

## Exploration de la fonction respiratoire en santé au travail

C. Peyrethon  
D. Choudat

Service de pathologie  
professionnelle, hôpital Cochin  
Port-Royal, 27 rue du faubourg  
Saint-Jacques, 75014 Paris.

Correspondance :  
C. Peyrethon,  
à l'adresse ci-dessus

E.mail : [claire.peyrethon@univ-paris5.fr](mailto:claire.peyrethon@univ-paris5.fr)

### Summary

#### Pulmonary function tests in occupational health

Arch Mal Prof Env 2007; 68: 35-46

Pulmonary function tests explores pulmonary volumes and bronchial flows. They evaluate the respiratory function and define three different syndromes : obstructive, restrictive or mixed. The forced vital capacity (FVC), the forced expiratory volume in the first second (FEV<sub>1</sub>) and the ratio FEV<sub>1</sub>/FVC are the most useful spirometric values for the evaluation of the respiratory deficiency.

Among pulmonary function tests, the flow-volume curve examination is simple and reliable surveillance of. The subjects occupationally exposed to pulmonary risk can be established according to legislation, strongly advised or on the initiative of the occupational physician. Spirometry is indicated, at the individual level, in the early detection of lung function diseases in an exposed worker, in the assessment of clinical and radiological abnormalities, as a help to the decision of aptitude, most particularly in the asthmatic subject and in compensation of a prejudice. The spirometric tests, at the group level, can integrate in different epidemiological studies, they only have minimal productivity due to lack of sufficient sensitivity and specificity.

Pulmonary function explorations rely on standardized procedures and equipment for metrological availability. They require a good education of the technician, patients cooperation and a rigorous execution. The technician's function is capital as it guides the efforts of the patient. The reference values used in France correspond to standards validated by the American thoracic society and the European respiratory society, but are subject to discussion. Actually, there is

### Résumé

Les explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) permettent notamment la mesure des volumes pulmonaires et des débits bronchiques. Elles évaluent la fonction respiratoire et permettent de classer les déficits ventilatoires en trois grands syndromes : obstructif, restrictif ou mixte. La capacité vitale forcée (CVF), le volume expiré maximal en une seconde (VEMS), le rapport de Tiffeneau (VEMS/CVF) sont les index spirométriques les plus utiles pour l'appréciation de la déficience respiratoire.

En santé au travail, la réalisation de courbes débit-volume est un examen simple et fiable. La surveillance des salariés exposés à des aérocontaminants peut être fixée réglementairement, fortement conseillée ou à l'initiative du médecin du travail. Elle est indiquée au niveau individuel dans le dépistage d'altérations précoces chez un salarié exposé, dans le bilan d'anomalies cliniques ou radiologiques, comme aide à la décision d'aptitude, en particulier chez le sujet asthmatique et dans le cadre de la réparation d'un préjudice. Au niveau collectif, la pratique des EFR peut s'intégrer dans différentes études épidémiologiques. Dans un dépistage de masse, les EFR ne comportent qu'une productivité minimale liée à une absence de sensibilité et de spécificité (en particulier professionnelle) suffisantes.

Les explorations fonctionnelles respiratoires reposent sur des mesures qui doivent remplir des conditions de validité métrologiques et surmonter des contraintes spécifiques à ces examens. Ils nécessitent une bonne formation du technicien, la coopération des patients et une rigueur d'exécution. Le rôle de l'opérateur est capital car il guide les efforts du patient. Les valeurs de références utilisées en France correspondent à des normes validées par l'*American thoracic society* et l'*European respiratory society*, mais sont sujettes à interprétation, car d'autres variations des volumes

**Mots-clés :**  
Explorations  
fonctionnelles  
respiratoires,  
spirométrie,  
courbe débit-volume.

**Key-words:**  
Pulmonary  
function tests,  
flow-volume curve.

increasing evidence of other influences on the pulmonary function (particularly ethnic).

The sensitivity of a first examination, in a given subject, is limited by the dispersion of the results. The comparison with further spirometric tests improves this sensitivity.

The tests results are corrects when 3 very close flow-volume curves are obtained (less than 5% variation). They must be interpreted in relation with the clinical context. Therefore, it is important to know the limits of these tests and when to continue or stop the investigations.

pulmonaires existent (en particulier ethniques), non prises en compte dans ces valeurs. La sensibilité d'un premier examen, chez un sujet donné, est limitée par la dispersion des résultats normaux ; la comparaison des examens suivants aux premiers résultats améliore la sensibilité des tests.

Les résultats des tests sont interprétables si 3 index ou 3 courbes superposables sont obtenus (moins de 5 % de variation). Mais ils ne peuvent pas être interprétés en dehors du contexte clinique. Il convient donc de connaître l'intérêt mais aussi les limites de ces tests et savoir poursuivre ou arrêter les investigations.

Les explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) regroupent l'ensemble des examens permettant de quantifier la fonction respiratoire. Elles comprennent classiquement : les mesures des volumes pulmonaires et des débits ventilatoires, de la réactivité bronchique, des gaz du sang, l'étude de la mécanique respiratoire, de la fonction des muscles respiratoires, de la commande ventilatoire, la mesure de la diffusion des gaz entre le sang et l'air alvéolaire, les épreuves d'exercice, le cathétérisme cardiaque droit (1).

En santé au travail, l'examen habituellement réalisé est la courbe débit-volume lors d'une manœuvre d'expiration maximale, forcée. Cet examen est l'objet de cet article. Il permet d'une part l'exploration des volumes pulmonaires mobilisables, et, d'autre part, des débits bronchiques (2). Les EFR constituent un apport déterminant dans l'évaluation d'une pathologie respiratoire, mais des résultats *anormaux* ne permettent pas d'attribuer l'anomalie à une cause précise, qu'elle soit professionnelle ou non (3). Ils doivent être intégrés dans un ensemble associant l'examen clinique, les différents examens complémentaires, la connaissance des postes de travail, des expositions professionnelles ou personnelles, du tabagisme... (4).

## Généralités

### Mesures

Les mesures sont statiques et dynamiques (1, 4-7).

### Spirométrie statique

Elle permet l'exploration des volumes pulmonaires mesurés lors de manœuvres respiratoires complètes lentes accompagnées d'un effort maximal au début et à la fin du test (*figure 1*).

– Le volume courant (VT) est le volume d'air inspiré ou expiré au cours d'une respiration normale. Il correspond à une ventilation de base dite de repos, automatique et inconsciente.

– Le volume de réserve inspiratoire (VRI) est le volume maximal d'air qui peut être inspiré après la fin d'une inspiration normale de repos.

– Le volume de réserve expiratoire (VRE) est le volume maximal d'air qui peut être expiré après une expiration normale.

– Le volume résiduel (VR) est le volume d'air restant dans les poumons à la fin d'une expiration complète. Comme il s'agit d'un volume que l'effort expiratoire ne peut expulser, il est le seul qui ne puisse pas être mesuré par une courbe débit-volume. Il est mesuré soit

par un test de dilution, soit par pléthysmographie.

Les capacités pulmonaires correspondent à des sommes de plusieurs de ces volumes élémentaires.

– La capacité vitale (CV) est le volume maximal d'air qui peut être mobilisé entre une inspiration et une expiration complètes. La capacité vitale lente (CVL) est le volume maximal d'air qui peut être lentement exhalé des poumons après une inspiration maximale. La capacité vitale forcée (CVF) est la mesure des volumes mobilisables au cours d'une expiration forcée. La capacité vitale est donc la somme de VT, VRI et VRE.

– La capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) représente le volume d'air contenu dans les poumons à la fin d'une expiration normale. En pratique, la CRF est mesurée pour calculer le VR car elle est la somme du VRE et du VR.

– La capacité pulmonaire totale (CPT) est le volume maximal d'air qui est contenu dans les poumons après une inspiration maximale. C'est la somme de la CV et du VR.

### Spirométrie dynamique et débits ventilatoires forcés

La spirométrie dynamique explore les débits. Elle permet d'estimer la capacité des poumons à mobiliser rapidement

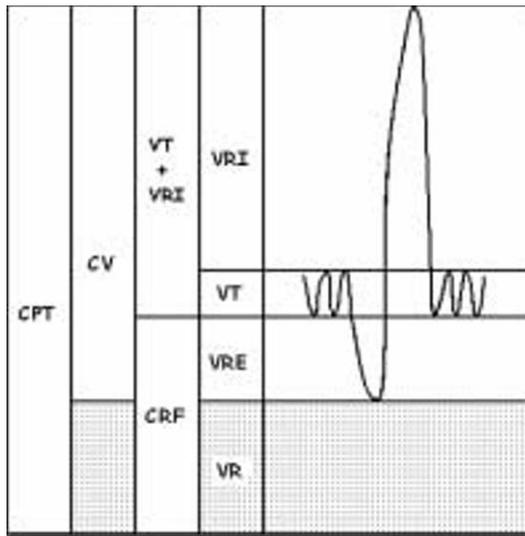


Figure 1. Variations du volume pulmonaire au cours du temps en respiration courante puis lors d'une expiration et d'une inspiration maximales.

l'air au cours de manœuvres d'inspiration ou d'expiration forcées. L'effort est maximal et constant tout au long de la manœuvre. Les résultats s'expriment en général par les relations entre le débit maximal et le volume pulmonaire décrites par la courbe débit-volume, ou encore entre le volume inspiré ou expiré et le temps, c'est-à-dire par des courbes volume-temps.

#### Paramètres donnés par les courbes débit-volume et volume-temps

- La capacité vitale forcée (CVF) est le volume de gaz exhalé au cours d'une expiration effectuée aussi fort, rapidement et complètement que possible en partant d'une inspiration complète.
- Le volume expiratoire maximal en une seconde (VEMS) est le volume maximal soufflé lors de la première seconde de l'expiration forcée. Il représente l'influence prépondérante des gros tronc bronchiques.
- Le coefficient de Tiffeneau (VEMS/CV) est la fraction de la capacité vitale soufflée en une seconde. Un sujet sain expire pendant la première seconde de la manœuvre d'expiration forcée environ 80 % de sa CV. Si ce paramètre a

une variabilité relativement faible par rapport aux autres, il est d'abaissement tardif et alors de grande valeur prédictive. On définit également un VEMS/CVF ou fraction de la capacité vitale forcée soufflée en une seconde.

- Le débit expiratoire maximal médian (DEMM ou  $DEM_{25-75}$ ) est le débit moyen mesuré entre 25 et 75 % de la CVF pendant une manœuvre d'expiration forcée. Ce paramètre explore la dynamique des petits tronc bronchiques et des bronchioles. Toutefois, la reproductibilité de sa mesure est très dépendante de la qualité de l'exécution (CVF complète).
- Le débit expiratoire de pointe (DEP) est le débit maximum atteint lors d'une expiration forcée commencée à partir d'une inspiration maximale. Il est surtout fonction des résistances des voies aériennes centrales en particulier trachée et grosses bronches et est très dépendant de l'effort expiratoire du patient.
- Le débit expiratoire maximal à 75 % de la capacité vitale ( $DEM_{75}$ ) est le débit expiratoire maximal instantané mesuré à 75 % de la capacité vitale forcée restante. Comme le DEP, il est dépendant des résistances centrales et de l'effort.

- Le débit expiratoire maximal à 50 % de la capacité vitale ( $DEM_{50}$ ) est le débit expiratoire maximal instantané mesuré à 50 % de la CVF. Il explore les petites bronches si le VEMS est normal. La signification théorique est voisine de celle du  $DEM_{25-75}$ , mais, en tant que débit instantané, sa variabilité est plus grande.

- Le débit expiratoire maximal à 25 % de la capacité vitale ( $DEM_{25}$ ) est le débit expiratoire maximal instantané mesuré à 25 % de la CVF restante. Il analyse les débits à bas volumes pulmonaires. Sa reproductibilité médiocre et sa grande variabilité intra-individuelle en font un paramètre peu fiable en pratique.

A noter que les auteurs américains utilisent une notation inverse pour les  $DEM_{25}$  et  $DEM_{75}$  prenant en compte non pas le pourcentage de la CV qu'il reste à expirer mais celui qui a été expiré.

#### Courbe débit-volume

La courbe débit-volume est la représentation graphique des débits aériens instantanés en fonction du volume pulmonaire (figure 2). Elle ne concerne que les volumes mobilisables et ne permet pas de mesurer le VR. Le volume pulmonaire est enregistré en abscisse, les débits instantanés sont en ordonnée. La courbe expiratoire est représentée au-dessus de l'axe des X et la courbe inspiratoire au-dessous. En abscisse, la longueur du segment AB entre le début et la fin de l'expiration forcée correspond à la CVF. En ordonnée apparaissent les débits instantanés mesurés à chaque niveau de la capacité vitale. Le débit expiratoire s'élève rapidement jusqu'à une valeur maximale (DEP), puis redescend progressivement jusqu'à l'axe des X (4, 6-8).

La courbe débit-volume permet d'évaluer l'importance de l'effort expiratoire réalisé par le patient. L'aspect des courbes débit-volume permet de juger de la qualité de la manœuvre, en particulier de la première partie du test (bon effort),

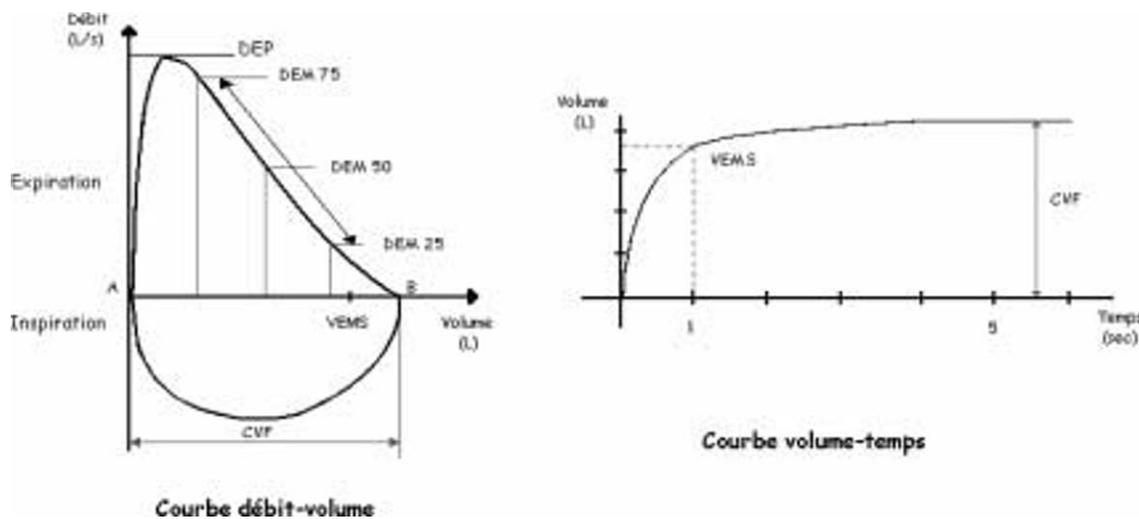


Figure 2. Courbes débit-volume et volume-temps normales.

et apporte des arguments pour préciser le diagnostic.

### Courbe volume-temps

Après une inspiration profonde maximale, le sujet souffle le plus rapidement possible jusqu'à obtenir un plateau. Le temps (en secondes) figure sur l'axe des X, le volume (en litre) sur l'axe des Y. Le volume maximal mobilisé est la CVF. Ce tracé permet de mesurer le VEMS et le  $DEM_{25-75}$ . Il est aussi utile pour établir la durée de l'expiration (plateau d'une durée d'au moins 2 secondes qui visualise une expiration complète) (figure 2) (3, 4).

## Valeurs de référence

### Valeurs normales

Chez des sujets sans aucun antécédent pathologique, les volumes et débits respiratoires varient d'un individu à l'autre en fonction de l'âge, du sexe, de la taille, de l'ethnie.

D'une manière générale, les résultats des EFR d'un patient donné s'interprètent sur la base d'une comparaison avec

des valeurs de référence dites *normales*, *théoriques*, ou encore *prédites*. Les normes utilisées en France correspondent aux normes publiées par l'*American thoracic society* (ATS) en 1987 et actualisées par l'*European respiratory society* (ERS) en 1993. Elles ont été établies grâce à des cohortes de sujets adultes caucasiens, *sains* ou *normaux*, ayant les mêmes caractéristiques anthropométriques (âge, sexe et taille), vivant principalement en Amérique et en Europe du Nord (9, 10). Elles sont utilisables pour des personnes âgées de 18 à 70 ans et dont la taille est comprise entre 155 et 195 cm chez l'homme et 145 et 180 cm pour la femme (11-14). Elles sont automatiquement données par l'équipement spirométrique informatisé à chaque examen.

Plusieurs études ont rapporté des modifications ethniques, en particulier chez les populations de race noire (avec en moyenne des volumes et des débits pulmonaires abaissés de 15 à 20 %), les tunisiens (abaissés de 15 à 20 %), les chinois (15 % en moyenne) et les indiens (20 %) par rapport aux valeurs de références établies chez une population caucasienne (6). Les recommandations européennes préconisent pour les populations non caucasiennes de se

référer à des valeurs de référence qui leurs sont spécifiques ou d'appliquer un facteur correctif aux valeurs théoriques établies à partir des populations caucasiennes, tout en sachant que le recours à un coefficient d'ajustement n'est pas aussi performant que l'utilisation d'équations spécifiques (9, 14). De plus, chez un sujet donné, il existe des variations circadiennes avec une faible diminution en deuxième partie de nuit. Ces variations des différentes grandeurs spirométriques impliquent qu'il n'y a pas, pour un individu donné, une valeur normale unique, mais une plage de valeurs *normales* mesurées chez des individus comparables indemnes de pathologies.

La spirométrie en milieu de travail peut être un outil de dépistage chez des sujets asymptomatiques. Les valeurs de référence peuvent alors être différentes des critères pneumologiques utilisés pour le diagnostic d'une maladie chez un patient, ou pour la mise en route ou la surveillance d'un traitement.

En fait, pour un sujet exposé à des aérocontaminants, l'étude de l'évolution de la fonction respiratoire lors d'enregistrements répétitifs permet une comparaison aux valeurs initiales du sujet lui-même (4).

### Limites inférieures de la normalité

Les valeurs de référence sont des valeurs statistiques moyennes. La détermination d'une valeur limite inférieure de la normale repose sur deux approches (4, 5, 10-13).

a – Fixer un pourcentage de la valeur théorique en-dessous duquel la valeur mesurée est considérée comme *anor-*

*male*. Ce pourcentage est le plus souvent de  $\pm 20\%$ . Cette méthode, la plus rapide en première approximation, a l'avantage de la simplicité et donne des résultats assez fiables chez l'adulte d'âge et de taille moyens (*tableau I*). Du fait de la grande dispersion des valeurs du DEP et du  $DEM_{25}$ , une plus grande tolérance est nécessaire.

b – Utiliser une approche statistique basée sur le 5<sup>e</sup> percentile (pourcentage de la valeur de référence au-dessus duquel se situent 95 % de la population normale). La limite est égale à la valeur théorique moins 1,64 fois l'écart-type résiduel pour chaque paramètre, cet écart-type étant calculé à partir d'équations de prédiction validées par l'ERS (5).

**Tableau I :** Tableau des limites inférieurs de la normale : valeurs à soustraire de la norme moyenne théorique.

	Pourcentage du prédit		1,64 fois l'écart-type résiduel	
	Homme	Femme	Homme	Femme
CPT	-20 %	-20 %	-1,15 l	-0,98 l
CV	-20 %	-20 %	-0,92 l	-0,69 l
VEMS	-20 %	-20 %	-0,83 l/s	-0,62 l/s
VEMS/CV	-13 %	-11 %	-11,75 %	-10,70 %
$DEM_{25-75}$	-45 %	-35 %	-1,71 l/s	-1,39 l/s
$DEM_{25-75}/CVF$	-27 %	-32 %		

**Tableau II :** Caractéristiques principales des syndromes respiratoires.

Syndrome	Caractéristiques principales	Principales étiologies
Syndrome obstructif	<ul style="list-style-type: none"> <li>– CPT normale ou augmentée</li> <li>– VEMS diminué</li> <li>– VEMS/CV diminué</li> <li>– Débits expiratoires diminués</li> <li>– VR normal ou augmenté</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Asthme</li> <li>– Bronchite chronique obstructive</li> <li>– Emphysème</li> </ul>
Syndrome restrictif	<ul style="list-style-type: none"> <li>– CPT diminuée</li> <li>– CV diminuée</li> <li>– VEMS/CV normal</li> <li>– VEMS diminué</li> <li>– Débits expiratoires diminués</li> <li>– VR normal ou diminué</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Atteinte pulmonaire : pneumoconioses, pneumopathies immuno-allergiques, pneumopathie iatrogène (post-radique, médicamenteuse), séquelle de chirurgie, post-infectieuse, pneumopathies infiltratives diffuses idiopathiques ou associées à des maladies systémiques.</li> <li>– Atteinte de la plèvre : pleurésie, fibrose pleurale, pneumothorax.</li> <li>– Affections neuromusculaires : paralysie des muscles respiratoires, poliomyélite, myopathies, myasthénie, sclérose latérale amyotrophique, sclérose en plaque.</li> <li>– Atteinte de la paroi thoracique : cypho-scoliose, séquelle de traumatisme thoracique.</li> <li>– Pathologie cardiaque : insuffisance cardiaque congestive, pathologie valvulaire, infarctus du myocarde, hypertension artérielle pulmonaire.</li> <li>– Exposition à divers polluants environnementaux ou professionnels : antigènes organiques (foin moisi, déjections d'oiseaux), vapeurs nitrées (oxydes d'azote), pesticides, paraquat...</li> </ul>
Syndrome mixte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– CPT diminuée</li> <li>– VEMS/CV diminué</li> </ul>	

### Les syndromes spirométriques

La spirométrie permet de différencier 3 types de déficits ventilatoires : le syndrome obstructif, le syndrome restrictif, le syndrome mixte.

#### Syndrome obstructif

Le syndrome obstructif se définit par un abaissement plus important des débits que des volumes avec, en particulier, une diminution du VEMS et du VEMS/CV. La CV peut être normale ou diminuée. La CPT et le VR sont généralement normaux ou augmentés (en cas d'emphysème par exemple). On constate également une baisse des débits expiratoires, du DEP et du  $DEM_{25-75}$ , et du rapport  $DEM_{25-75}/CVF$  (*tableau II*). L'étude des débits expiratoires maximaux apporte des indications complémentaires concernant la gravité et la localisation des phénomènes obstructifs. Le  $DEM_{25-75}$  ou le  $DEM_{50}$  sont plus sensibles que le VEMS (4). Ils autorisent un dépistage plus précoce de l'obstruction bronchique, mais cette diminution ne doit être interprétée qu'en dehors de tout état infectieux.

#### Syndrome restrictif

Ce syndrome est caractérisé par une diminution de la CPT. Il associe une réduction de tous les volumes et capacités pulmonaires avec un abaissement, dans la même proportion, de la CV et du VEMS, le VEMS/CV est normal ou légèrement supérieur à la normale (*tableau II*) (4, 6, 7).

### Trouble ventilatoire mixte

Il est défini par un abaissement de toutes les grandeurs, en particulier baisse de la CPT, et du VEMS/CV (*tableau II*).

### Aspect graphique des courbes

La *figure 3* illustre l'aspect des courbes débit-volume pour chacun de ces syndromes.

### Indications des tests

Afin d'harmoniser la pratique des examens en respectant l'exigence de qualité, l'ERS a publié en 1993 un document de synthèse rassemblant les recommandations et les indications de ces tests (5, 11). Ce document a été remis à jour et est accessible sur le site Internet de la Société de pneumologie de langue française à l'adresse suivante : <http://www.splf.org/rmr/>.

Les indications suivantes sont retenues pour la pratique d'une spirométrie (3).

### Diagnostic

- Évaluer la fonction respiratoire en présence de symptômes, de signes physiques ou d'anomalies biologiques (gazométrie 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 pré-opératoire.
- Évaluer un pronostic.
- Évaluer l'état de santé avant le début d'une activité physique professionnelle ou de loisirs.

### 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.

### Place des tests en santé au travail

Pour certaines situations de travail, des obligations réglementaires imposent la réalisation d'EFR, par exemple en cas de risque d'exposition à des poussières de silice, de poussières d'amiante, de risque de byssinose, de travail en milieu hyperbare ou en milieu susceptible d'entraîner des inhalations de substances radioactives. En général, ces obligations légales ne précisent pas les tests à utiliser ni les paramètres ventilatoires à mesurer (4).

Bien d'autres situations de travail ne font pas l'objet de textes réglementaires, mais peuvent générer un risque respiratoire : exposition à des substances allergisantes (farines, isocyanates, persulfates...), irritants respiratoires (acides, fumées de soudage, gaz...). Il appartient alors au médecin du travail de mettre en place une surveillance adaptée intégrant la pratique régulière de spirométries. Leurs indications diffèrent entre une approche individuelle et celle d'un groupe.

### Approche individuelle

#### Dépistage d'altérations précoces chez un salarié asymptomatique exposé à un ou plusieurs aérocontaminants

L'objectif est de détecter et d'apprécier le plus précocement possible des anomalies qui risquent de conduire à un déficit évident. Cette détection se justifie à un

stade initial, car des mesures de correction peuvent avoir des chances d'être efficaces. La fréquence des EFR est fonction des agresseurs respiratoires : une fois tous les ans ou plus vraisemblablement tous les deux ans semble suffisante (4). Dans une stratégie de dépistage de masse, les EFR ne comportent qu'une productivité minimale, liée à une absence de sensibilité et de spécificité. Elles ne permettent pas d'affirmer la responsabilité d'un risque unique car elles inventorient des perturbations qui sont la conséquence de très nombreux facteurs agresseurs souvent intriqués, en particulier divers polluants atmosphériques dont la fumée de cigarette (16, 17).

### Bilan d'anomalies cliniques ou radiologiques

Chez certains salariés présentant un antécédent pathologique respiratoire connu (bronchite chronique, asthme, pathologie pleurale, gibbosité, séquelle tuberculeuse, obésité...), les explorations fonctionnelles respiratoires sont indispensables pour rechercher et évaluer un éventuel handicap, les performances restantes étant à comparer avec les exigences du travail, en tenant compte du fait qu'une exposition à des aérocontaminants ou à une charge physique importante peut venir aggraver les conséquences pathologiques déjà connues. La capacité d'effort est déterminée par la fonction restante et non le niveau perdu. L'examen spirométrique devra alors être complété par des tests fonctionnels plus spécialisés et/ou des tests d'efforts objectifs.

### Détermination de l'aptitude

Des altérations importantes de la fonction ventilatoire peuvent contre-indiquer certains emplois susceptibles d'entraîner des expositions importantes et rendant impossible le port d'équipement de protection. Elles imposent un bilan complet du retentissement médico-socio-professionnel associé à une étude soignée du poste de travail

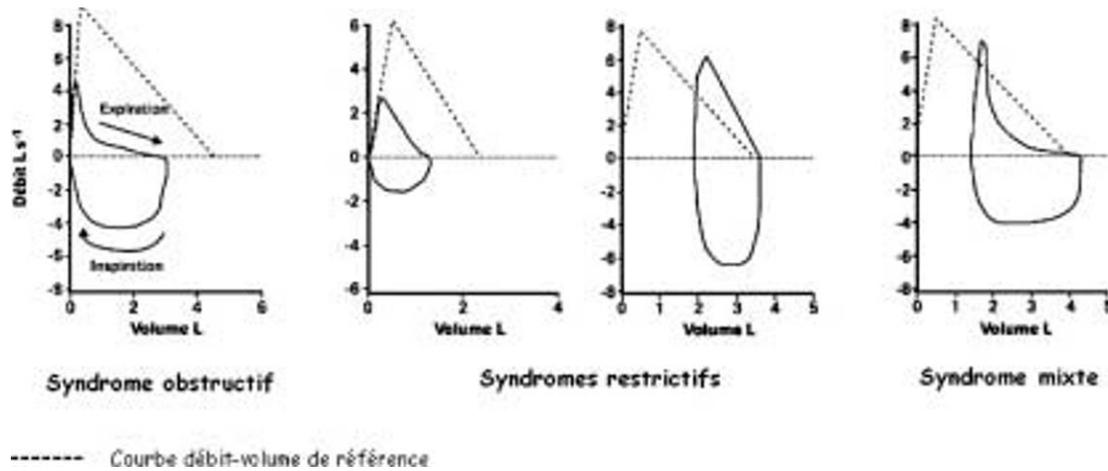


Figure 3. Schématisation de courbes débit-volume pour chacun des trois grands syndromes (14).

concerné et de son environnement professionnel, avec établissement d'un inventaire détaillé des risques présents (chimique, biologique et physique) et des modes d'exposition (fréquence, intensité), afin de proposer tous les aménagements nécessaires. A l'issue de cet examen clinique et professionnel, le médecin du travail se prononcera sur l'aptitude du salarié à son poste (4).

### Cas de la visite d'embauchage

Que les examens spirométriques prévus à l'embauchage soient réglementaires, fortement conseillés ou à l'initiative du médecin du travail, ils ne doivent pas être des critères de sélection mais de meilleure orientation par rapport au poste proposé. Ils permettent de mesurer des valeurs fonctionnelles initiales, références individuelles avant toute exposition professionnelle.

Une attention particulière doit être apportée au cas de l'asthmatique de l'enfance se présentant pour travailler à un poste avec exposition à des allergènes ou des substances irritantes. Avant de prononcer sa décision en matière d'aptitude, le médecin du travail doit réaliser un inventaire complet : tenir compte de l'ancienneté des troubles, de l'existence de manifestations actuelles, de la fréquence des crises, de leur gravité, de la consommation médicamenteuse,

des performances ventilatoires et, bien évidemment, avoir une bonne connaissance du poste de travail pour lequel le candidat postule (4, 17).

### Aptitude au port des protections respiratoires

Un problème récurrent est l'aptitude au port des appareils de protection respiratoire individuelle, surtout lors du travail dans des ambiances à fortes contraintes physiques. La limitation qui risque de survenir est plus d'origine cardiaque ou psychologique que respiratoire. Elle peut être améliorée par l'entraînement physique et une formation adaptée (16).

### Réparation d'un préjudice

L'intérêt des EFR est évident quand un salarié présente une pathologie faisant l'objet d'un tableau de maladie professionnelle (MP). Vingt-deux tableaux sont concernés dans le régime général de Sécurité sociale, six pour le régime agricole (18). Les EFR sont utiles, voire nécessaires, comme test diagnostique d'une pathologie respiratoire professionnelle reconnue pour laquelle il est demandé des critères objectifs autorisant la prise en charge. Sauf pour quelques tableaux, l'énoncé figurant dans la colonne de gauche des tableaux de MP ne précise pas le type d'EFR (*tableau III*).

Dans le cas des tableaux du régime général (TRG) 30 et du tableau du régime agricole (TRA) 47 (amiante), des EFR sont demandées, tout en sachant que les pathologies concernées (asbestose et plaques pleurales bénignes) peuvent être reconnues que ces tests soient ou non modifiés.

La pratique régulière des EFR est également intéressante pour identifier de nouvelles situations de travail à risque respiratoire et amener à une extension des tableaux de MP.

Chez un sujet présentant un état déficitaire ventilatoire antérieur, une difficulté supplémentaire apparaît quand survient une MP ou un accident de travail (AT). Les conséquences sont-elles plus graves ? La MP ou l'AT a-t-il été aggravé par l'état préexistant ? L'appui sur des EFR antérieures, réalisées à l'embauche puis dans le cadre d'une surveillance longitudinale, revêt ici toute son importance, celles-ci constituant une référence en cas d'expertise (8).

### Intérêt collectif

La pratique des EFR peut s'intégrer dans différentes études épidémiologiques, par exemple pour le calcul de l'incidence d'un risque respiratoire connu dans une population exposée, ou encore, pour

**Tableau III : Liste des tableaux de maladies professionnelles des régimes de Sécurité sociale avec demande d'EFR (18).**

TRG	TRA	Produits responsables	Pathologies	Test demandé
10 bis		Acide chromique, chromates et bichromates alcalins	Asthme	EFR sans précision
15 bis		Amines aromatiques	Asthme	EFR sans précision
30 A	47 A	Poussières d'amiante	Asbestose	EFR sans précision
30 B	47 B	Poussières d'amiante	Lésions pleurales bénignes	EFR sans précision
33		Béryllium et ses composés	Fibrose pulmonaire diffuse	EFR sans précision
37 bis		Oxydes et sels de nickel	Asthme	EFR sans précision
41		Bêta-lactamines et céphalosporines	Asthme	EFR sans précision
43	28	Aldéhyde formique et ses polymères	Asthme	EFR sans précision
47 A	36 B	Bois	Asthme	EFR sans précision
49 bis		Amines aliphatiques, alicycliques ou éthylamines	Asthme	EFR sans précision
50		Phénylhydrazine	Asthme	EFR sans précision
62	43	Isocyanates organiques	Asthme	EFR sans précision
63		Enzymes	Asthme	EFR sans précision
66	45	Rhinite et asthmes professionnels	Asthme	EFR sans précision
66 bis		Pneumopathies d'hypersensibilité	Bronchoalvéolite	EFR sans précision
			Fibrose pulmonaire	EFR sans précision
70		Cobalt et ses composés	Asthme	EFR sans précision
70 bis		Poussières de carbures métalliques frittés ou fondus contenant du cobalt	Fibrose pulmonaire diffuse	EFR sans précision
74		Furfural et alcool furfurylique	Asthme	EFR sans précision
82		Méthacrylate de méthyle	Asthme	EFR sans précision
90 A	54 A	Poussières de textiles végétales	Syndrome respiratoire obstructif aigu	EFR à la reprise du travail et 6 à 8 heures après
90 B	54 B	Poussières de textiles végétales	Broncho-pneumopathie chronique obstructive	VEMS abaissé d'au moins 40 %
91		Broncho-pneumopathie chronique obstructive du mineur de charbon	Syndrome ventilatoire obstructif	VEMS abaissé d'au moins 30 %
94		Broncho-pneumopathie chronique obstructive du mineur de fer	Syndrome ventilatoire obstructif	VEMS abaissé d'au moins 30 %
95		Protéines du latex	Asthme	Confirmé par test

vérifier si une substance ou un procédé dont les risques sont mal identifiés, entraîne des déficits objectifs, ou pour valider des études dans une population particulière comme les asthmatiques, soumis à un risque éventuel.

Dans l'état actuel, il est quasiment impossible de mener des enquêtes respiratoires sur des données rétrospectives. La diversité des appareils employés, les niveaux de qualification des opérateurs et les conditions de réalisation (horaires, jour de la semaine, saison...) entraînent une dispersion des résultats préjudiciable à la mise en évidence d'anomalies minimales. Seules des études transversales (descriptives) ou longitudinales (prospectives) pourraient déboucher sur

un résultat scientifiquement probant, au prix d'une standardisation correcte de toutes les modalités de l'enquête (appareillage spirométrique, questionnaire, méthodologie pratique) (4).

### Spirométrie-réalisation de l'examen

La spirométrie est un examen facile à réaliser mais requiert quelques exigences techniques et humaines. La précision et la reproductibilité des mesures obtenues dépendent de nombreux facteurs, en particulier de la coopération du sujet testé, du pouvoir de persua-

sion du technicien, du matériel utilisé (4-6, 15).

### 1<sup>ère</sup> étape : Installation et démonstration

#### Matériel

L'installation du matériel de spirométrie est importante. L'agencement géographique exige un écran de contrôle correctement éclairé. S'il s'agit d'un pneumotachographe, l'opérateur ne doit pas utiliser un appareil immédiatement après son branchement, il doit laisser *chauffer* le capteur plusieurs minutes avant le premier examen et le *sécher* en cas de nombreux tests successifs,

l'humidité de la respiration pouvant modifier les conditions physiques de mesure.

Le matériel doit faire l'objet d'une maintenance régulière. La qualité des spirométries dépend en premier lieu de leur exactitude et de la reproductibilité des mesures. L'exactitude peut être appréciée en injectant dans l'appareil avec une seringue d'étalonnage différents volumes connus du même ordre de grandeur que les volumes à mesurer. Ces manœuvres permettent aussi de vérifier que l'appareil est linéaire sur toute l'étendue de la gamme des volumes (6). Cette calibration à la seringue de 3 litres doit être régulière, au moins avant chaque grande campagne d'examen ou une fois tous les trois mois. A défaut ou entre deux, l'opérateur peut exécuter sa propre courbe débit-volume afin de dépister une dérive anormale.

Le risque de transmission infectieuse à l'occasion d'examen spirométriques paraît faible. Quelques cas de contamination par *Acinetobacter calcoaceticus* et *Acinetobacter baumannii* ont été rapportés à la suite de la pratique d'EFR dans le cadre d'une médecine de soins, ainsi qu'un cas de contamination par *Haemophilus influenzae* et un cas de virage de réactions tuberculiniques (19, 20). Aucun cas ne semble documenté en santé au travail, le risque existe néanmoins en théorie. Il est donc indispensable d'assurer un nettoyage régulier du capteur du spiromètre. Les produits de nettoyage courant du matériel médical peuvent être utilisés, mais l'eau savonneuse convient aussi très bien. Devant la difficulté de stériliser facilement les capteurs et le risque engendré par les biocides de plus en plus puissant (sensibilisation) pour le personnel qui nettoie et stérilise, l'orientation actuelle se fait vers l'utilisation systématique de filtres disposés avant le capteur. Certaines études montrent une diminution significative du VEMS et du DEP lors de l'utilisation de ces filtres, sans affecter les conséquences cliniques du test en routine, diminution non confirmée par

d'autres. Compte tenu de ces données, le Comité de lutte contre les infections nosocomiales de l'Assistance publique – Hôpitaux de Paris préconise le bien-fondé et l'efficacité des filtres (21).

### Patient

L'installation du sujet ne demande pas de précaution particulière, le patient est dans une position confortable.

Dans les laboratoires d'explorations fonctionnelles respiratoires, tout enregistrement est fait assis. On note cependant fréquemment, en médecine du travail, la préférence des sujets pour souffler debout. Il n'y a pas de différence significative dans les résultats obtenus entre l'une ou l'autre de ces positions, aussi laisse-t-on le patient libre de choisir celle qu'il préfère (22). Cependant, l'opérateur doit rester vigilant en se rappelant, sans le dire au sujet, que l'hyperventilation peut occasionner une impression d'étourdissements avec un risque de chute. Si le sujet est assis, l'opérateur doit s'assurer que ses jambes ne sont pas croisées et que ses pieds reposent sur le sol. Pendant les manœuvres ventilatoires, le thorax doit avoir une complète liberté de mouvement et il faut donc desserrer les vêtements ajustés (col, ceinture) (4, 5, 15, 22).

Le patient doit respirer doucement à travers un embout jetable de préférence pour éviter tout risque infectieux. Celui-ci doit être placé au-delà des dents et maintenu par les lèvres serrées. Le patient ne doit pas le mordre, surtout pour un embout en carton, car cela obstruerait l'entrée du tuyau. Il ne doit pas non plus mettre sa langue devant l'orifice de l'embout. L'opérateur vérifie l'absence de fuites.

Un pince-nez est indispensable pour toutes les mesures faites en ventilation normale et non pour une manœuvre d'expiration forcée maximale. Les dentiers doivent être laissés en place, sauf s'ils sont très mal adaptés et risquent de se détacher et d'obstruer le passage de

l'air ; sinon les lèvres et les joues perdent leurs points d'appui, ce qui favorise les fuites (5).

### Technicien

Le technicien a un rôle très important. Il doit être expérimenté, une grande qualité de l'exécution de la spirométrie est indispensable pour détecter de discrètes modifications des performances. Le technicien doit se comporter vis-à-vis du patient avec à la fois autorité et empathie. Pour une coopération maximale, il doit savoir *expliquer* le but et le déroulement de l'examen avec des mots simples, *rassurer* en rappelant que la spirométrie est indolore et n'entraîne pas de problèmes de santé, *mimer* en montrant de façon pratique le déroulement de la manœuvre avec un embout personnel correctement positionné (4, 6).

Le technicien se positionne pour pouvoir observer à la fois le patient et le spirogramme et contrôler ainsi le déroulement de la manœuvre, repérer certains comportements particuliers. Il peut être en effet confronté à une mauvaise coopération volontaire du patient, en particulier lorsque l'examen est demandé à fin d'expertise ou lorsqu'un dommage ou un gain peut dépendre du résultat. Les signes qui doivent attirer son attention sont une variabilité importante des tracés ou un arrêt rapide des efforts inspiratoires ou expiratoires. Il est bon de rappeler au patient que si les résultats de l'épreuve sont de qualité médiocre, les données obtenues ne sont pas communicables et donc que le litige ne peut pas avancer (6, 15).

### Deuxième étape – Exécution de la manœuvre

Il est parfois préférable de différer l'examen d'une heure, voire de quelques semaines :

- en cas d'infection virale en cours ou récente (dans les deux ou trois dernières semaines) ou d'autres infections aiguës,

spécialement quand une surveillance longitudinale est effectuée chez un même sujet,

– après l'utilisation récente d'un broncho-dilatateur,

– après une maladie grave récente, comme un infarctus du myocarde (attendre au moins 1 mois), une embolie pulmonaire, un pneumothorax, une hémoptysie,

– après une chirurgie thoracique, abdominale ou oculaire (par exemple cataracte) récente,

– en cas de consommation de cigarettes ou d'un repas lourd dans l'heure qui précède l'épreuve,

– en cas de consommation d'alcool moins de 4 heures avant l'examen,

– en cas d'exercice intense dans la demi-heure précédente (6, 15, 22).

Avant chaque test, le technicien introduit dans l'appareil la date, la température et la pression barométrique pour les appareils qui l'exigent. Il enregistre aussi l'heure (possibilités de variations diurnes et saisonnières) et les caractéristiques du sujet : sexe, âge, taille, poids. Le technicien doit également préciser les prises médicamenteuses (heure de la dernière prise), la qualité de la coopération du sujet et les éventuelles réactions indésirables (toux par exemple) (4, 5, 22).

Le technicien initialise ensuite le début de la spirométrie en demandant au patient de vider doucement mais complètement ses poumons en soufflant dans l'embout. A la fin de cette expiration (qui correspond au VRE), il demande au sujet d'inspirer profondément par la bouche, de façon à remplir au maximum ses poumons (parcours de la CVI). Enfin, il demande au sujet d'expirer *violemment* (et pas simplement souffler) et de vider ses poumons au maximum de façon continue et complète. En fin d'expiration, le sujet reprend une respiration calme jusqu'à la fin du travail de l'appareil. Pour les appareils munis d'une touche stop, il faut l'utiliser avant que le sujet n'enlève l'embout de sa bouche, sinon le déplacement secondaire du capteur risque de

donner des volumes artificiellement prolongés (3, 4).

Durant tout le déroulement de cette manœuvre, le technicien stimule le patient pour obtenir les mouvements respiratoires maximaux. Il s'exprime d'une voix forte mais sans cri en répétant l'action à réaliser jusqu'à son aboutissement (gonflez, gonflez ..., soufflez fort, encore, encore...). Il peut accompagner les différents temps respiratoires par une gestuelle : par exemple, le sujet doit suivre le mouvement de sa main (souffler quand la main descend, et reprendre sa respiration à fond quand elle remonte), ou encore, le technicien effectue une légère poussée sous le coude lors de l'inspiration puis une légère poussée sur l'épaule à l'expiration, poussées ne se relâchant qu'après obtention de l'inspiration et de l'expiration totales.

Tout mauvais départ ou incident (toux) doit faire arrêter immédiatement la manœuvre pour ne pas fatiguer inutilement le sujet.

### Troisième étape : validation de la courbe

La première validation de la courbe se fait au cours même du test, sur le sujet lui-même et sur la morphologie de la courbe sur l'écran.

#### Critères d'acceptabilité de la boucle débit-volume

– Le remplissage des poumons doit être complet (aspect subjectif analysé par l'opérateur).

– Le point de départ et le point d'arrivée de la courbe sont superposés, la boucle doit être fermée, témoignant de temps inspiratoire et expiratoire équivalents.

– Le départ à l'expiration (montée de la courbe) doit être brutal, et respecter un angle droit avec la ligne horizontale, le débit devient maximal dans le premier dixième de seconde de l'expiration forcée. Un déplacement de cette pente vers la droite témoigne d'une expiration trop

lente ou d'une hésitation au départ de l'expiration.

– Le débit de pointe (sommet de la courbe) doit être pointu. Un pic émoussé témoigne d'un départ trop lent de l'expiration forcée, d'un manque de coopération.

– Le tracé de la courbe doit être continu, dénué de tout accident, témoignant ainsi de l'absence de variation du débit. Le sujet a souvent un mouvement de toux durant l'expiration forcée, la courbe débit-volume est saccadée.

– La fin de la courbe s'étend progressivement jusque l'axe des X. Une fin d'expiration incomplète se traduit par une image d'escarpement final, le volume expiré est alors sous-estimé (*figure 4*) (3, 4, 6, 15).

#### Critères d'acceptabilité de la courbe volume-temps

Lorsque les manœuvres ventilatoires sont bien réalisées, les extrémités des courbes volume-temps s'infléchissent progressivement.

– Le départ doit être brutal, à angle droit par rapport à la ligne horizontale.

– Le plateau de la courbe volume-temps doit durer au moins 2 secondes, témoin d'une expiration complète, un tracé *suspendu* témoigne de la fin prématurée de l'expiration (4, 6).

#### Choix de la meilleure courbe

La règle d'or finale de la validation est la reproductibilité des courbes et des valeurs ventilatoires, essentiellement CV et VEMS. Pour ces deux valeurs et pour le DP, on retiendra la plus élevée des valeurs obtenues au cours des trois premières manœuvres techniquement satisfaisantes. L'écart d'une bonne courbe à l'autre ne doit pas dépasser 5 % ou 0,150 l (3).

Les valeurs retenues pour les débits instantanés sont celles provenant de la courbe ayant la plus forte somme VEMS+CVF.

Le sujet exécute au minimum trois manœuvres avec au moins une minute

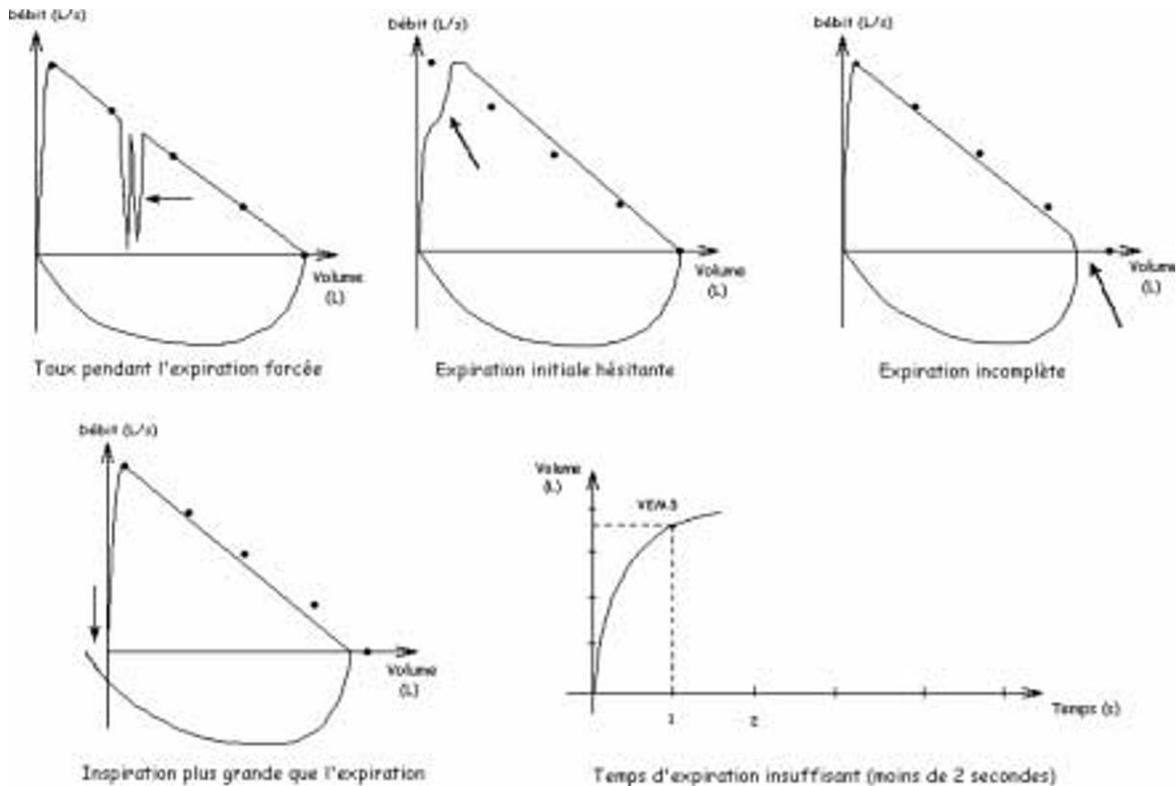


Figure 4. Exemples de tracés non valides.

de repos entre chaque. Lorsqu'une manœuvre est mal exécutée, elle doit être répétée jusqu'à obtenir 3 manœuvres acceptables ; si l'on n'a pas obtenu un jeu d'expirations forcées satisfaisantes au bout de huit essais, il vaut mieux s'arrêter là et le signaler dans le compte rendu accompagnant les meilleurs résultats.

## Conclusion

La réalisation de courbes débit-volume pour l'exploration de la fonction respiratoire est un examen fiable, facile à effectuer en médecine du travail. L'interprétation des résultats doit toujours être confrontée aux données cliniques.

## Références

1. SPLF : Rappels sur les EFR. *Rev Mal Respir*, 2005 ; 22 : 3S87-3S90.

2. Préfaut C., Peslin R. : L'exploration du souffle ou mesure des volumes pulmonaires et des débits bronchiques. *Rev Mal Respir*, 1986 ; 3 : 323-332.

3. Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V., et al. : Standardisation de la spirométrie. *Rev Mal Respir*, 2006 ; 23 : 17S23-17S45.

4. Perdrix A. : Guide pratique d'exploration fonctionnelle respiratoire – Utilisation en milieu professionnel. Collection de monographies de médecine du travail. Masson Éditeur 1994 : 184p.

5. Recommandations européennes pour les explorations fonctionnelles respiratoires – Seconde édition française – Numéro spécial – *Rev Mal Respir*, 2001 ; 18 : 6S6-6S119.

6. Dassonville J., Beillot J. : Spirométrie et courbes débit-volume : méthodes de mesures et applications pratiques. Éditions Lavoisier 2002 : 266p.

7. Ayers L.N., Whipp B.J., Ziment I. : Guide interprétatif des épreuves fonctionnelles respiratoires. Laboratoires Pfizer 1984 : 69p.

8. Chabot F., Polu J.-M. : Épreuves fonctionnelles respiratoires. In : Les maladies respiratoires d'origine professionnelle – 2<sup>ème</sup> édition. Masson Éditeur 1999 : 34-44.

9. Matran R. : Normalité de la fonction ventilatoire. *Rev Mal Respir*, 2003 ; 20 : 483-486.

10. Weitzenblum E. : L'exploration fonctionnelle respiratoire en pneumologie. Éditions Margaux orange 2004 : 315p.

11. American Thoracic Society : Lung function testing : selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis*, 1991 ; 144 : 1202-1218.

12. American Thoracic Society : Standardization of spirometry 1994 update. *Am J Respir Crit Med*, 1995 ; 152 : 1107-1136.

13. Quanjer P.H., Tammeling G.J., Cotes J.E., Paderson O.F., Peslin R., Yernault J.C. : Lung volumes and forced respiratory flows. Report working party. Standardized Lung Function Testing. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : suppl 16.

14. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V., et al. : Stratégies d'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires. *Rev Mal Respir*, 2006 ; 23 : 17S79-17S104.

15. Wanger J. : Exploration fonctionnelle pulmonaire – Une approche pratique. Masson Éditeur 1997 : 273p.

16. Choudat D. : Existe-t-il une place pour les explorations fonctionnelles respiratoires dans le

## Points essentiels

- Les EFR évaluent la fonction respiratoire, elles inventorient les perturbations mais ne permettent pas d'affirmer la responsabilité d'un risque unique.
- La spirométrie statique permet l'exploration des volumes pulmonaires lors de manœuvres respiratoires lentes et complètes. La spirométrie dynamique explore les débits et estime la capacité des poumons à mobiliser l'air au cours de manœuvres forcées.
- L'aspect de la courbe débit-volume permet de juger de la qualité de la manœuvre et d'identifier un processus pathologique.
- Les valeurs de références utilisées en France correspondent aux normes établies à partir de cohortes de sujets adultes caucasiens âgés de 18 à 70 ans en tenant compte de l'âge, du sexe et de la taille. Les autres causes de variations des volumes pulmonaires, en particulier ethniques, ne sont pas prises en compte, nécessitant l'application de facteurs correctifs dans l'interprétation des résultats.
- La limite inférieure de la normale peut être fixée en soustrayant à la norme moyenne théorique un pourcentage déterminé du prédit (méthode acceptable pour l'adulte d'âge et de taille moyens) ou une valeur de 1,64 fois l'écart-type résiduel.
- La spirométrie permet de différencier trois grands syndromes : obstructif, restrictif, mixte.
- En santé au travail, la surveillance de la fonction respiratoire peut être fixée réglementairement (amiante, silice...), fortement conseillée (exposition à des aérocontaminants) ou à l'initiative du médecin du travail. Au niveau individuel, elle permet le dépistage d'altérations précoces, le bilan d'anomalies cliniques ou radiologiques, apporte une aide dans la décision d'aptitude et entre dans le cadre de la réparation d'un préjudice. Au niveau collectif, les EFR s'intègrent dans différentes études épidémiologiques.
- Dans le dépistage de masse, les EFR ne comportent qu'une productivité minimale du fait d'une absence de sensibilité et de spécificité suffisantes.
- La précision et la reproductibilité des mesures spirométriques dépendent du matériel utilisé, de la formation du technicien, de son pouvoir de persuasion, de la coopération du sujet testé et de la rigueur d'exécution de la manœuvre.
- Les principaux critères d'acceptabilité d'une courbe sont une montée brutale de la courbe (bon départ à l'expiration), un sommet pointu de la courbe (débit de pointe), un tracé continu (témoin de l'absence d'irrégularités des débits lors de l'expiration, absence de toux), une fin de courbe s'étendant progressivement sur l'axe des X (expiration complète) et enfin une bonne reproductibilité des tests.
- Le choix de la meilleure courbe repose sur les valeurs des CV et VEMS : retenir la plus élevée des valeurs obtenues à l'issue des trois premières manœuvres techniquement satisfaisantes.

dépistage des affections provoquées par l'amiante ? *Arch mal prof*, 1997 ; 58 : 580-582.

17. Perdrix A., Yernault J.C. : Exposition à l'amiante : la place des épreuves fonctionnelles respiratoires comme outil de dépistage et de suivi. *Arch mal prof*, 1999 ; 60 : 202-210.

18. Les maladies professionnelles – Guide d'accès aux tableaux du régime général et du régime agricole de la Sécurité sociale. Éditions INRS ED 835 – 5<sup>ème</sup> édition septembre 2006.

19. Paollilo A.G., Ameille J. : Utilisation de filtres pour la réalisation des explorations fonctionnelles respiratoires en médecine du travail : nécessité ou principe de précaution ? *Arch mal prof*, 2001 ; 62 : 448.

20. Dautzenberg B. : Prévention des infections transmises par la pratique des EFR et l'administration d'aérosols. *Rev Pneumol Clin*, 2001 ; 57 : 91-98.

21. Becquemin M.H., Camus F., Lucet J.C., *et al.* : Recommandations sur le bien-fondé et l'efficacité des filtres en exploration fonctionnelle respiratoire. *Rev Mal Respir*, 1999 ; 16 : 585-588.

22. Miller M.R., Crapo R., Hankinson J., *et al.* : Considérations générales sur les explorations fonctionnelles respiratoires. *Rev Mal Respir*, 2006 ; 23 : 17S11-17S21.