, contribue au bien-être de l'enfant. Des encouragements, des instructions simples mais complètes, l'absence d'intimidation et un feedback visuel sont des aspects importants de l'apprentissage pour aider les enfants à effectuer la manœuvre. Même s'ils échouent à la première tentative, les enfants sont progressivement moins intimidés et améliorent leur performance au cours des essais suivants. Il faut éviter de tester des enfants dans des laboratoires pour « adultes », mal équipés pour répondre aux besoins spécifiques des plus jeunes.

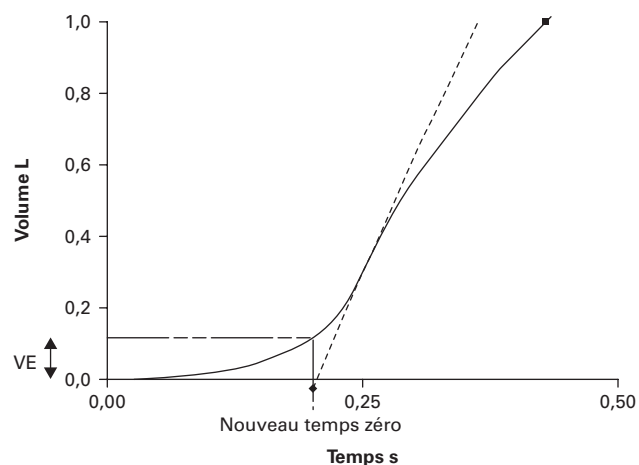
Il est recommandé d'utiliser un pince-nez ou de boucher manuellement les narines, et pour des questions de sécurité, il est préférable d'effectuer le test en position assise, sur une chaise avec des accoudoirs et sans roulettes. Il faut spécifier dans le rapport si le test est effectué en position debout ou dans une autre position.

## Critères « intra-manœuvres »

### Critères de début du test

Le début du test est déterminé par la méthode de rétro-extrapolation (*fig. 2*) [1, 3, 9, 16]. Le nouveau « temps zéro » obtenu par rétro-extrapolation définit le début de toutes les mesures en fonction du temps. Pour toutes les mesures manuelles, la méthode de rétro-extrapolation consiste à tracer un trait à partir de la pente la plus forte sur la courbe volume-temps [17]. Pour la rétro-extrapolation informatisée, il est recommandé d'utiliser la moyenne de la pente la plus importante sur une période de 80 ms [18]. La *figure 2* donne un exemple et une explication sur la rétro-extrapolation et la dérivation du volume rétro-extrapolé. Pour obtenir un temps zéro exact et s'assurer que le VEMS est produit par une courbe d'effort maximum, le volume rétro-extrapolé doit être < 5 % de la CVF, ou 0,150 l si cette valeur est plus élevée. S'il est clair que la manœuvre a démarré de manière hésitante, le technicien peut arrêter le test pour éviter un effort prolongé inutile.

Il est fortement recommandé que le technicien soit informé rapidement par l'ordinateur lorsque les critères de début ne sont pas remplis. En plus de la manœuvre expiratoire, la courbe volume-temps (graphique) doit idéalement inclure toute la manœuvre inspiratoire précédente, ainsi que  $\geq 0,25$  s



**Fig. 2.**

Agrandissement du début d'un spirogramme volume-temps d'un patient, illustrant la rétro-extrapolation à partir de la partie la plus pentue de la courbe, où le débit est le débit expiratoire de pointe (DEP), afin de déterminer le nouveau « temps zéro ».

Capacité vitale forcée (CVF) = 4,291 L; Volume rétro-extrapolé = 0,123 L (2,9 % CVF).

---- : ligne de rétro-extrapolation pendant le DEP.

et de préférence  $\geq 1$  s avant le début de l'expiration (temps zéro). L'appareil doit afficher la valeur du volume rétro-extrapolé. Une inspection visuelle de la courbe débit-volume peut aussi être effectuée pour s'assurer que le test a débuté de manière satisfaisante. Le DEP doit être atteint avec une montée rapide et proche du point de distension maximale, c'est-à-dire le début de l'expiration (voir section Matériel).

### Critères de fin de test

Il est important d'encourager le patient pour qu'il continue d'expirer l'air à la fin de la manœuvre pour obtenir un effort optimal, en disant par ex. « continuez, encore, encore ». Les critères de fin de test sont utilisés pour identifier un effort de CVF raisonnable. Les deux critères de fin de test recommandés sont : 1) Le patient ne peut pas continuer à expirer ou présente des signes d'intolérance rendant la poursuite de l'effort déraisonnable. À cet égard, bien que le patient doive être encouragé à produire un effort maximal, il doit pouvoir arrêter la manœuvre de son plein gré à tout moment, surtout en cas de gêne. Le technicien doit aussi être vigilant pour détecter tout signe de gêne chez le patient, et arrêter le test si le patient ne se sent pas bien ou risque une syncope. 2) La courbe volume-temps ne montre aucun changement du volume (< 0,025 l) pendant  $\geq 1$  s, et le patient a essayé d'expirer pendant  $\geq 3$  s s'il s'agit d'enfants de  $\leq 10$  ans ou  $\geq 6$  s s'il s'agit d'enfants de > 10 ans.

Si ces critères définissant un plateau expiratoire ne sont pas remplis, l'appareil doit le signaler au technicien. Les critères de fin de test peuvent être atteints malgré l'absence de plateau expiratoire, mais une telle alerte permettra au technicien de renforcer les encouragements prodigués au patient au

moment adéquat. Il convient de noter qu'une fermeture de la glotte peut interrompre l'expiration effective avant 6 secondes alors même que la durée apparente de l'effort expiratoire dépasse cette valeur.

Chez les patients ayant une obstruction des voies aériennes ou chez les patients âgés, une expiration complète peut prendre plus de 6 secondes. Cependant, il est rare que des temps d'expiration > 15 s aient un impact sur les décisions cliniques. De multiples expirations prolongées sont rarement justifiées et peuvent provoquer des sensations vertigineuses, une syncope, ou une fatigue et une gêne inutiles.

L'obtention des critères de fin de test est un des moyens de garantir l'acceptabilité d'une manœuvre donnée. Les manœuvres qui ne remplissent pas ces critères ne doivent pas être retenues parmi les trois manœuvres acceptables requises (*cf. infra*). Néanmoins, la fin prématurée d'une manœuvre ne justifie pas, en soi, son rejet complet. En effet, des informations produites par une manœuvre terminée prématurément peuvent être utiles en fonction de la durée effective de l'expiration (on peut par exemple conserver le VEMS correspondant).

Certains jeunes enfants n'arrivent pas toujours à remplir les critères de fin de test de l'ATS [3], même s'ils remplissent d'autres critères de répétabilité [19]. Des techniques d'ajustement des courbes [20] pourraient être utiles pour développer de nouveaux critères de fin de test spécifiques pour les jeunes enfants.

### **Critères supplémentaires**

Une toux pendant la première seconde de la manœuvre peut modifier la valeur mesurée du VEMS. Une manœuvre comportant un effort de toux pendant la première seconde doit être considérée comme inacceptable. En cas d'effort de toux à tout autre moment de l'expiration, la décision de conserver ou non la manœuvre revient au technicien, en fonction de son jugement quant à l'impact sur l'exactitude des résultats [3].

Le test sera considéré comme étant inacceptable en cas de fermeture de la glotte (manœuvre de Valsalva) ou en présence d'une hésitation pendant la manœuvre suffisante pour bloquer le passage de l'air et fausser l'estimation exacte du VEMS ou de la CVF [3].

Aucune fuite au niveau de la bouche ne peut être tolérée [3]. Chez les patients souffrant d'une pathologie neuromusculaire, le technicien doit parfois fournir une assistance manuelle pour garantir l'étanchéité à ce niveau.

La mesure peut être perturbée par une obstruction de l'embout buccal, par exemple, par la langue ou les dents ou lorsque ce dernier est mordu par le patient.

### **Résumé des critères d'acceptabilité d'une manœuvre expiratoire**

Les critères d'acceptabilité d'une manœuvre expiratoire forcée consistent en un début et une fin de test satisfaisants, avec un plateau dans la courbe volume-temps. Par ailleurs, le technicien doit veiller à ce que le patient ait bien compris les instructions et effectue une inspiration maximale et une expi-

ration d'abord brutale puis régulière et continue, avec un effort maximum. Les conditions suivantes doivent également être remplies : 1) début satisfaisant de l'expiration, sans hésitation excessive et avec un volume extrapolé n'excédant pas 5 % de la CVF ou 0,150 l si cette valeur est plus élevée (*fig. 2*) ; 2) absence de toux pendant la première seconde de la manœuvre ou, au-delà de cette durée, de tout effort de toux qui selon le technicien nuirait à l'exactitude des résultats [3] ; 3) absence d'arrêt prématuré de l'expiration (voir section Critères de fin de test) ; 4) absence de manœuvre de Valsalva (fermeture de la glotte) et d'hésitation pendant la manœuvre qui bloquerait ou freinerait le passage de l'air et nuirait à l'exactitude de la mesure du VEMS ou de la CVF [3] ; 5) absence de fuites [3] ; 6) absence d'obstruction de l'embout buccal ; 7) absence de signes montrant qu'une inspiration supplémentaire a eu lieu pendant la manœuvre.

Il convient de noter que, pour être exploitable, une courbe peut ne remplir que les conditions 1 et 2 ci-dessus, tandis que, pour être acceptable, elle doit remplir l'intégralité des sept conditions ci-dessus.

Il est préférable d'utiliser un système informatique qui alerte le technicien lorsque les conditions ci-dessus ne sont pas remplies. Le rapport doit inclure des qualificatifs quant à l'acceptabilité de chaque manœuvre, en sachant que lorsque les conditions d'acceptabilité ne sont pas remplies, les résultats ne sont pas toujours rejetés. En effet, ils peuvent représenter la meilleure performance possible pour certains patients. Les enregistrements de ces manœuvres doivent donc être conservés car ils peuvent contenir des informations utiles.

### **Critères « inter-manœuvres »**

Sur la base des critères décrits ci-dessus, il faut obtenir au minimum trois manœuvres de CVF acceptables. La différence entre la valeur de CVF la plus élevée et la valeur immédiatement suivante doit être inférieure ou égale à 0,150 l. La différence entre la valeur de VEMS la plus élevée et la valeur immédiatement suivante doit également être inférieure ou égale à 0,150 l [21]. Lorsque la CVF est  $\leq 1,0$  l, cet écart ne doit pas excéder 0,100 l, pour le VEMS comme pour la CVF. Si les trois premières manœuvres ne remplissent pas les critères d'acceptabilité et de répétabilité, des essais supplémentaires doivent être réalisés, le maximum étant généralement de huit manœuvres. Une grande variabilité entre les tests est souvent due à des inspirations incomplètes. Il est parfois nécessaire d'octroyer une brève période de repos entre les manœuvres.

Les courbes volume-temps ou débit-volume obtenues à partir des trois meilleures manœuvres de CVF au minimum doivent être conservées. Le *tableau V* résume les critères d'évaluation intra- et inter-manœuvres.

### **Répétabilité des manœuvres**

Pour les mesures de la CVF, l'acceptabilité doit être déterminée en s'assurant que les recommandations décrites précédemment sur la réalisation du test de CVF sont respectées. Les directives de l'ATS [3] contiennent des exemples de cour-

**Tableau V.**

Résumé des critères d'évaluation intra- et inter-manoœuvres

**Évaluation intra-manoœuvre**

Les spirogrammes individuels sont « acceptables » si :

**Ils ne comportent pas :****d'artefacts [3]**

- Toux pendant la première seconde de l'expiration ;
- Fermeture de la glotte modifiant la mesure ;
- Arrêt prématuré ;
- Effort sub-optimal pendant toute la manoeuvre ;
- Fuite ;
- Embout buccal obstrué.

**Ils indiquent un bon début**

- Volume extrapolé < 5 % de la CVF, ou 0,15 L si cette valeur est plus élevée

**Ils indiquent une expiration satisfaisante**

- Durée  $\geq$  6 s (3 s pour les enfants) ou un plateau dans la courbe volume-temps ou le patient ne peut pas ou ne doit pas continuer à expirer

**Évaluation inter-manoœuvres**

Après avoir obtenu trois spirogrammes acceptables, effectuer les vérifications suivantes :

- L'écart entre les deux valeurs les plus élevées de la CVF ne doit pas dépasser 0,150 L
- L'écart entre les deux valeurs les plus élevées du VEMS ne doit pas dépasser 0,150 L
- Si ces deux critères sont remplis, le test peut être arrêté
- Si ces deux critères ne sont pas remplis, poursuivre le test jusqu'à ce que
- Les deux critères soient remplis avec l'analyse de spirogrammes acceptables supplémentaires ou
- Au total huit tests ont été effectués (facultatif) ou
- Le patient ne peut pas ou ne doit pas continuer

Sauvegarder, au minimum, les trois manoeuvres satisfaisantes

CVF : capacité vitale forcée ; VEMS : volume expiré maximal à la première seconde

bes volume-temps inacceptables et des courbes débit-volume correspondantes. La *figure 3* présente un diagramme montrant comment les critères d'acceptabilité d'une manoeuvre expiratoire sont appliqués avant ceux de la répétabilité.

Les critères de répétabilité sont utilisés pour déterminer quand il faut effectuer plus de trois manoeuvres de CVF ; ces critères ne sont pas utilisés pour exclure des résultats des rapports ni pour exclure des patients d'une étude. Le cas échéant, il est recommandé d'indiquer que ces résultats sont dérivés de données non conformes aux critères de répétabilité décrits précédemment. Par ailleurs, les critères de répétabilité constituent une exigence minimum. De nombreux patients sont capables d'obtenir une répétabilité de la CVF et du VEMS à 0,150 l près, voire moins. Les manoeuvres avec un début du test inacceptable ou une toux (courbe inutilisable) doivent être éliminées avant d'appliquer les critères de répétabilité et ne peuvent pas être utilisées pour sélectionner les meilleures valeurs. Les manoeuvres avec un arrêt prématuré ou une manoeuvre de Valsalva peuvent être utilisées pour sélectionner la CVF et le VEMS les plus élevés.

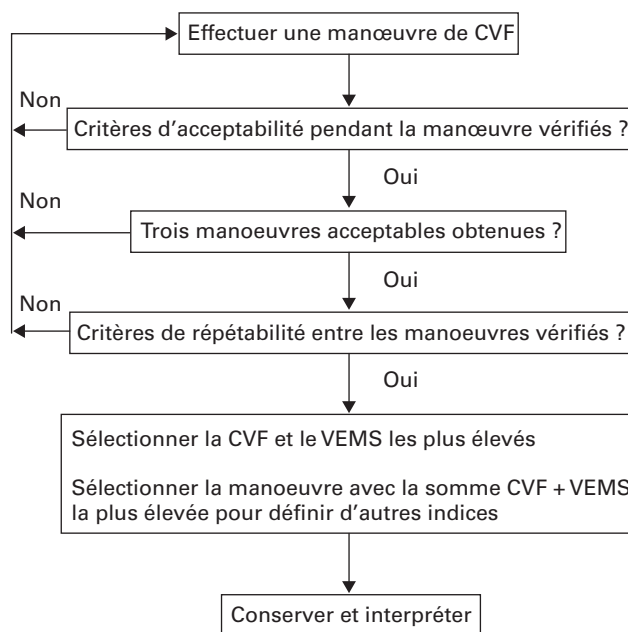
**Fig. 3.**

Diagramme montrant comment appliquer les critères d'acceptabilité et de répétabilité. CVF : capacité vitale forcée ; VEMS : volume expiré maximal pendant la première seconde.

Aucun spirogramme ou résultat de test ne doit être rejeté uniquement sur la base d'une mauvaise répétabilité. La répétabilité des résultats doit être prise en compte au moment de l'interprétation. La décision d'utiliser des données issues de manoeuvres avec une mauvaise répétabilité ou non conformes aux exigences de fin de test est laissée à l'appréciation de la personne interprétant les résultats.

**Nombre maximum de manoeuvres**

Bien qu'il soit possible que plus de huit manoeuvres de CVF consécutives soient nécessaires, ce chiffre est généralement considéré comme étant la limite supérieure dans la plupart des cas [22, 23]. Après plusieurs manoeuvres d'expiration forcée, des phénomènes de fatigue peuvent rendre d'éventuelles manoeuvres supplémentaires peu représentatives. Dans des cas extrêmement rares, on peut observer une réduction progressive du VEMS ou de la CVF avec chaque manoeuvre expiratoire. Si la baisse cumulée dépasse 20 % de la valeur de départ, le test doit être arrêté dans l'intérêt de la sécurité du patient. Dans tous les cas, la séquence des manoeuvres doit être conservée en mémoire.

**Sélection des résultats du test**

La CVF et le VEMS doivent être mesurés à partir d'une série d'au moins trois courbes d'expiration forcée avec un début du test acceptable et une absence d'artefact, tel qu'une toux (soit « courbe utilisable »). La CVF la plus élevée et le VEMS le plus élevé (conditions BTPS) doivent être relevés même s'ils ne proviennent pas de la même courbe, après avoir examiné toutes les courbes utilisables.



## Autres indices dérivés

### VEM<sub>t</sub>

Le VEM<sub>t</sub> est le volume expiré maximum en t secondes (mesuré à partir du temps zéro défini par rétro-extrapolation) par expiration forcée en partant d'une inspiration maximale, exprimé en litres aux conditions BTPS. Les très jeunes enfants ne sont pas toujours capables de produire des expirations prolongées, mais de plus en plus de données indiquent que les indices dérivés de manœuvres expiratoires avec des temps d'expiration forcée < 1 s peuvent avoir une utilité clinique [19]. Les données actuelles sont néanmoins insuffisantes pour recommander l'utilisation du VEM<sub>0,5</sub> ou du VEM<sub>0,75</sub>.

Il est possible d'utiliser le volume expiré sur une durée inférieure à la durée nécessaire à une expiration complète en tant que substitut à la CVF. Par exemple, si la durée de l'expiration forcée excède 6 secondes, le volume expiré maximal en 6 secondes peut être utilisé comme substitut de la CVF. Lorsque de tels substituts sont utilisés, le chiffre accompagnant l'indice VEM doit spécifier le temps d'expiration (par ex. VEM<sub>6</sub> pour une expiration de 6 secondes). Le VEM<sub>6</sub> est de plus en plus considéré comme un substitut raisonnablement fiable de la CVF [24], et peut être utilisé à sa place (par ex. VEMS/VEM<sub>6</sub>). La mesure du VEM<sub>6</sub> semble avoir l'avantage d'être plus reproductible que celle de la CVF, car il est moins exigeant du point de vue physique pour le patient et possède des caractéristiques de fin de test plus explicites. Des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces observations.

### Rapport du VEMS au volume expiré, VEMS/CVF et VEMS/CV

Chez certains patients, une manœuvre de CV expiratoire lente ou non forcée ou de capacité vitale inspiratoire (CVI) (voir section Manœuvres de CV et de CI) peut fournir un dénominateur plus élevé et plus approprié pour le calcul du rapport VEMS/CV. Certains investigateurs ont suggéré que, chez les patients normaux, la CV est légèrement plus élevée que la CVF [25].

### DEM<sub>25-75</sub>

Le débit expiratoire maximal entre 25 % et 75 % de la CVF (DEM<sub>25-75</sub>) est aussi connu sous le nom de débit expiratoire maximal médian. Cet indice doit être dérivé de la manœuvre expiratoire associée à la somme VEMS + CVF la plus élevée. Le DEM<sub>25-75</sub> doit être mesuré avec une exactitude de lecture d'au moins  $\pm 5\%$ , ou  $\pm 0,200 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  si cette valeur est plus élevée, sur une gamme allant jusqu'à  $7 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Il convient de noter que cette valeur dépend fortement de la validité de la mesure de la CVF et du niveau de l'effort expiratoire.

### DEP

Le débit expiratoire de pointe (DEP) est généralement dérivé de la courbe débit-volume. Il correspond au débit expiratoire maximum obtenu à partir d'une expiration forcée maximale, démarrée sans hésitation à partir du point de remplissage maximal des poumons, exprimé en  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Lorsque le

DEP est enregistré à l'aide d'un débitmètre portable par le patient, il est souvent exprimé en  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Une description plus détaillée du DEP est donnée plus loin.

## Courbe débit-volume maximale expiratoire

L'analyse de la forme d'une courbe débit-volume maximale (CDVM) incluant une inspiration forcée peut être utile pour le contrôle qualité et pour détecter la présence d'une obstruction des voies aériennes supérieures. Aucun des indices numériques dérivés d'une CDMV n'a une utilité clinique supérieure à celle du VEMS, de la CVF, du DEM<sub>25-75</sub> et du DEP, et par conséquent ils ne sont pas décrits en détail ici.

### Définitions

En ce qui concerne les débits instantanés, il est recommandé de prendre en compte le débit expiratoire maximal à X % de la CVF (DEM<sub>X%</sub>), et non le débit expiratoire maximal lorsque X % de la CVF a été expiré (terminologie recommandée en Europe par le passé).

Le débit inspiratoire instantané lorsque X % de la capacité vitale inspiratoire ont été inspirés (DIM<sub>X%</sub>) et le débit inspiratoire médian référence aux débits mesurés sur le bras inspiratoire de la courbe débit-volume. Le débit inspiratoire maximal médian (DIM<sub>25-75</sub>) est analogue au débit expiratoire maximal médian (DEM<sub>25-75</sub>).

### Matériel

Les débits instantanés doivent être mesurés avec une exactitude de lecture de  $\pm 5\%$ , ou  $\pm 0,200 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  si cette valeur est plus élevée, sur une gamme de  $-14$  à  $14 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Le débit minimum détectable doit être  $0,025 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Lorsqu'une courbe débit-volume maximale est tracée ou affichée, le débit expiré doit être tracé au-dessus et le volume expiré à droite. Un rapport 2:1 doit être maintenu entre les échelles de débit et de volume, par ex. un débit de  $2 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  et un volume expiré de 1 l doivent être à la même distance de leur axe respectif. Les échelles de débit et de volume utilisées pour analyser les performances du test doivent être équivalentes à celles qui sont montrées au *tableau II*.

### Procédure de mesure de la courbe débit-volume forcée

Le patient doit réaliser une boucle expiratoire et inspiratoire complète en une seule manœuvre. Dans de nombreux laboratoires, il s'agit de la manœuvre principale de l'examen spirométrique. On demande au patient de faire une inspiration rapide et complète jusqu'à la CPT, par la bouche, en air ambiant, puis de mettre l'embout buccal en bouche et, sans hésiter, de faire une expiration forcée avec un effort maximum jusqu'à ce que plus d'air ne puisse sortir, suivie d'une inspiration maximale et rapide. À ce moment, la manœuvre est terminée.

Une autre procédure consiste à demander au patient de prendre l'embout buccal en bouche en respirant normalement à la CRF, et ensuite, en une séquence continue, de réaliser la manœuvre suivante : expirer lentement jusqu'au volume résiduel (VR) ; enchaîner directement avec une inspiration

lente jusqu'à la CPT ; poursuivre avec une expiration rapide et complète avec un effort maximal jusqu'au VR ; et terminer par une inspiration rapide et complète avec un effort maximal de retour à la CPT.

Cette procédure est légèrement plus compliquée et ne convient pas nécessairement à tous les appareils, mais elle permet d'obtenir, à la fois, une mesure de la CV ainsi que de la CVF.

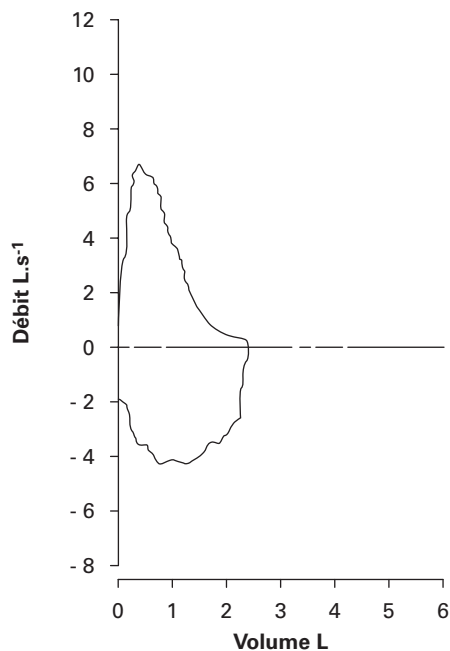
**Évaluations intra- et inter-manœuvres**

Ces évaluations sont identiques à celles décrites pour la CVF (*cf. supra*). Il arrive occasionnellement qu'un patient ne puisse pas effectuer une partie inspiratoire satisfaisante immédiatement après une manœuvre d'expiration forcée maximale. Cette situation concerne surtout les personnes âgées et les infirmes. Dans ce cas, il est parfois nécessaire d'effectuer la manœuvre inspiratoire séparément de la manœuvre expiratoire. L'appareil doit être capable d'effectuer ces deux manœuvres séparément et d'afficher ensuite au minimum trois courbes ensemble à l'écran ou sur papier.

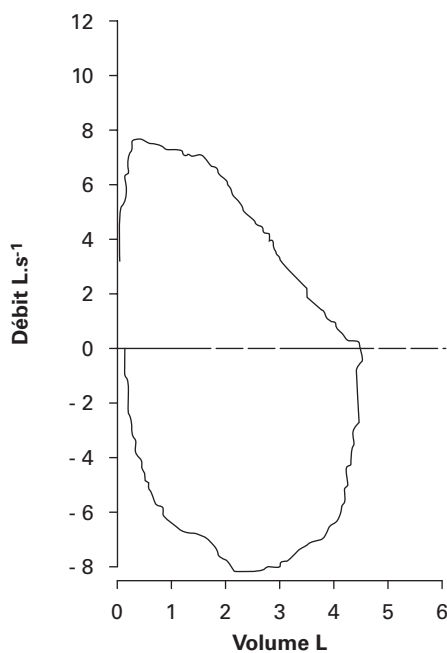
**Exemples de courbes débit-volume**

Les figures suivantes (*fig. 4 à 10*) sont des exemples typiques de courbes débit-volume couramment rencontrées. Il est facile de percevoir l'intérêt immédiat de l'examen visuel de la forme d'une courbe débit-volume. Une interprétation fiable suppose que la forme des manœuvres soit reproductible (*fig. 10*). Ceci est surtout vrai pour le plateau des parties expiratoire et inspiratoire de la manœuvre, observé dans les cas d'obstruction des voies aériennes supérieures. En effet, un effort respiratoire suboptimal peut donner des résultats simi-

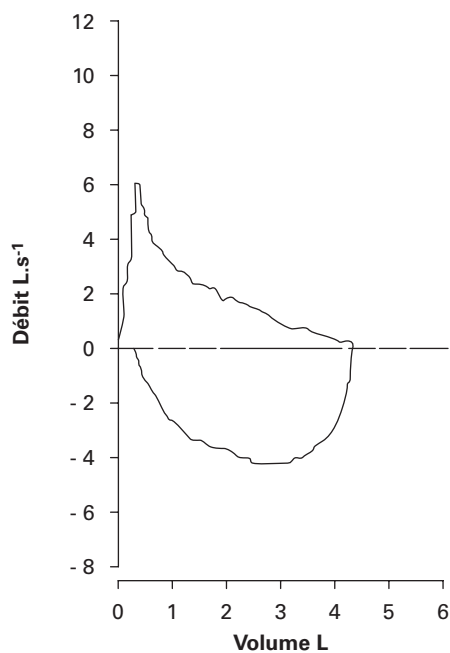
lares, mais il est généralement variable d'une manœuvre à l'autre. De plus amples explications sont données dans la publication de l'ATS/ERS sur les interprétations de la fonction respiratoire [26].



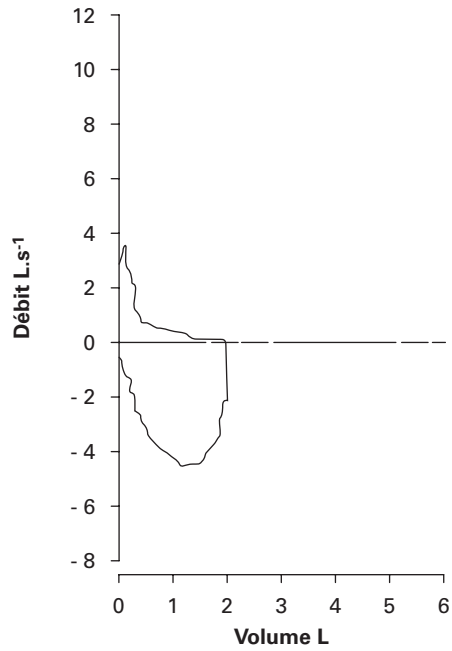
**Fig. 5.** Courbe débit-volume chez un patient normal avec une curvilinéarité télé-expiratoire pouvant être liée au vieillissement.



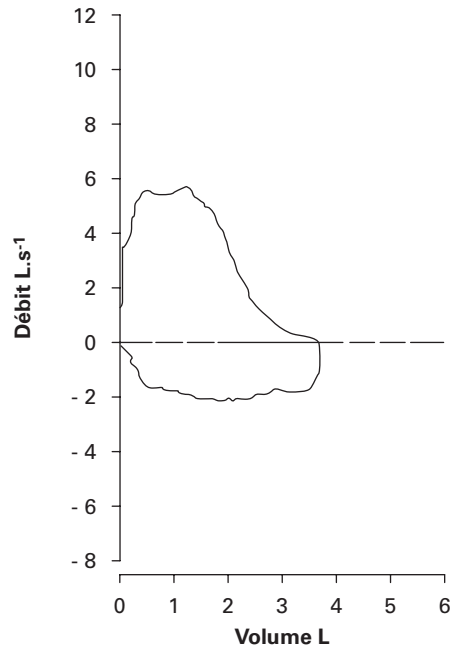
**Fig. 4.** Courbe débit-volume chez un patient normal.



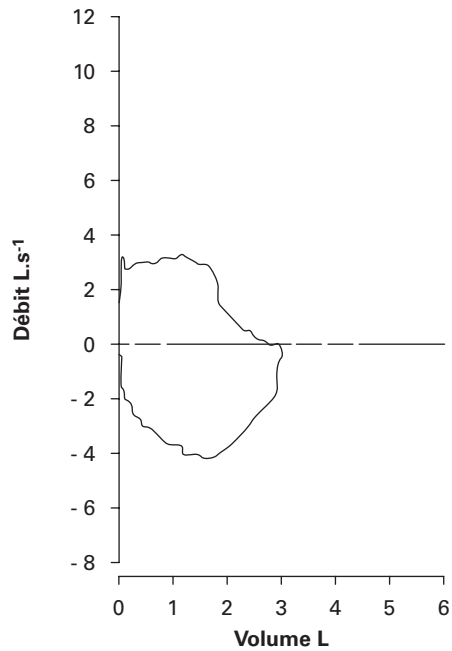
**Fig. 6.** Obstruction modérée chez un patient asthmatique.



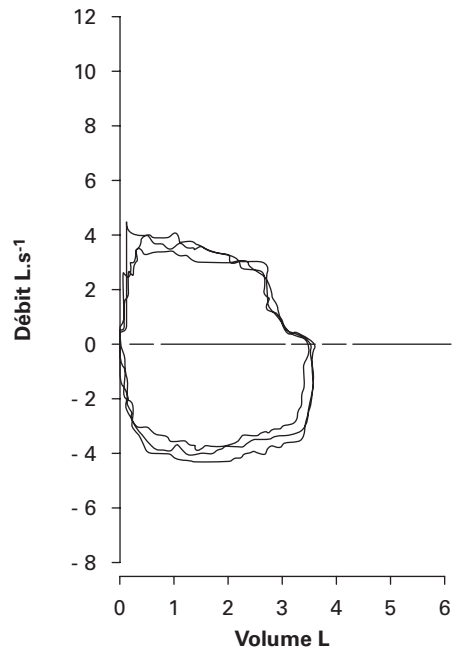
**Fig. 7.** Obstruction sévère chez un patient souffrant d'une broncho-pneumopathie chronique obstructive.



**Fig. 9.** Obstruction variable des voies aériennes supérieures extra-thoraciques.



**Fig. 8.** Obstruction variable des voies aériennes supérieures intra-thoraciques (trachée).



**Fig. 10.** Obstruction fixe des voies aériennes supérieures mise en évidence dans trois manœuvres.

## Test de réversibilité

La détermination de la réversibilité d'une anomalie de l'écoulement d'air lors de l'administration de médicaments est souvent effectuée dans le cadre des explorations fonctionnelles respiratoires. Le choix du médicament, de la dose et du mode d'administration est une décision clinique qui dépend des informations recherchées.

Si la question posée concerne la possibilité ou non d'améliorer la fonction respiratoire au delà du bénéfice apporté par un traitement de fond, le patient doit avoir continué à prendre ses médicaments habituels avant le test.

Si la question posée concerne l'existence ou non d'une anomalie réversible, le patient doit effectuer une évaluation fonctionnelle de base sans avoir pris aucun médicament avant le test. Les médicaments inhalés à durée d'action brève (par ex. le  $\beta$ -agoniste albutérol/salbutamol ou l'anti-cholinergique bromure d'ipratropium) ne doivent dans ce cas pas être utilisés pendant les 4 heures précédant le test. Les  $\beta$ -agonistes broncho-dilatateurs à durée d'action longue (par ex. salmétérol ou formotérol) et les médicaments pris par voie orale tels que l'aminophylline ou les  $\beta$ -agonistes à libération prolongée, doivent être arrêtés 12 heures avant le test. Il faut éviter de fumer au moins une heure avant le test ainsi que pendant toute la durée de celui-ci.

### Méthode

La procédure comporte les étapes suivantes : 1) Le patient a obtenu trois mesures acceptables du VEMS, de la CVF et du DEP conformément à la procédure décrite précédemment. 2) Le médicament est administré à la dose et selon le mode indiqués pour le test. Par exemple, après une expiration douce et partielle, une dose de 100  $\mu\text{g}$  d'albutérol/salbutamol est inhalée en une fois jusqu'à la CPT au moyen d'une chambre d'inhalation munie d'une valve. Le patient retient sa respiration pendant 5-10 s avant d'expirer. Quatre doses séparées (dose totale 400  $\mu\text{g}$ ) sont administrées à  $\approx 30$  s d'intervalle. Cette dose permet d'obtenir une réponse élevée sur la courbe dose-réponse de l'albutérol/salbutamol. On peut utiliser une dose plus faible s'il existe un risque d'effet sur la fréquence cardiaque ou de tremblements. D'autres médicaments peuvent aussi être utilisés. Pour le médicament anti-cholinergique : bromure d'ipratropium, la dose totale est de 160  $\mu\text{g}$  ( $4 \times 40 \mu\text{g}$ ).

Trois mesures acceptables supplémentaires du VEMS doivent être enregistrées  $\geq 10$  min et jusqu'à 15 min plus tard pour les  $\beta$ -agonistes à durée d'action brève, et 30 min plus tard pour les anti-cholinergiques à durée d'action brève.

### Commentaires sur la dose et le mode d'administration

Il est nécessaire de standardiser la dose de bronchodilatateur administrée afin de standardiser la définition d'une réponse significative à un bronchodilatateur. La déposition d'un médicament dans les poumons lors d'une respiration normale à partir d'un nébuliseur classique à débit constant dépend de la concentration du médicament, du débit de nébulisation, de la distribution de la taille des particules, et

du rapport du temps inspiratoire au temps total ( $T_i/T_{\text{tot}}$ ) [27]. La fraction respirable (FR) de l'aérosol est définie comme étant la fraction de particules dont le diamètre est  $\leq 5 \mu\text{m}$  et qui sont donc susceptibles de se déposer dans les poumons adultes si elles sont inhalées à travers l'embout buccal [28]. Par exemple, la fraction respirable de 2,5 mg de salbutamol (albutérol) dilué dans 2,5 ml de solution et administré via un nébuliseur Hudson Updraft II (Hudson RCI, Temecula, CA, USA) actionné par un compresseur PulmoAide (De Vilbiss, Somerset, PA, USA) serait environ de 0,1  $\text{mg}\cdot\text{min}^{-1}$ . Pour une fréquence respiratoire de 15 par  $\text{min}^{-1}$  et un  $T_i/T_{\text{tot}}$  de 0,45, environ 3  $\mu\text{g}$  seront déposés dans les poumons lors de chaque inspiration, soit 45  $\mu\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ . Chez un adulte utilisant un aérosol doseur avec une chambre d'inhalation munie d'une valve, entre 10 et 20 % [29, 30] d'une bouffée de 100  $\mu\text{g}$  ( $\approx 15 \mu\text{g}$  par activation) devraient être déposés dans les poumons. Sans chambre d'inhalation, la quantité déposée sera plus faible et largement dépendante de la technique utilisée [31]. La quantité déposée dans les poumons avec des inhalateurs de poudre sèche dépend de l'appareil utilisé, et elle est considérablement plus élevée avec les inhalateurs à effet Venturi qui asservissent la production de l'aérosol à l'inspiration qu'avec les inhalateurs « standards » [32, 33]. Comparés aux appareils contenant des CFC, les inhalateurs doseurs ne contenant pas de CFC produisent une taille des particules plus faible conduisant à une quantité déposée dans les poumons plus élevée (jusqu'à 50 % de la dose) [34]. La quantité de médicament déposée dans les poumons est plus faible chez l'enfant que chez l'adulte [35], probablement à cause du calibre des voies aériennes supérieures. Il est important que les laboratoires d'explorations fonctionnelles respiratoires connaissent bien les caractéristiques de la déposition fournie par les appareils qu'ils utilisent.

### Détermination de la réversibilité

Cet aspect est décrit en détail dans le document sur la stratégie d'interprétation de l'ATS et de l'ERS [26].

## Mancœuvres de CV et de Cl

### Définitions

#### CV et CVI

La capacité vitale est définie comme le plus grand volume gazeux mobilisable par l'appareil respiratoire, soit, par exemple, la quantité d'air expirée entre la fin d'une inspiration maximale et la fin d'une expiration maximale ou vice versa. On mesure généralement ce volume à la bouche et on l'exprime en litres aux conditions BTPS. La mesure de la capacité vitale lors d'une manœuvre forcée (CVF) a été décrite ci-dessus. On peut également mesurer la capacité vitale lors de manœuvres dites « lentes » : on parle alors de « capacité vitale lente » (CVL). La CVL peut en pratique être obtenue de deux manières. La capacité vitale expiratoire (CVE) correspond au volume d'air maximal expiré en

partant d'une inspiration maximale. La capacité vitale inspiratoire (CVI) correspond au volume d'air maximal inspiré en partant d'une expiration maximale effectuée lentement après une inspiration normale. Ces manœuvres ne sont pas des manœuvres forcées, mais il importe cependant de demander au patient un effort supplémentaire à l'approche du VR ou de la CPT [36].

### CI

La capacité inspiratoire (CI) est définie comme le volume mobilisé par une inspiration lente et complète (jusqu'à la capacité pulmonaire totale), effectuée sans hésitation à partir de la fin d'une expiration normale passive correspondant à la CRF. Elle est exprimée en litres aux conditions BTPS. La CI peut donner une estimation indirecte du degré de distension pulmonaire au repos, et l'étude de ses variations après un traitement médicamenteux ou au cours d'un effort physique [37-41] permet d'évaluer les modifications correspondantes de la CRF.

### Matériel

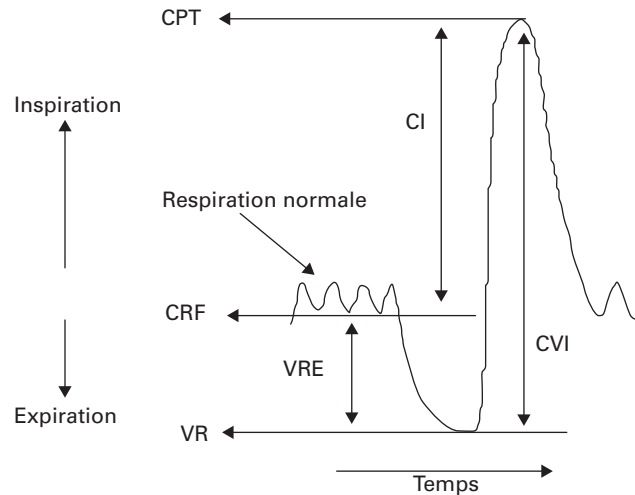
Le spiromètre ou débitmètre utilisé pour mesurer la CV et la CI doit être conforme aux exigences précédemment décrites pour la CVF et être capable d'accumuler un volume pendant  $\geq 30$  s.

Les manœuvres expiratoires, ou mieux les manœuvres inspiratoires et expiratoires, doivent apparaître sur le tracé de la manœuvre de CV. Que les mesures soient dérivées des manœuvres inspiratoires ou expiratoires, un tracé de la manœuvre de CV complète doit être obtenu. Le volume expiratoire maximal doit être évalué pour déterminer si le patient a atteint un plateau dans son effort expiratoire. Pour le tracé de la CV lente, l'échelle de temps peut être réduite à 5 mm. s<sup>-1</sup>.

### Procédure de mesure de la CVL et de la CI

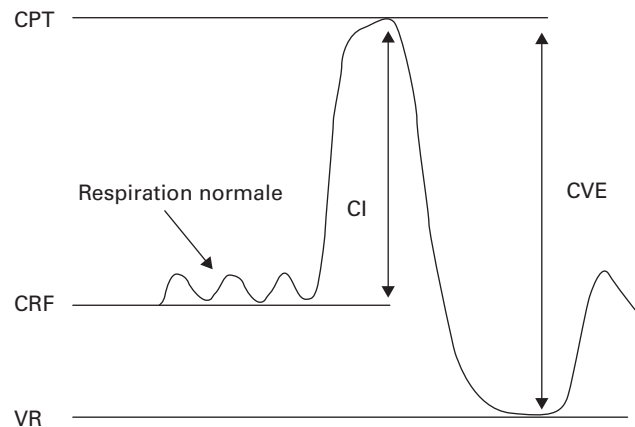
#### CVL

La CVL peut être mesurée à l'aide de spiromètres conventionnels. Elle peut aussi être mesurée avec un appareil utilisé pour mesurer les volumes pulmonaires statiques et leurs subdivisions [42]. Pour la CV lente, le nombre maximum de manœuvres effectuées est généralement de quatre. Il est préférable que les manœuvres de CVL soient effectuées avant les manœuvres de CVE. Ceci limite les risques d'interférence avec une fatigue induite par les manœuvres forcées et avec les effets potentiels de ces manœuvres sur la mécanique respiratoire (modification des résistances des voies aériennes ainsi que des volumes pulmonaires au travers des effets de l'histoire du volume sur les phénomènes de relaxation de contrainte, par exemple) [3]. La manœuvre réalisée pour mesurer la CVL peut être soit inspiratoire (CVI), où le patient inspire complètement en partant d'une expiration complète, soit expiratoire (CVE), où le patient expire complètement en partant d'une inspiration complète. La *figure 11* montre un tracé de CVI et la *figure 12* montre un



**Fig. 11.**

Tracé d'une respiration normale suivie d'une manœuvre expiratoire jusqu'au volume résiduel (VR), suivie d'une inspiration jusqu'à la capacité pulmonaire totale (CPT) pour obtenir la capacité vitale inspiratoire (CVI) et la capacité inspiratoire (CI). CRF : capacité résiduelle fonctionnelle ; VRE : volume de réserve expiratoire.



**Fig. 12.**

Tracé d'une respiration normale suivie d'une manœuvre inspiratoire jusqu'à la capacité pulmonaire totale (CPT), pour obtenir la capacité inspiratoire (CI), suivie d'une expiration complète mais lente jusqu'au volume résiduel (VR) pour obtenir la capacité vitale expiratoire (CVE) ; CRF : capacité résiduelle fonctionnelle.

tracé de CVE. Des différences importantes peuvent être observées entre CVI et CVE chez les patients avec un syndrome obstructif [43, 44].

Il faut commencer le test en expliquant au patient comment effectuer la manœuvre de CV et en lui montrant la technique appropriée. Il est important que le patient comprenne qu'il doit remplir et vider complètement ses poumons. Pour la manœuvre de CV, le patient respire par l'embout buccal et porte un pince-nez. La manœuvre n'est pas forcée ; elle est effectuée de manière détendue, sauf à

l'approche de la fin de l'inspiration et de la fin de l'expiration où des encouragements doivent être prodigués. Le patient expire complètement jusqu'au VR, et inspire ensuite jusqu'à la CPT, et enfin expire à nouveau jusqu'au VR. Le technicien doit guider le patient de façon à ce qu'il atteigne les volumes inspirés et expirés maximums avec un débit relativement constant. L'expiration ne doit pas être trop lente, car dans ce cas, la CV peut être sous-estimée. Le technicien doit observer attentivement le patient pour veiller à ce que ses lèvres soient bien refermées sur l'embout buccal pour éviter les fuites, que rien n'obstrue ce dernier, et pour s'assurer que la CPT et le VR sont bien atteints.

On peut aussi procéder en demandant au patient de prendre une inspiration, mettre l'embout buccal en bouche en plaçant les dents dessus et non devant, fermer ses lèvres sur l'embout buccal, et souffler lentement et de manière constante jusqu'à ce que le volume ne change plus ( $< 0,025$  l) pendant une période de 1 seconde (voir section Critères de fin de test). Chez les patients souffrant d'une pathologie neuromusculaire, une assistance est parfois nécessaire, pour les aider à maintenir les lèvres bien fermées sur l'embout buccal. Le technicien doit observer le patient pour s'assurer que son inspiration est complète, et qu'il ne laisse pas s'échapper d'air pendant l'introduction de l'embout buccal dans la bouche. Le technicien doit veiller à ce que la manœuvre expiratoire ne soit pas forcée. Chez les patients en bonne santé, des niveaux adéquats d'inspiration et d'expiration maximums sont atteints en 5-6 s.

### CI

Le patient doit effectuer le test en position assise en portant un pince-nez et en veillant à ce qu'il n'y ait aucune fuite d'air entre la bouche et l'embout buccal. Le patient doit être détendu (épaules descendues et relâchées). Il faut lui demander de respirer régulièrement quelques fois jusqu'à ce que le volume télé-expiratoire soit stable (ceci nécessite généralement trois respirations). Il faut ensuite l'encourager à prendre une grande inspiration jusqu'à la CPT sans hésitation. La *figure 12* montre un tracé de mesure de la CI.

### Utilisation d'un pince-nez

Il est recommandé d'utiliser un pince-nez pour les mesures de la CV, car certaines personnes respirent par le nez lorsqu'elles effectuent une manœuvre de CV lente. Un pince-nez doit aussi être utilisé pour les manœuvres inspiratoires, telles que la CVI ou la CI.

### Critères intra-manœuvre

Ces évaluations reposent sur des critères identiques à ceux décrits précédemment pour la CVF. Il ne doit pas y avoir de fuites autour de la bouche, aucune hésitation pendant la manœuvre, et aucune obstruction de l'embout buccal. La CI peut être sous-estimée si la manœuvre inspiratoire est trop lente à cause d'un effort insuffisant ou d'une hésitation, ou en cas de fermeture prématurée de la glotte.

### Critères inter-manœuvres

Comme dans le cas des manœuvres forcées, il faut obtenir un minimum de trois manœuvres de CV acceptables. Si la différence entre la valeur la plus élevée et la valeur immédiatement inférieure est  $> 0,150$  l, des mesures supplémentaires doivent être effectuées. Il faut parfois effectuer jusqu'à quatre manœuvres, mais généralement pas plus de quatre, pour confirmer la répétabilité des résultats, avec une période de repos  $\geq 1$  min entre les manœuvres. Une variabilité excessive est souvent due à des inspirations incomplètes. Les courbes volume-temps obtenues à partir des deux meilleures manœuvres de CV doivent être retenues. Pour la CI, il faut effectuer au minimum trois manœuvres acceptables. Le coefficient de variation moyen pour la CI chez les patients avec un syndrome obstructif chronique est de  $5 \pm 3$  % [39].

### Sélection des résultats du test

Pour la CVL, la valeur la plus élevée obtenue avec au moins trois manœuvres acceptables doit être retenue. Pour la CI, la moyenne d'au moins trois manœuvres doit être retenue.

### Débit expiratoire de pointe

Des études sur la mesure du DEP sont en cours. Des données récentes suggèrent que les normes utilisées précédemment peuvent laisser passer un certain nombre d'erreurs [45], et il est possible que dans le futur des exigences plus strictes soient requises, qui feront alors l'objet de nouvelles recommandations. En attendant que l'impact clinique de cette question ne soit élucidé et que les décisions correspondantes quant à de nouvelles recommandations soient prises, les recommandations précédentes [3, 46] sont reprises ici, du fait de l'importance de la mesure du DEP dans la prise en charge de l'asthme.

Il convient de noter qu'il n'a pas été prouvé que les autres mesures instantanées du débit (par ex.  $DEM_{50}$ ,  $DEM_{75}$ ) sont supérieures aux indices spirométriques conventionnels dans le cadre d'investigations cliniques, et par conséquent elles ne sont pas décrites ici.

### Définition

Le DEP correspond au débit le plus élevé obtenu par une manœuvre d'expiration maximale démarrée sans hésitation à partir d'un remplissage maximal des poumons [46]. Lorsqu'il est obtenu à partir d'une courbe débit-volume, le DEP est exprimé en conditions BTPS en  $L \cdot s^{-1}$ . Les caractéristiques définissant une courbe débit-temps, par rapport au DEP, sont le temps nécessaire pour que le débit passe de 10 % à 90 % du DEP, appelé temps de montée (« RT » *rise time*), et le temps pendant lequel le débit est  $> 90$  % du DEP, appelé temps de maintien (« DT » *dwell time*). Lorsque le DEP est obtenu avec des appareils de mesure ambulatoires, il est exprimé en  $L \cdot \text{min}^{-1}$ .

## Matériel

Idéalement, le DEP doit être mesuré avec un appareil dont la fonction principale est la mesure du débit. Pour mesurer le DEP, l'appareil doit avoir une réponse en fréquence linéaire ( $\pm 5\%$ ) jusqu'à 15 Hz [46]. Bien que des fréquences pouvant aller jusqu'à 20 Hz semblent pouvoir être en cause dans le signal du DEP [47], il est actuellement recommandé que les appareils garantissent une fidélité de l'enregistrement jusqu'à 15 Hz. Le DEP doit être mesuré avec une exactitude de  $\pm 10\%$ , ou  $\pm 0,3 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $20 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) si cette valeur est plus élevée. La résistance moyenne de l'appareil, mesurée sur toute sa gamme, doit être  $< 2,5 \text{ cmH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $0,25 \text{ kPa}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ; *tableau VI*). Le DEP est influencé par la résistance du débitmètre; par exemple, une résistance de  $0,25 \text{ kPa}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  diminue le DEP de  $\approx 8\%$  comparé au DEP mesuré avec un pneumotachographe de faible résistance [48].

La différence entre deux valeurs obtenues par deux appareils différents chez un même patient ne doit pas dépasser  $5\%$  ou  $0,150 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $10 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) si cette valeur est plus élevée. La reproductibilité d'un dispositif à l'autre doit être  $< 10\%$ , ou  $0,300 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $20 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) si cette valeur est plus élevée. Le calcul du DEP en différenciant les données de la courbe volume-temps peut introduire un bruit, qui peut être lissé en utilisant un algorithme de concordance parabolique [2].

La validation du matériel est décrite dans la section « Signaux pour tester les débitmètres de pointe ».

## Procédure de mesure du DEP

Le DEP dépend de l'effort réalisé et du volume pulmonaire, la coopération du patient étant un facteur essentiel. Le DEP doit être obtenu le plus rapidement possible et avec un volume pulmonaire aussi élevé que possible, afin d'atteindre une valeur maximale [49]. Le patient doit être encouragé à souffler le plus fort possible. Le cou doit être dans une position neutre, sans flexion ni extension, et le patient ne doit pas tousser. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un pince-nez.

Après le point de remplissage pulmonaire maximum, le patient doit souffler sans attendre. Une hésitation même de 2 s uniquement, ou une flexion du cou permet aux structures viscoélastiques de la trachée de se relâcher et le DEP peut baisser de jusqu'à  $10\%$  [50]. Imprimer un effet de sarbacane avec la langue, cracher ou tousser au début d'une manœuvre expiratoire peut donner un DEP faussement élevé avec certains appareils.

En laboratoire, le patient doit effectuer un minimum de trois manœuvres de DEP. Lorsque le DEP est mesuré par le patient lui-même (par exemple dans le cadre d'un suivi ambulatoire), il est important qu'il ait été correctement formé sur la manière et le moment pour effectuer le test, et sur la conduite à tenir en fonction du résultat. Des vérifications régulières de la technique et du débitmètre utilisé par le patient forment une part importante du suivi.

## Critères intra-manœuvres

Il faut vérifier que les lèvres du patient sont refermées de manière étanche sur l'embout buccal, qu'il n'y a pas d'hésitation, et que la manœuvre a démarré sans anomalie.

## Critères inter-manœuvres

Les valeurs de DEP et leur chronologie doivent être relevées afin de détecter une éventuelle augmentation des résistances bronchiques déclenchée par la manœuvre. Si parmi trois manœuvres acceptables retenues les deux manœuvres expiratoires donnant les valeurs de DEP les plus élevées ne sont pas reproductibles à  $0,67 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  près ( $40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ), on pourra réaliser jusqu'à deux mesures supplémentaires. Le DEP peut être reproduit à  $0,67 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  près ( $40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) par  $95\%$  des patients en bonne santé n'ayant reçu aucune formation, et reproduit à  $0,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  près ( $30 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) par  $90\%$  d'entre eux [48]. Si une répétabilité satisfaisante n'a pas été obtenue au bout de cinq essais, il est peu probable que des essais supplémentaires soient utiles [51].

## Sélection des résultats du test

On retiendra la valeur la plus élevée parmi au moins trois manœuvres acceptables.

## Ventilation maximale minute

Cette mesure a été largement supplantée par celle du VEMS, dont l'objectif initial était de fournir une mesure dérivée d'une manœuvre expiratoire forcée unique qui soit aussi corrélée que possible avec la ventilation maximale minute (VMM). Si la valeur du VEMS est connue, la VMM apporte peu d'informations supplémentaires en pratique clinique. Cependant, la mesure de la VMM peut être utile dans certaines circonstances, lorsque la limitation ventilatoire dépend de mécanismes différents de ceux qui altèrent le VEMS [26].

## Définition

La VMM correspond au volume d'air maximum pouvant être mobilisé par un individu sur une période déterminée (12 secondes chez les patients normaux). Elle est exprimée en  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$  dans les conditions BTPS.

## Matériel

Le spiromètre utilisé pour mesurer la VMM doit avoir une réponse en amplitude-fréquence linéaire ( $\pm 10\%$ ) de 0 à  $\geq 4 \text{ Hz}$ , à des débits allant jusqu'à  $12 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , pour toute la gamme de volumes. Le temps d'intégration ou d'enregistrement du volume expiré ne doit pas être inférieur à 12 s ni supérieur à 15 s [52]. Le temps indiqué doit être exact à  $\pm 3\%$  près. La VMM doit être mesurée avec une exactitude de lecture de  $\pm 10\%$ , ou  $\pm 15 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  si cette valeur est plus élevée.

L'évaluation du matériel est décrite à la section « Signaux pour tester la VMM ».

**Tableau VI.**

Recommandations concernant la gamme et l'exactitude spécifiées pour les manœuvres d'expiration forcée.

Test	Gamme/exactitude (BTPS)	Gamme de débit (L.s <sup>-1</sup> )	Temps (s)	Résistance et contre-pression	Signal du test
CV	0,5-8 L, ± 3 % de la valeur lue ou ± 0,050 L si cette valeur est plus élevée	0-14	30		Seringue d'étalonnage de 3 L
CVF	0,5-8 L, ± 3 % de la valeur lue ou ± 0,050 L si cette valeur est plus élevée	0-14	15	< 1,5 cmH <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> (0,15 kPa.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	24 formes d'onde ATS, Seringue d'étalonnage de 3 L
VEMS	0,5-8 L, ± 3 % de la valeur lue, ou ± 0,050 L si cette valeur est plus élevée	0-14	1	< 1,5 cmH <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> (0,15 kPa.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	24 formes d'onde ATS
Temps zéro	Moment à partir duquel sont effectuées toutes les mesures de VEM <sub>t</sub>			Rétro-extrapolation	
DEP	Exactitude de lecture à ± 10 %, ou ± 0,30 L.s <sup>-1</sup> ou 20 L.min <sup>-1</sup> si celle-ci est plus élevée ; répétabilité : ± 5 % de la valeur lue ou ± 0,15 L.s <sup>-1</sup> ou 10 L.min <sup>-1</sup> si celle-ci est plus élevée	0-14		Résistance moyenne à 200, 400, 600 L.min <sup>-1</sup> (3,3, 6,7, 10 L.s <sup>-1</sup> ) doit être < 2,5 cmH <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> (0,25 kPa.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	26 formes d'onde de débit ATS
Débits instantanés (sauf DEP)	Exactitude de la valeur lue à ± 5 % ou ± 0,200 L.s <sup>-1</sup> si celle-ci est plus élevée	0-14		< 1,5 cmH <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> (0,15 kPa.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	Données fournies par les fabricants
DEM <sub>25-75</sub>	7,0 L.s <sup>-1</sup> ± 5 % de la valeur lue ou ± 0,200 L.s <sup>-1</sup> si celle-ci est plus élevée	± 14	15	Idem VEMS	24 formes d'onde ATS
VMM	250 L.min <sup>-1</sup> au V <sub>T</sub> de 2 L dans une fourchette de lecture de ± 10 % ou ± 15 L.min <sup>-1</sup> si cette valeur est plus élevée	± 14(± 3 %)	12-15	< 1,5 cmH <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> (0,15 kPa.L <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	Pompe sinusoïdale

BTPS : température corporelle et pression ambiante saturée en vapeur d'eau ; CV : capacité vitale ; CVF : capacité vitale forcée ; ATS : American Thoracic Society ; VEMS : volume expiratoire maximum à la première seconde ; VEM<sub>t</sub> : volume expiratoire maximum en t secondes ; DEP : débit expiratoire de pointe ; DEM<sub>25-75</sub> : débit expiratoire maximal 25 à 75 % de la CV ; VMM : ventilation maximum minute ; V<sub>T</sub> : volume courant.

### Procédure de mesure de la VMM

Le technicien doit donner des instructions adéquates et faire une démonstration de la manœuvre avant de commencer le test. Le patient doit être testé en position assise et porter un pince-nez. Après s'être assuré que le patient referme bien les lèvres sur l'embout buccal, il faut lui demander de prendre au moins trois respirations normales au repos, et ensuite de respirer le plus rapidement et le plus profondément possible. La langue et les dents doivent être placées de manière à ne pas gêner le passage de l'air. Le technicien doit encourager vigoureusement le patient pendant toute la manœuvre. Il doit parfois lui demander de respirer plus vite ou moins vite pour atteindre une fréquence idéale de 90-110 respirations.min<sup>-1</sup> [53, 54], mais il arrive que certains patients ne puissent atteindre cette fréquence. Le technicien doit observer soigneusement le patient, tout en vérifiant de temps en temps le tracé, pour s'assurer que la manœuvre est acceptable. Pour être acceptable, la manœuvre doit être effectuée avec un effort maximal, sans fuite apparente, sans hésitation ni artefact de mesure. Le volume courant (V<sub>T</sub>) pendant la manœuvre doit être supérieur au V<sub>T</sub> au repos du patient.

La durée du test (par ex. 12 s) doit être spécifiée. Une période de repos entre les manœuvres améliorera les efforts ultérieurs.

La VMM doit être calculée à partir de la somme de toutes les expirations individuelles, multipliée par le coefficient de correction approprié pour les conditions BTPS pendant les 12 meilleures secondes de la manœuvre. D'un point de vue technique, les modifications de la fréquence respiratoire ou du V<sub>T</sub> pendant la manœuvre influenceront les résultats du test.

### Critères intra-manœuvre

Chez les patients normaux, pour qu'une manœuvre de VMM soit acceptable, le V<sub>T</sub> doit être égal à ≈ 50 % de la CV, avec une fréquence respiratoire de ≈ 90 respirations.min<sup>-1</sup> [54]. Il est peu probable que la manœuvre soit acceptable si la fréquence respiratoire est < 65 respirations.min<sup>-1</sup> [54]. Néanmoins, étant donné qu'il existe peu de données sur les critères d'acceptabilité de la VMM, aucune valeur de fréquence ni de volume respiratoire ne peut raisonnablement être retenue comme critère de qualité. Il est plus important de veiller à ce que le patient fournisse un effort maximal avec une fréquence cible de 90 respirations.min<sup>-1</sup> et un volume égal à ≈ 50 % de la CV. Le V<sub>T</sub> pendant la manœuvre n'est probablement pas aussi important que la fréquence respiratoire, car les patients ont tendance à respirer sur la partie de la courbe expiratoire où l'air est mobilisé le plus facilement à une fréquence donnée.



## Critères inter-manœuvres

Le patient doit effectuer au minimum deux manœuvres acceptables. Aucune étude clinique n'a été effectuée sur la répétabilité de la mesure de la VMM, néanmoins, il semble raisonnable de recommander de répéter la manœuvre dans les cas où la variabilité entre les deux manœuvres réputées acceptables dépasse 20 %.

## Sélection des résultats du test

Les valeurs retenues pour la VMM ( $L \cdot \text{min}^{-1}$  en conditions BTPS) et la fréquence de VMM ( $\text{respirations} \cdot \text{min}^{-1}$ ) sont les valeurs acceptables les plus élevées. Un rapport  $VMM / (40 \times VEMS) < 0,80$  indique que la VMM est faible comparé au VEMS, et suggère la présence d'une pathologie ou d'un effort suboptimal. Les tracés du volume par rapport au temps issus d'au moins deux manœuvres acceptables doivent être conservés.

## Considérations techniques

### Recommandations minimales pour les systèmes de spirométrie

Pour obtenir des résultats exacts, il faut utiliser du matériel exact. Les recommandations concernant les appareils de spirométrie s'appliquent à tous les spiromètres et constituent des exigences minimales. Dans certains cas, il est parfois nécessaire de dépasser ces exigences (utilisation dans le cadre de la recherche/surveillance). Les recommandations concernant les appareils doivent être respectées afin de produire des données et des informations spirométriques exactes et comparables d'un laboratoire à l'autre ainsi que d'une période à l'autre [1]. L'exactitude d'un système spirométrique dépend des caractéristiques du système tout entier, allant du capteur de volume ou de débit et de l'utilisation d'un filtre en ligne, à l'enregistreur, l'écran ou le processeur. Toute modification de l'une ou l'autre caractéristique du matériel ou erreur dans n'importe quelle étape du processus peut influencer l'exactitude des résultats. Par exemple, si le facteur de correction BTPS est erroné, la valeur de la CVF enregistrée, même si elle a été mesurée exactement, sera erronée.

Il n'est pas nécessaire que les spiromètres et les appareils de mesure du DEP puissent mesurer tous les indices donnés dans le *tableau VI*, mais ils doivent être conformes aux recommandations pour les indices mesurés. Les recommandations d'exactitude et de répétabilité s'appliquent à toute la gamme de volume de l'appareil.

### Correction pour les conditions BTPS

Toutes les valeurs spirométriques doivent être données en condition BTPS. Pour la conversion dans ces unités, n'importe quelle méthode de mesure de la température et de la pression barométrique peut être utilisée, à condition qu'elle ait fait l'objet d'une validation que le fournisseur doit s'enga-

ger à garantir. Pour les spiromètres volumétriques, la température à l'intérieur du spiromètre doit être mesurée lors de chaque manœuvre respiratoire. Quelle que soit la technique utilisée pour corriger le résultat en conditions BTPS, la température ambiante doit toujours être enregistrée avec une exactitude de  $\pm 1$  °C. Dans les situations où la température de l'air ambiant change rapidement ( $> 3$  °C en  $< 30$  min), il peut s'avérer nécessaire de corriger la température en continu. Les utilisateurs de spiromètres doivent savoir que les tests effectués à des températures ambiantes plus faibles peuvent être une source de problèmes : 17 °C est la limite inférieure [55-63] pour la température ambiante, sauf si le fabricant atteste que le spiromètre fonctionne avec exactitude à des températures ambiantes plus basses. Si la pression barométrique n'est pas utilisée pour calculer le facteur de correction en conditions BTPS, la gamme de pressions barométriques pour lesquelles le facteur de correction BTPS est valable doit être spécifiée par le fabricant.

### Commentaires

Cette recommandation repose en partie sur les problèmes liés aux temps de refroidissement finaux des gaz dans les spiromètres volumétriques [55-57], et les problèmes d'estimation des facteurs de correction BTPS pour les débitmètres [58-60]. Lorsqu'un patient effectue une manœuvre de CVF, l'air sortant des poumons est à  $\approx 33-35$  °C [61, 62] et saturé en vapeur d'eau. En supposant que les gaz expirés sont aux conditions BTPS, l'erreur sera de  $\approx 1$  %. La plupart des spiromètres à volume supposent que l'air qui entre dans le spiromètre est instantanément refroidi. Ceci n'est pas toujours le cas, et peut fausser la valeur du  $VEM_t$  retenu. Pour les pneumotachomètres capillaires et à écran, le signal est influencé par la viscosité des gaz, qui augmente au fur et à mesure que la température augmente. Par conséquent, pour les pneumotachomètres, il faut utiliser un facteur de correction différent pour l'enregistrement des données du patient et pour celles de la seringue d'étalonnage. Par ailleurs, les facteurs de correction sont différents pour les manœuvres inspiratoires et expiratoires. On suppose généralement que les gaz expirés ne se refroidissent pas lorsqu'ils passent dans le détecteur de débit. Or, ce n'est pas toujours le cas, particulièrement avec les détecteurs de débit non chauffés [58, 59]. Plus le détecteur de débit est situé loin de la bouche, plus l'erreur s'accroît, car alors le refroidissement est plus marqué (par ex. lorsqu'un filtre est placé devant le détecteur de débit). La condensation d'eau à l'intérieur ou à la surface du détecteur de débit peut aussi modifier son étalonnage.

Le facteur de correction BTPS peut atteindre 10 % en fonction de la température ambiante. La méthode utilisée pour calculer ou estimer le facteur de correction BTPS peut potentiellement introduire des erreurs significatives ; des exemples et de plus amples explications sont données ailleurs [3, 4].

Les modifications de température dans le spiromètre peuvent être une source de variabilité. La température du

spiromètre doit être mesurée et non considérée comme restant constante, même au cours d'une séance de test. Pour les spiromètres volumétriques, des erreurs de jusqu'à 6 % du VEMS et de la CVF peuvent survenir si la température ambiante est utilisée au lieu de la température interne du spiromètre [64]. Pour les spiromètres volumétriques, la température à l'intérieur du spiromètre doit être mesurée à chaque manœuvre respiratoire.

### Signaux pour tester les spiromètres

Le meilleur moyen actuel pour simuler la diversité des manœuvres de CV rencontrée dans la pratique clinique est d'utiliser les 24 formes d'onde volume-temps standards développées par l'ATS [3] et par Hankinson et Gardner [65]. Ces formes d'onde peuvent être utilisées pour actionner une seringue mécanique contrôlée par ordinateur, ou un équivalent, destiné à tester le matériel et les logiciels [66, 67], ou uniquement pour tester les logiciels si elles sont numérisées. Les seringues mécaniques contrôlées par ordinateur (c'est-à-dire les systèmes de pompe) utilisées pour la validation doivent être exactes à  $\pm 50$  ml près, ce qui correspond à 0,5 % de leur gamme complète jusqu'à 10 l pour la CVF et le VEMS. Les systèmes de pompe peuvent avoir des valeurs d'exactitude supérieures à ces chiffres pour de nombreux profils, mais ils reproduisent avec une moins bonne exactitude les profils caractérisés par des temps courts de montée et de maintien à  $> 90$  % du débit de pointe [68, 69]. Les recommandations sur la spirométrie de l'ATS [3] donnent les valeurs mesurées pour chacune des 24 formes d'onde standards. L'ATS peut fournir sur demande ces formes d'onde sous format électronique. Des corrections appropriées doivent parfois être effectuées avec certaines associations de seringue mécanique + spiromètre lorsque les gaz utilisés sont à température et humidité ambiantes au lieu des conditions BTPS.

### Méthode

Pour le test, le spiromètre doit être relié au système de pompe disposé comme s'il allait être utilisé pour tester des patients humains. Les tubes de connexion doivent être réduits au minimum ( $< 0,300$  l) et ne doivent pas être dilatables. Si un filtre en ligne est requis pour tester les patients, il faut aussi en utiliser un pour tester l'appareil. Chacune des 24 formes d'onde ATS est délivrée dans le spiromètre à cinq reprises dans des conditions ambiantes, et toutes les lectures doivent être enregistrées.

Les conditions BTPS sont simulées en délivrant au spiromètre les formes d'onde 1-4 à trois reprises, en utilisant de l'air chauffé à  $37 \pm 1$  °C et avec une humidité relative  $> 98$  %. L'intervalle entre chacun des trois tests doit être  $< 2$  min.

### Test d'exactitude

La moyenne des cinq tests effectués dans des conditions ambiantes est comparée avec la valeur standard à l'aide des formules suivantes :

$$\text{Ecart} = \text{moyenne} - \text{valeur standard} \quad (1)$$

$$\text{Pourcentage d'écart} = 100 \times \frac{(\text{moyenne} - \text{valeur standard})}{\text{valeur standard}} \quad (2)$$

Les limites de la validation de l'exactitude pour les volumes, intégrant l'inexactitude du générateur de la forme d'onde, sont égales à  $\pm 3,5$  % de la valeur lue, ou  $\pm 0,100$  l si celle-ci est plus élevée. Une erreur d'exactitude apparaît si l'écart (pour les volumes  $< 2,857$  l) ou l'écart en pourcentage (pour les volumes  $> 2,857$  l) dépasse ces limites. Ces limites intègrent l'inexactitude autorisée pour le système de pompe.

Une performance acceptable du spiromètre est définie par la présence de moins de trois erreurs d'exactitude pour la CVF ou le VEMS pour toutes les 24 formes d'onde (taux d'erreur  $< 5$  %).

Les valeurs moyennes de la CVF et du VEMS pour les trois tests simulant les conditions BTPS sont comparées avec les valeurs standards. Les limites de validation pour ces tests en conditions BTPS sont égales à  $\pm 4,5$  %, ou 0,200 l si cette dernière valeur est plus élevée, et ces limites intègrent l'inexactitude autorisée pour le système de pompe.

Une performance acceptable du spiromètre en conditions BTPS est définie par le respect des exigences d'exactitude pour tous les quatre profils utilisés.

### Test de répétabilité

Les données de VEMS et de CVF produites par le test d'exactitude sont utilisées pour dériver l'intervalle de mesure des cinq enregistrements :

$$\text{Intervalle de mesure} = \text{maximum} - \text{minimum} \quad (3)$$

$$\text{Intervalle de mesure en pourcentage} = 100 \times \frac{\text{intervalle de mesure}}{\text{moyenne}} \quad (4)$$

Les limites de validation de la répétabilité pour le volume mesuré dans des conditions ambiantes sont égales à  $\pm 3,5$  % ou  $\pm 0,100$  l si cette valeur est plus élevée, et pour les conditions BTPS, à  $\pm 4,5$  % ou  $\pm 0,200$  l si cette valeur est plus élevée. Une erreur de répétabilité apparaît si l'intervalle de mesure (pour les volumes  $< 2,857$  l à température ambiante ou 4,444 l aux conditions BTPS) ou l'intervalle de mesure en pourcentage (pour les volumes plus élevés) dépasse ces limites.

Une performance de répétabilité acceptable du spiromètre en conditions ambiantes est définie par la présence de moins de trois erreurs d'exactitude pour la CVF ou le VEMS pour tous les 24 profils (taux d'erreur  $< 5$  %). Pour les conditions BTPS, une performance de répétabilité acceptable du spiromètre est définie par le respect des exigences d'exactitude pour tous les quatre profils utilisés.

### Signaux pour tester les débitmètres de pointe

Les 26 formes d'onde débit-temps de l'ATS ont été choisies pour représenter une gamme de profils de DEP pouvant être administrés par une seringue mécanique ou des systèmes de pompe afin de tester les débitmètres de pointe [3]. La gamme de profils et la méthode de délivrance seront éventuellement l'objet de révisions avec le résultat de recherches en cours sur la mesure du DEP [45]. La seringue mécanique ou

le système de pompe utilisé pour valider le matériel de mesure du DEP doit délivrer le DEP avec une exactitude de  $\pm 2\%$ . La conformité à cette norme d'exactitude n'est pas toujours atteinte pour les profils plus exigeants que ceux de la série de 26 [68, 69] par les systèmes de pompe. Des données récentes suggèrent que la composante de fréquence pendant la première seconde de la manœuvre expiratoire contribuant au DEP est plus élevée [47] que l'on ne pensait auparavant [70, 71]. Les 26 formes d'onde peuvent ne pas couvrir la gamme de temps de montée et temps de maintien observée chez  $\approx 25\%$  de la population cible [72] et, par conséquent, il faudra peut être à l'avenir inclure des profils de test plus exigeants [45].

### Méthode

Deux modèles de débitmètres commercialisés choisis au hasard doivent recevoir chacun les 26 formes d'onde à cinq reprises dans des conditions ambiantes et les valeurs doivent être notées. Toute forme d'onde dont le DEP se situe en dehors de la plage de fonctionnement annoncée pour l'appareil ne pourra pas être incluse dans la séquence de test. Des facteurs de correction appropriés pour effectuer les tests dans des conditions ambiantes doivent être appliqués conformément aux recommandations du fabricant.

### Test d'exactitude

Les valeurs moyennes relevées pour chacun des deux débitmètres sont comparées à la norme, comme pour les volumes.

Les limites de validation de l'exactitude sont égales à  $\pm 12\%$ , ou  $\pm 25\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  si cette valeur est plus élevée, et ces limites intègrent la limite d'inexactitude de  $2\%$  pour le générateur de la forme d'onde. Une erreur d'exactitude pour un débitmètre donné et une forme d'onde donnée apparaît si l'écart et l'écart en pourcentage dépassent ces limites.

Une performance acceptable est définie par la présence de moins de trois erreurs d'exactitude sur un total de 52 tests (26 formes d'onde, deux débitmètres).

### Test de répétabilité

Les formes d'onde du débit 1, 4, 8 et 25 sont délivrées à trois reprises à chacun des 10 débitmètres commercialisés. Les limites de validation de la répétabilité sont égales à  $\pm 6\%$  ou  $\pm 15\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  si cette valeur est plus élevée, et ces limites intègrent une variabilité de  $1\%$  pour le générateur des formes d'onde. Une erreur de répétabilité apparaît si l'intervalle de mesure et l'intervalle de mesure en pourcentage dépassent ces limites.

Une performance acceptable est définie par la présence d'au maximum six erreurs sur un total de 120 tests (soit un taux d'erreur maximum de  $5\%$ ).

### Signaux pour tester la VMM

Un système spirométrique utilisé pour mesurer la VMM doit être testé dans des conditions ambiantes avec une pompe produisant une forme d'onde sinusoïdale, avec des volumes

délivrés allant jusqu'à 2 l en utilisant les quatre schémas spécifiés précédemment [3]. Il n'est pas nécessaire d'effectuer des tests aux conditions BTPS, et chaque schéma doit être testé deux fois. Les limites de validation de l'exactitude du spiromètre utilisé pour mesurer la VMM avec des débits jusqu'à  $250\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  sont égales à  $\pm 10,5\%$  de la valeur lue, ou  $20\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  si cette valeur est plus élevée. La pression au niveau de l'embout buccal ne doit pas dépasser  $\pm 10\text{ cmH}_2\text{O}$  ( $1\text{ kPa}$ ) à tout moment pendant le test de la VMM. Ces exigences s'appliquent aux spiromètres volumétriques sur toute leur gamme de volumes.

Une performance acceptable est définie par l'absence d'erreur sur les huit tests (quatre schémas, deux fois).

## Abréviations

Le *tableau VII* contient une liste d'abréviations utilisées dans cette série de rapports du Groupe de travail avec mention de leur signification.

**Tableau VII.**

Liste d'abréviations et leur signification.

°C	Degré centigrade
µg	microgramme
ATPD	Température ambiante, pression ambiante, air sec
ATPS	Température ambiante et pression saturée en vapeur d'eau
BTPS	Température corporelle (soit 37 °C), pression ambiante saturée en vapeur d'eau
CDVM	Courbe débit-volume maximale
CFC	Chlorofluorocarbone
CI	Capacité inspiratoire
cm	Centimètre
CPT	Capacité pulmonaire totale
CRF	Capacité résiduelle fonctionnelle
CV	Capacité vitale
CVE	Capacité vitale expiratoire
CVF	Capacité vitale forcée
CVI	Capacité vitale inspiratoire
CVIF	Capacité vitale inspiratoire forcée
DEM <sub>25-75</sub>	Débit expiratoire maximal moyen
DEM <sub>X%</sub>	Débit expiratoire maximal à X% de la CV
DEMM	Débit expiratoire maximal médian
DEM <sub>X%CV</sub>	Débit expiratoire instantané lorsque X% de la CV ont été expirés
DEP	Débit expiratoire de pointe
DIM	Débit inspiratoire maximal
DIM <sub>X%</sub>	Débit inspiratoire maximal à X% de la CV
DL <sub>CO</sub>	Capacité de diffusion du monoxyde de carbone, ou facteur de transfert
DL <sub>CO</sub> /V <sub>A</sub>	Coefficient de transfert du monoxyde de carbone, aussi appelé K <sub>CO</sub>
DM	Conductance membranaire

DT	Temps de maintien d'un débit >90 % du DEP
F <sub>A,X</sub>	Fraction du gaz X dans le gaz alvéolaire
F <sub>A,X,t</sub>	Fraction alvéolaire du gaz X au temps t
F <sub>E,X</sub>	Fraction du gaz X dans le gaz expiré
F <sub>I,X</sub>	Fraction du gaz X dans le gaz inspiré
H <sub>2</sub> O	Eau
Hb	Hémoglobine
Hb <sub>CO</sub>	Carboxyhémoglobine
Hg	Mercure
Hz	Hertz ; cycles par seconde
K <sub>CO</sub>	Coefficient de transfert du monoxyde de carbone (soit DL <sub>CO</sub> /VA)
kg	Kilogramme
kPa	Kilopascal
L	Litre
L.min <sup>-1</sup>	Litres par minute
L.s <sup>-1</sup>	Litres par seconde
lb	Livre
LDE	Limitation du débit expiratoire
mg	Milligramme
mL	Millilitre
mm	Millimètre
ms	Milliseconde
PaO <sub>2</sub>	Pression partielle artérielle d'oxygène
P <sub>B</sub>	Pression barométrique
PH <sub>2</sub> O	Pression partielle de vapeur d'eau
P <sub>I,O<sub>2</sub></sub>	Pression partielle d'oxygène dans le gaz inspiré
RT	Temps d'augmentation du débit de 10 % à 90 % du DEP
s	Seconde
STPD	Température standard (0 °C), pression standard (101,3 kPa, 760 mmHg) air sec
T <sub>I</sub>	Durée de l'inspiration
Tr	Gaz traceur
T <sub>T</sub>	Temps total du cycle ventilatoire
VA	Volume alvéolaire
VA,eff	Volume alvéolaire utile
V <sub>c</sub>	Volume capillaire pulmonaire
Vé <sub>ch</sub>	Volume de l'échantillon de gaz expiré
V <sub>D</sub>	Volume de l'espace mort
VEMS	Volume expiré maximal pendant la première seconde
VEM <sub>t</sub>	Volume expiré maximum en t secondes
VGT	Volume gazeux thoracique
V <sub>I</sub>	Volume inspiré
VMM	Ventilation maximale minute
VR	Volume résiduel
VRE	Volume de réserve expiratoire
VRI	Volume de réserve inspiratoire
V <sub>T</sub>	Volume courant
θ (theta)	Capture spécifique du CO par le sang

## Annexe

### Proposition pour un format standard de données pour la spirométrie

L'implémentation du format ici proposé n'interdit pas l'utilisation d'un autre format, mais il est souhaitable alors que les deux types de données puissent être disponibles. Le format standard offre l'avantage de pouvoir placer les données dans des référentiels, comme des bases de données de contrôle qualité, de soins de santé et de recherche. Il devrait permettre de simplifier et de réduire le coût des transferts de données lorsque l'utilisateur change de modèle d'appareil ou de fabricant. Un transfert facilité des données vers des bases de données gérées par des organismes de santé pourrait améliorer l'utilité des explorations fonctionnelles pulmonaires en offrant aux cliniciens et aux chercheurs un accès à des informations plus complètes. Dans le cadre de la recherche et de la pratique clinique, un format standard devrait simplifier et réduire le coût des transferts de données vers les logiciels de contrôle qualité, et pourrait contribuer à améliorer la qualité globale des tests. Les explorations fonctionnelles respiratoires représentent l'un des derniers domaines de la médecine à ne pas avoir adopté un format standard de présentation des données.

### Format proposé

Les données de spirométrie seront regroupées dans un fichier ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) délimité par des virgules, avec des enregistrements de taille variable. Les fichiers textes délimités par des virgules sont faciles à créer et sont des formats d'importation standard pour de nombreuses bases de données. Certaines données seront redondantes, mais chaque enregistrement représentera une courbe et sera terminé par un retour chariot et un changement de ligne. L'ATS donnera des exemples de ce format de données sur son site internet.

Le *tableau VIII* présente une liste de paramètres qui doivent figurer sur chaque enregistrement. Si un paramètre n'est pas disponible, l'espace doit rester blanc (" , "). Les points de données débit-temps doivent être fournis avec un intervalle d'échantillonnage de 0,01 s (100 points.s<sup>-1</sup>) en mL.s<sup>-1</sup>. Si nécessaire, cet intervalle de 0,01 s doit être calculé par interpolation ou par une autre technique. La taille de l'enregistrement variera, en fonction du nombre de points de données présents dans les parties débit-temps de l'enregistrement. Les données des courbes doivent inclure ≥ 0,25 s de points de données avant le début de la manœuvre inspiratoire ou expiratoire.

Les courbes volume-temps doivent être calculées en additionnant les valeurs débit-temps (mL.s<sup>-1</sup>) et en multipliant la somme par 0,01 s. Pour obtenir la précision la plus élevée, la somme des valeurs du débit doivent être calculées pour chaque point de donnée sur le volume avant la multiplication par 0,01 s.

**Tableau VIII.**

Liste des paramètres.\*

---

ID (identification du patient)
Nom du patient
Type de données (SP suivi de E = expiratoire ou I = Inspiratoire, suivi de S ("single") = unique ou B ("best") = meilleure courbe)
Pression barométrique (mmHg)
Température (°C) utilisée dans les calculs en BTPS
Humidité relative (%)
Attribut de qualité de la CVF (A, B, C, D ou F)
Attribut de qualité de VEMS (A, B, C, D ou F)
Attribut de l'effort (A, B, C, D ou F)
Code d'interprétation (voir modèle d'interprétation de l'ATS)
Manœuvre supprimée (O ou N)
Manœuvre acceptable (O ou N)
Code du technicien de contrôle qualité (A, B, C, D ou F)
Code qualité informatique (A, B, C, D ou F)
Plateau obtenu (O ou N)
Révision (N « nécessaire » ou R « revu »)
Date de la révision (JJ/MM/AAAA)
Initiales du réviseur
Facteur BTPS (x.xxx)
Fabricant du spiromètre
Modèle du spiromètre
Numéro de série du spiromètre
Type du spiromètre
Nom de l'établissement réalisant le test
Ville
Code postal
Pays
Email
Numéro de téléphone
Date de l'étalonnage (JJ/MM/AAAA)
Heure de l'étalonnage (HH:MM)
Résultat de l'étalonnage : P ("passed") = réussi ou F ("failed") = échoué
Date (JJ/MM/AAAA)
Heure (HH:MM)
Identification du technicien (code ou initiales)
Numéro de la manœuvre
Age du patient (années)
Taille (cm)
Poids (kg)
Sexe (M ou F)
Groupe ethnique (code à deux caractères)
Date de naissance (JJ/MM/AAAA)
Source des valeurs de référence (Nom de l'auteur en premier suivi de la date de publication, par ex. "Knudson 1983")
Facteur de correction des valeurs de référence (x.xx, 1,00 si pas de correction)
Position pendant le test (debout, assis ou couché)
Type de test (pré-, post-bronchodilatateur, concentration ou dose de méthacholine)
CVF (mL)
Volume extrapolé (mL)
VEMS (mL)
VEMS <sub>6</sub> (mL)
DEP (mL.s <sup>-1</sup> )
DEM <sub>25-75</sub> (mL.s <sup>-1</sup> )
CV (mL)
Temps d'expiration forcée (s)
Délai pour atteindre le DEP (ms)
CVF (mL) théorique
VEMS théorique (mL)
VEMS <sub>6</sub> théorique (mL)
VEMS/CVF % théorique (xxx.x %)
VEMS/VEMS <sub>6</sub> % théorique (xxx.x %)
Texte de commentaires
Durée du recueil des données (ms)
Blanc 1 ou DEF <sub>25</sub> %
Blanc 2 ou DEF <sub>50</sub> %
Blanc 3 ou DEF <sub>75</sub> %

---



---

Blanc 4 ou DEF <sub>90</sub> %
Blanc 5
Blanc 6
Blanc 7
Blanc 8
Blanc 9
Blanc 10
Nombre de points de données
Points de données du débit (mL.s <sup>-1</sup> ; nombre variable contenu dans le nombre de points de données)
Retour chariot
Début de ligne

---

\*Toutes les variables de type texte doivent être entourées de guillemets (") afin d'éviter toute confusion avec des caractéristiques de contrôle ou séparateur de données.

## Remerciements

M.R. Miller : University Hospital Birmingham NHS Trust, Birmingham, UK ; J. Hankinson : Hankinson Consulting, Inc., Valdosta, GA, USA ; V. Brusasco : Università degli Studi di Genova, Gênes, Italie ; F. Burgos : Hospital Clinic Villarroya, Barcelone, Espagne ; R. Casaburi : Harbor UCLA Medical Center, Torrance, CA, USA ; A. Coates : Hospital for Sick Children, Toronto, ON, Canada ; R. Crapo et R. Jensen : LDS Hospital, Salt Lake City, UT, USA ; P. Enright : 4460 E Ina Rd, Tucson, AZ, USA ; C.P.M. van der Grinten : University Hospital of Maastricht, Maastricht, Les Pays-Bas ; P. Gustafsson : Queen Silvia's Children's Hospital, Göteborg, Suède ; D.C. Johnson : Massachusetts General Hospital et Harvard Medical School, Boston, MA, USA ; N. MacIntyre : Duke University Medical Center, Durham, NC, USA ; R. McKay : Occupational Medicine, Cincinnati, OH, USA ; D. Navajas : Universitat de Barcelona - IDI-BAPS, Barcelone, Espagne ; O.F. Pedersen : University of Aarhus, Aarhus, Danemark ; R. Pellegrino : Azienda Ospedaliera S. Croce e Carle, Cuneo, Italie ; G. Viegi : CNR Institute of Clinical Physiology, Pise, Italie ; J. Wagner : Pharmaceutical Research Associates, Inc., Lenexa, KS, USA.

## Références

- 1 Renzetti AD Jr : Standardization of spirometry. *Am Rev Respir Dis* 1979 ; 119 : 831-8.
- 2 American Thoracic Society : Standardization of spirometry: 1987 update. *Am Rev Respir Dis* 1987 ; 136 : 1285-98.
- 3 American Thoracic Society : Standardization of spirometry, 1994 update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995 ; 152 : 1107-1136.
- 4 Quanjer PH, ed : Standardized lung function testing. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests. European Community for Coal and Steel. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1983 ; 19 : Suppl. 5, 1-95.
- 5 Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault J-C : Lung volume and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : Suppl. 16, 5-40.

- 6 Morgan KC : The assessment of ventilatory capacity (committee recommendations). *Chest* 1975 ; 67 : 95-7.
- 7 Gardner RM, Crapo RO, Billings RG, Shigeoka JW, Hankinson JL : Spirometry: what paper speed? *Chest* 1983 ; 84 : 161-5.
- 8 Gardner RM, Clausen JL, Crapo RO, Epler GR, Hankinson JL, Johnson JL Jr, Plummer AL : Quality assurance in pulmonary function laboratories. *Am Rev Respir Dis* 1986 ; 134 : 626-7.
- 9 Morris AH, Kanner RE, Crapo RO, Gardner RM : Clinical pulmonary function testing: a manual of uniform laboratory procedures. 2nd Edn. Salt Lake City, UT, Intermountain Thoracic Society, 1984.
- 10 Townsend MC : The effects of leaks in spirometers on measurement of pulmonary function. *J Occup Med* 1984 ; 26 : 835-41.
- 11 Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Standard for spirometers (draft), October 1980. AAMI Suite 602, 1901 N. Ft. Myer Drive, Arlington, VA 22209-1699.
- 12 D'Angelo E, Prandi E, Milic-Emili J : Dependence of maximal flow-volume curves on time course of preceding inspiration. *J Appl Physiol* 1993 ; 75 : 1155-9.
- 13 Stoller JK, Basheda S, Laskowski D, Goormastic M, McCarthy K : Trial of standard versus modified expiration to achieve end-of-test spirometry criteria. *Am Rev Respir Dis* 1993 ; 148 : 275-80.
- 14 Bucca CB, Carossa S, Colagrande P, Brussino L, Chiavassa G, Pera P, Rolla G, Preti G : Effect of edentulism on spirometric tests. *Am J Respir Crit Care Med* 2001 ; 163 : 1018-20.
- 15 Eigen H, Bieler H, Grant D, Christoph K, Terrill D, Heilman DK, Ambrosius WT, Tepper RS : Spirometric pulmonary function in healthy preschool children. *Am J Respir Crit Care Med* 2001 ; 163 : 619-23.
- 16 Smith A A, Gaensler EA : Timing of forced expiratory volume in one second. *Am Rev Respir Dis* 1975 ; 112 : 882-5.
- 17 Horvath EP Jr, ed : Manual of spirometry in occupational medicine. Division of Training and Manpower Development, National Institutes for Occupational Safety and Health. Cincinnati, NIOSH, 1981.
- 18 Hankinson JL, Gardner RM : Standard waveforms for spirometer testing. *Am Rev Respir Dis* 1982 ; 126 : 362-4.
- 19 Aurora P, Stocks J, Oliver C, Saunders C, Castle R, Chaziparaidis G, Bush A; London Cystic Fibrosis Collaboration : Quality control for spirometry in preschoolchildren with and without lung disease. *Am J Crit Care Med* 2004 ; 169 : 1152-9.
- 20 Desmond KJ, Allen PD, Demizio DL, Kovesi T, Coates AL : Redefining end of test (EOT) criteria for pulmonary function testing in children. *Am J Respir Crit Care Med* 1997 ; 156 : 542-5.
- 21 Hankinson JL, Bang KM : Acceptability and reproducibility criteria of the American Thoracic Society as observed in a sample of the general population. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 143 : 516-21.
- 22 Ferris BG Jr, Speizer FE, Bishop Y, Prang G, Weener J : Spirometry for an epidemiologic study: deriving optimum summary statistics for each subject. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1978 ; 14 : 146-66.
- 23 Kanner RE, Schenker MB, Munoz A, Speizer FE : Spirometry in children: methodology for obtaining optimal results for clinical and epidemiological studies. *Am Rev Respir Dis* 1983 ; 127 : 720-4.
- 24 Swanney MP, Jensen RL, Crichton DA, Beckert LE, Cardno LA, Crapo RO : FEV(6) is an acceptable surrogate for FVC in the spirometric diagnosis of airway obstruction and restriction. *Am J Respir Crit Care Med* 2000 ; 162 : 917-9.
- 25 Paoletti P, Pistelli G, Fazzi P, Viegi G, Di Pede F, Giuliano G, Prediletto R, Carrozzi L, Polato R, Saetta M : Reference values for vital capacity and flow-volume curves from a general population study. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1986 ; 22 : 451-9.
- 26 Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, Coates A, van der Grinten CP, Gustafsson P, Hankinson J, Jensen R, Johnson DC, MacIntyre N, McKay R, Miller MR, Navajas D, Pedersen OF, Wanger J : Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005 ; 26 : 948-68.
- 27 Coates AL, Allen PD, MacNeish CF, Ho SL, Lands LC : Effect of size and disease on expected deposition of drugs administered using jet nebulization in children with cystic fibrosis. *Chest* 2001 ; 119 : 1123-30.
- 28 Coates AL, Ho SL : Drug administration by jet nebulization. *Pediatr Pulmonol* 1998 ; 26 : 412-23.
- 29 Newman SP, Clark AR, Talaei N, Clark SW : Pressurized aerosol deposition in the human lung with and without an "open" spacer device. *Thorax* 1989 ; 44 : 706-10.
- 30 Tal A, Golan H, Grauer N, Aviram M, Albin D, Quastel MR : Deposition pattern of radiolabeled salbutamol inhaled from a meter-dose inhaler by means of a spacer with mask in young children with airway obstruction. *J Pediatr* 1996 ; 128 : 479-84.
- 31 Newhouse MT : Asthma therapy with aerosols: are nebulizers obsolete? A continuing controversy. *J Pediatr* 1999 ; 135 : 5-8.
- 32 Coates AL, MacNeish CF, Lands LC, Meisner D, Kelemen S, Vadas EB : A comparison of the availability ofofbramycin for inhalation from vented versus unventednebulizers. *Chest* 1998 ; 113 : 951-6.
- 33 Devadason SG, Everard ML, Linto JM, LeSouef PN : Comparison of drug delivery form conventional versus "Venturi" nebulizers. *Eur Respir J* 1997 ; 10 : 2479-83.
- 34 Leach CL, Davidson PJ, Hasselquist BE, Boudreau RJ : Lung deposition of hydrofluoroalkane-134a beclomethasone is greater than that of chlorofluorocarbon fluticasone and chlorofluorocarbon beclomethasone: a cross-over study in healthy volunteers. *Chest* 2002 ; 122 : 510-6.
- 35 Wildhaber JH, Devadason SG, Hayden MJ, Elber E, Summers QA, LeSouef PN : Aerosol delivery to wheezy infants: a comparison between a nebulizer and two small volume spacers. *Pediatr Pulmonol* 1997 ; 23 : 212-6.
- 36 Guidelines for the measurement of respiratory function. Recommendations of the British Thoracic Society and the Association of Respiratory Technicians and Physiologists. *Respir Med* 1994 ; 88 : 165-194.
- 37 Babb TG, Viggiano R, Hurley B, Staats B, Rodarte JR : Effect of mild-to-moderate airflow limitation on exercise capacity. *J Appl Physiol* 1991 ; 70 : 223-30.
- 38 O'Donnell DE, Lam M, Webb KA : Spirometric correlates of improvement in exercise performance after cholinergic therapy in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 ; 160 : 542-9.
- 39 Pellegrino R, Rodarte JR, Brusasco V : Assessing the reversibility of airway obstruction. *Chest* 1998 ; 114 : 1607-12.
- 40 Pellegrino R, Brusasco V : Lung hyperinflation and flow limitation in chronic airway obstruction. *Eur Respir J* 1997 ; 10 : 543-9.
- 41 Younes M, Kivinen G : Respiratory mechanics and breathing pattern during and following maximal exercise. *J Appl Physiol* 1984 ; 57 : 1773-82.
- 42 Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Crapo R, Enright P, van der Grinten CP, Gustafsson P, Hankinson J, Jensen R, Johnson D, Macintyre N, McKay R, Miller MR, Navajas D, Pellegrino R, Viegi G : Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J* 2005 ; 26 : 511-22.
- 43 Brusasco V, Pellegrino R, Rodarte JR : Vital capacities during acute and chronic bronchoconstriction: dependence on flow and volume histories. *Eur Respir J* 1997 ; 10 : 1316-20.
- 44 Hansen LM, Pedersen OF, Lyager S, Naerra N : [Differences in vital capacity due to the methods employed]. *Ugerkrk Laeger* 1983 ; 145 : 2752-6.

- 45 Miller MR, Atkins P, Pedersen OF : Inadequate peak expiratory flow meter characteristics detected by a computerised explosive decompression device. *Thorax* 2003 ; 58 : 411-6.
- 46 Quanjer PH, Lebowitz MD, Gregg I, Miller MR, Pedersen OF : Peak expiratory flow: conclusions and recommendations of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1997; 10: Suppl. 24, 2s-8s.
- 47 Miller MR, Lloyd J, Bright P : Recording flow in the first second of a maximal forced expiratory manoeuvre: influence of frequency content. *Eur Respir J* 2002 ; 19 : 530-3.
- 48 Pedersen OF, Rasmussen TR, Ommand Ø, Sigsgaard T, Quanjer PH, Miller MR : Peak expiratory flow and the resistance of the mini-Wright peak flow meter. *Eur Respir J* 1996 ; 9 : 828-33.
- 49 Pedersen OF, Pedersen TF, Miller MR : Gas compression in lungs decreases peak expiratory flow depending on resistance of peak flow meter. *J Appl Physiol* 1997 ; 83 : 1517-1521.
- 50 Kano S, Burton DL, Lanteri CJ, Sly PD : Determination of peak expiratory flow. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : 1347-52.
- 51 Ferris BG Jr, Speizer FE, Bishop Y, Prang G, Weener J : Spirometry for an epidemiologic study: deriving optimum summary statistics for each subject. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1978 ; 14 : 145-166.
- 52 Federal Register : 38:4265, Feb. 12, 1973, Section of pulmonary function specifications. Washington, DC, United States Government Printing Office.
- 53 Bernstein L : The effect of the rate of breathing on maximum breathing capacity determined with a new spirometer. *Thorax* 1952 ; 7 : 255-62.
- 54 Miller WF, Johnson RL Jr, Wu N : Relationships between maximal breathing capacity and timed expiratory capacities. *J Appl Physiol* 1959 ; 14 : 510-6.
- 55 Hankinson JL, Viola JO : Dynamic BTPS correction factors for spirometric data. *J Appl Physiol* 1983 ; 44 : 1354-60.
- 56 Hankinson JL, Castellan RM, Kinsley KB, Keimig DG : Effects of spirometer temperature on FEV1 shift changes. *Occup Med* 1986 ; 28 : 1222-5.
- 57 Pincock AC, Miller MR : The effect of temperature on recording spiograms. *Am Rev Respir Dis* 1983 ; 128 : 894-8.
- 58 Hankinson JL, Viola JO, Petsonk EL, Ebeling TR : BTPS correction for ceramic flow sensors. *Chest* 1994 ; 105 : 1481-6.
- 59 Miller MR, Pincock AC : Linearity and temperature control of the Fleisch pneumotachograph. *J Appl Physiol* 1986 ; 60 : 710-5.
- 60 Perks WH, Sopwith T, Brown D, Jones CH, Green M : Effects of temperature on Vitalograph spirometer readings. *Thorax* 1983 ; 38 : 592-4.
- 61 Cole P : Recordings of respiratory air temperature. *J Laryngol* 1954 ; 68 : 295-307.
- 62 Madan I, Bright P, Miller MR : Expired air temperature at the mouth during a maximal forced expiratory manoeuvre. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : 1556-62.
- 63 Liese W, Warwick WJ, Cumming G : Water vapour pressure in expired air. *Respiration* 1974 ; 31 : 252-61.
- 64 Johnson LR, Enright PL, Voelker HT, Tashkin DP : Volume spirometers need automated internal temperature sensors. *Am J Respir Crit Care Med* 1994 ; 150 : 1575-80.
- 65 Hankinson JL, Gardner RM : Standard waveforms for spirometer testing. *Am Rev Respir Dis* 1982 ; 126 : 362-4.
- 66 Nelson SB, Gardner RM, Crapo RO, Jensen RL : Performance evaluation of contemporary spirometers. *Chest* 1990 ; 97 : 288-97.
- 67 Gardner RM, Hankinson JL, West BJ : Evaluating commercially available spirometers. *Am Rev Respir Dis* 1986 ; 134 : 626-27.
- 68 Hankinson JL, Reynolds JS, Das MK, Viola JO : Method to produce American Thoracic Society flow-time waveforms using a mechanical pump. *Eur Respir J* 1997 ; 10 : 690-4.
- 69 Miller MR, Jones B, Xu Y, Pedersen OF, Quanjer PH : Peak expiratory flow profiles delivered by pump systems: limitations due to wave action. *Am J Respir Crit Care Med* 2000 ; 162 : 1887-96.
- 70 Peslin R, Jardin P, Bohadana A, Hannhart B : Contenu harmonique du signal de débit pendant l'expiration forcée chez l'homme normal. *Bull Eur Physiopath Respir* 1982 ; 18 : 491-500.
- 71 McCall CB, Hyatt RE, Noble FW, Fry DL : Harmonic content of certain respiratory flow phenomena of normal individuals. *J Appl Physiol* 1957 ; 10 : 215-8.
- 72 Miller MR, Pedersen OF, Quanjer PH : The rise and dwell time for peak expiratory flow in patients with and without airflow limitation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998 ; 158 : 23-7.