

UNIVERSITÉ DE LILLE  
**FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMOEUR**  
Année : 2024

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Dépistage d'un trouble ventilatoire obstructif par la technique des oscillations forcées dans une population de travailleurs : étude de faisabilité**

Présentée et soutenue publiquement le lundi 21 octobre à 16 heures  
au Pôle Formation

par **Béryl DELAHAYE**

---

**JURY**

**Président :**

Madame le Professeur Annie SOBASZEK

**Assesseurs :**

Monsieur le Docteur Emmanuel DESCAMPS

Monsieur le Docteur Pierre-Marie WARDYN

**Directeur de thèse :**

Monsieur le Professeur Sébastien HULO

---

# **Avertissement**

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

# Abréviations

<b>ARI</b>	Appareil Respiratoire Isolant
<b>AST</b>	Action Santé Travail
<b>ATS</b>	<i>American Thoracic Society</i>
<b>AUC</b>	<i>Area Under the Curve</i>
<b>AX</b>	Aire sous la courbe
<b>BPCO</b>	Bronchopneumopathie Chronique Obstructive
<b>CAT</b>	<i>COPD Assessment Test</i>
<b>CHU</b>	Centre Hospitalier Universitaire
<b>CoV</b>	Coefficient de Variation
<b>CVF</b>	Capacité Vitale Forcée
<b>DEM25-75</b>	Débit Expiratoire Moyen entre 25 et 75 % de la CVF
<b>DEP</b>	Débit Expiratoire de Pointe
<b>E</b>	Élastance
<b>EFR</b>	Explorations Fonctionnelles Respiratoires
<b>ERS</b>	<i>European Respiratory Society</i>
<b>FOT</b>	<i>Forced Oscillation Technique</i>
<b>FOTSCOM</b>	<i>Screening for obstructive ventilatory disorder using forced oscillation technique in a population of workers</i>
<b>Fres</b>	Fréquence de résonance
<b>GLI</b>	<i>Global Lung Initiative</i>
<b>HAS</b>	Haute Autorité de Santé
<b>Hz</b>	Hertz
<b>I</b>	Inertance
<b>IOS</b>	<i>Impulse Oscillometry</i>
<b>mMRC</b>	Échelle de dyspnée modifiée du Medical Research Council
<b>MTPH</b>	Médecine du Travail du Personnel Hospitalisé
<b>NAF</b>	Nomenclature d'Activités Française

<b>PCS-ESE</b>	Professions et Catégories Socioprofessionnelles des Emplois Salariés des Employeurs privés et publics
<b>PST</b>	Pôle Santé Travail
<b>R</b>	Résistance
<b>ROC</b>	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
<b>Se</b>	Sensibilité
<b>Sp</b>	Spécificité
<b>SPST</b>	Service de Prévention et de Santé au Travail
<b>TVO</b>	Trouble Ventilatoire Obstructif
<b>TVR</b>	Trouble Ventilatoire Restrictif
<b>VEMS</b>	Volume Expiré Maximal à la première Seconde de l'expiration forcée
<b>VPN</b>	Valeur Prédictive Négative
<b>VPP</b>	Valeur Prédictive Positive
<b>X</b>	Réactance
<b>Z</b>	Impédance

# Table des matières

<i>Avertissement</i> .....	2
<i>Abréviations</i> .....	3
<i>Introduction</i> .....	8
<i>Rappels : oscillométrie, spirométrie, objectifs</i> .....	13
<b>1    <i>L'oscillométrie</i></b> .....	<b>13</b>
1.1    Généralités .....	13
1.2    Contre-indications .....	15
1.3    Déroulement de l'examen.....	15
1.4    Critères d'acceptabilité et de reproductibilité .....	16
1.5    Interprétation .....	16
1.5.1    Normes .....	16
1.5.2    Définitions des troubles ventilatoires .....	17
1.5.3    Profils des troubles ventilatoires.....	18
<b>2    <i>Comparaison de l'oscillométrie et de la spirométrie</i></b> .....	<b>20</b>
<b>3    <i>Objectifs</i></b> .....	<b>21</b>
<i>Matériel et Méthodes</i> .....	22
<b>1    <i>Population étudiée</i></b> .....	<b>22</b>
1.1    Pour l'étude de faisabilité .....	22
1.2    Pour l'étude FOTSCOM .....	23
<b>2    <i>Déroulement de l'étude</i></b> .....	<b>24</b>
2.1    Pour l'étude de faisabilité .....	24
2.1.1    Vacances .....	24
2.1.2    Rôles de l'interne et de l'infirmière.....	24
2.1.3    Prêt du matériel et formation .....	25
2.1.4    Inclusion des agents .....	25
2.1.5    Questionnaires .....	25
2.1.6    Explorations fonctionnelles respiratoires.....	27
2.2    Pour l'étude FOTSCOM .....	32
<b>3    <i>Interprétation des résultats</i></b> .....	<b>33</b>
3.1    Normes utilisées .....	33
3.1.1    Oscillométrie .....	33
3.1.2    Spirométrie.....	33
3.2    Définitions des troubles ventilatoires.....	33
3.2.1    Oscillométrie .....	34
3.2.2    Spirométrie.....	34
<b>4    <i>Analyses statistiques</i></b> .....	<b>34</b>
4.1    Import des données de l'analyse dans R.....	34

4.2	Analyses statistiques.....	35
<i>Résultats</i> .....		37
1	<i>Objectif principal : faisabilité de l'étude FOTSCOM</i> .....	37
1.1	Caractéristiques des participants .....	37
1.2	Recrutement.....	38
1.3	Procédure opérationnelle .....	39
1.4	Questionnaires .....	39
1.5	Examens .....	39
1.5.1	Temps .....	39
1.5.2	Évaluation des examens .....	40
1.5.3	Effets indésirables .....	41
1.6	Temps par inclusion .....	41
2	<i>Objectifs secondaires : Prédiction d'un TVO</i> .....	43
2.1	Caractéristiques des participants .....	43
2.1.1	Population .....	43
2.1.2	Caractéristiques générales de la population .....	43
2.2	Résultats des oscillations forcées .....	46
2.2.1	Résultats généraux .....	46
2.2.2	Performances diagnostiques de l'oscillométrie .....	47
<i>Discussion</i> .....		51
1	<i>Objectif principal : faisabilité de l'étude FOTSCOM</i> .....	51
1.1	Recrutement.....	51
1.2	Critères d'inclusion .....	52
1.3	Procédure opérationnelle .....	53
1.4	Questionnaires .....	53
1.5	Examens .....	53
1.6	Impact médico-économique.....	55
2	<i>Objectifs secondaires : Prédiction d'un TVO</i> .....	56
3	<i>Forces et faiblesses de l'étude</i> .....	64
<i>Conclusion</i> .....		68
<i>Liste des tableaux</i> .....		69
<i>Liste des figures</i> .....		70
<i>Bibliographie</i> .....		71
<i>Annexes</i> .....		76
<i>Annexe 1 : Procédure opérationnelle</i> .....		77
<i>Annexe 2 : Questionnaire médecin</i> .....		85
<i>Annexe 3 : Questionnaire</i> .....		86

<i>Annexe 4 : COPD Assessment Test .....</i>	<b>97</b>
<i>Annexe 5 : Visualisation des courbes en oscillométrie .....</i>	<b>98</b>
<i>Annexe 6 : Compte rendu d'oscillométrie.....</i>	<b>100</b>
<i>Annexe 7 : Visualisation des courbes en spirométrie.....</i>	<b>101</b>
<i>Annexe 8 : Compte rendu de spirométrie .....</i>	<b>102</b>
<i>Annexe 9 : Caractéristiques de la population selon l'interprétabilité de la spirométrie ...</i>	<b>103</b>
<i>Annexe 10 : Autres paramètres d'oscillométrie.....</i>	<b>104</b>

# Introduction

Les services de prévention et de santé au travail (SPST) ont pour mission principale d'éviter toute altération de la santé des travailleurs du fait de leur travail mais également de contribuer à la réalisation d'objectifs de santé publique afin de préserver un état de santé du travailleur compatible avec son maintien en emploi (1).

Dans ce cadre, les médecins du travail et leurs équipes assurent le suivi de la fonction respiratoire des travailleurs exposés à des aérocontaminants pouvant entraîner la survenue de pathologies respiratoires chroniques telles que la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou l'asthme. L'examen clé de cette surveillance est la spirométrie. Il est à réaliser de manière longitudinale en cas d'exposition professionnelle afin de rechercher un déclin accéléré de la fonction respiratoire (2) qui nécessiterait de renforcer les mesures de prévention collectives et individuelles. Ce suivi ne se limite pas seulement aux expositions professionnelles, il inclut également les travailleurs présentant des facteurs de risque non professionnels comme le tabagisme, dans un objectif de santé publique.

La spirométrie est une méthode d'exploration fonctionnelle respiratoire (EFR) permettant de mesurer les volumes pulmonaires mobilisables, les débits inspiratoires et expiratoires au cours de manœuvres d'expiration forcée. Il s'agit du seul examen permettant de mettre en évidence une anomalie du rapport de Tiffeneau, témoin d'un trouble ventilatoire obstructif (TVO). Il permet également de mettre en évidence une atteinte des petites voies respiratoires grâce au débit expiratoire moyen entre 25 et 75 % de la capacité vitale forcée (DEM25-75) et de suspecter un trouble ventilatoire restrictif (TVR) lorsqu'il y a une diminution harmonieuse de la capacité vitale forcée

(CVF) et du volume expiratoire maximal au cours de la première seconde de l'expiration forcée (VEMS). Cependant, cet examen présente des inconvénients importants puisqu'il nécessite une bonne connaissance des modalités de réalisation par l'opérateur et une bonne coopération du travailleur afin de rendre des résultats interprétables. De plus, il existe des contre-indications relatives à cet examen et sa durée (une dizaine de minutes) peut représenter un frein pour sa réalisation dans le cadre du suivi en santé au travail compte tenu du nombre de travailleurs à surveiller.

Une thèse (3), s'intéressant à la pratique de la spirométrie dans les services de santé au travail en Poitou-Charentes, a révélé que parmi 73 médecins du travail, 31,5 % prescrivaient des spirométries exclusivement en externe, 23,3 % ne réalisaient pas de suivi de la fonction respiratoire par manque de temps, de formation ou de matériel disponible et 45,2 % réalisaient des spirométries au sein des SPST. Ces 45,2 % de médecins ne respectaient pas toujours les recommandations de l'American Thoracic Society et de l'European Respiratory Society (ATS/ERS) (4). En effet, l'analyse de 111 spirométries réalisées par les SPST a révélé que 47,6 % des examens étaient interrompus après l'obtention d'une seule courbe débit-volume répondant aux critères d'acceptabilité, rendant ainsi les examens ininterprétables, trois courbes débit-volume étant nécessaires.

Comme les médecins du travail, les autres acteurs de soins primaires sont confrontés à un manque de temps et de formation expliquant la sous-utilisation de la spirométrie (5). Cela contribue au sous-diagnostic de la BPCO, estimé à 70 % (5), constituant un véritable problème de santé publique.

La technique de résistance par oscillations forcées, également appelée oscillométrie ou FOT (Forced Oscillation Technique), pourrait représenter une alternative à la spirométrie. Cet examen est simple, rapide à réaliser (environ 2 minutes) et ne présente pas de contre-indication. Il permet le recueil simultané d'un ensemble de paramètres comprenant les résistances (R) et réactances (X) de 4 à 35 Hertz, la différence de résistance entre 5 et 20 Hertz (R5-20), l'aire sous la courbe (AX) et la fréquence de résonance (fres). Cependant, il ne permet pas d'obtenir la valeur du rapport de Tiffeneau. Néanmoins, certains paramètres des FOT pourraient permettre de prédire la présence d'un TVO, l'oscillométrie pourrait donc être prescrite en première intention dans le cadre du suivi en santé au travail. En procédant ainsi, il est possible qu'un plus grand nombre de travailleurs soit suivi, plus régulièrement, améliorant le dépistage et la prise en charge des maladies respiratoires. D'autant plus que depuis 2021, la Haute Autorité de Santé (HAS) (6) recommande un suivi spirométrique régulier chez les travailleurs exposés à la silice cristalline. Ce suivi concernerait près de 975 000 travailleurs (7).

Certains SPST de la région des Hauts-de-France ont été contactés par des représentants commerciaux d'oscillométrie et se sont montrés intéressés par cette méthode qui pourrait leur permettre d'économiser du temps et de réduire les coûts humains. En effet, cet examen moins contraignant à réaliser que la spirométrie pourrait être effectué par du personnel moins qualifié. A ce jour, peu d'études ont été réalisées afin de connaître les performances diagnostiques des oscillations forcées pour prédire un trouble ventilatoire obstructif, encore moins en médecine du travail. Les études, en médecine du travail, ont principalement été menées pour déterminer la pertinence de l'utilisation des FOT pour des expositions spécifiques et sur des échantillons de faibles

effectifs (amiante (n=72)(8), fumées d'oxyde de zinc (n=57) (9)).

Au regard du contexte et du manque de données disponibles dans la littérature, nous avons souhaité mener une étude transversale multicentrique afin d'évaluer la capacité diagnostique des oscillations forcées pour dépister un trouble ventilatoire obstructif en réalisant, chez une population de travailleurs, un examen d'oscillométrie et un examen de spirométrie qui est le gold standard. Nous avons nommé cette étude FOTSCOM pour « screening for obstructive ventilatory disorder using forced oscillation technique in a population of workers ».

L'objectif principal de l'étude FOTSCOM est d'évaluer la capacité prédictive diagnostique de la résistance à 5 Hertz pour prédire un TVO défini en spirométrie par un rapport de Tiffeneau strictement inférieur à -1,645 z-score.

Les objectifs secondaires sont :

- Évaluer la capacité prédictive diagnostique des autres paramètres des FOT pour prédire un TVO défini en spirométrie par un rapport de Tiffeneau strictement inférieur à -1,645 z-score.
- Évaluer la capacité prédictive des paramètres des FOT pour prédire les anomalies des petites voies aériennes définies en spirométrie par un DEM25 -75 strictement inférieur à -1,645 z-score.
- Évaluer la corrélation de la résistance à 5 Hertz et du rapport de Tiffeneau.
- Évaluer la relation entre la résistance à 5 Hertz et la présence de signes fonctionnels respiratoires.

- Évaluer le temps de réalisation des deux examens (FOT et spirométrie) dans les conditions de l'étude pour obtenir des mesures fiables définies selon les recommandations ATS/ERS (10,11).

Pour ce faire, en février 2023, nous avons contacté l'Action Santé Travail (AST) et le Pôle Santé Travail (PST) pour leur proposer de participer à l'étude. Les deux services ont répondu favorablement. Afin d'avoir une puissance suffisante, il est nécessaire d'inclure 940 sujets sur 24 mois.

Dans l'attente de la mise en place de l'étude et notamment du financement, nous avons souhaité réaliser une étude de faisabilité à plus petite échelle au sein du service de Médecine du Travail du Personnel Hospitalier (MTPH) du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Lille.

Ainsi, l'objectif principal de cette thèse est d'évaluer la faisabilité de l'étude FOTSCOM, en se fixant pour objectif d'inclure un minimum de 50 agents.

Les objectifs secondaires sont d'évaluer la capacité prédictive diagnostique de la résistance à 5 Hertz, de la réactance à 5 Hertz, de l'aire sous la courbe, de la fréquence de résonance et de la différence entre la résistance à 5 Hertz et la résistance à 20 Hertz pour prédire un TVO, défini en spirométrie par un rapport de Tiffeneau strictement inférieur à -1,645 z-score. Nous n'étudierons pas les autres objectifs secondaires de l'étude FOTSCOM.

# Rappels : oscillométrie, spirométrie, objectifs

## 1 L'oscillométrie

### 1.1 Généralités

L'oscillométrie, également appelée technique des oscillations forcées ou FOT (Forced Oscillation Technique), a été décrite pour la première fois en 1956 par Dubois et al. (12).

Il s'agit d'une technique non invasive permettant de mesurer les propriétés mécaniques du système respiratoire (voies respiratoires, parenchyme pulmonaire et paroi thoracique) par l'application de petites oscillations de pression générées par un haut-parleur à différentes fréquences (généralement de 4 à 35 Hertz). Ces oscillations, superposées à la respiration normale, provoquent des perturbations de pression et de débit d'air qui sont utilisées pour calculer les paramètres décrivant l'impédance (Z). L'impédance (Z) est un nombre complexe composé d'une partie réelle, la résistance (R), et d'une partie imaginaire, la réactance (X) :

$$Z_{rs} = R_{rs} + jX_{rs} \quad (j \text{ is } \sqrt{-1}; \text{ the unit imaginary number})$$

- La résistance (R) dépend principalement du diamètre des voies aériennes (11). Les oscillations de fréquences élevées (>20 Hertz) se propagent au sein des voies respiratoires supérieures et les oscillations de fréquences plus basses (<15 Hertz) pénètrent plus profondément dans les poumons et atteignent les voies respiratoires distales ainsi que le parenchyme pulmonaire (figure 1). Par conséquent, la résistance à 20 Hertz (R20) représente la résistance des voies respiratoires centrales et la résistance à 5 Hertz (R5) représente la résistance totale des voies

respiratoires. La différence entre la résistance à 5 Hertz et la résistance à 20 Hertz (R5-20) reflète la résistance des petites voies respiratoires. Chez les sujets sains, la résistance est quasiment indépendante de la fréquence (figure 2).

- La réactance (X) est liée à la capacité de stockage de l'énergie (13). Elle est déterminée par l'élastance (E) et par l'inertance (I) :

$$Z_{rs} = R_{rs} + j(\omega I_{rs} - E_{rs}/\omega) \quad \omega = 2\pi f$$

- L'élastance (E) représente la relation entre les variations de pression et de volume, elle domine aux basses fréquences et prend des valeurs négatives (13). Concrètement, elle reflète la rigidité du système thoraco-pulmonaire (11).
- L'inertance (I) représente la relation entre la pression et l'accélération des gaz dans les voies respiratoires, elle domine aux hautes fréquences et prend des valeurs positives (11) .

La fréquence de résonance ( $f_{res}$ ) représente la fréquence à laquelle les composants élastiques et inertiels de la réactance s'équilibrent, entraînant une réactance nulle (13). Chez les sujets sains, la fréquence de résonance se situe généralement entre 8 et 12 Hertz (11).

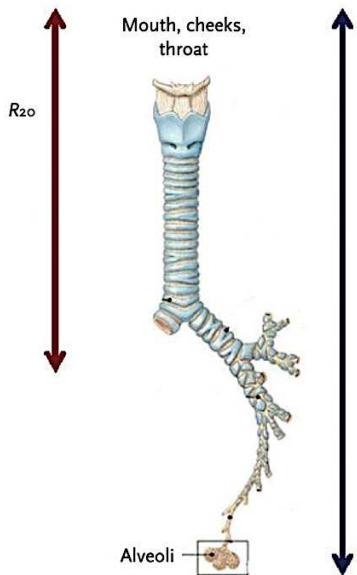
L'aire sous la courbe (AX) est la zone sous la courbe de réactance entre 4 ou 5 Hertz et la fréquence de résonance, reflétant un indice composite de la réactance (11).

La résistance et la réactance apparaissent comme des fonctions de la fréquence d'oscillation (13).

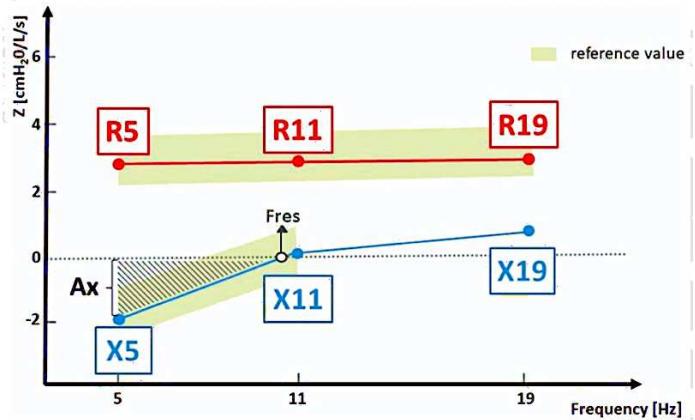
La résistance, la réactance, l'élastance et l'inertance s'expriment en  $\text{cmH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .

L'aire sous la courbe s'exprime en  $\text{cmH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$

Les résultats sont représentés sous la forme d'un graphique de l'impédance (Z) en fonction de la fréquence des oscillations (figure 2).



**Figure 1** Distances parcourues par les ondes sonores selon les fréquences  
Tirée de Brashier et Salvi (14)



Avec :

- Z : l'impédance
- R : la résistance
- X : la réactance
- Ax : l'aire sous la courbe
- Fres : la fréquence de résonance

**Figure 2** Représentation des différents paramètres d'oscillométrie chez les sujets sains  
Tirée de Kostorz-Nosal et al. (15)

## 1.2 Contre-indications

Il n'existe pas de contre-indication à la réalisation de cet examen.

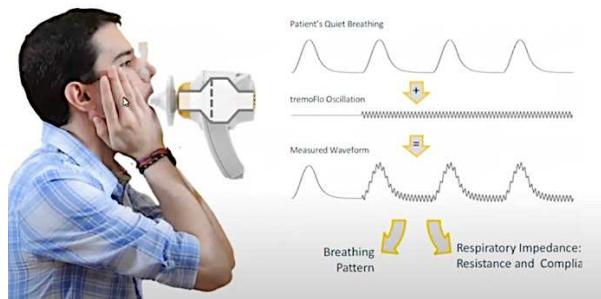
## 1.3 Déroulement de l'examen

L'examen consiste à respirer normalement et calmement dans l'appareil via un embout buccal. Les mesures sont effectuées en position assise avec la tête en position neutre. Pendant la mesure, le patient doit porter un pince-nez et soutenir ses joues avec ses mains afin d'éviter toute fuite de pression dans les voies respiratoires supérieures, qui empêcherait les ondes de pénétrer plus profondément dans les voies respiratoires.

Un minimum de trois mesures, techniquement acceptables, doivent être effectuées.

Le sujet doit se détacher de l'embout buccal entre les mesures successives.

La durée des mesures est de 20 à 30 secondes minimum.



**Figure 3** Déroulement de l'examen  
Tirée du reportage « *What is Airwave Oscillometry?* » (16)

## 1.4 Critères d'acceptabilité et de reproductibilité

D'après les recommandations de 2020 de l'ERS (11), le critère d'acceptabilité repose sur l'absence d'artefacts, c'est-à-dire l'absence de toux, de déglutition, de fuite et d'obstruction de l'embout buccal. Concernant le critère de reproductibilité, le coefficient de variation (CoV) doit être inférieur ou égal à 10 % entre les 3 examens qui ont les valeurs de résistance à 5 Hertz les plus proches (11).

## 1.5 Interprétation

### 1.5.1 Normes

Les oscillations forcées s'interprètent en comparant les résultats à des valeurs théoriques (11). Il existe un nombre élevé d'équations de prédiction pour les adultes, toutefois, ces dernières ont été établies sur des cohortes relativement petites (<1000 sujets), avec une grande variabilité dans l'approche et dans la conception des études (17,18). Les équations développées par Oostveen et al. (19), à partir d'une

étude multicentrique, menée chez 368 sujets caucasiens, dans cinq centres de quatre pays différents, avec cinq appareils différents, sont considérées comme le modèle de référence chez l'adulte caucasien (11,17).

Les variables retrouvées dans ces équations (19) sont :

- La taille : il s'agirait du paramètre qui influence le plus l'impédance (17).
- Le sexe : chez la femme, on retrouve des résistances plus élevées et des réactances plus faibles que chez les hommes en raison des volumes pulmonaires et du diamètre des voies respiratoires qui sont plus petits (17).
- Le poids : le poids est un facteur qui influence significativement la physiologie des voies respiratoires. Chez les sujets obèses, on observe une augmentation des résistances et une diminution des réactances (17,18).
- L'âge : l'âge a une faible influence sur l'impédance (17).

### 1.5.2 Définitions des troubles ventilatoires

L'ERS recommande d'utiliser le z-score pour l'interprétation des résultats (11) :

- Une altération de la résistance (R) est caractérisée par un z-score strictement supérieur à 1,645.
- Une altération de l'aire sous la courbe (AX) est caractérisée par un z-score strictement supérieur à 1,645.
- Une altération de la fréquence de résonance (fres) est caractérisée par un z-score strictement supérieur à 1,645.
- Une altération de la réactance (X) est caractérisée par un z-score strictement inférieur à – 1,645.

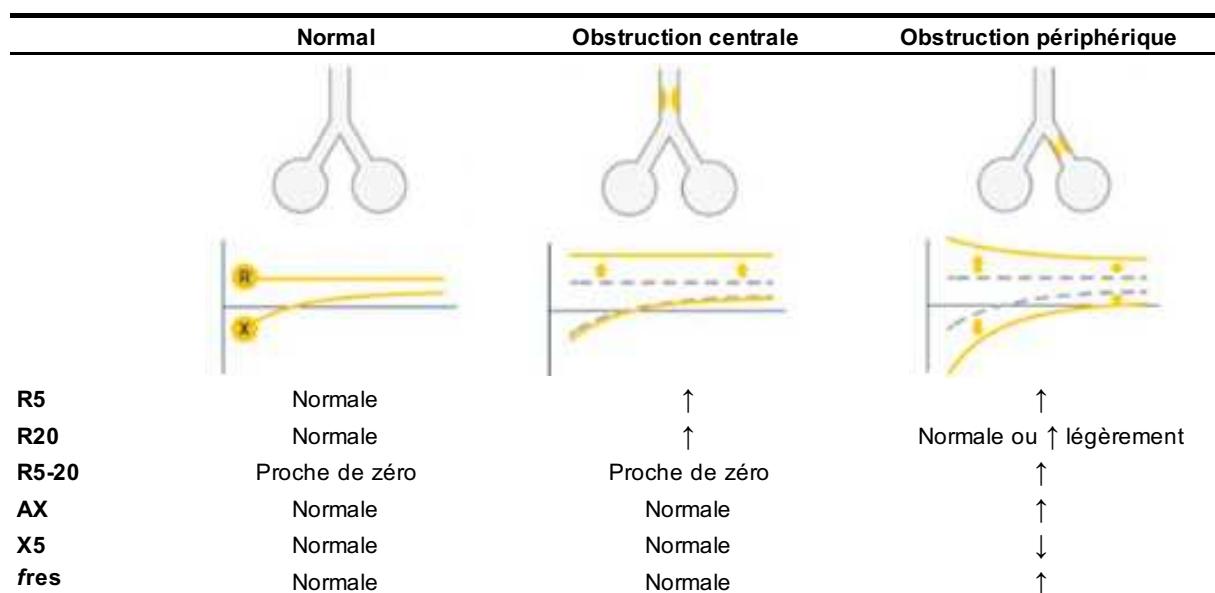
### 1.5.3 Profils des troubles ventilatoires

#### 1.5.3.1 Trouble ventilatoire obstructif

Chez les sujets présentant un trouble ventilatoire obstructif objectivé en spirométrie, on peut observer (20) :

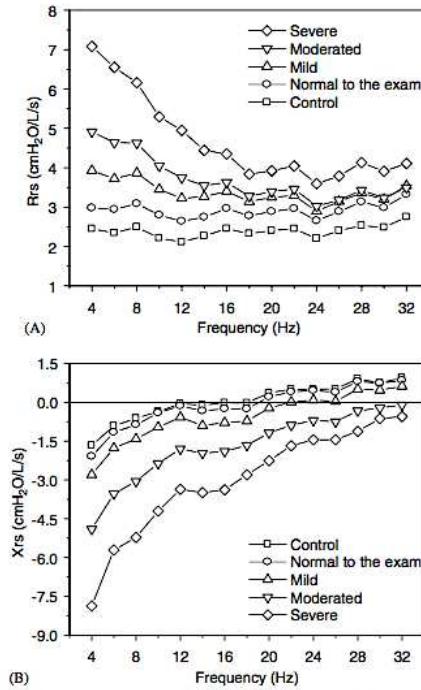
- Une augmentation de la résistance du système respiratoire :
  - L'obstruction des voies respiratoires centrales élève la résistance uniformément, indépendamment de la fréquence d'oscillation.
  - L'obstruction des voies respiratoires périphériques augmente la résistance aux basses fréquences entraînant une augmentation de R5-20.
- Une diminution de la réactance du système respiratoire, plus marquée aux basses fréquences, entraînant une augmentation de la fréquence de résonance (*fres*) et de l'aire sous la courbe (AX).

La figure 4 illustre ces modifications, qui se font proportionnellement aux troubles ventilatoires (figure 5).



AX : aire sous la courbe ; *fres* : fréquence de résonance ; R5 : résistance à 5 Hz ; R20 : résistance à 20 Hz ; R5-20 : différence entre la résistance à 5 Hz et la résistance à 20 Hz ; X5 : réactance à 5 Hz.

**Figure 4** Modifications des paramètres d'oscillométrie selon le siège de l'obstruction  
Tirée de la brochure THORASYS concernant le Tremoflo® C-100 (21)



**Figure 5** Variation de l'impédance selon la sévérité de l'asthme  
Tirée de Cavalcanti et al. (22)

#### 1.5.3.2 Trouble ventilatoire restrictif

Chez les sujets présentant un trouble ventilatoire restrictif, objectivé en spirométrie, on peut observer les mêmes modifications que chez les sujets présentant un trouble ventilatoire obstructif (23), rendant ainsi impossible de distinguer un TVO d'un TVR en oscillométrie.

#### 1.5.3.3 Absence de trouble ventilatoire

Chez les sujets sans trouble ventilatoire objectivé en spirométrie, on peut observer une altération des paramètres d'oscillométrie (24–28). Cela suggère que l'oscillométrie pourrait être plus sensible que la spirométrie pour dépister les troubles ventilatoires, notamment l'atteinte des voies respiratoires distales ou bien, que l'oscillométrie présente une mauvaise spécificité en repérant des faux positifs.

## 2 Comparaison de l'oscillométrie et de la spirométrie

*Tableau 1 Comparaison des examens*

	<b>Spirométrie</b>	<b>Oscillométrie</b>
<b>Objectifs</b>	Mesurer les volumes pulmonaires mobilisables et les débits pulmonaires	Mesurer l'impédance définie par les résistances et les réactances
<b>Paramètres principaux</b>	VEMS, CVF, VEMS/CVF, DEM25-75, DEP	R5, R20, R5-20, X5, AX, f <sub>res</sub>
<b>Représentation des résultats</b>	Courbe débit-volume et courbe volume-temps	Impédance selon la fréquence des oscillations
<b>Avantages/ Inconvénients</b>	Normes robustes (GLI 2012) Gold standard pour diagnostiquer un TVO grâce au rapport de Tiffeneau Permet de suspecter un TVR Permet de différencier un TVO d'un TVR Permet de dépister une atteinte des voies respiratoires distales grâce au DEM25-75 Contre indications relatives <u>Salarié et opérateur dépendants :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coopération importante</li> <li>• Manœuvres respiratoires</li> <li>• Critères d'acceptabilité et de reproductibilité contraignants</li> <li>• Effet apprentissage pour l'opérateur et pour le travailleur</li> </ul>	Normes fragiles (Oostveen) Permet de suspecter un TVO, ne permet pas d'obtenir le rapport de Tiffeneau Permet de suspecter un TVR Ne permet pas de différencier un TVO d'un TVR Serait plus sensible que la spirométrie pour dépister une atteinte des voies respiratoires distales Absence de contre indication <u>Salarié et opérateur peu dépendants :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coopération faible</li> <li>• Absence de manœuvre respiratoire</li> <li>• Critères d'acceptabilité et de reproductibilité non contraignants</li> <li>• Peu d'effet apprentissage</li> </ul>
	Examen plus long que l'oscillométrie	Examen rapide

AX : aire sous la courbe ; CVF : Capacité Vitale Forcée ; DEM25-75 : Débit Expiratoire Moyen entre 25 et 75% de la CVF ; DEP : Débit Expiratoire de Pointe ; f<sub>res</sub> : fréquence de résonance ; GLI : Global Lung Initiative ; R5 : résistance à 5 Hz ; R20 : résistance à 20 Hz ; R5-20 : différence entre la résistance à 5 Hz et la résistance à 20 Hz ; TVO : Trouble Ventilatoire Obstructif ; TVR : Trouble Ventilatoire Restrictif ; VEMS : Volume Expiré Maximal pendant la 1ère Seconde ; X5 : réactance à 5 Hz.

### 3 Objectifs

L'objectif principal de la thèse est d'évaluer la faisabilité de l'étude FOTSCOM. Pour rappel, l'étude FOTSCOM a pour objectif d'évaluer la capacité prédictive diagnostique des paramètres d'oscillométrie pour prédire un trouble ventilatoire obstructif. Cela pourrait permettre de prescrire cet examen en première intention et ainsi améliorer et faciliter le suivi respiratoire des travailleurs.

Les objectifs secondaires de la thèse sont d'évaluer la capacité prédictive diagnostique de la résistance à 5 Hertz, de la réactance à 5 Hertz, de l'aire sous la courbe, de la fréquence de résonance et de la différence entre la résistance à 5 Hertz et la résistance à 20 Hertz pour prédire un trouble ventilatoire obstructif, défini en spirométrie par un rapport de Tiffeneau strictement inférieur à -1,645 z-score.

# Matériel et Méthodes

Nous avons réalisé une étude transversale, observationnelle et monocentrique au sein du service de Médecine du Travail du Personnel Hospitalier (MTPH) du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Lille du 8 janvier au 27 juin 2024.

## 1 Population étudiée

### 1.1 Pour l'étude de faisabilité

Les critères d'inclusion de l'étude étaient :

- Être un homme ou une femme âgé(e) de 18 ans ou plus.
- Être un sujet actif occupé ayant actuellement un emploi et un suivi dans un service de prévention et de santé au travail.
- Présenter des signes fonctionnels respiratoires (une toux et/ou une dyspnée et/ou des expectorations et/ou des sifflements) et/ou nécessiter un suivi de la fonction respiratoire (exposition à des aérocontaminants, tabagisme, port d'appareil respiratoire isolant...).

Les agents présentant l'une des contre-indications relatives à la réalisation de la spirométrie mentionnées dans la recommandation internationale de l'American Thoracic Society (ATS) et de l'European Respiratory Society (ERS) de 2019 (ATS/ERS-2019) (10) ne pouvaient être inclus dans l'étude.

Ces contre-indications sont :

- Avoir été pris en charge pour un infarctus du myocarde il y a moins d'une semaine.
- Avoir été pris en charge pour un pneumothorax il y a moins de deux semaines.
- Avoir eu une chirurgie thoracique, abdominale ou cérébrale il y a moins d'un mois.

- Avoir eu une chirurgie de l'œil, des sinus ou de l'oreille moyenne il y a moins d'une semaine.
- Avoir un anévrisme cérébral.
- Être actuellement suivi pour de l'hypertension artérielle sévère.
- Être actuellement suivi pour de l'hypertension artérielle pulmonaire non contrôlée.
- Être actuellement suivi pour de l'hypotension (hors hypotension orthostatique).
- Être actuellement suivi pour de l'arythmie auriculaire ou ventriculaire non équilibrée.
- Être actuellement suivi pour une insuffisance cardiaque décompensée.
- Avoir actuellement des douleurs thoraciques ou abdominales en lien avec un évènement de santé récent (opération, pathologie, traumatisme).
- Avoir actuellement une infection virale ou bactérienne respiratoire (bronchite, tuberculose, covid, grippe...) et/ou ORL (rhinopharyngite, sinusite...).
- Être actuellement enceinte et dans le troisième trimestre de grossesse.
- Avoir déjà fait une syncope en lien avec une expiration forcée ou un effort de toux.
- Cracher du sang.
- Avoir pris un bronchodilatateur à courte durée d'action il y a moins d'une heure.

## 1.2 Pour l'étude FOTSCOM

L'étude FOTSCOM reprendra les mêmes critères d'inclusion hormis le critère d'âge, modifié dans l'étude de faisabilité afin de faciliter le recrutement.

Dans l'étude FOTSCOM, nous inclurons uniquement les travailleurs âgés de 40 ans et plus.

## 2 Déroulement de l'étude

### 2.1 Pour l'étude de faisabilité

Nous avons suivi une procédure opérationnelle détaillée pour réaliser l'étude. La procédure est disponible en annexe 1.

#### 2.1.1 Vacations

Afin de pouvoir réaliser cette étude, le service de MTPH a créé deux vacations dédiées à la réalisation d'épreuves fonctionnelles respiratoires, les lundis et jeudis matin de 8h15 à 12h00.

Ces vacations étaient assurées par une infirmière du service de MTPH, formée à la spirométrie et ayant travaillé de nombreuses années dans le service des EFR pédiatriques du CHU de Lille, et par une interne en médecine du travail, présente selon les contraintes organisationnelles de ses terrains de stage.

#### 2.1.2 Rôles de l'interne et de l'infirmière

L'interne avait pour mission, avant les examens, d'expliquer l'objectif de l'étude, de recueillir le consentement oral du travailleur, de s'assurer de l'absence de contre-indications à la réalisation de la spirométrie et de compléter les questionnaires, durant les examens, de chronométrier la réalisation de chaque examen et, à la fin des examens, d'expliquer le résultat de la spirométrie à l'agent et de finaliser le questionnaire.

L'infirmière avait pour mission d'expliquer le déroulé des examens, de les faire réaliser et de compléter une partie du questionnaire.

Conjointement, l'interne et l'infirmière s'assuraient du respect des critères d'acceptabilité et de reproductibilité des mesures.

Lorsque l'interne n'était pas présente, l'infirmière se chargeait de la totalité des tâches.

### **2.1.3 Prêt du matériel et formation**

Les appareils de spirométrie et d'oscillométrie nous ont été prêtés par une société de dispositifs médicaux qui a assuré l'installation et la formation à l'utilisation des logiciels.

### **2.1.4 Inclusion des agents**

Lors des consultations, les médecins du travail du service de MTPH, souhaitant contribuer à cette étude, proposaient aux agents répondant aux critères d'inclusion d'y participer. En fonction de leurs disponibilités et des créneaux d'EFR disponibles, les agents réalisaient l'examen à la suite de la consultation ou ultérieurement. Les médecins prescripteurs remplissaient un formulaire reprenant l'identité de l'agent, son poids, sa taille, son poste de travail, ainsi que l'indication à la réalisation d'EFR (annexe 2).

### **2.1.5 Questionnaires**

Le questionnaire contient deux parties : une partie à remplir avec le travailleur et une partie à remplir par l'opérateur.

#### ***2.1.5.1 A destination des travailleurs***

Les participants ont répondu à un hétéro-questionnaire (annexe 3) composé de plusieurs parties, comprenant :

- Les caractéristiques générales : date de naissance, sexe de naissance, poids, taille, motif d'inclusion.
- Les antécédents pulmonaires et les traitements à visée respiratoire.

- Le tabagisme : le statut tabagique et la quantification de la consommation.

Afin de définir le statut tabagique nous avons utilisé les définitions de recommandations internationales (29–31) qui sont :

- Fumeur : personne ayant fumé plus de 100 cigarettes au cours de sa vie et ayant fumé au cours des 30 derniers jours.
  - Ex-fumeur : personne ayant fumé plus de 100 cigarettes au cours de sa vie et ayant arrêté il y a plus de 30 jours.
  - Non-fumeur : personne ayant fumé moins de 100 cigarettes au cours de sa vie.
- La consommation de cannabis. Afin de définir la consommation de cannabis , nous avons utilisé la définition de l'Observatoire Français des Drogues et des Tendances addictives (OFDT)(32) qui est :
    - Expérimentateur : personne ayant consommé du cannabis au moins une fois au cours de sa vie.
    - Consommateur occasionnel : personne ayant consommé du cannabis au moins une fois dans l'année.
    - Consommateur régulier : personne consommant du cannabis au moins 10 fois par mois.
    - Consommateur quotidien.  - La présence de signes fonctionnels respiratoires et ORL : dyspnée (échelle mMRC), toux, expectorations, infection respiratoire, sifflements, antécédent de crise d'asthme, présence de signes fonctionnels respiratoires la nuit, signes de rhinite allergique.
  - Les caractéristiques environnementales du lieu d'habitation : proximité d'un axe routier à forte fréquentation, zone urbaine.

- L'ensemble du cursus professionnel. Nous avons associé, a posteriori, chaque profession à son code de la nomenclature des Professions et Catégories Socioprofessionnelles des Emplois Salariés des Employeurs privés et publics de 2017 (PCS-ESE 2017) ainsi que chaque entreprise à son code de la Nomenclature d'Activités Française, révision 2 (NAF rév.2).
- L'évaluation des examens. Une fois les examens réalisés, les participants étaient invités à évaluer simplement chaque examen à l'aide d'une échelle numérique et à choisir celui qu'ils avaient préféré.

Les participants ont également répondu au questionnaire CAT (COPD Assessment Test) (annexe 4), un auto-questionnaire validé, court et simple composé de 8 questions, utilisé habituellement chez les patients atteints de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) pour évaluer l'impact de la BPCO sur leur santé, leur bien-être et leur qualité de vie (33).

#### *2.1.5.2 A destination de l'opérateur*

Tout comme le travailleur, l'opérateur était invité à évaluer chaque examen à l'aide d'une échelle numérique et à choisir l'examen qu'il avait préféré. Il devait également indiquer s'il avait rencontré des difficultés techniques pour la préparation des examens ou lors de leurs réalisations, le nombre de mesures effectuées pour chaque examen, le temps consacré à la réalisation de chaque examen ainsi que l'interprétabilité des examens.

#### **2.1.6 Explorations fonctionnelles respiratoires**

Après avoir complété les questionnaires, les participants réalisaient les explorations fonctionnelles respiratoires comprenant les oscillations forcées et la spirométrie.

Conformément aux recommandations de l'ERS de 2020 (11), les mesures des résistances par oscillations forcées étaient systématiquement réalisées avant la spirométrie.

#### *2.1.6.1 Oscillométrie*

Les mesures des résistances par oscillations forcées ont été réalisées avec l'appareil Tremoflo® C-100 conformément à la recommandation internationale de l'ERS de 2020 (11). L'appareil était étalonné quotidiennement avec une charge de test d'impédance.

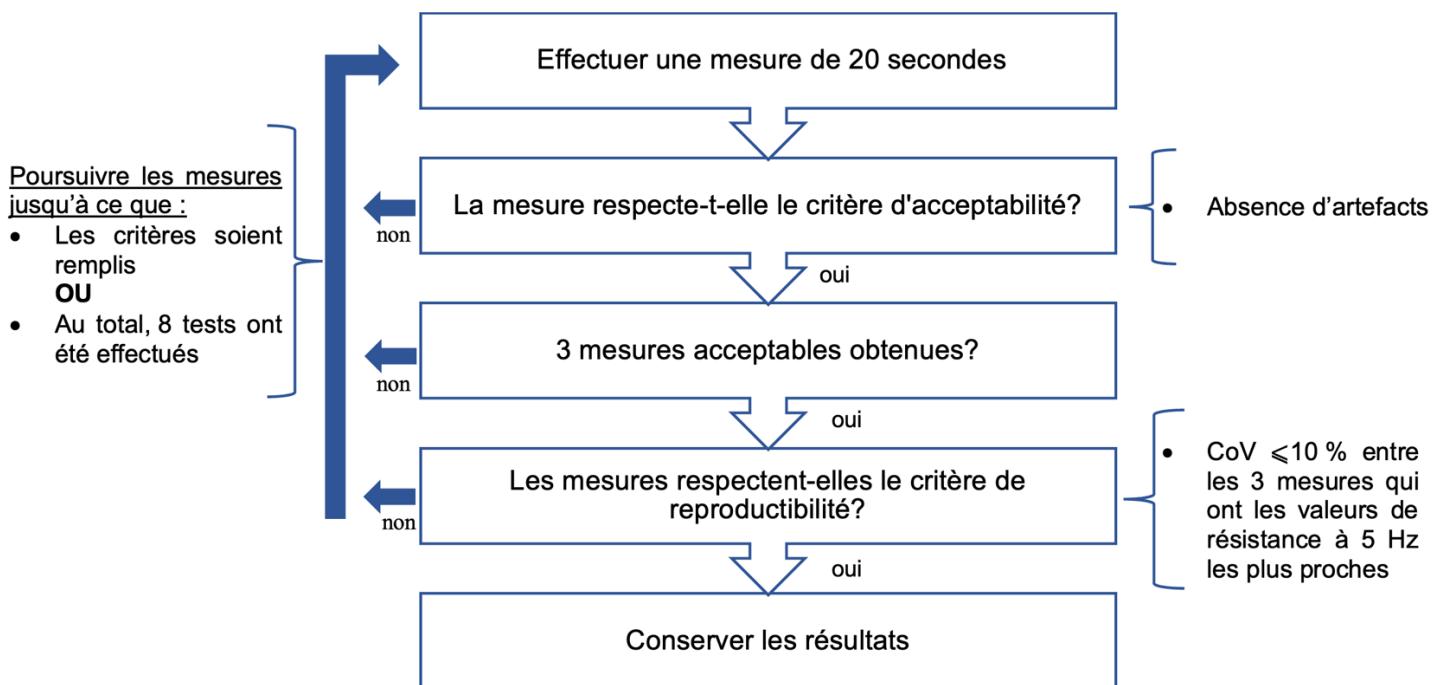


*Figure 6 Tremoflo® C-100*

Chaque examen impliquait un minimum de 3 mesures de 20 secondes chacune avec un maximum de 8 mesures en fonction du respect des critères d'acceptabilité et de reproductibilité :

- Le critère d'acceptabilité était défini par l'absence d'artefacts (toux, déglutition, fuite ou obstruction de l'embout buccal pendant la manœuvre).
- Le critère de reproductibilité était déterminé par un coefficient de variation (CoV) inférieur ou égal à 10 % entre les 3 mesures qui avaient les valeurs de résistance à 5 Hertz les plus proches.

L'algorithme suivi dans notre étude est présenté ci-dessous :



**Figure 7** Algorithme de réalisation d'un examen d'oscillométrie

Lors de l'examen, les artefacts étaient visualisés sur les courbes de volume, débit et pression en fonction du temps (annexe 5). Le coefficient de variation était calculé automatiquement à la fin de chaque mesure.

Les paramètres mesurés par le Tremoflo® C-100 comprenaient :

- Les résistances (R) aux fréquences de 5, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31 et 37 Hertz ainsi que ses composantes inspiratoires et expiratoires.
- Les réactances (X) aux fréquences de 5, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31 et 37 Hertz ainsi que ses composantes inspiratoires et expiratoires.
- La différence de résistance entre 5 et 20 Hertz (R5-20).
- La différence de résistance entre 5 et 19 Hertz (R5-19) ainsi que sa composante inspiratoire et expiratoire.
- L'aire sous la courbe à partir de 5 Hertz (AX5).

- La fréquence de résonance (fres).

Les résultats étaient exprimés en valeur absolue et, pour certains, également en pourcentage de la valeur théorique et en z-score.

#### 2.1.6.2 Spirométrie

Les mesures spirométriques ont été réalisées avec le spiromètre NDD Easy on-PC® conformément aux recommandations de l'ATS/ERS de 2019 (10). Aucun étalonnage n'était requis pour cet appareil selon le constructeur.



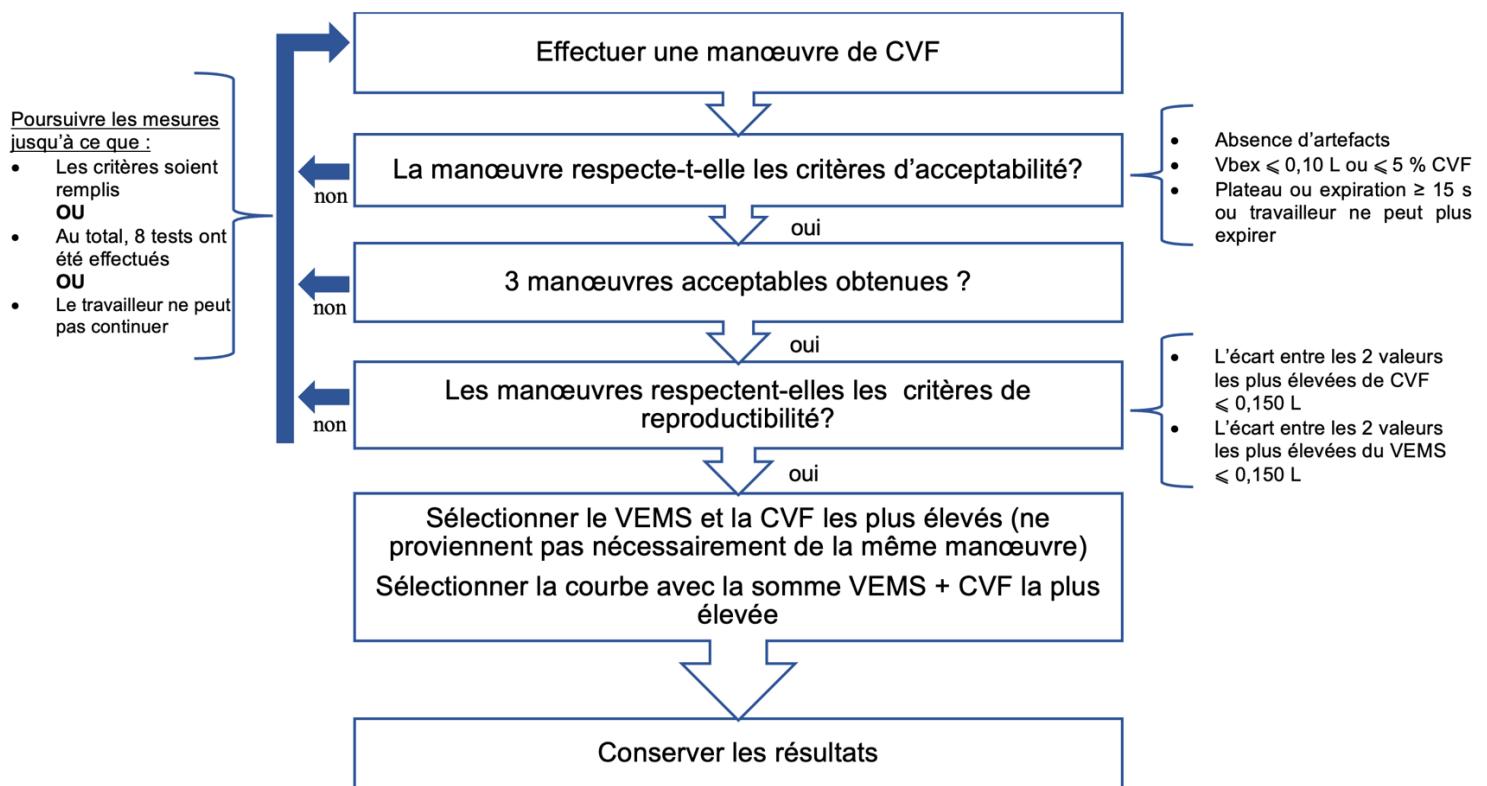
*Figure 8 NDD Easy on-PC®*

Tout comme l'oscillométrie, chaque session de mesure impliquait un minimum de 3 mesures avec un maximum de 8 mesures en fonction du respect des critères d'acceptabilité et de reproductibilité.

- Les critères d'acceptabilité étaient :
  - L'absence d'artefacts (toux pendant la première seconde de l'expiration, fermeture de la glotte, arrêt prématuré, effort sous-maximal pendant toute la manœuvre, fuite et obstruction de l'embout buccal).
  - Un bon départ, défini par un volume extrapolé  $\leq 5\%$  de la CVF, ou  $\leq 0,10\text{ L}$ .

- Une expiration satisfaisante (expiration de plus de 15 secondes ou un plateau de la courbe volume-temps ou l'impossibilité de poursuivre l'expiration par le participant).
- Les critères de reproductibilité étaient :
  - Un écart entre les deux valeurs les plus élevées de la CVF  $\leq 0,150$  L.
  - Un écart entre les deux valeurs les plus élevées du VEMS  $\leq 0,150$  L.

L'algorithme suivi dans notre étude est présenté ci-dessous :



**Figure 9** Algorithme de réalisation d'un examen de spirométrie

Lors de l'examen, la courbe volume-temps et la courbe débit-volume apparaissaient à l'écran (annexe 7). Le logiciel sélectionnait automatiquement les manœuvres répondant aux critères d'acceptabilité et de reproductibilité, avec possibilité de les sélectionner manuellement.

Les paramètres mesurés par le spiromètre comprenaient le VEMS, la CVF, le rapport VEMS/CVF, le DEM25-75 et le DEP.

Les résultats étaient exprimés en valeur absolue, pourcentage de la théorique et z-score pour certains.

#### **2.1.6.3 *Résultats des examens***

A l'issue des examens, le résultat de la spirométrie était remis et expliqué à l'agent, un exemplaire était également transmis au médecin prescripteur et conservé dans le dossier médical de santé au travail. L'oscillométrie n'étant pas un examen validé en santé au travail, le résultat n'était ni communiqué à l'agent, ni au médecin prescripteur, ni conservé dans le dossier médical.

## **2.2 Pour l'étude FOTSCOM**

L'étude FOTSCOM se déroulera de manière similaire.

Dans chaque centre, un médecin référent sera désigné et se chargera d'inclure les travailleurs, et un infirmier se chargera de réaliser les explorations fonctionnelles respiratoires. Selon l'organisation propre à chaque centre, les travailleurs seront reconvoqués ou réaliseront les examens immédiatement après leur visite, de plus, le questionnaire sera complété par le médecin référent ou par l'infirmier.

Par ailleurs, conformément aux règlementations dans le cadre de recherches impliquant la personne humaine, les travailleurs recevront en plus de l'explication orale une note d'information.

## 3 Interprétation des résultats

### 3.1 Normes utilisées

#### 3.1.1 Oscillométrie

Nous avons utilisé les équations d'Oostveen (19) afin de définir les valeurs de référence des paramètres d'oscillométrie. Ces équations fournissent des normes pour les paramètres suivants :

- La résistance (R) pour les fréquences de 4 à 26 Hertz hormis les fréquences 7, 9, 11, 13, 17, 19, 21, 23, 25.
- La réactance (X) pour les fréquences de 4 à 14 Hertz hormis les fréquences 7, 9, 11, 13.
- La fréquence de résonance (fres).
- L'aire sous la courbe (AX) à partir de 4 et de 5 Hertz.

#### 3.1.2 Spirométrie

Nous avons utilisé les normes GLI 2012, disponibles sur l'appareil, afin de définir les valeurs théoriques. Ces normes sont disponibles pour le VEMS, la CVF, le rapport VEMS/CVF et le DEM 25-75.

### 3.2 Définitions des troubles ventilatoires

Afin de suivre les recommandations ATS/ERS (11,34), nous avons choisi d'interpréter les données d'oscillométrie et de spirométrie selon le z-score.

### 3.2.1 Oscillométrie

- Une anomalie des résistances (R), de l'aire sous la courbe (AX), de la fréquence de résonance (fres) et de la différence entre la résistance à 5 Hertz et la résistance à 20 Hertz (R5-20) est définie par un z-score strictement supérieur à 1,645.
- Une anomalie de la réactance (X) est définie par un z-score strictement inférieur à -1,645.

### 3.2.2 Spirométrie

- Un trouble ventilatoire obstructif est défini par un z-score du rapport de Tiffeneau strictement inférieur à -1,645.
- Une atteinte des petites voies aériennes est définie par z-score du DEM25-75 strictement inférieur à -1,645.
- Une suspicion de trouble ventilatoire restrictif est définie par une diminution harmonieuse du VEMS et de la CVF avec un z-score strictement inférieur à -1,645.

## 4 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R (version 4.4.1).

### 4.1 Import des données de l'analyse dans R

Pour alimenter le logiciel R, nous avons :

1. Reporté les réponses des questionnaires dans un formulaire électronique spécialement conçu pour l'étude sur le logiciel Epidata (v.4.6.0.6). Ce formulaire électronique a permis de limiter le risque d'erreur lors de la saisie des réponses.
2. Exporté ces données sur Excel.
3. Exporté les données d'oscillométrie et de spirométrie des logiciels sur Excel.

4. Exporté l'ensemble de la base de données d'Excel sur R.

## 4.2 Analyses statistiques

La normalité de distribution des variables quantitatives a été vérifiée à l'aide d'histogrammes et de courbes de densité. La distribution de ces variables ne respectant pas la loi normale, nous les avons exprimées en médiane et 1<sup>er</sup> quartile (Q1) et 3<sup>ème</sup> quartile (Q3) et avons utilisé le test statistique non paramétrique de Wilcoxon lors des comparaisons.

Nous avons exprimé les variables qualitatives en pourcentage avec leurs fréquences.

Pour ces variables, nous avons utilisé le test de Chi-2 et, lorsque les conditions de validité de ce dernier n'étaient pas remplies, le test exact de Fisher.

La significativité statistique de l'ensemble des tests est définie par un p strictement inférieur à 0,05.

Le Tremoflo® fournit de nombreux paramètres avec leurs z-scores pour lesquels il n'existe pas d'équation selon Oostveen (R11, R13, R17, R19, R23, X11, X13), des paramètres sans leurs z-scores pour lesquels il existe des équations selon Oostveen (fres, AX), et des paramètres avec leurs z-scores pour lesquels il existe des équations selon Oostveen (R5 et AX5), nous avons donc :

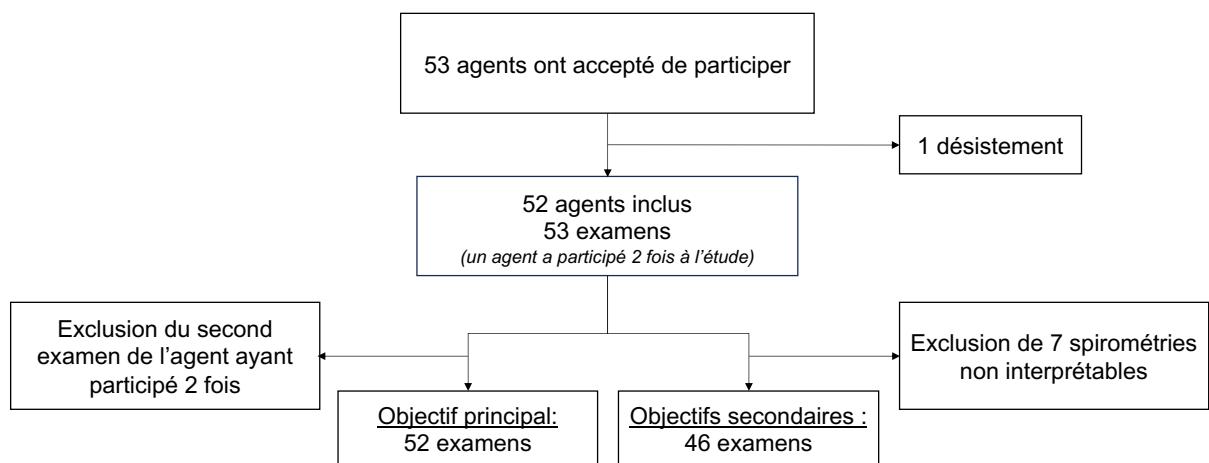
- Calculé les valeurs prédites et les z-scores de la fréquence de résonance (fres) et de l'aire sous la courbe (AX5) selon les équations d'Oostveen.
- Calculé les valeurs prédites et les z-scores de la résistance à 5 Hertz (R5) et de la réactance à 5 Hertz (X5) afin de nous assurer que le Tremoflo® utilisait bien les équations d'Oostveen pour ces paramètres.

En utilisant comme seuil le z-score à +/- 1,645 pour définir une altération des paramètres d'oscillométrie, nous avons calculé la sensibilité, la spécificité, la valeur prédictive positive et la valeur prédictive négative de la résistance à 5 Hertz (R5), de la réactance à 5 Hertz (X5), de l'aire sous la courbe (AX) et de la fréquence de résonance (fres) pour dépister un TVO.

Nous avons ensuite analysé les courbes ROC de chacun de ces paramètres en utilisant d'une part, le z-score et, d'autre part, une valeur fixe pour définir une altération des paramètres d'oscillométrie. A l'aide d'une courbe ROC, nous avons également étudié les performances diagnostiques de R5-20 pour dépister un TVO en utilisant une valeur fixe. Enfin, nous avons défini, grâce à l'indice de Youden, le seuil optimal des z-scores et des valeurs fixes de l'ensemble de ces paramètres pour dépister un TVO.

# Résultats

La population permettant de répondre à l'objectif principal était différente de celle permettant de répondre aux objectifs secondaires (figure 10).



**Figure 10** Flow chart présentant la population étudiée en fonction de l'objectif de l'étude

## 1 Objectif principal : faisabilité de l'étude FOTSCOM

### 1.1 Caractéristiques des participants

Du 8 janvier 2024 au 27 juin 2024, nous avons réalisé 41 vacations qui ont permis d'inclure 52 agents.

À noter que l'un des agents, ayant rendu un résultat de spirométrie ininterprétable, a participé deux fois à l'étude, seule sa première participation sera prise en compte dans l'étude de faisabilité.

Parmi les 52 agents inclus, 30 sont des femmes (57,7 %), l'âge médian est de 42,6 ans. Ils étaient 21 (40,4 %) à avoir déjà réalisé au moins une fois une spirométrie. Pour 13 (61,9 %) d'entre eux le résultat de leur dernière spirométrie était normal, pour 3

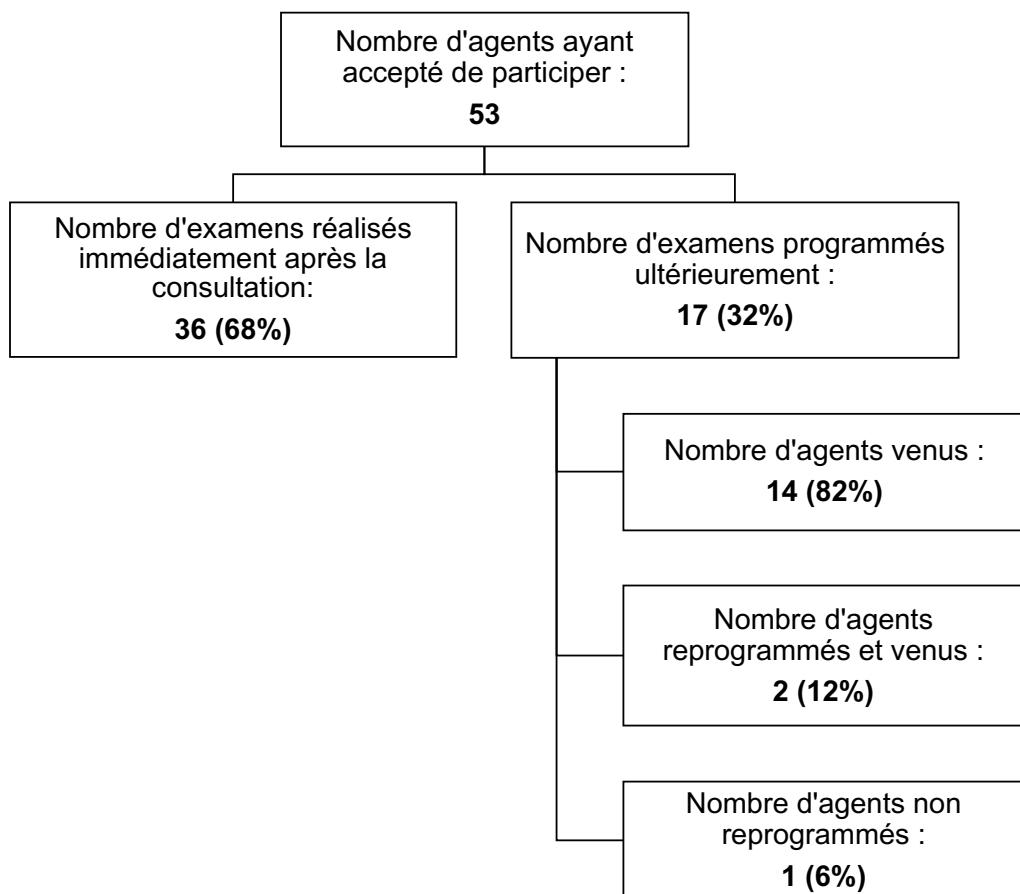
(14,3 %) d'entre eux le résultat était pathologique et 5 (23,8 %) d'entre eux ne connaissaient pas le résultat.

Aucun agent n'avait réalisé d'oscillométrie antérieurement.

## 1.2 Recrutement

Les 41 vacations nous ont permis d'atteindre notre objectif d'inclusion qui était d'une cinquantaine d'agents.

La figure ci-dessous synthétise le parcours de recrutement des agents. Quatre-vingt-dix-huit pourcents des agents ayant accepté de participer à l'étude ont été inclus, soit 52 agents. Seul un agent, n'ayant pas honoré son rendez-vous, n'a pu être reprogrammé, faute de créneau d'EFR compatible avec son emploi du temps.



**Figure 11** Parcours de recrutement des agents

### **1.3 Procédure opérationnelle**

Nous n'avons pas rencontré de difficulté à appliquer la procédure opérationnelle qui était suffisamment détaillée et n'avons pas eu à la modifier en cours d'étude.

### **1.4 Questionnaires**

Concernant l'hétéro-questionnaire, nous n'avons pas rencontré de difficulté pour le remplir hormis pour les questions n°25, 26, 28 que nous avons dû reformuler en début d'étude car les questions ne nous paraissaient pas claires. Le temps alloué à remplir le questionnaire était de 5 à 15 minutes et dépendait principalement du cursus professionnel des agents. Le questionnaire a bien été accueilli par les agents.

Le questionnaire CAT a été rajouté en début d'étude afin d'évaluer le retentissement des potentiels TVO et altérations des FOT sur la santé et la qualité de vie des participants. Certains participants ont rencontré des difficultés à remplir ce questionnaire (mauvaise compréhension de l'échelle de 0 à 5) malgré les explications écrites et orales.

### **1.5 Examens**

#### **1.5.1 Temps**

Le tableau 2 montre que la réalisation des oscillations forcées est significativement plus rapide que la spirométrie avec un temps médian de 2 minutes et 59 secondes contre 5 minutes et 30 secondes pour la spirométrie. Cela s'explique par le nombre médian de mesures qui est significativement moins important pour les oscillations forcées avec 4 mesures par examen contre 6,5 pour la spirométrie, ainsi que par le temps de récupération plus court entre chaque mesure. Les agents ayant déjà effectué une spirométrie réalisaient significativement moins de courbes que les agents n'ayant

jamais soufflé, cependant la durée de l'examen n'était pas significativement plus rapide.

## 1.5.2 Évaluation des examens

### 1.5.2.1 *Par le participant*

Il n'y a pas de différence significative dans la compréhension des consignes des deux examens, globalement aucune difficulté de compréhension n'a été signalée.

En ce qui concerne la réalisation des examens, la méthode des oscillations forcées a obtenu une note significativement meilleure que la spirométrie. Les principales difficultés rapportées, concernant la spirométrie, sont de « souffler fort » et de « tenir l'expiration ».

L'examen préféré des travailleurs est à 78,8 % la méthode des oscillations forcées qu'ils jugent plus simple comparativement à la spirométrie. Les agents préférant la spirométrie (15,4 %) apprécient son côté ludique et participatif.

Pour tous ces indicateurs, il n'y a pas de différence significative entre les agents ayant déjà effectué la spirométrie et ceux qui l'effectuaient pour la première fois.

### 1.5.2.2 *Par l'opérateur*

#### 1.5.2.2.1 Difficultés techniques rencontrées avec les appareils

L'opérateur n'a pas rencontré de difficulté technique avec les appareils. Les deux logiciels étant intuitifs, nous n'avons rencontré aucune difficulté à les utiliser.

#### 1.5.2.2.2 Difficultés pour l'explication et la réalisation de l'examen

L'opérateur n'a pas rencontré de difficulté pour expliquer les consignes aux participants ni pour leur faire réaliser les examens. On note tout de même une

différence significative de note entre la spirométrie et l'oscillométrie pour la réalisation des examens, l'oscillométrie obtient une meilleure note.

Il n'y a pas de différence significative de note entre les agents ayant déjà réalisé une spirométrie et ceux n'en ayant jamais réalisé.

L'examen préféré de l'opérateur est également les oscillations forcées (38,5 %) qu'il juge plus rapide.

### **1.5.3 Effets indésirables**

#### *1.5.3.1 Oscillométrie*

Un participant a présenté des nausées après avoir effectué l'oscillométrie.

#### *1.5.3.2 Spirométrie*

Un participant a présenté de légers signes cliniques d'hyperréactivité bronchique en réalisant les mesures de spirométrie, nous avons donc préféré interrompre l'examen.

## **1.6 Temps par inclusion**

Nous n'avons pas chronométré le temps passé avec chaque participant, mais nous estimons avoir passé en moyenne 30 minutes par agent. Ce temps comprend l'explication de l'étude, les questionnaires, l'explication des examens ainsi que leurs réalisations et l'explication du résultat de la spirométrie.

**Tableau 2** Comparaison des examens en fonction de la réalisation antérieure de spirométrie

		Spirométrie déjà réalisée antérieurement		P-value	Total (n=52)	P-value
		Non (n = 31)	Oui (n = 21)			
<b>Sexe</b>	<b>Féminin</b>	18 (58.1%)	12 (57.1%)	0.9474 §	30 (57.7%)	
Âge (années)		43.6 [35.0 ; 52.2]	39.6 [32.5 ; 53.5]	0.8389	42.6 [33.7 ; 52.5]	
<b>Temps (minutes, secondes)</b>	<b>FOT</b>	3.04 [2.33 ; 3.29]	2.39 [1.57 ; 3.58]	0.3229	2.59 [2.09 ; 3.33]	< 0,00001
	<b>Spirométrie</b>	5.37 [4.29 ; 7.12]	4.43 [3.04 ; 7.34]	0.2254	5.30 [3.53 ; 7.20]	
<b>Nombre de mesures</b>	<b>FOT</b>	4.00 [3.00 ; 5.00]	4.00 [3.00 ; 4.00]	0.2802	4.00 [3.00 ; 4.25]	< 0,00001
	<b>Spirométrie</b>	8.00 [5.00 ; 8.00]	5.00 [4.00 ; 7.00]	<b>0.01156</b>	6.50 [4.00 ; 8.00]	
<b>Note de l'agent pour la compréhension de la réalisation de l'examen</b>	<b>FOT</b>	10.0 [10.0 ; 10.0]	10.0 [10.0 ; 10.0]	0.7996	10.0 [10.0 ; 10.0]	0.2652
	<b>Spirométrie</b>	10.0 [10.0 ; 10.0]	10.0 [10.0 ; 10.0]	0.3524	10.0 [10.0 ; 10.0]	
<b>Note de l'agent pour la réalisation de l'examen</b>	<b>FOT</b>	10.0 [10.0 ; 10.0]	10.0 [10.0 ; 10.0]	0.3329	10.0 [10.0 ; 10.0]	< 0,00001
	<b>Spirométrie</b>	8.00 [7.00 ; 10.0]	9.00 [8.00 ; 10.0]	0.513	8.00 [7.00 ; 10.0]	
<b>Examen préféré de l'agent</b>	<b>FOT</b>	26 (83.9%)	15 (71.4%)	0.576	41 (78.8%)	
	<b>Spirométrie</b>	4 (12.9%)	4 (19.0%)		8 (15.4%)	
	<b>Indifférent</b>	1 (3.2%)	2 (9.5%)		3 (5.8%)	
<b>Difficultés techniques rencontrées par l'opérateur</b>	<b>FOT</b> Oui	1 (3.2%)	0 (0%)	1	1 (1.9%)	
	Non	30 (96.8%)	20 (95.2%)		50 (96.2%)	
	<b>Données manquantes</b>	0 (0%)	1 (4.8%)		1 (1.9%)	
	<b>Spirométrie</b>					
	Non	31 (100%)	20 (95.2%)		51 (98.1%)	
<b>Note de l'opérateur pour faire comprendre la réalisation de l'examen</b>	<b>Données manquantes</b>	0 (0%)	1 (4.8%)		1 (1.9%)	
	<b>FOT</b>	10.0 [10.0 ; 10.0]	10.0 [10.0 ; 10.0]	£	10.0 [10.0 ; 10.0]	0.3711
<b>Note de l'opérateur pour faire réaliser l'examen</b>	<b>Spirométrie</b>	10.0 [10.0 ; 10.0]	10.0 [10.0 ; 10.0]	0.7963	10.0 [10.0 ; 10.0]	
	<b>FOT</b>	10.0 [10.0 ; 10.0]	10.0 [10.0 ; 10.0]	£	10.0 [10.0 ; 10.0]	0.01356
<b>Examen préféré de l'opérateur</b>	<b>Spirométrie</b>	10.0 [10.0 ; 10.0]	10.0 [9.75 ; 10.0]	0.1899	10.0 [10.0 ; 10.0]	
	<b>FOT</b>	15 (48.4%)	5 (23.8%)	0.1191	20 (38.5%)	
	<b>Spirométrie</b>	7 (22.6%)	10 (47.6%)		17 (32.7%)	
	<b>Indifférent</b>	9 (29.0%)	5 (23.8%)		14 (26.9%)	
	<b>Données manquantes</b>	0 (0%)	1 (4.8%)		1 (1.9%)	

Données présentées comme médiane [1er ; 3ème quartile] ou n (%)

FOT: Forced Oscillation Technique ; Note : ./10.

Les tests statistiques sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives, des tests de Fisher pour les variables qualitatives, sauf si §, il s'agit de tests du Chi-2.

£ : pas de test car les résultats sont strictement identiques entre les 2 catégories.

## 2 Objectifs secondaires : Prédiction d'un TVO

### 2.1 Caractéristiques des participants

#### 2.1.1 Population

Parmi les 53 examens, sept spirométries n'étaient pas interprétables en raison des critères d'acceptabilité et/ou de reproductibilité non remplis. Plus précisément, une spirométrie ne respectait pas les critères de reproductibilité et six spirométries ne respectaient pas les critères d'acceptabilité. En effet, bien que les agents aient compris en théorie comment réaliser les examens, la pratique s'est révélée plus complexe rendant les examens ininterprétables. À titre d'exemple, ces agents obstruaient l'embout buccal avec leur langue, toussaient en début d'expiration, réalisaient un effort sous maximal ou n'arrivaient pas à maintenir l'expiration.

Parmi les 46 spirométries interprétables, toutes les oscillométries l'étaient également. L'analyse statistique des objectifs secondaires portera donc sur 46 sujets.

À noter que nous ne constatons pas de différence significative des caractéristiques entre les sujets inclus et exclus hormis pour les motifs d'inclusion (annexe 9).

#### 2.1.2 Caractéristiques générales de la population

Les caractéristiques générales de la population sont représentées dans le tableau 3.

Parmi les 46 agents inclus, 25 (54.3 %) sont des femmes, l'âge médian est de 42,8 ans.

Les agents pouvaient avoir plusieurs motifs d'inclusion. Les deux principaux motifs d'inclusion sont le tabagisme et la présence de signes fonctionnels respiratoires. Les deux agents inclus en raison d'une exposition professionnelle étaient exposés au

milieu hyperbare. Les agents ayant pour motif d'inclusion « autre » étaient inclus en raison d'antécédent de pathologie respiratoire ou de pathologie pouvant affecter la fonction respiratoire.

Les professions et catégories socioprofessionnelles les plus représentées sont les agents de service hospitaliers (30,4 %), les aides-soignants (19,6 %) et les infirmiers (15,2 %).

En spirométrie, 9 (19,6 %) agents présentaient un trouble ventilatoire obstructif, 10 (21,7 %) une atteinte des petites voies respiratoires et 1 (2 %) une suspicion de trouble ventilatoire restrictif. On ne note pas de différence significative des caractéristiques entre les sujets présentant un TVO et ceux n'en ayant pas. Les sujets ayant un TVO avaient significativement plus d'altération des petites voies respiratoires, 77,8 % d'entre eux étaient concernés (avec une capacité vitale conservée) contre 8,1 % pour les participants n'ayant pas de TVO.

**Tableau 3 Caractéristiques générales de la population selon la présence d'un Trouble Ventilatoire Obstructif**

		TVO	Total (n = 46)	P-value
		Oui (n = 9)	Non (n = 37)	
<b>Sexe féminin</b>		5 (55.6%)	20 (54.1%)	25 (54.3%)
<b>Âge (années)</b>		47.3 [40.3 ; 53.5]	42.6 [31.8 ; 52.2]	42.8 [33.9 ; 52.7]
<b>Taille (cm)</b>		172 [163 ; 179]	170 [164 ; 178]	170 [163 ; 179]
<b>Poids (kg)</b>		77.0 [58.0 ; 89.0]	83.0 [67.0 ; 92.0]	81.0 [64.8 ; 90.0]
<b>IMC (kg.m<sup>2</sup>)</b>		26.3 [22.7 ; 28.1]	27.1 [23.2 ; 32.4]	26.8 [23.2 ; 32.2]
<b>Catégories d'IMC</b>	<b>Sous la normale (&lt; 18.5)</b>	1 (11.1%)	2 (5.4%)	3 (6.5%)
	<b>Normal (18.5-25)</b>	3 (33.3%)	12 (32.4%)	15 (32.6%)
	<b>Surpoids (&gt;= 25)</b>	4 (44.4%)	11 (29.7%)	15 (32.6%)
	<b>Obésité (&gt;= 30)</b>	1 (11.1%)	12 (32.4%)	13 (28.3%)
<b>Score questionnaire CAT</b>		6.00 [4.00 ; 10.0]	8.00 [5.00 ; 13.5]	7.50 [4.75 ; 13.0]
<b>Statut tabagique</b>	<b>Fumeur</b>	5 (55.6%)	14 (37.8%)	19 (41.3%)
	<b>Ex-fumeur</b>	3 (33.3%)	10 (27.0%)	13 (28.3%)
	<b>Non-fumeur</b>	1 (11.1%)	13 (35.1%)	14 (30.4%)
<b>Paquets-années <sup>†</sup></b>		8.85 [4.70 ; 34.3]	10.9 [7.50 ; 18.8]	10.5 [6.90 ; 19.1]
<b>Cigarette électronique</b>	<b>Oui</b>	3 (33.3%)	7 (18.9%)	10 (21.7%)
	<b>Non</b>	6 (66.7%)	27 (73.0%)	33 (71.7%)
	<b>Données manquantes</b>	0 (0%)	3 (8.1%)	3 (6.5%)
<b>Cannabis</b>				
<b>Non consommateur</b>		5 (55.6%)	22 (59.5%)	27 (58.7%)
<b>Consommateur <sup>‡</sup></b>	<b>Experimentateur</b>	3 (75.0%)	3 (20.0%)	6 (31.6%)
	<b>Consommateur occasionnel</b>	0 (0%)	9 (60.0%)	9 (47.4%)
	<b>Consommateur régulier</b>	1 (25.0%)	1 (6.7%)	2 (10.5%)
	<b>Consommateur quotidien</b>	0 (0%)	2 (13.3%)	2 (10.5%)
<b>Consommation dans les 12 derniers mois <sup>‡</sup></b>	<b>Oui</b>	0 (0%)	5 (33.3%)	5 (26.3%)
<b>Nombre d'années de consommation <sup>‡</sup></b>		1.00 [1.00 ; 1.50]	2.00 [1.00 ; 5.00]	2.00 [1.00 ; 4.00]
<b>Motif d'inclusion</b>				
<b>Tabagisme</b>	<b>Oui</b>	7 (77.8%)	19 (51.4%)	26 (56.5%)
<b>Signes fonctionnels respiratoires</b>	<b>Oui</b>	2 (22.2%)	18 (48.6%)	20 (43.5%)
<b>Exposition professionnelle</b>	<b>Oui</b>	1 (11.1%)	1 (2.7%)	2 (4.3%)
<b>Port d'ARI</b>	<b>Oui</b>	0 (0%)	1 (2.7%)	1 (2.2%)
<b>Autre motif d'inclusion</b>	<b>Oui</b>	1 (11.1%)	2 (5.4%)	3 (6.5%)
<b>Résultats spirométrie</b>				
<b>VEMS</b>		-1.47 [-1.74 ; -0.660]	-0.217 [-1.04 ; 0.567]	-0.616 [-1.34 ; 0.334] <b>0.02128</b>
<b>CVF</b>		0.388 [-0.406 ; 0.516]	-0.294 [-0.873 ; 0.486]	-0.116 [-0.861 ; 0.509] 0.2855
<b>VEMS/CVF</b>		-1.94 [-2.55 ; -1.71]	-0.0220 [-0.591 ; 0.316]	-0.374 [-1.37 ; 0.241] <b>&lt;0,000001</b>
<b>DEM25-75</b>		-1.97 [-2.50 ; -1.69]	-0.240 [-0.676 ; 0.479]	-0.473 [-1.53 ; 0.367] <b>&lt;0,00001</b>
<b>DEM25-75 altéré</b>		7 (77.8%)	3 (8.1%)	10 (21.7%) <b>&lt;0,0001</b>

Données présentées comme médiane [1er ; 3ème quartile] ou n (%)

ARI: Appareil Respiratoire Isolant ; CVF : Capacité Vitale Forcée ; DEM25-75 : Débit Expiratoire Moyen entre 25 et 75% de la CVF ; IMC: Indice de Masse Corporelle ; TVO : Trouble Ventilatoire Obstructif ; VEMS : Volume Expiré Maximal pendant la 1ère Seconde.

TVO défini par un z-score du rapport de Tiffeneau (VEMS/CVF) strictement inférieur à - 1.645 / DEM25-75 altéré défini par un z-score strictement inférieur à - 1.645. Les résultats de spirométrie sont exprimés en z-score. Les normes utilisées sont les normes GLI 2012.

<sup>†</sup> : concerne uniquement les fumeurs et ex-fumeurs. / <sup>‡</sup> : concerne uniquement les agents ayant déjà consommé au moins une fois du cannabis.

Les tests statistiques sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher pour les variables qualitatives.

## 2.2 Résultats des oscillations forcées

### 2.2.1 Résultats généraux

Les résultats des paramètres d'oscillations forcées selon la présence d'un TVO sont présentés dans le tableau 4.

Pour l'ensemble des paramètres d'oscillométrie, nous ne constatons aucune différence significative des valeurs mesurées et des z-scores entre les sujets présentant un trouble ventilatoire obstructif et ceux n'en présentant pas. Le test exact de Fisher indique qu'il n'existe aucune association significative entre une altération des paramètres d'oscillations forcées et la présence d'un TVO.

**Tableau 4** Résultats des paramètres d'oscillométrie selon la présence d'un Trouble Ventilatoire Obstructif

	TVO		Total (n = 46)	P-value
	Oui (n = 9)	Non (n = 37)		
<b>R5-20 mesurée</b>	0.148 [-0.0189 ; 0.456]	0.155 [-0.0267 ; 0.630]	0.152 [-0.0257 ; 0.609]	0.9566
<b>R5 mesurée</b>	2.58 [1.95 ; 3.77]	2.60 [2.20 ; 3.39]	2.60 [2.13 ; 3.63]	0.8065
<b>Z-score R5</b>	0.300 [-1.02 ; 0.597]	-0.712 [-1.03 ; 0.309]	-0.685 [-1.03 ; 0.524]	0.7647
<b>R5 altérée</b>	0 (0%)	2 (5.4%)	2 (4.3%)	1
<b>X5 mesurée</b>	-1.04 [-1.43 ; -0.783]	-0.991 [-1.31 ; -0.806]	-1.00 [-1.32 ; -0.788]	0.9566
<b>Z-score X5</b>	-0.179 [-0.663 ; 0.718]	0.194 [-0.579 ; 0.801]	0.118 [-0.663 ; 0.737]	0.744
<b>X5 altérée</b>	1 (11.1%)	4 (10.8%)	5 (10.9%)	1
<b>AX5 mesurée</b>	3.69 [2.12 ; 7.34]	3.11 [2.29 ; 6.83]	3.25 [2.13 ; 6.85]	0.9134
<b>Z-score AX5</b>	1.00 [0.0837 ; 1.36]	0.130 [-0.275 ; 1.20]	0.307 [-0.259 ; 1.32]	0.5128
<b>AX5 altérée</b>	2 (22.2%)	7 (18.9%)	9 (19.6%)	1
<b>fres mesurée</b>	11.1 [10.5 ; 17.9]	11.1 [10.2 ; 17.7]	11.1 [10.2 ; 17.8]	0.5128
<b>Z-score fres</b>	0.591 [0.114 ; 1.72]	0.147 [-0.426 ; 1.21]	0.284 [-0.418 ; 1.49]	0.5487
<b>fres altérée</b>	3 (33.3%)	8 (21.6%)	11 (23.9%)	0.6643

Données présentées comme médiane [1er ; 3ème quartile] ou n (%).

AX5 : aire sous la courbe de 5 Hz à la fréquence de résonance ; fres : fréquence de résonance ; R5-20 : différence entre la résistance à 5 Hz et la résistance à 20 Hz ; R5 : résistance à 5 Hz ; TVO : Trouble Ventilatoire Obstructif ; X5 : réactance à 5 Hz.

TVO défini par un z-score du rapport de Tiffeneau (VEMS/CVF) strictement inférieur à - 1.645.

Sont considérées comme altérées une résistance, une aire sous la courbe ou une fréquence de résonance dont le z-score est strictement supérieur à 1,645. Une réactance est considérée altérée si le z-score est strictement inférieur à - 1,645.

Les normes utilisées sont les normes d'Oostveen pour l'oscillométrie et GLI 2012 pour la spirométrie.

Les tests statistiques sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher pour les variables qualitatives.

Nous avons également étudié les résultats des oscillations forcées chez les participants présentant une altération du DEM25-75 (tableau 5).

**Tableau 5** Résultats des paramètres d'oscillométrie selon la présence d'un Trouble Ventilatoire Obstructif chez les sujets ayant un DEM25-75 altéré

	TVO		Total (n = 10)
	Oui (n = 7)	Non (n = 3)	
<b>R5-20 mesurée</b>	0.148 [-0.0117 ; 0.790]	0.684 [0.537 ; 1.04]	0.423 [0.0337 ; 1.01]
<b>R5 mesurée</b>	2.58 [1.98 ; 3.74]	5.11 [4.17 ; 5.14]	3.48 [2.15 ; 4.06]
<b>Z-score R5</b>	0.300 [-1.06 ; 0.569]	0.877 [0.685 ; 1.02]	0.514 [-0.689 ; 0.808]
<b>R5 altérée</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
<b>X5 mesurée</b>	-1.04 [-1.28 ; -0.791]	-2.30 [-2.60 ; -1.81]	-1.19 [-1.92 ; -0.880]
<b>Z-score X5</b>	0.354 [-0.690 ; 0.730]	-1.48 [-2.07 ; -1.42]	-0.690 [-1.45 ; 0.627]
<b>X5 altérée</b>	1 (14.3%)	1 (33.3%)	2 (20.0%)
<b>AX5 mesurée</b>	3.69 [2.04 ; 8.32]	17.5 [12.2 ; 18.2]	5.66 [2.51 ; 16.2]
<b>Z-score AX5</b>	1.00 [-0.375 ; 1.48]	1.68 [1.67 ; 1.91]	1.39 [0.313 ; 1.81]
<b>AX5 altérée</b>	2 (28.6%)	3 (100%)	5 (50.0%)
<b>fres mesurée</b>	11.1 [10.6 ; 18.3]	21.5 [19.3 ; 22.0]	14.6 [10.8 ; 22.2]
<b>Z-score fres</b>	0.591 [-0.257 ; 1.61]	1.69 [1.64 ; 1.95]	1.09 [0.394 ; 2.08]
<b>fres altérée</b>	2 (28.6%)	2 (66.7%)	4 (40.0%)

Données présentées comme médiane [1er ; 3ème quartile] ou n (%)

AX5 : aire sous la courbe de 5 Hz à la fréquence de résonance ; DEM25-75 : Débit Expiratoire Moyen entre 25 et 75% de la CVF ; fres : fréquence de résonance ; R5-20 : différence entre la résistance à 5 Hz et la résistance à 20 Hz ; R5 : résistance à 5 Hz ; TVO : Trouble Ventilatoire Obstructif ; X5 : réactance à 5 Hz. TVO défini par un z-score du rapport de Tiffeneau (VEMS/CVF) strictement inférieur à - 1.645.

DEM25-75 altéré défini par un z-score strictement inférieur à - 1.645.

Sont considérées comme altérées une résistance, une aire sous la courbe ou une fréquence de résonance dont le z-score est strictement supérieur à 1,645. Une réactance est considérée altérée si le z-score est strictement inférieur à -1,645.

Les normes utilisées sont les normes d'Oostveen pour l'oscillométrie et GLI 2012 pour la spirométrie.

## 2.2.2 Performances diagnostiques de l'oscillométrie

Les performances diagnostiques des paramètres d'oscillométrie pour détecter un TVO, en utilisant comme seuil le z-score à +/- 1,645, sont représentées dans le tableau 6.

Les paramètres avec les meilleures performances diagnostiques sont l'aire sous la courbe (AX5) et la fréquence de résonance (fres) avec une aire sous la courbe (AUC) à 0,574 et 0,568 respectivement. Avec une aire sous la courbe à 0,535, la résistance à 5 Hertz (R5) est le paramètre avec les moins bonnes performances diagnostiques.

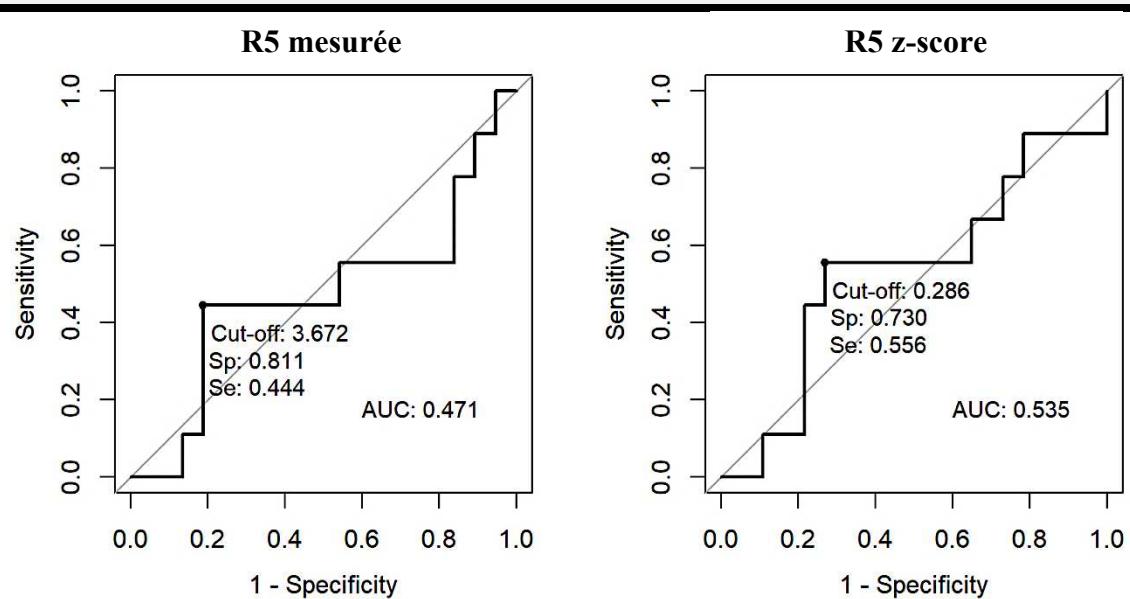
**Tableau 6** Performances diagnostiques des paramètres d'oscillométrie pour détecter un TVO en utilisant comme seuil le z-score à +/- 1,645

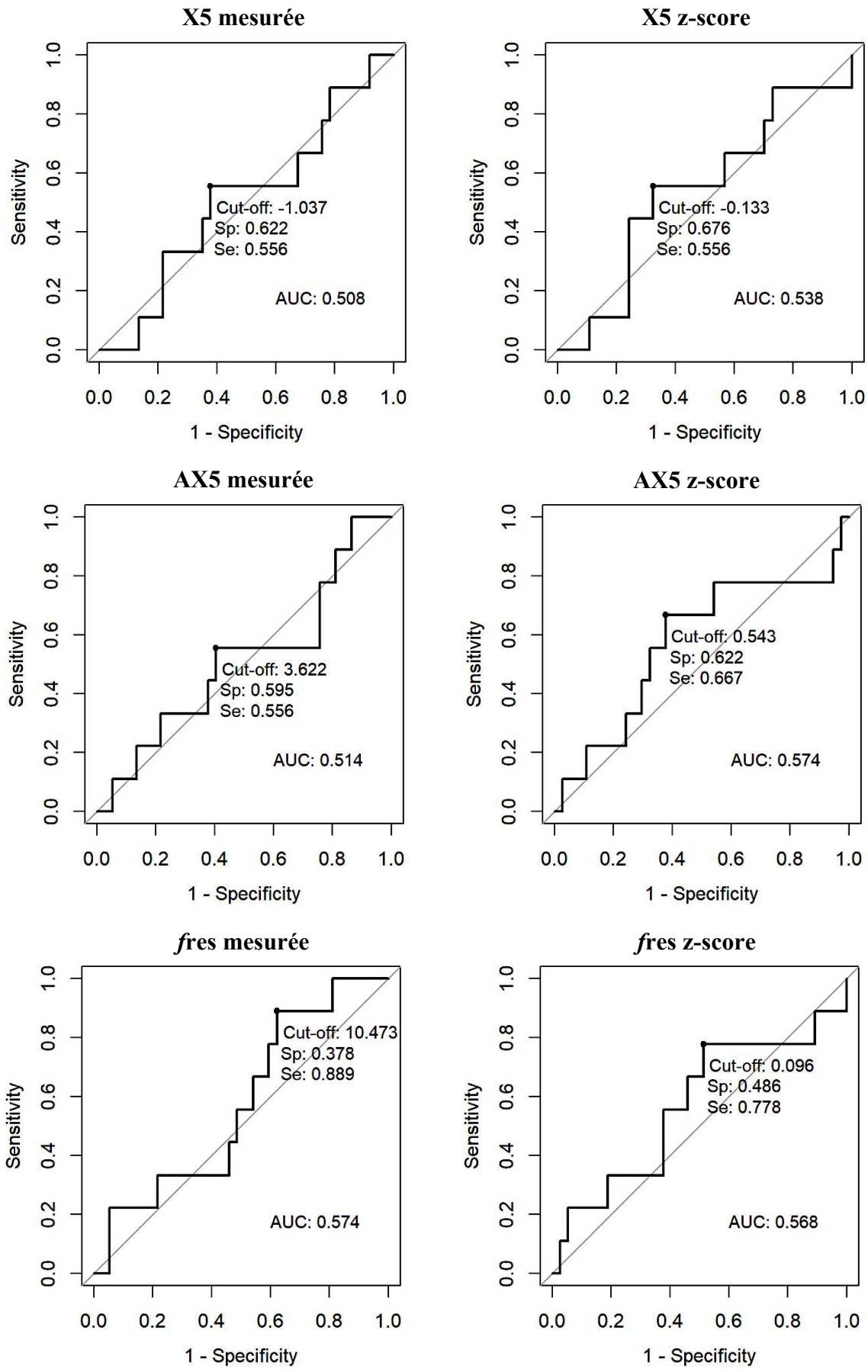
	Se	Sp	VPP	VPN	AUC
<b>R5</b>	0.0000	<b>0.94595</b>	0.0000	0.79545	0,535
<b>X5</b>	0.11111	0.89189	0.20000	0.80488	0,538
<b>AX5</b>	0.22222	0.81081	0.22222	0.81081	<b>0,574</b>
<b>fres</b>	<b>0.33333</b>	0.78378	<b>0.27273</b>	<b>0.82857</b>	0,568

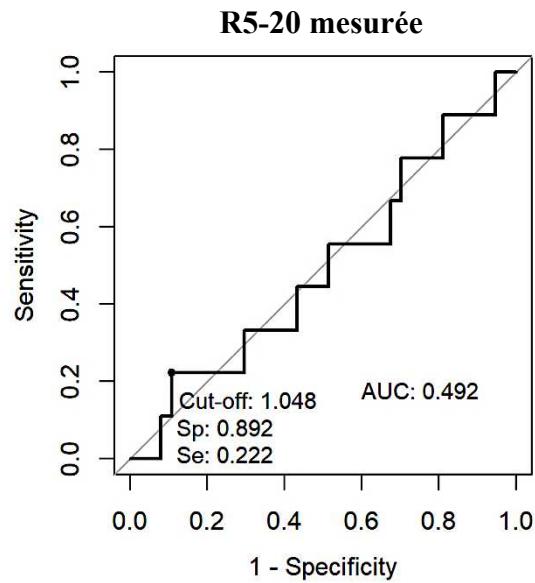
AUC : Area Under the Curve ; AX5 : aire sous la courbe de 5 Hz à la fréquence de résonance ; fres : fréquence de résonance ; R5 : résistance à 5 Hz ; Se : Sensibilité ; Sp : Spécificité ; TVO : Trouble Ventilatoire Obstructif ; VPN : Valeur Prédictive Négative ; VPP : Valeur Prédictive Positive ; X5 : réactance à 5 Hz.

Par ailleurs, nous avons défini le seuil optimal pour les valeurs de R5, X5, AX5, fres et R5-20 ainsi que pour le z-score de R5, X5, AX5 et fres afin de dépister un TVO (tableau 7).

**Tableau 7:** Courbes ROC des paramètres d'oscillométrie








---

AUC : Area Under the Curve ; AX5 : aire sous la courbe de 5 Hz à la fréquence de résonance ; *fres* : fréquence de résonance ; R5 : résistance à 5 Hz ; R5-20 : différence entre la résistance à 5 Hz et la résistance à 20 Hz ; Se : Sensibilité ; Sp : Spécificité ; X5 : réactance à 5 Hz.

À titre d'information, les valeurs des z-scores des paramètres d'oscillométrie disponibles dans la base de données, pour lesquels il n'existe pas d'équation selon Oostveen, sont présentées en annexe 10.

# Discussion

Concernant l'objectif principal, nous n'avons pas rencontré de difficulté lors de la réalisation de l'étude de faisabilité, l'étude FOTSCOM sera donc réalisable à plus grande échelle et pourra être déployée au sein des services inter-entreprises.

Concernant les objectifs secondaires, nous avons mis en évidence qu'aucun paramètre d'oscillométrie n'offre de performance diagnostique satisfaisante pour dépister un TVO.

## 1 Objectif principal : faisabilité de l'étude FOTSCOM

### 1.1 Recrutement

Nous avons réalisé 52 inclusions en 41 vacations soit en moyenne 1,3 inclusions par vacation. Nous n'avons pas étudié le nombre d'agents éligibles sur la période, mais il est probable que nous aurions pu en inclure davantage, au regard des critères d'inclusion larges et de la prévalence du tabagisme dans les Hauts-de-France estimée à 26,1 % (35). Compte tenu du temps passé avec chaque participant, nous aurions pu inclure jusqu'à 7 agents par vacation, soit un total de 287 agents. Nous pouvons expliquer ce faible nombre d'inclusion par les habitudes du service. En effet, la spirométrie n'étant pas un examen habituellement prescrit au sein de ce service, les médecins ne pensaient pas toujours à nous adresser les agents. De plus, certains agents ont refusé de participer, nous n'avons pas enregistré le nombre de refus ni les motifs de refus. Nous avions prévu un item à cet effet dans le questionnaire d'inclusion, cependant, nous ne l'avons pas rempli car tous les agents que nous recevions avaient

déjà accepté de participer. Il aurait été préférable de mettre cet item dans le questionnaire destiné aux médecins.

Parmi les agents reconvoqués, la majorité d'entre eux ont honoré leur rendez-vous, probablement en lien avec la situation géographique du service de santé au travail situé au sein du CHU de Lille. Le nombre de désistement risque d'être plus élevé lors de l'étude FOTSCOM, cette dernière ayant lieu au sein de services inter-entreprises.

Pour rappel, l'étude FOTSCOM prévoit d'inclure 940 travailleurs. Au regard du temps passé par participant (30 minutes) et du nombre de consultations par an, cet effectif sera facilement atteignable, d'autant plus que la spirométrie est déjà ancrée dans la pratique de ces services puisqu'un grand nombre de travailleurs nécessitent un suivi respiratoire en raison des secteurs d'activités professionnelles dans lesquels ils exercent. De plus, les médecins du travail des services inter-entreprises sélectionnés pour participer à ce projet sont sensibilisés à la problématique et sont motivés.

## 1.2 Critères d'inclusion

Sur les 46 participants ayant des examens interprétables, 9 ont un TVO, soit 19 %. La prévalence des TVO dans notre région est estimée à environ 10 % (36). Les critères d'inclusion utilisés, permettant d'avoir un taux de TVO supérieur à celui de la population générale, semblent donc pertinents pour l'étude FOTSCOM. Nous ne les modifierons donc pas, hormis le critère d'âge comme mentionné dans la partie « matériel et méthodes ».

### **1.3 Procédure opérationnelle**

La procédure opérationnelle sera similaire pour l'étude FOTSCOM hormis pour le point 3 (recrutement) qui sera complété. Le médecin investigator principal de chaque centre se chargera de remettre une note d'information au travailleur. Un temps de réflexion sera systématiquement laissé aux travailleurs, qu'ils soient reconvoqués ou non.

### **1.4 Questionnaires**

Dans l'étude de faisabilité, une grande partie des agents avait effectué l'ensemble de leur carrière au sein du CHU, le remplissage des questionnaires était donc relativement rapide. La durée de remplissage des questionnaires dans les services interentreprises pourrait être majorée en raison des cursus professionnels plus complexes et diversifiés. Dans l'étude FOTSCOM, afin de gagner du temps, il sera possible d'effectuer un pré remplissage du cursus professionnel par le travailleur avant la consultation, par exemple dans la salle d'attente ou lors de l'envoi de la convocation, selon l'organisation propre à chaque centre.

### **1.5 Examens**

Plus de 85 % des spirométries réalisées respectaient les critères d'acceptabilité et de reproductibilité selon les recommandations de l'ATS/ERS 2019 (10). Comparativement à d'autres études (3,37,38), ce taux est élevé et s'explique par le rappel des critères de qualité dans la procédure opérationnelle mais s'explique surtout par l'opérateur, qui était formé et avait l'habitude de réaliser des spirométries.

Il paraît effectivement indispensable de rappeler les critères de qualité puisque la thèse citée en introduction (3) a révélé que 47,6 % des examens étaient interrompus après

l'obtention d'une seule courbe débit-volume jugée acceptable, la plupart du temps en moins de trois essais, ce qui souligne la méconnaissance des recommandations ATS/ERS par certaines équipes de santé au travail.

Dans la cohorte Constance (39), une cohorte épidémiologique composée de volontaires tirés au sort, le rappel des critères de qualité au sein d'un protocole opératoire standardisé et la réalisation des examens par des opérateurs expérimentés ont montré, après relecture d'un échantillon par deux pneumologues, que 99 % des examens jugés exploitables par l'opérateur étaient acceptables ou optimaux (37). Par ailleurs, dans un tiers des cas, la spirométrie a été jugée de qualité insuffisante par l'opérateur, confirmant la difficulté de réalisation de cet examen (37).

Lemoigne et al. (38) ont mené une étude multicentrique transversale afin d'évaluer une procédure standardisée de diagnostic de la BPCO en médecine du travail. Un contrôle de qualité a été effectué sur 100 spirométries parmi les 1605 réalisées et a mis en évidence que 29 % des spirométries étaient de qualité insuffisante en raison du nombre de manœuvres insuffisant, d'une expiration trop courte, d'une reproductibilité insuffisante ou encore d'une expiration non maximale, et ce, malgré la formation des 21 médecins participant à cette étude.

Une étude prospective (40), menée dans un SPST spécialisé dans le secteur du BTP auprès de 3657 travailleurs, a montré une nette progression de la courbe d'apprentissage pour les opérateurs avec une augmentation significative du taux de spirométries acceptables passant de 81,3 % à 87 % après plus de 6 mois de pratique. Dans notre étude, grâce à l'expérience de l'opérateur, on ne note pas d'effet apprentissage. On retrouve d'ailleurs le même taux de spirométries acceptables que celui constaté après plus de 6 mois de pratique.

L'effet apprentissage est également retrouvé chez les travailleurs. Dans notre étude, les examens étaient interprétables pour 95 % des agents ayant déjà réalisé une spirométrie et pour 80 % des agents effectuant l'examen pour la première fois.

Pour l'étude FOTSCOM, afin de limiter l'effet apprentissage des opérateurs et garantir un taux convenable de spirométries interprétables, il est prévu de les faire réaliser par des infirmiers habitués à pratiquer des spirométries. Une vérification des connaissances des dernières recommandations ATS/ERS 2019 pour la réalisation de la spirométrie ainsi qu'une mise en pratique seront toutefois effectuées avant le démarrage de l'étude. Comme ils n'auront jamais réalisé d'oscillométrie, ils bénéficieront d'une formation sur sa réalisation.

## 1.6 Impact médico-économique

Nous avons mis en évidence que la réalisation d'un examen d'oscillométrie est plus rapide que la réalisation d'un examen de spirométrie.

En revanche, notre étude ne permet pas de prédire si l'utilisation de l'oscillométrie en médecine du travail, dans le cadre du dépistage d'un TVO, serait un gain de temps pour les SPST. En effet, une oscillométrie positive nécessiterait obligatoirement de réaliser le gold standard ce qui augmenterait le nombre d'examens à réaliser.

Afin d'évaluer les potentiels bénéfices de l'utilisation de l'oscillométrie en santé au travail (gain de temps, diminution des coûts et amélioration du dépistage), il faudrait réaliser une étude médico-économique. Une telle étude pourra avoir lieu uniquement après avoir démontré que l'oscillométrie a de bonnes performances diagnostiques pour dépister un TVO.

## 2 Objectifs secondaires : Prédiction d'un TVO

En utilisant comme seuil les z-scores supérieurs ou inférieurs-à +/- 1,645 pour identifier une altération des paramètres d'oscillations forcées, comme le recommande l'ERS (11), aucun paramètre n'a de performance diagnostique satisfaisante pour dépister un TVO. Les paramètres avec les meilleures performances diagnostiques (AX et *fres*) ont une aire sous la courbe (AUC) médiocre, inférieure à 0,6, et une sensibilité faible à 0,22 et 0,33. En diminuant les seuils des z-scores pour la résistance, l'aire sous la courbe et la fréquence de résonance et en augmentant celui de la réactance, on améliore considérablement leurs sensibilités. Nous avons également étudié les capacités diagnostiques de l'utilisation d'un seuil fixe qui sont moins bonnes comparativement à l'utilisation des z-scores hormis pour la fréquence de résonance.

Liang et al. (41) ont mené une étude multicentrique chez 2459 sujets dont 567 sujets sains afin d'évaluer les performances diagnostiques de l'oscillométrie pour dépister les maladies respiratoires. Ils ont interprété les résultats de spirométrie et d'oscillométrie avec les z-scores et ont utilisé des normes chinoises pour l'oscillométrie. Ils ont mis en évidence une différence significative des paramètres d'oscillométrie entre les sujets sains et les sujets malades, et ce, quelle que soit la pathologie (BPCO, asthme, pneumopathies interstitielles diffuses, bronchiectasies et obstruction des voies respiratoires hautes). Contrairement à notre étude, le paramètre avec les meilleures performances diagnostiques pour identifier les maladies respiratoires obstructives est le z-score de la résistance à 5 Hertz (R5) avec une sensibilité à 66,7 %, une spécificité à 81,5 %, et une aire sous la courbe (AUC) à 0,788. Les performances diagnostiques de ce paramètre pour dépister une maladie respiratoire obstructive sont inférieures à celles du z-score du rapport de Tiffeneau qui a une sensibilité à 80,72 %, une

spécificité à 94 % et une aire sous la courbe (AUC) à 0,922. Les auteurs concluent donc que l'oscillométrie paraît plus appropriée pour l'évaluation clinique que pour le diagnostic des maladies respiratoires.

Dans un article complémentaire (42), Liang et al. ont mis en évidence, comme dans notre étude, que l'utilisation des z-scores avait de meilleures capacités diagnostiques que l'utilisation de seuils fixes.

En réponse à l'étude de Liang et al. (41), Salvi et al. (43) se sont interrogés sur la pertinence d'utiliser le z-score pour définir une altération des paramètres d'oscillométrie plutôt qu'un seuil fixe, les paramètres d'oscillométrie n'étant pas normalement distribués. Ils se sont appuyés sur une étude, menée auprès de 93 sujets, qui mettait en évidence une bonne performance diagnostique des paramètres d'oscillométrie pour dépister un TVO, en utilisant des seuils fixes, avec des sensibilités globalement supérieures à 0,80, des spécificités supérieures à 0,50 et des aires sous la courbe (AUC) supérieures à 0,74. Dans cette étude, le paramètre avec les meilleures performances diagnostiques est la réactance à 5 Hertz (X5). Les seuils des paramètres d'oscillométrie de cette étude sont assez proches de ceux que nous avons définis dans notre étude de faisabilité grâce à l'indice de Youden, notamment pour R5-20 (seuil de l'étude de faisabilité : 1,048, seuil de l'étude de Salvi et al. : 1,01) et pour X5 (seuil de l'étude de faisabilité : -1,037, seuil de l'étude de Salvi et al. : -1,01). Dans notre étude, contrairement à ce qu'ils ont démontré, la performance diagnostique pour ces seuils est assez faible, probablement liée au manque de puissance.

H.J.Smith (44,45) a quant à lui proposé une méthode simple d'interprétation des résultats d'oscillométrie en utilisant le pourcentage de la valeur prédictive pour la résistance à 5 Hertz. Il considère comme pathologique un résultat supérieur à 150 %

de la valeur prédite. Nous n'avons pas testé la performance diagnostique de ce seuil, mais Liang et al. (46) ont montré que les valeurs correspondant à 150 % de la valeur prédite étaient bien supérieures à la limite supérieure de la normale de R5 et ce, pour différentes normes.

En médecine du travail, en 2021, une thèse (47) a été réalisée chez 230 salariés. Les résultats de cette étude sont à nuancer car ils ont considéré comme altérés les z-scores supérieurs ou inférieurs à +/- 2 pour l'oscillométrie et les rapports de Tiffeneau inférieurs à 70 % pour la spirométrie. Ils ont mis en évidence qu'aucun paramètre d'oscillométrie (R5-20, R5, AX et X5) n'était significativement corrélé au rapport de Tiffeneau. Par ailleurs, ils ont mis en évidence que AX et X5 étaient significativement corrélées au DEM25-75. Dans notre étude, nous avons mis en évidence qu'aucun paramètre n'a une bonne sensibilité pour détecter une atteinte des petites voies respiratoires (tableau 5), le paramètre avec la meilleure sensibilité étant AX5 avec une sensibilité à 0,5. Cela est surprenant puisque certaines études ont suggéré que l'oscillométrie serait plus sensible que la spirométrie pour détecter une atteinte des petites voies respiratoires (25–28).

Effectivement, Su et al. (25) ont mené une étude chez des non-fumeurs, des gros fumeurs et des sujets atteints de BPCO pour comparer les performances diagnostiques de la spirométrie et de l'oscillométrie pour identifier une atteinte des petites voies respiratoires. Ils ont utilisé une méthode d'imagerie, la tomographie par cohérence optique endo bronchique (EB-OCT), comme gold standard pour identifier l'atteinte des petites voies respiratoires. Chez les non-fumeurs et les gros fumeurs, la performance diagnostique de la fréquence de résonance (Se : 89,5 %, Sp : 53,6 %,

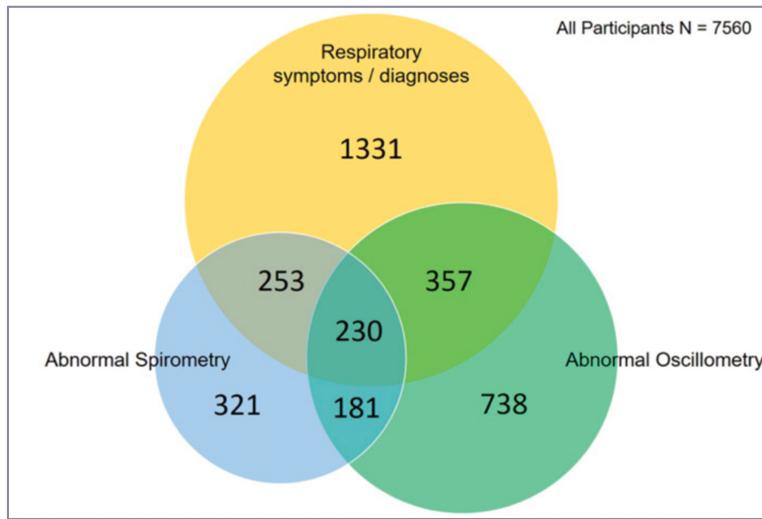
AUC : 0,771) est significativement meilleure que celle du DEM25-75 (Se : 26,3 % , Sp : 92,9 %, AUC : 0,558) pour dépister une atteinte des petites voies respiratoires. Chez les gros fumeurs et les sujets atteints d'une BPCO stade I, les paramètres d'oscillométrie ont une performance diagnostique non significativement supérieure à ceux de la spirométrie. De plus, ils ont mis en évidence que la combinaison des résultats de la spirométrie et de l'oscillométrie augmentait considérablement la capacité à dépister une atteinte des petites voies respiratoires. Par conséquent, on peut émettre l'hypothèse que ces deux examens explorent des composantes différentes de l'appareil respiratoire et sont complémentaires.

Oppenheimer et al. (26) ont mené une étude chez 174 sujets exposés aux poussières du World Trade Center qui présentaient des symptômes respiratoires avec des résultats de spirométrie normaux. Ils ont mis en évidence une altération des paramètres d'oscillométrie (R5, R5-20 et AX) chez 68 % des sujets. D'après les auteurs, ces anomalies reflètent probablement une atteinte des voies respiratoires plus distales que celles évaluées en spirométrie.

Chiu et al. (27) et Li et al. (28) ont mené des études chez des sujets présentant des signes fonctionnels respiratoires sans TVO ni altération de la CVF. Ces études ont toutes deux démontré que l'oscillométrie avait une meilleure sensibilité que la spirométrie pour détecter une atteinte des petites voies respiratoires. Cependant, elles comportent des limites, notamment en ce qui concerne la définition de l'atteinte des petites voies respiratoires en oscillométrie. En effet, pour définir cette atteinte, les auteurs n'ont pas utilisé le z-score, mais des seuils fixes. Ces seuils ont été déterminés à partir de courbes ROC, établies en considérant une dysfonction des petites voies respiratoires lorsque le DEM25-75 était inférieur à 65 % de la valeur prédictive dans

l'étude de Chiu et al., et lorsqu'au moins deux paramètres parmi le DEM25-75, le DEM50 et le DEM75 étaient inférieurs à 65 % des valeurs prédictes dans l'étude de Li et al.

Veneroni et al. (24) ont mené une étude afin d'évaluer, en population générale, la prévalence des paramètres d'oscillométrie anormaux ainsi que leurs associations avec la présence de signes fonctionnels et de pathologies respiratoires. Cette étude a été réalisée à partir d'un échantillon de 7 560 sujets de plus de 18 ans issus de l'étude autrichienne LEAD (Lung, hEart,sociAl, boDy) (48) qui avait pour objectif d'examiner la relation entre les facteurs génétiques, environnementaux, sociaux, développementaux et liés au vieillissement influençant la santé respiratoire et les comorbidités tout au long de la vie. Comme nous, Veneroni et al. ont utilisé les normes d'Oostveen pour l'oscillométrie, les normes GLI pour la spirométrie et ont interprété les résultats en utilisant le z-score. Ils ont considéré comme anormale une oscillométrie présentant au moins un paramètre altéré et anormale une spirométrie présentant une altération de la CVF ou du rapport de Tiffeneau.



**Figure 12** Diagramme de Venn pour les participants avec des symptômes ou des pathologies respiratoires, une spirométrie anormale, et une oscillométrie anormale  
Tirée de Veneroni et al. (24)

Les résultats (figure 12) révèlent que parmi les 2 171 sujets présentant des symptômes ou une pathologie respiratoire :

- 587 sujets (27 %) avaient une oscillométrie anormale,
- 483 sujets (22,2 %) avaient une spirométrie anormale,
- 840 sujets (38,7 %) avaient une spirométrie ou une oscillométrie anormale :
  - 230 sujets (27,4 %) avaient une spirométrie et une oscillométrie anormales,
  - 253 sujets (30,1 %) avaient uniquement une spirométrie anormale,
  - 357 sujets (42,5 %) avaient uniquement une oscillométrie anormale.

De plus, parmi les 5 389 sujets sans maladie ou symptomatologie respiratoire :

- 919 sujets (17 %) avaient une oscillométrie anormale,
- 502 sujets (9 %) avaient une spirométrie anormale,
- 1240 sujets (23 %) avaient une spirométrie ou une oscillométrie anormale :
  - 181 sujets (14,6 %) avaient une spirométrie et une oscillométrie anormales,
  - 321 sujets (25,9 %) avaient uniquement une spirométrie anormale,
  - 738 sujets (59,5 %) avaient uniquement une oscillométrie anormale.

Le nombre d'oscillométries anormales était significativement plus important chez les sujets présentant des symptômes ou des maladies respiratoires (asthme, bronchite chronique, BPCO) comparativement aux sujets sains (27 % contre 17 %).

L'altération de la réactance à 5 Hertz (X5) et/ou de l'aire sous la courbe (AX) était significativement associée à la présence de maladies ou de symptômes respiratoires.

En revanche, la résistance à 5 Hertz (R5) n'était significativement associée ni à l'un ni à l'autre. Dans l'étude de faisabilité, nous n'avons pas étudié le lien entre les symptômes respiratoires et l'altération des paramètres d'oscillométrie mais cela fait partie de l'un des objectifs secondaires de l'étude FOTSCOM. Nous avons prévu d'étudier la relation entre les symptômes respiratoires et la résistance à 5 Hertz (R5). Toutefois, au regard des résultats de cette étude, nous devrions élargir cette analyse aux autres paramètres d'oscillométrie qui paraissent plus sensibles.

Par ailleurs, dans cette étude, en combinant plusieurs paramètres d'oscillométrie pour dépister une spirométrie anormale (TVO ou altération de la CVF), on obtient une spécificité à 0,8 et une sensibilité faible à 0,4. La sensibilité semble donc augmenter que très légèrement si on combine plusieurs paramètres d'oscillométrie. Il est important de noter que la fréquence de résonance, le paramètre le plus sensible dans notre étude (sensibilité à 0,33), n'a pas été prise en compte. Cependant, les auteurs ont pris en compte d'autres paramètres, à savoir la limitation du débit expiratoire (X5 inspi – X5 expi) et les composantes inspiratoires et expiratoires de la résistance et de la réactance à 5 Hertz. Tout comme dans notre étude et celle de Liang et al. (41), les paramètres d'oscillométrie ont une meilleure spécificité que sensibilité (étude de faisabilité : R5 : Se : 0,0 ; Sp : 0,94 - AX : Se : 0,22 ; Sp : 0,81 / étude de Liang et al. (41) : R5 : Se : 0,667 ; Sp : 0,815).

Vingt pourcents des sujets présentaient une oscillométrie anormale. Parmi eux, 411 (28 %) avaient une spirométrie anormale et 1095 (72 %) avaient une spirométrie normale. Ces sujets avec une oscillométrie anormale et une spirométrie normale pourraient être des faux positifs ou avoir un réel trouble ventilatoire dépisté uniquement en oscillométrie puisque l'oscillométrie pourrait, comme mentionné précédemment, avoir une meilleure sensibilité que la spirométrie pour dépister les troubles ventilatoires. La présence de faux positifs ne pose pas de problème majeur dans le cadre d'une campagne de dépistage de ce type puisque la confirmation diagnostique par le gold standard, la spirométrie, n'entraîne pas de surrisque pour le travailleur, bien qu'elle entraînerait des coûts supplémentaires pour le SPST. En revanche, l'incertitude sur l'interprétation des résultats d'oscillométrie pose un réel problème. A ce jour, aucune étude longitudinale n'a été menée chez les sujets présentant des résultats de spirométrie normaux associés à des résultats d'oscillométrie anormaux. Nous ne savons donc pas si ces sujets développeront des maladies respiratoires telles que la BPCO ou l'asthme ou s'il s'agit de faux positifs.

Ainsi, les résultats des différentes études sont discordants concernant la capacité de l'oscillométrie à dépister un TVO. Les paramètres offrant les meilleures performances diagnostiques varient selon les études, même si les paramètres composites de la réactance semblent meilleurs. Certains chercheurs remettent en question les recommandations de l'ERS (11) concernant l'utilisation du z-score pour l'interprétation de l'oscillométrie. Salvi et al. (49) ont d'ailleurs réaffirmé, suite à l'étude de Veneroni et al. (24), l'importance d'évaluer l'utilisation d'un seuil fixe en plus du z-score pour l'interprétation de l'oscillométrie. Par ailleurs, en l'absence d'étude longitudinale, on rencontre des difficultés notables pour interpréter les résultats chez les sujets

présentant une altération des paramètres d'oscillométrie avec une spirométrie normale.

### **3 Forces et faiblesses de l'étude**

Notre étude comporte plusieurs limites.

Tout d'abord, nous avons réalisé l'étude de faisabilité dans un service de médecine du travail qui a un fonctionnement différent de celui des services inter-entreprises dans lesquels l'étude FOTSCOM sera réalisée et qui suit une population différente, limitant l'extrapolation des résultats. En effet, il s'agit d'un service autonome, peu habitué à prescrire des spirométries en raison du faible nombre d'agents justifiant d'un suivi respiratoire dans le cadre d'expositions professionnelles. Jusqu'alors, les agents nécessitant une spirométrie étaient adressés au service des EFR du CHU et aucune spirométrie n'était réalisée au sein du service de MTPH. Une autre différence avec les services inter-entreprises est que l'opérateur était expérimenté et habitué à réaliser des spirométries répondant aux recommandations ATS/ERS expliquant le taux élevé de spirométries interprétables.

Par ailleurs, notre étude manque, d'une part, de puissance statistique en raison du faible nombre de participants, et d'autre part, de validité externe en raison du caractère monocentrique de l'étude. Cela limite la généralisation des résultats. Néanmoins, malgré le manque de puissance et le manque de validité externe, nous observons des similitudes avec les résultats d'études multicentriques bénéficiant d'une meilleure puissance statistique (24,41–43,47). Une étude multicentrique avec un effectif plus important est indispensable afin d'affirmer ou d'inflammer nos résultats.

Enfin, nous avons utilisé qu'un seul appareil d'oscillométrie alors que plusieurs études ont démontré qu'il existe une variabilité inter-appareils (19,50,51).

Dandurand et al. (51) ont mené une étude afin de comparer les résultats de plusieurs appareils d'oscillométrie *in vitro* en utilisant différentes charges de test représentant différentes impédances pouvant être rencontrées en pratique clinique. Pour ce faire, ils ont utilisé six appareils d'oscillométrie différents dont cinq appareils d'oscillations forcées incluant le Tremoflo® et un appareil d'oscillométrie impulsionale (IOS). À titre d'information, l'IOS est une méthode d'exploration fonctionnelle respiratoire légèrement différente des FOT car elle utilise une impulsion (une forme d'onde rectangulaire) plutôt qu'un signal de pression pseudo aléatoire (un mélange de plusieurs formes d'ondes sinusoïdales), et présente des différences dans le traitement des données (52). Ils (51) ont démontré qu'il existe des différences de résistances et de réactances entre les appareils lorsque l'impédance augmente avec des différences par rapport à la valeur prédictive, pouvant causer des résultats erronés chez les sujets malades lors de l'utilisation de certains appareils. Par ailleurs, cette étude nous montre que le Tremoflo®, l'appareil utilisé dans notre étude, donne des résultats assez proches des valeurs prédictives notamment pour la fréquence de résonance, le paramètre ayant la meilleure sensibilité dans notre étude.

Zimmerman et al. (50) ont mené une étude pour étudier les variations d'impédance entre plusieurs appareils d'oscillométrie *in vivo* et *in vitro*. Ils ont comparé 4 appareils d'oscillométrie comprenant trois appareils de FOT dont le Tremoflo et un appareil d'IOS. *In vivo*, ils n'ont pas mis en évidence de différence significative des résistances du système respiratoire entre les appareils avec une variation inférieure à 10 % par rapport aux valeurs prédictives, hormis pour l'appareil d'IOS qui avait des résistances significativement supérieures aux autres appareils. Concernant la réactance, il y avait

davantage de disparités avec des différences significatives entre certains appareils. In vitro, ils n'ont en revanche pas mis en évidence de différence significative entre les appareils. Cette différence de résultat in vivo et in vitro suggère que la respiration pourrait contribuer à la diversité des performances des dispositifs .

Oostveen et al. (19) ont également constaté des différences de mesures entre appareils dans l'étude multicentrique menée pour établir des normes chez les sujets caucasiens utilisant 5 appareils différents. Ils ont mis en évidence des différences de résistances entre appareils pour les fréquences à 20 et 25 Hertz ainsi que des différences pour les fréquences strictement supérieures à 14 Hertz pour la réactance.

Ces variabilités inter-appareils peuvent s'expliquer par les différences concernant la calibration, la durée de mesure, les fréquences disponibles, la forme d'onde et les techniques de traitement du signal (51). Une harmonisation des appareils est donc indispensable au regard de ces variabilités.

Notre étude comporte également de nombreuses forces.

L'une des principales forces est que nous avons suivi les dernières recommandations concernant les critères d'acceptabilité et de reproductibilité (10,11), l'interprétation des résultats (11,34) et le choix des normes (19,53) pour la spirométrie et l'oscillométrie.

Une autre force de notre étude concerne nos critères d'inclusion qui ont permis de dépister un taux de TVO supérieur à celui de la population générale. Cela nous conforte dans le choix de ces critères puisqu'ils permettront de répondre aux objectifs de l'étude FOTSCOM.

Pour finir, nous avons utilisé un appareil d'oscillométrie multifréquence permettant d'analyser un grand nombre de paramètres, contrairement à d'autres appareils qui ne

mesurent qu'une seule fréquence. Dans notre étude, nous avons analysé les paramètres les plus couramment étudiés, à savoir la résistance et la réactance à 5 Hertz, la différence entre la résistance à 5 et 20 Hertz, l'aire sous la courbe et la fréquence de résonance. Nous n'avons pas analysé les résistances et réactances aux autres fréquences en raison de l'absence de norme disponible selon Oostveen (19).

# Conclusion

Nous n'avons pas rencontré de difficulté notable lors de l'étude de faisabilité. L'étude

FOTSCOM nous semble réalisable avec des objectifs de recrutement atteignables.

Il sera indispensable de former les futurs opérateurs afin de rendre des résultats interprétables.

Bien que notre étude ne permette pas de tirer de conclusion en raison d'une puissance statistique insuffisante, nous avons mis en évidence qu'aucun paramètre d'oscillométrie n'offre de performance diagnostique satisfaisante pour dépister un TVO. Une étude avec une meilleure puissance statistique est nécessaire pour corroborer nos résultats. Par ailleurs, nous avons démontré que l'oscillométrie est un examen plus simple que la spirométrie, bien accepté par les travailleurs, qui pourrait faciliter le suivi respiratoire.

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> Comparaison des examens.....	20
<b>Tableau 2</b> Comparaison des examens en fonction de la réalisation antérieure de spirométrie .....	42
<b>Tableau 3</b> Caractéristiques générales de la population selon la présence d'un Trouble Ventilatoire Obstructif.....	45
<b>Tableau 4</b> Résultats des paramètres d'oscillométrie selon la présence d'un Trouble Ventilatoire Obstructif.....	46
<b>Tableau 5</b> Résultats des paramètres d'oscillométrie selon la présence d'un Trouble Ventilatoire Obstructif chez les sujets ayant un DEM25-75 altéré .....	47
<b>Tableau 6</b> Performances diagnostiques des paramètres d'oscillométrie pour détecter un TVO en utilisant comme seuil le z-score à +/- 1,645.....	48
<b>Tableau 7:</b> Courbes ROC des paramètres d'oscillométrie .....	48

# Liste des figures

<b>Figure 1</b> Distances parcourues par les ondes sonores selon les fréquences .....	15
<b>Figure 2</b> Représentation des différents paramètres d'oscillométrie chez les sujets sains .....	15
<b>Figure 3</b> Déroulement de l'examen .....	16
<b>Figure 4</b> Modifications des paramètres d'oscillométrie selon le siège de l'obstruction .....	18
<b>Figure 5</b> Variation de l'impédance selon la sévérité de l'asthme .....	19
<b>Figure 6</b> Tremoflo® C-100 .....	28
<b>Figure 7</b> Algorithme de réalisation d'un examen d'oscillométrie .....	29
<b>Figure 8</b> NDD Easy on-PC® .....	30
<b>Figure 9</b> Algorithme de réalisation d'un examen de spirométrie .....	31
<b>Figure 10</b> Flow chart présentant la population étudiée en fonction de l'objectif de l'étude .....	37
<b>Figure 11</b> Parcours de recrutement des agents .....	38
<b>Figure 12</b> Diagramme de Venn pour les participants avec des symptômes ou des pathologies respiratoires, une spirométrie anormale, et une oscillométrie anormale .....	61

# Bibliographie

1. Code du travail - Article L4622-2 [Internet]. [cité 11 juin 2024]. Disponible sur: [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043893828](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043893828).
2. Townsend MC. Spirometry in Occupational Health—2020. *J Occup Environ Med*. mai 2020;62(5):e208-30.
3. Krompholtz S. Enquête de pratique de la spirométrie dans les services de santé au travail de l'ancienne région Poitou-Charentes [Thèse d'exercice]. Université de Poitiers; 2018.
4. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al; ATS/ERS Task Force. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J*. 2005 Aug;26(2):319-38. doi: 10.1183/09031936.05.00034805. PMID: 16055882.
5. Diab N, Gershon AS, Sin DD, Tan WC, Bourbeau J, Boulet LP, Aaron SD. Underdiagnosis and Overdiagnosis of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018 Nov 1;198(9):1130-1139. doi: 10.1164/rccm.201804-0621CI. PMID: 29979608.
6. HAS. Surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à la silice cristalline - janvier 2021.
7. Delabre L, Houot M, Burtin A, Pilorget C. L'exposition professionnelle à la silice cristalline en France en 2017: une question toujours d'actualité. *Bull Épidémiol Hebd*. 2023;(1):16-24. [http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2023/1/2023\\_1\\_2.html](http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2023/1/2023_1_2.html).
8. de Sá PM, Castro HA, Lopes AJ, de Melo PL. Early Diagnosis of Respiratory Abnormalities in Asbestos-Exposed Workers by the Forced Oscillation Technique. *PLoS ONE*. 9 sept 2016;11(9):e0161981.
9. Pasker H, Peeters M, Genet P, Clement J, Nemery B, Van De Woestijne K. Short-term ventilatory effects in workers exposed to fumes containing zinc oxide: comparison of forced oscillation technique with spirometry. *Eur Respir J*. 1 juill 1997;10(7):1523-9.
10. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 oct 2019;200(8):e70-88.
11. King GG, Bates J, Berger KI, Calverley P, De Melo PL, Dellacà RL, et al. Technical

standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J.* févr 2020;55(2):1900753.

12. Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol.* mai 1956;8(6):587-94.
13. Oostveen E, MacLeod D, Lorino H, Farre R, Hantos Z, Desager K, et al. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. *Eur Respir J.* 1 déc 2003;22(6):1026-41.
14. Brashier B, Salvi S. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system. *Breathe.* mars 2015;11(1):57-65.
15. Kostorz-Nosal S, Jastrzębski D, Błach A, Skoczyński S. Window of opportunity for respiratory oscillometry: A review of recent research. *Respir Physiol Neurobiol.* 1 oct 2023;316:104135.
16. What is Airwave Oscillometry? [Internet]. 2020 [cité 16 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=MGcRcj14OWs>.
17. Deprato A, Ferrara G, Bhutani M, Melenka L, Murgia N, Usmani OS, et al. Reference equations for oscillometry and their differences among populations: a systematic scoping review. *Eur Respir Rev.* 13 juill 2022;31(165):220021.
18. Kalchiem-Dekel O, Hines SE. Forty years of reference values for respiratory system impedance in adults: 1977–2017. *Respir Med.* mars 2018;136:37-47.
19. Oostveen E, Boda K, Van Der Grinten CPM, James AL, Young S, Nieland H, et al. Respiratory impedance in healthy subjects: baseline values and bronchodilator response. *Eur Respir J.* déc 2013;42(6):1513-23.
20. Kaminsky DA, Simpson SJ, Berger KI, Calverley P, De Melo PL, Dandurand R, et al. Clinical significance and applications of oscillometry. *Eur Respir Rev.* 31 mars 2022;31(163):210208.
21. THORASYS. Brochure tremoflo C-100. [Internet]. [cité 15 sept 2024]. Disponible sur: <https://pdf.medicalexpo.fr/pdf/thorasys-thoracic-medical-systems-inc/brochure-tremoflo-c-100-edition-francaise/85287-185911.html>.
22. Cavalcanti JV, Lopes AJ, Jansen JM, Melo PL. Detection of changes in respiratory mechanics due to increasing degrees of airway obstruction in asthma by the forced oscillation technique. *Respir Med.* 1 déc 2006;100(12):2207-19.
23. Van Noord J, Clement J, Cauberghs M, Mertens I, Van De Woestijne K, Demedts M.

Total respiratory resistance and reactance in patients with diffuse interstitial lung disease. Eur Respir J. 1 oct 1989;2(9):846-52.

24. Veneroni C, Valach C, Wouters EFM, Gobbi A, Dellacà RL, Breyer MK, et al. Diagnostic Potential of Oscillometry: A Population-based Approach. Am J Respir Crit Care Med. 209(4):444-53.
25. Su ZQ, Guan WJ, Li SY, Ding M, Chen Y, Jiang M, et al. Significances of spirometry and impulse oscillometry for detecting small airway disorders assessed with endobronchial optical coherence tomography in COPD. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis. oct 2018;Volume 13:3031-44.
26. Oppenheimer BW, Goldring RM, Herberg ME, Hofer IS, Reyfman PA, Liautaud S, et al. Distal airway function in symptomatic subjects with normal spirometry following World Trade Center dust exposure. Chest. oct 2007;132(4):1275-82.
27. Chiu HY, Hsiao YH, Su KC, Lee YC, Ko HK, Perng DW. Small Airway Dysfunction by Impulse Oscillometry in Symptomatic Patients with Preserved Pulmonary Function. J Allergy Clin Immunol Pract. 1 janv 2020;8(1):229-235.e3.
28. Li LY, Yan TS, Yang J, Li YQ, Fu LX, Lan L, et al. Impulse oscillometry for detection of small airway dysfunction in subjects with chronic respiratory symptoms and preserved pulmonary function. Respir Res. 2021;22:68.
29. Government of Canada. Tobacco Use Statistics - Terminology. [Internet]. 2005 [cité 14 juill 2024]. Disponible sur: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/health-concerns/tobacco/research/tobacco-use-statistics/terminology.html>.
30. NHIS. Adult Tobacco Use - Glossary. [Internet]. 2019 [cité 14 mai 2024]. Disponible sur: [https://www.cdc.gov/nchs/nhis/tobacco/tobacco\\_glossary.htm](https://www.cdc.gov/nchs/nhis/tobacco/tobacco_glossary.htm).
31. Ministry of Health NZ. Recording smoking status. [Internet]. [cité 14 juill 2024]. Disponible sur: <https://www.health.govt.nz/our-work/preventative-health-wellness/smokefree-2025/information-practitioners-patients-who-are-quitting-smoking/recording-smoking-status>.
32. Insee. Consommation de drogues - Définition. [Internet]. [cité 14 juill 2024]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1168>.
33. HAS. Aide à l'utilisation de questionnaires patients de mesure des résultats de soins (PROMs) pour améliorer la pratique clinique courante - juin 2021.
34. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. Eur

Respir J. juill 2022;60(1):2101499.

35. Thabuis A, Rivière M, de Lauzun V, Bernillon P, Martel M, Guignard R, et al. Analyse régionale du tabagisme quotidien des adultes en France en 2021. Bull Épidémiol Hebd. 2024;(11):222-8. [http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2024/11/2024\\_11\\_1.html](http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2024/11/2024_11_1.html).
36. Quach A, Giovannelli J, Chérot-Kornobis N, Ciuchete A, Clément G, Matran R, et al. Prevalence and underdiagnosis of airway obstruction among middle-aged adults in northern France: The ELISABET study 2011-2013. Respir Med. déc 2015;109(12):1553-61.
37. Fuhrman C, Cyr D, Giraud V, Ruiz F, Perez T, Iwatsubo Y, et al. Qualité de la spirométrie dans la cohorte Constances et prévalence du trouble ventilatoire obstructif. Bull Epidémiol Hebd. 2016;(35-36):654-9. [http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2016/35-36/2016\\_35-36\\_7.html](http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2016/35-36/2016_35-36_7.html).
38. Lemoigne F, Barré E, Arsento M, Bily F, Gibelin G, Pelser M, et al. Détection précoce de la BPCO en milieu professionnel dans les Alpes-Maritimes. Rev Mal Respir. janv 2015;32(1):30-7.
39. Zins M, Goldberg M. The French CONSTANCES population-based cohort: design, inclusion and follow-up. Eur J Epidemiol. 2015;30:1317-28.
40. Derock C, Tison L, Bion C, Sergent E, Hauter A, Boyer L, et al. Pratique de la spirométrie en médecine du travail dans le cadre du diagnostic précoce de la bronchopneumopathie chronique obstructive dans le secteur du bâtiment et travaux publics. Arch Mal Prof Environ. 1 mai 2018;79(3):255.
41. Liang X, Zheng J, Gao Y, Zhang Z, Han W, Du J, et al. Clinical application of oscillometry in respiratory diseases: an impulse oscillometry registry. ERJ Open Res. oct 2022;8(4):00080-2022.
42. Liang X, Zheng J, Wang Z, Gao Y. Reply to: Interpreting lung oscillometry results: Z-scores instead of fixed cut-off values? ERJ Open Res. mars 2023;9(2):00718-2022.
43. Salvi S, Ghorpade D, Vanjare N, Madas S, Agrawal A. Interpreting lung oscillometry results: Z-scores or fixed cut-off values? ERJ Open Res. mars 2023;9(2):00656-2022.
44. Bednarek M, Grabicki M, Piorunek T, Batura-Gabryel H. "Current place of impulse oscillometry in the assessment of pulmonary diseases." Respir Med. août 2020;170:105952.
45. Smith H, Reinhold P, Goldman M. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. Eur Respir Monogr. 1 avr 2005;31.

46. Liang XL, Gao Y, Guan WJ, Du J, Chen L, Han W, et al. Reference values of respiratory impedance with impulse oscillometry in healthy Chinese adults. *J Thorac Dis.* juin 2021;13(6):3680-91.
47. Lifar P. Utilisation des oscillations forcées en médecine du travail : étude de faisabilité comparativement à la spirométrie [Thèse d'exercice]. Toulouse III; 2021.
48. Breyer-Kohansal R, Hartl S, Burghuber OC, Urban M, Schrott A, Agusti A, et al. The LEAD (Lung, Heart, Social, Body) Study: Objectives, Methodology, and External Validity of the Population-Based Cohort Study. *J Epidemiol.* 5 août 2019;29(8):315-24.
49. Salvi S, Ghorpade D. Z -Scores or Fixed Cutoff Values to Interpret Oscillometry: Opportunities from the LEAD Study. *Am J Respir Crit Care Med.* 15 mai 2024;209(10):1281-1281.
50. Zimmermann SC, Watts JC, Bertolin A, Jetmalani K, King GG, Thamrin C. Discrepancy between in vivo and in vitro comparisons of forced oscillation devices. *J Clin Monit Comput.* juin 2018;32(3):509-12.
51. Dandurand RJ, Lavoie JP, Lands LC, Hantos Z, the Oscillometry Harmonisation Study Group. Comparison of oscillometry devices using active mechanical test loads. *ERJ Open Res.* oct 2019;5(4):00160-2019.
52. Hellinckx J, Cauberghe M, Boeck KD, Demedts M. Evaluation of impulse oscillation system: comparison with forced oscillation technique and body plethysmography.
53. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J.* déc 2012;40(6):1324-43.

# Annexes

# Annexe 1 : Procédure opérationnelle

## Procédure opérationnelle MTPH

### 1. Préparer le matériel

- Documents : questionnaire médecin, fiche de renseignements, questionnaire d'inclusion, questionnaire
- Appareils : appareil d'oscillométrie et spiromètre
- Outil d'étalonnage : charge de test (tremoflo®)
- Consommables : pince-nez et embouts buccaux
- Autres : balance, toise, ordinateur, chronomètre, eau et verres, mouchoirs<sup>1</sup>

### 2. Étalonner les appareils

- Appareil d'oscillométrie (cf annexe 1A)
- Spiromètre (cf annexe 1B)

### 3. Recrutement (médecin)

- Expliquer l'étude.
- Remplir le questionnaire médecin, peser et mesurer le travailleur sans ses chaussures.

### 4. Accueillir et informer le travailleur (opérateur/interne)

- Lire l'explication de l'étude (cf annexe 2).

### 5. Compléter (par l'opérateur / l'interne) :

- La fiche de renseignements
- Le questionnaire d'inclusion
- Le questionnaire : remplir de la question n°1 à n°21.

### 6. 1<sup>er</sup> examen : Oscillométrie

1. Lire l'explication de l'examen (cf annexe 3).
2. Effectuer une démonstration de la technique (positionnement, embout buccal, respiration).
3. Faire confirmer par le travailleur qu'il a bien compris les instructions. Répéter les instructions si nécessaire.
4. Effectuer un lavage des mains pour le travailleur et l'opérateur.
5. Remettre l'embout buccal et le pince-nez au travailleur.
6. S'assurer que le travailleur est prêt à effectuer l'examen. Répéter les instructions si nécessaire.

### 7. Démarrer le chronomètre.

8. Réalisation de l'examen par le travailleur (3 répétitions) :
  - Encourager le travailleur à être détendu et à respirer normalement.
  - Répéter les instructions si nécessaire.
  - Laisser un temps de récupération entre chaque mesure.

9. Vérifier les critères d'acceptabilité et de reproductibilité (cf annexe 4).
10. Réaliser des mesures supplémentaires si besoin (maximum 8 au total).

### 11. Arrêter le chronomètre.

12. Reporter le temps et le nombre de courbes réalisées sur le questionnaire (questions n°22 et n°23).

<sup>1</sup> Johnson B, Steenbruggen I, Graham BL, Coleman C. Improving spirometry testing by understanding patient preferences. ERJ Open Res. 2021 Feb 8;7(1):00712-2020. doi: 10.1183/23120541.00712-2020. PMID: 33585650; PMCID: PMC7869590.

---

## 7. **2<sup>nd</sup> examen : Spirométrie**

1. Lire l'explication de l'examen (cf annexe 5).
2. Effectuer une démonstration de la technique (positionnement, embout buccal, manœuvres).
3. Faire confirmer par le travailleur qu'il a bien compris les instructions. Répéter les instructions si nécessaire.
4. Effectuer un lavage des mains pour le travailleur et l'opérateur.
5. Remettre l'embout buccal et le pince-nez au travailleur.
6. S'assurer que le travailleur est prêt à effectuer l'examen. Répéter les instructions si nécessaire.

### **7. Démarrer le chronomètre.**

8. Réalisation de l'examen par le travailleur (3 répétitions) :
  - Encourager le travailleur avec un langage corporel approprié et des phrases telles que « continuez, encore, encore ... ».
  - Répéter les instructions si nécessaire.
  - Interrompre la manœuvre si le travailleur présente des signes d'intolérance : étourdissements, douleurs...
  - Laisser un temps de récupération entre les manœuvres.
9. Vérifier les critères d'acceptabilité et de reproductibilité (cf annexe 6).
10. Réaliser des mesures supplémentaires si besoin (maximum 8 au total).

### **11. Arrêter le chronomètre.**

12. Reporter le temps et le nombre de courbes réalisées sur le questionnaire (questions n°22 et n°23).

## 8. **Finir de compléter le questionnaire (par l'opérateur)**

- Remplir la partie « Évaluation des examens par le travailleur » (questions n°24 à n°27).
- Remplir la partie « Évaluation des examens par l'opérateur pour ce sujet » (questions n°28 à n°31).
- Remplir la partie « Résultats » (questions n°32 et n°33).

## 9. **Sauvegarder, imprimer les résultats des deux examens**

- Expliquer les résultats de la spirométrie au travailleur et lui remettre un compte rendu.
- Remettre un compte rendu de la spirométrie au médecin prescripteur.
- Conserver un exemplaire du compte rendu de la spirométrie et de l'oscillométrie dans le dossier d'inclusion du travailleur.

## Annexes

### **Annexe 1A : Étalonnage de l'appareil d'oscillométrie**

Étalonner l'appareil quotidiennement avec la charge de test.

### **Annexe 1B : Étalonnage du spiromètre**

Pas d'étalonnage nécessaire avec cet appareil.

---

## **Annexe 2 : Explication de l'étude**

Dans le cadre du suivi en santé au travail, il est parfois nécessaire de réaliser un examen de souffle afin d'évaluer le fonctionnement du système respiratoire, notamment pour les travailleurs exposés à des substances irritantes pouvant causer un trouble ventilatoire.

Actuellement, le seul examen utilisé dans les services de prévention et de santé au travail est la spirométrie.

Bien que cet examen soit considéré comme l'examen de référence, il présente des limites puisqu'il est techniquement exigeant et peut être contre-indiqué dans certaines situations.

Afin de faciliter le suivi des travailleurs, nous souhaitons étudier une autre méthode appelée la technique des oscillations forcées. Cette technique pourrait être utilisée de manière complémentaire à la spirométrie. Elle présente des avantages intéressants, tels que sa simplicité d'utilisation et l'absence de contre-indication.

De plus, elle pourrait permettre un dépistage plus précoce des troubles ventilatoires que la spirométrie.

Cependant, l'utilisation de cette méthode dans les services de prévention et de santé au travail n'a pas été validée. L'objectif de cette étude est donc de comparer ces deux examens de souffle afin d'évaluer la place que pourrait occuper la technique des oscillations forcées dans la pratique future.

Nous vous proposons donc de participer à cette étude si vous présentez des symptômes respiratoires tels que de la toux, des crachats, des essoufflements ou des sifflements ou si votre médecin du travail vous a prescrit un suivi de la fonction respiratoire, notamment dans le cadre d'une exposition professionnelle.

---

### **Annexe 3 : Explication de l'oscillométrie**

L'oscillométrie est une épreuve fonctionnelle respiratoire qui permet d'évaluer le fonctionnement des poumons, notamment au niveau des petites voies aériennes.

L'appareil envoie des ondes qui font vibrer le poumon puis enregistre la réponse du poumon.

Pour réaliser l'examen vous devrez :

- Être assis avec une posture droite et la tête légèrement relevée.
- Mettre un pince nez.
- Prendre l'embout buccal de l'appareil en bouche, garder la langue sous l'embout pour ne pas l'obstruer et fermer les dents et les lèvres autour de l'embout pour éviter les fuites.
- Maintenir vos joues avec la paume des mains et avec les doigts et maintenir le plancher de la bouche avec le pouce positionné sous le menton.

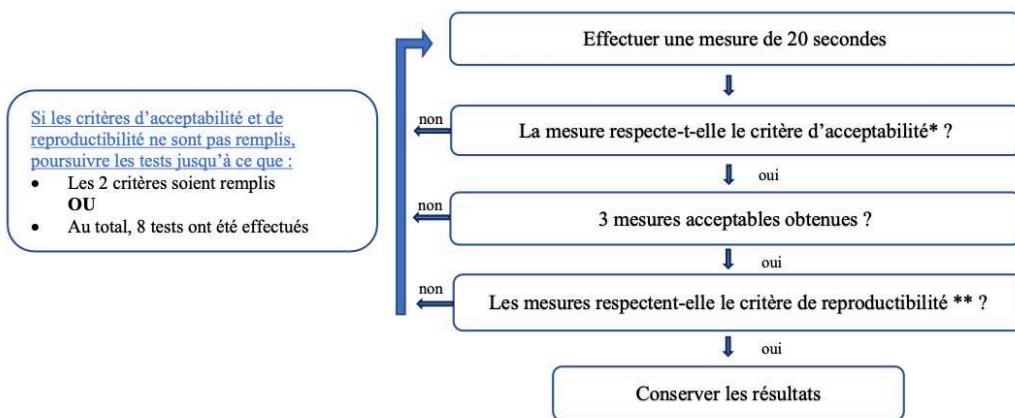
Une fois que vous serez correctement installé, l'examen pourra débuter.

Vous devrez respirer normalement en étant détendu et en évitant de déglutir et de tousser.

Pendant la mesure, vous pourrez sentir une légère vibration ou battement dans votre bouche ainsi que dans votre poitrine.

Chaque mesure dure 30 secondes et sera répétée au moins 3 fois, avec un temps de récupération entre chaque mesure. Il sera possible que les mesures ne soient pas acceptées. Dans ce cas, il faudra refaire des mesures. Au total, vous ne ferez pas plus de 8 répétitions.

**Annexe 4 : Critères d'acceptabilité et de reproductibilité de l'oscillométrie** (selon les recommandations de l'ERS 2020<sup>2</sup> et de Toto D<sup>3</sup>)



**\*Critère d'acceptabilité**

- Pas d'artefacts, pas de :
  - Toux
  - Déglutition
  - Fuite
  - Embout buccal obstrué

**\*\* Critère de reproductibilité**

- Le coefficient de variation doit être  $\leq 10\%$  entre les 3 mesures qui ont les valeurs de résistance à 5 Hz les plus proches.

<sup>2</sup> King GG, Bates J, Berger KI, et al. Technical standards for respiratory oscillometry. Eur Respir J. 2020 Feb 27;55(2):1900753. doi: 10.1183/13993003.00753-2019. PMID: 31772002.

<sup>3</sup> Toto D, Vesce A, Falvo MJ. Evaluation of the 2019 ERS Task Force Guidelines for FOT Measurement Replication. Am J Respir Crit Care Med. 2020;201:A3266

---

## **Annexe 5 : Explication de la spirométrie**

La spirométrie est une épreuve fonctionnelle respiratoire qui permet d'évaluer le fonctionnement des poumons en analysant les volumes d'air inspirés et expirés par un individu.

Pour réaliser l'examen vous devrez :

- Être assis avec une posture droite et la tête légèrement relevée.
- Mettre un pince nez.
- Prendre l'embout buccal de l'appareil en bouche, garder la langue sous l'embout pour ne pas l'obstruer et fermer les dents et les lèvres autour de l'embout pour éviter les fuites.
- Desserrez tout vêtement trop serré.

Une fois que vous serez correctement installé, l'examen pourra débuter. Ce dernier se déroule en 3 temps :

- Le premier temps consiste à respirer normalement.
- Le second temps consiste à réaliser une à **inspiration maximale en inspirant à fond et rapidement**, sans faire de pause avant le troisième temps.
- Le troisième et dernier temps consiste à réaliser une **expiration « explosive »** juste après l'inspiration. Il faudra **poursuivre l'expiration jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'air à expirer** tout en maintenant une posture droite et **continuer à expirer même si vous avez l'impression que plus rien ne sort**.
- Attention, il ne faudra **pas faire de pause entre le second et troisième temps, c'est-à-dire entre l'inspiration maximale et l'expiration explosive**.

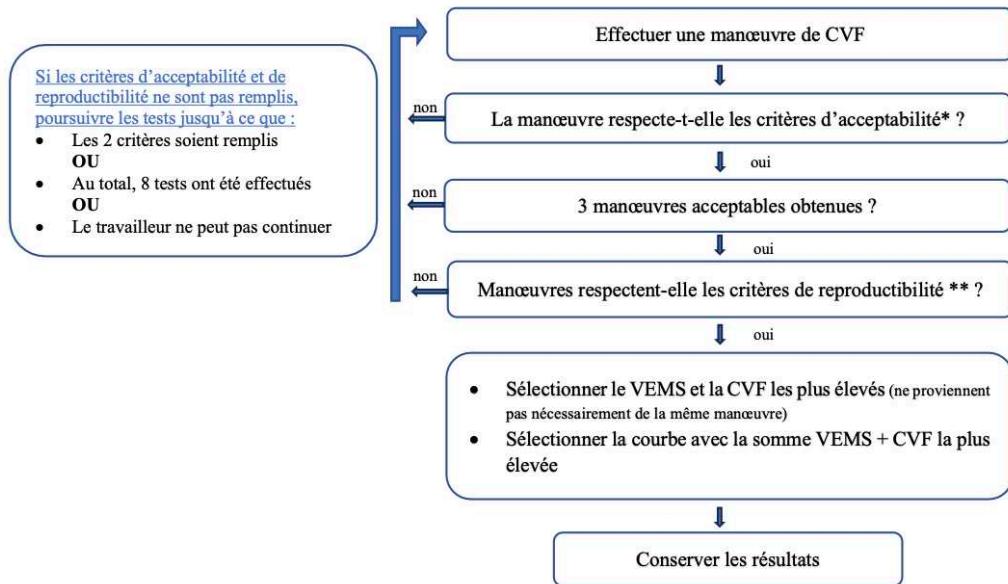
Si vous rencontrez des difficultés pour la réalisation des manœuvres d'inspiration et d'expiration nous afficherons sur l'écran d'ordinateur un jeu afin de vous aider.

L'examen sera à réaliser au moins 3 fois, avec un temps de récupération entre chaque répétition.

Votre participation active est essentielle pour garantir des résultats interprétables.

Il sera néanmoins possible que les courbes produites à l'issu des manœuvres ne soient pas acceptées. Dans ce cas, il faudra refaire quelques répétitions. Au total, vous ne ferez pas plus de 8 répétitions.

**Annexe 6 : Critères d'acceptabilité et de reproductibilité de la spirométrie** (selon les recommandations de l'ATS/ERS 2019<sup>4</sup>)



**\*Critères d'acceptabilité**

- Pas d'artefacts, pas de :
  - Toux pendant la première seconde de l'expiration
  - Fermeture de la glotte
  - Arrêt prématuré
  - Effort sub-optimal pendant toute la manœuvre
  - Fuite
  - Embout buccal obstrué
- Bon début :
  - Volume extrapolé  $\leq 5\%$  de la CVF, ou  $\leq 0,10\text{L}$
- Expiration satisfaisante :
  - Durée  $\geq 15$  secondes ou un plateau de la courbe volume-temps ou le travailleur ne peut pas continuer à expiration

**\*\* Critères de reproductibilité**

- L'écart entre les deux valeurs les plus élevées de la CVF doit être  $\leq 0,150\text{ L}$
- L'écart entre les deux valeurs les plus élevées du VEMS doit être  $\leq 0,150\text{ L}$

<sup>4</sup> Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. Am J Respir Crit Care Med. 15 oct 2019;200(8):e70-88.

## Annexe 2 : Questionnaire médecin

### Questionnaire préalable à la réalisation des EFR à remplir par le médecin du travail

Nom du médecin du travail : .....

#### Informations concernant l'agent :

Nom : .....

Prénom : .....

Date de naissance : \_\_\_\_ \_\_\_\_ \_\_\_\_

Poste de travail : .....

Poids : \_\_\_\_ , \_\_\_\_ kg

Taille : \_\_\_\_ cm

#### Motif de la demande d'EFR :

- exposition professionnelle à :
  - la silice cristalline
  - autre (préciser l'exposition professionnelle) : .....
- port d'un appareil respiratoire isolant
- tabagisme
- signes fonctionnels respiratoires (toux, crachats, essoufflements, sifflements)
- autre (préciser le motif de la demande) : .....

## Annexe 3 : Questionnaire

Numéro d'inclusion : \_\_\_\_\_

### Étude FOTSCOM :

**Dépistage d'un trouble ventilatoire obstructif par la technique des oscillations forcées dans une population de travailleurs**

#### **Fiche de renseignements**

Date d'inclusion : \_\_\_\_\_

Numéro d'inclusion : \_\_\_\_\_

Nom : .....

Prénom : .....

Sexe de naissance :  Féminin  Masculin

Date de naissance : \_\_\_\_\_

Nom du service de prévention et de santé au travail : MTPH

Nom de l'opérateur : .....

Numéro d'inclusion : \_\_\_\_\_

### Questionnaire d'inclusion

#### Critères d'inclusion

<input type="radio"/> Oui	Homme ou femme âgé(e) de 18 ans ou plus.
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Sujet actif occupé ayant actuellement un emploi et un suivi dans un service de prévention et de santé au travail.
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Oui Présentant une toux et/ou des crachats et/ou des essoufflements et/ou des sifflements dans la poitrine.
<input type="radio"/> Non	
	<b><u>ET/OU</u></b>
<input type="radio"/> Oui	Dont le médecin du travail a prescrit un suivi respiratoire.
<input type="radio"/> Non	

#### Critères de non inclusion

Les critères de non inclusion sont **des contre-indications à la réalisation de la courbe débit-volume** (selon les recommandations de l'ATS/ERS 2019<sup>1</sup>).

Le travailleur ne sera pas inclus dans l'étude s'il répond positivement à l'une des questions ci-dessous.

<input type="radio"/> Oui	Avez-vous été pris en charge pour un <b>infarctus du myocarde</b> il y a <b>moins d'une semaine</b> ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Avez-vous été pris en charge pour un <b>pneumothorax</b> il y a <b>moins de deux semaines</b> ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Avez-vous dû subir une <b>chirurgie thoracique, abdominale ou cérébrale</b> il y a <b>moins d'un mois</b> ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Avez-vous dû subir une <b>chirurgie de l'œil, des sinus ou de l'oreille moyenne</b> il y a <b>moins d'une semaine</b> ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Un médecin vous a-t-il déjà dit que vous aviez un <b>anévrisme cérébral</b> ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Un médecin vous suit-il <b>actuellement</b> pour de l' <b>hypertension artérielle sévère</b> (systolique > 180 et/ou diastolique > 110) ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Un médecin vous suit-il <b>actuellement</b> pour une <b>hypertension artérielle pulmonaire non contrôlée</b> ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Un médecin vous suit-il <b>actuellement</b> pour de l' <b>hypotension (hors hypotension orthostatique)</b> ?
<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Oui	Un médecin vous suit-il <b>actuellement</b> pour une <b>arythmie auriculaire ou ventriculaire non équilibrée</b> ?
<input type="radio"/> Non	

<sup>1</sup> Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, Hallstrand TS, Kaminsky DA, McCarthy K, McCormack MC, Oropeza CE, Rosenfeld M, Stanoevic S, Swann MP, Thompson BR. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. Am J Respir Crit Care Med. 2019 Oct 15;200(8):e70-e88. doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST. PMID: 31613151; PMCID: PMC6794117.

Numéro d'inclusion : \_\_\_\_\_

<input type="radio"/> Oui	Un médecin vous suit-il <b><u>actuellement</u></b> pour une <b>insuffisance cardiaque décompensée</b> ?
<input type="radio"/> Oui	Avez-vous <b><u>actuellement</u></b> des <b>douleurs thoraciques ou abdominales</b> en lien avec un <b>événement de santé récent</b> (opération, pathologie, traumatisme) ?
<input type="radio"/> Oui	Avez-vous <b><u>actuellement</u></b> une <b>infection virale ou bactérienne respiratoire</b> (bronchite, tuberculose, covid, grippe...) et/ou <b>ORL</b> (rhinopharyngite, sinusite...) ?
<input type="radio"/> Oui	Êtes-vous <b><u>actuellement</u></b> <b>enceinte</b> et dans le <b>troisième trimestre</b> de votre grossesse ?
<input type="radio"/> Oui	Avez-vous déjà fait une <b>syncope</b> en lien avec une <b>expiration forcée</b> ou un <b>effort de toux</b> ?
<input type="radio"/> Oui	<b>Crachez-vous du sang</b> ?
<input type="radio"/> Oui	Avez-vous pris un <b>bronchodilatateur à courte durée d'action</b> (ex: ventoline, airomir, bricanyl...) il y a <b><u>moins d'une heure</u></b> ?

#### **Inclusion dans l'étude**

Le travailleur peut-il être inclus dans l'étude ?

- Oui
- Non

Si le travailleur a refusé de participer à l'étude, merci de préciser le motif du refus :

- Contrainte de temps
- Délai de réflexion trop court
- Pense ne pas être assez informé sur l'étude
- N'est pas intéressé
- Pas de justification donnée
- Autre (à préciser) : .....  
.....  
.....

Numéro d'inclusion : \_\_\_\_\_

## Questionnaire

### Informations concernant le travailleur

- 1) Date de naissance : \_\_\_\_\_
- 2) Sexe de naissance :  Féminin  Masculin
- 3) Poids : \_\_\_\_\_ kg
- 4) Taille : \_\_\_\_\_ cm
- 5) Le travailleur est inclus dans l'étude car :
  - il rapporte un ou plusieurs signes fonctionnels respiratoires (toux, crachats, essoufflements, sifflements)
  - le médecin du travail a prescrit un suivi respiratoire en raison :
    - d'une exposition professionnelle à :
      - la silice cristalline
      - autre (préciser l'exposition professionnelle) : .....
    - du port d'un appareil respiratoire isolant
    - d'un tabagisme
    - autre (préciser le motif du suivi respiratoire) : .....

### Pathologies pulmonaires et traitements

- 6) Avez-vous une maladie respiratoire chronique diagnostiquée par un médecin et pour laquelle vous êtes suivi actuellement ?  Oui  Non
  - a. Si oui :
    - Asthme
    - BPCO (bronchopneumopathie chronique obstructive) :
      - Stade I (léger) : VEMS > 80% \*
      - Stade II (modéré) : 50% < VEMS < 80% \*
      - Stade III (sévère) : 30% < VEMS < 50% \*
      - Stade IV (très sévère) : VEMS < 30% \*
      - Ne sait pas
    - Bronchiectasies (dilatations des bronches)
    - Bronchite chronique
    - PID (pneumopathie interstitielle diffuse) :
      - Connectivite / Vascularite (sclérodermie, polyarthrite rhumatoïde, lupus... )  
Préciser la pathologie : .....
      - PHS (pneumopathie d'hypersensibilité)
      - PID idiopathique :
        - FPI (fibrose pulmonaire idiopathique)
        - Autre (à préciser) : .....
      - PID indéterminée
    - Autre pathologie pulmonaire (à préciser) : .....

\*VEMS post-bronchodilatateur

Numéro d'inclusion :                            

7) Prenez-vous un traitement à visée respiratoire ?  Oui  Non  
a. Si oui :

Nom du traitement	Posologie	Date et heure de la dernière prise
		<u>      </u> H <u>      </u>
		<u>      </u> H <u>      </u>
		<u>      </u> H <u>      </u>
		<u>      </u> H <u>      </u>
		<u>      </u> H <u>      </u>
		<u>      </u> H <u>      </u>
		<u>      </u> H <u>      </u>

**Tabagisme** (statut tabagique défini selon des recommandations internationales<sup>2,3,4)</sup>

8) Avez-vous fumé l'équivalent d'au moins 100 cigarettes (5 paquets) dans votre vie ?  Oui  Non  
(1 cigarette à rouler = 1 cigarette ; 1 cigareillo = 2 cigarettes ; 1 cigar = 4 cigarettes ; 1 pipe = 5 cigarettes ; 1 chicha = 10 cigarettes)  
Si oui :  
a. Avez-vous fumé au cours des 30 derniers jours ?  Oui  Non  
b. Sur l'ensemble de votre parcours tabagique, estimez votre consommation moyenne de cigarettes par jour.       ,        cigarettes/jour  
c. Pendant combien d'années avez-vous fumé ?       ,        ans

9) Vapotez-vous actuellement ?  Oui  Non

**Cannabis** (statut défini selon la définition de l'Observatoire français des drogues et des tendances addictives (OFDT)<sup>5)</sup>

10) Avez-vous déjà fumé du cannabis ?  Oui  Non  
Si oui :  
a. Avez-vous fumé du cannabis au cours des 12 derniers mois ?  Oui  Non  
b. A quelle fréquence en consomm(i)ez vous ?  
 Au moins une fois au cours de votre vie  
 Plus d'une fois par an  
 Au moins dix fois par mois  
 Tous les jours  
c. Pendant combien d'années en avez-vous fumé ?       ,        ans

<sup>2</sup> États-Unis:

• Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2023 National Health Interview Survey (NHIS):  
o <https://www.cdc.gov/nchs/nhis/tobacco/glossary.htm?fbclid=IwAR19pReWh7wgU9ZjV4hl3j2i293por0DV8LqTdTzCKxKBEcVBGFwPU>

<sup>3</sup> Canada:

• Terminology based on the Canadian Tobacco Use Monitoring Survey (CTUMS):  
o <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/health-concerns/tobacco/research/tobacco-use-statistics/terminology.html?fbclid=IwAR1sXzUiZok0EuxVmLlwQ3gZK3YK0tWAQuOWrlpcfQaRhtT4mlBhHGPX5OM>

• Canadian Tobacco, Alcohol and Drugs Survey, 2017:

o [https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p1Instr.pl?Function=assembleInstr&lang=en&Item\\_Id=337407#q341889](https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p1Instr.pl?Function=assembleInstr&lang=en&Item_Id=337407#q341889)

<sup>4</sup> Nouvelle-Zélande:

• Ministry of Health – Definitions of smoking status:  
o <https://www.health.govt.nz/our-work/preventative-health-wellness/tobacco-control/tobacco-control-information-practitioners/definitions-smoking-status>

<sup>5</sup> <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1168>

Numéro d'inclusion : \_\_\_\_\_

#### **Signes fonctionnels respiratoires et ORL**

- 11) Vous arrive-t-il d'être essoufflé ?  Oui  Non  
a. Si oui, quel est votre niveau d'essoufflement (échelle mMRC) ?  
 Stade 0 : je suis essoufflé uniquement pour un effort important.  
 Stade 1 : je suis essoufflé quand je me dépêche à plat ou quand je monte une pente légère.  
 Stade 2 : je marche moins vite que les gens de mon âge à plat ou je dois m'arrêter quand je marche à mon rythme à plat.  
 Stade 3 : je m'arrête pour respirer après 90 mètres ou après quelques minutes à plat.  
 Stade 4 : je suis trop essoufflé pour quitter ma maison ou je suis essoufflé rien qu'à m'habiller.
- 12) Toussez-vous régulièrement ?  Oui  Non  
a. Si oui, avez-vous toussé presque tous les jours, 3 mois de suite par an au cours d'au moins 2 années consécutives ?  Oui  Non
- 13) Avez-vous régulièrement des crachats provenant de la poitrine ?  Oui  Non  
a. Si oui, avez-vous craché presque tous les jours, 3 mois de suite par an au cours d'au moins 2 années consécutives ?  Oui  Non
- 14) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous eu une infection respiratoire ?  Oui  Non  
a. Si oui, avez-vous pris des antibiotiques ?  Oui  Non
- 15) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous eu des sifflements dans la poitrine ?  Oui  Non
- 16) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous été réveillé la nuit ou plus tôt que d'habitude le matin à cause d'au moins un des symptômes suivants : sifflements dans la poitrine, toux, essoufflement, oppression thoracique ?  
 Oui  Non
- 17) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous eu une crise d'asthme ?  Oui  Non
- 18) Au cours des 12 derniers mois, alors que vous n'aviez pas d'infection respiratoire (ni rhume, ni rhinopharyngite, ni grippe...), avez-vous eu les symptômes suivants plusieurs semaines par an :  
a. Des éternuements :  Oui  Non  
b. Le nez qui coule :  Oui  Non  
c. Le nez bouché :  Oui  Non  
d. Des démangeaisons au niveau du nez :  Oui  Non
- Si oui :  
e. Ces problèmes de nez, étaient-ils accompagnés de larmoiements ou démangeaisons des yeux ?  
 Oui  Non

#### **Lieu d'habitation (selon des revues de littérature<sup>67)</sup>**

- 19) Habitez-vous à moins de 150 mètres d'un axe routier à forte fréquentation ?  Oui  Non
- 20) Habitez-vous en zone urbaine ?  Oui  Non

<sup>6</sup> Host S, Chatignoux E, Leal C, Grémy I. Exposition à la pollution atmosphérique de proximité liée au trafic : quelles méthodes pour quels risques sanitaires ? [Health risk assessment of traffic-related air pollution near busy roads]. Rev Epidemiol Sante Publique. 2012 Aug;60(4):321-30. French. doi: 10.1016/j.respe.2012.02.007. Epub 2012 Jul 4. PMID: 22770751.

<sup>7</sup> Reungoat P, Chiron M, Momas I. Evaluation de l'exposition à la pollution atmosphérique liée au trafic routier dans les études épidémiologiques: une revue de littérature [Assessment of exposure to traffic pollution in epidemiological studies: a review]. Rev Epidemiol Sante Publique. 2004 Jun;52(3):271-96. French. doi: 10.1016/s0398-7620(04)99052-9. PMID: 15356440.

Numéro d'inclusion :

### **Cursus professionnel :**

21) Quelles sont les différentes professions que vous avez exercées au cours de votre carrière ?

Numéro d'inclusion :

Numéro d'inclusion :

### **Expliquer, chronométrer et réaliser les examens**

	Oscillométrie	Spirométrie
<b>22) Temps pour la réalisation des examens :</b>	█ min █ sec	█ min █ sec
<b>23) Nombre de courbes réalisées :</b>	█	█

### **Évaluation des examens par le *travailleur***

Numéro d'inclusion :

<p><b>26) Difficultés pendant l'examen:</b>  <b>Sur une échelle de 0 à 10, évaluez la <u>réalisation</u> de cet examen (0: difficile +++ / 10: facile +++).</b></p> <p><b>a. Si difficultés, lesquelles ?</b></p>	<p>.....  .....  .....</p>	<p>.....  .....  .....</p>
<p><b>27) Quel examen avez-vous préféré réaliser ?</b></p> <p><b>a. Pour quelles raisons ?</b></p>	<p><input type="radio"/> Oscillométrie</p> <p>.....  .....</p>	<p><input type="radio"/> Indifférent</p> <p>.....  .....</p>
	<p><input type="radio"/> Spirométrie</p> <p>.....  .....</p>	

### Évaluation des examens par l'*opérateur* pour ce sujet

	Oscillométrie	Spirométrie
<b>28) Avez-vous rencontré des difficultés techniques lors de la préparation ou de la réalisation des examens ?</b>	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
a. Si oui, lesquelles ?	..... ..... .....	..... ..... .....

<b>29) Difficultés avant l'examen :</b>  Sur une échelle de 0 à 10, évaluez <u>l'explication</u> du déroulé de l'examen au travailleur (0: difficile +++ / 10: facile +++).	 / 10	 / 10
a. Si difficultés, lesquelles ?	..... ..... .....	..... ..... .....

Numéro d'inclusion : \_\_\_\_\_

<p><b>30) Difficultés pendant l'examen :</b> <b>Sur une échelle de 0 à 10, évaluez votre difficulté lors de la réalisation de l'examen par le travailleur (0: difficile +++ / 10: facile +++).</b></p> <p>a. Si difficultés, lesquelles ?</p> <p>..... ..... .....</p>	<p>..... / 10</p>	<p>..... / 10</p>
<p><b>31) Quel examen avez-vous préféré faire réaliser ?</b></p> <p>a. Pour quelles raisons ?</p> <p>..... .....</p>	<input type="radio"/> Oscillométrie	<input type="radio"/> Indifférent <input type="radio"/> Spirométrie

## **Résultats**

### **Oscillométrie :**

32) Avez-vous obtenu 3 mesures répondant aux critères d'acceptabilité et de reproductibilité ?  Oui  Non

### **Spirométrie :**

33) Avez-vous obtenu 3 mesures répondant aux critères d'acceptabilité et de reproductibilité ?  Oui  Non

## Annexe 4 : COPD Assessment Test

Nom: .....

Prénom: .....

Pour chaque élément ci-dessous, veuillez indiquer d'un X la case qui correspond le mieux à votre état actuel.  
Prenez soin de ne sélectionner qu'une seule réponse par question.

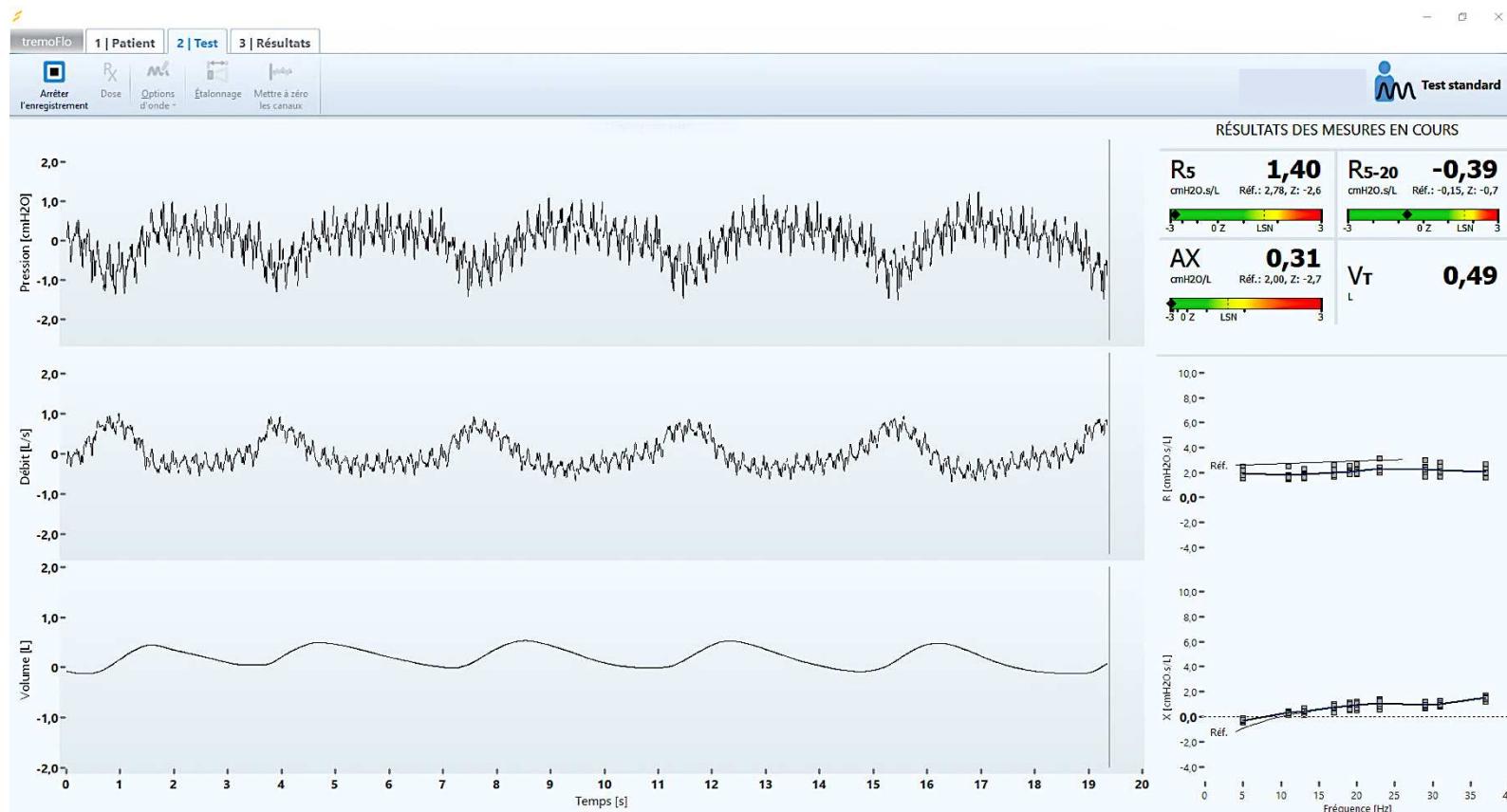
SCORE							
Je ne tousse <b>jamais</b>	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	Je tousse <b>tout le temps</b>
Je n'ai <b>pas du tout de glaire</b> (mucus) dans les poumons	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	J'ai les poumons <b>entièrement encombrés de glaire</b> (mucus)
Je n'ai <b>pas du tout la poitrine oppressée</b>	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	J'ai la poitrine <b>très oppressée</b>
Quand je monte une côte ou une volée de marches, je ne suis <b>pas essoufflé(e)</b>	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	Quand je monte une côte ou une volée de marches, je suis <b>très essoufflé(e)</b>
Je ne suis <b>pas limité(e)</b> dans mes activités chez moi	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	Je suis <b>très limité(e)</b> dans mes activités chez moi
Je ne suis <b>pas inquiét(e)</b> quand je quitte la maison, en dépit de mes problèmes pulmonaires	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	Je suis <b>très inquiét(e)</b> quand je quitte la maison, en raison de mes problèmes pulmonaires
Je <b>dors bien</b>	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	Je <b>dors mal</b> à cause de mes problèmes pulmonaires
Je suis <b>plein(e) d'énergie</b>	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	Je n'ai <b>pas d'énergie du tout</b>

SCORE TOTAL

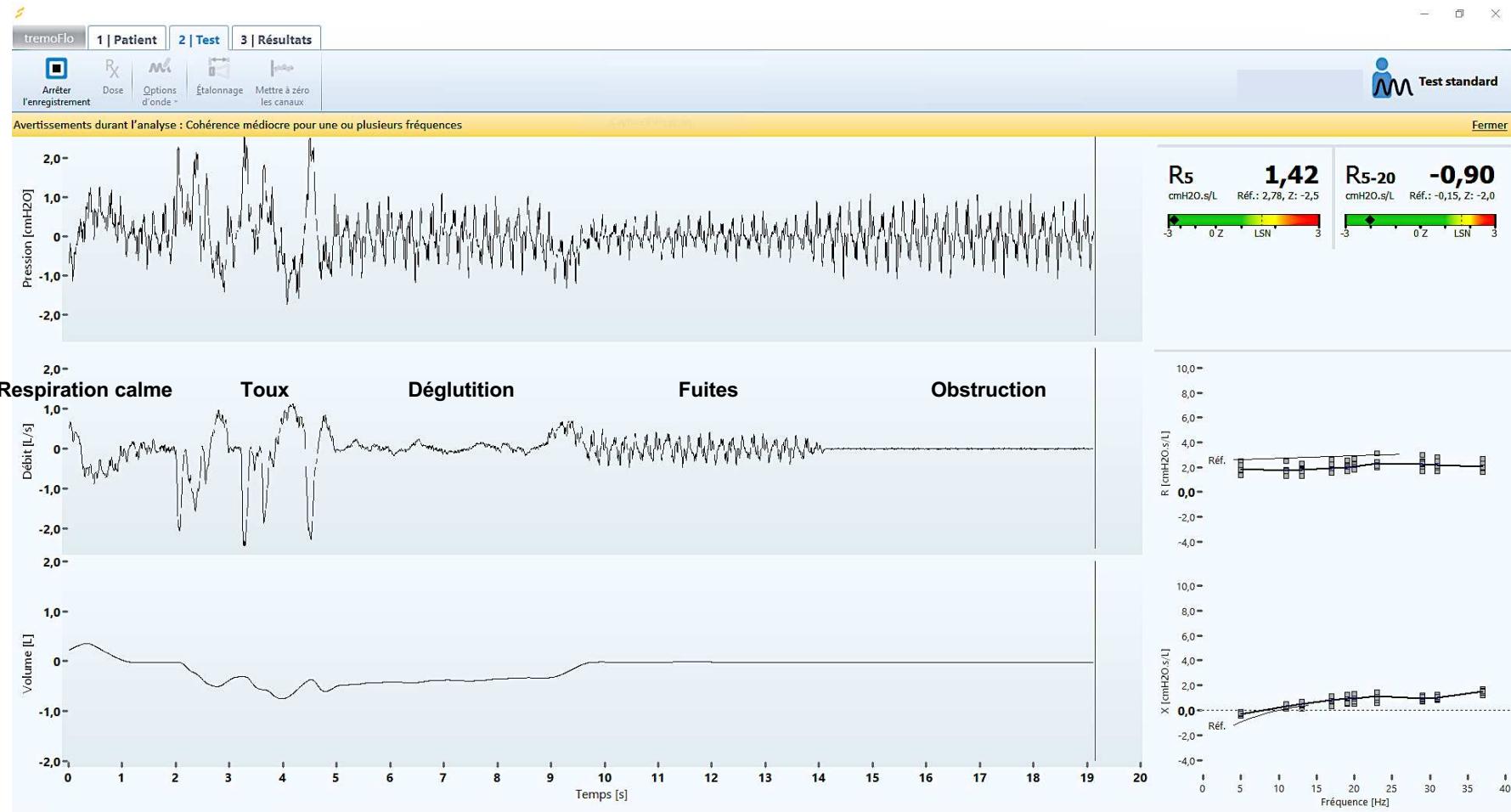
--	--

## Annexe 5 : Visualisation des courbes en oscillométrie

Respiration calme :



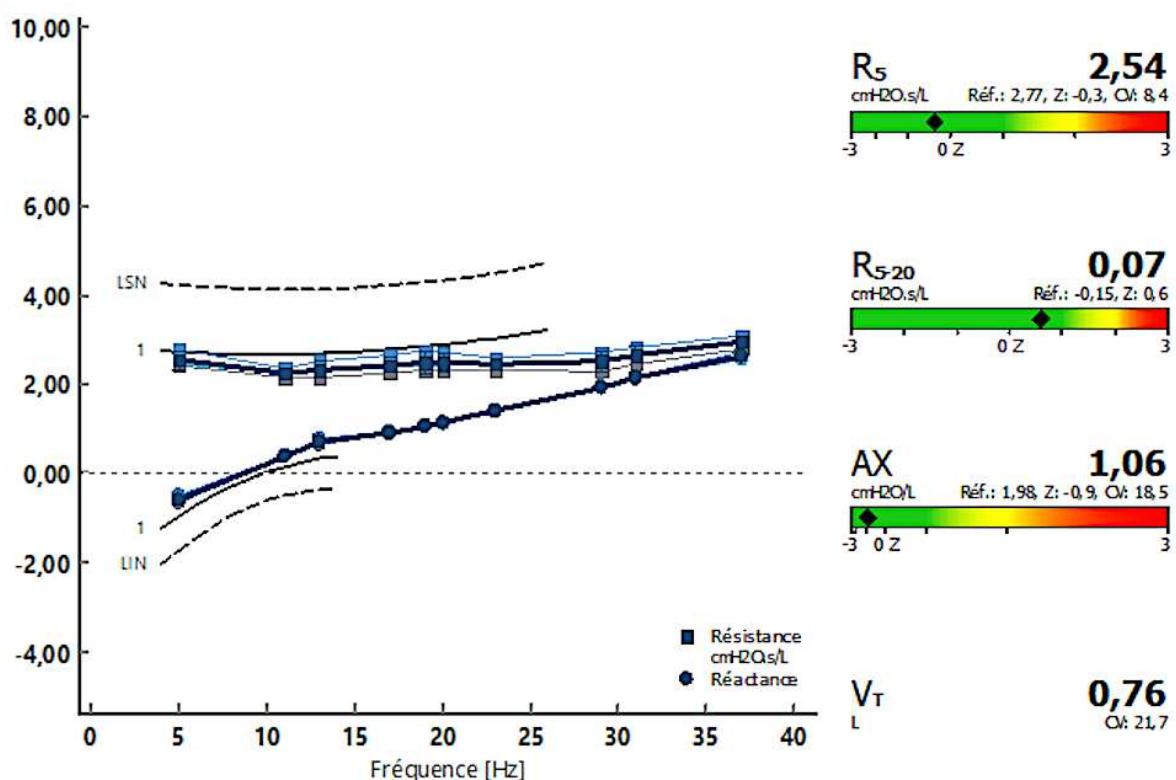
## Artefacts :



## Annexe 6 : Compte rendu d'oscillométrie

**THORASYS**  
CHU LILLE

PATIENT		FUMEUR	Non	TITRE	Test standard	DATE DU TEST	07/11/2023	10:18
SEXÉ	Femme	TEMPS		MODÈLE	Airwave Oscillometry	REPORT DATE	27/06/2024	09:49
ÂGE		TAILLE		ONDE	AOS 5-37	CODE		000000
NÉ LE		POIDS		MÉDECIN		CALIBRÉ LE	07/11/2023	10:16
MÉD. ANT.		ETHNIE	Caucasien	OPÉRATEUR	MTPH			

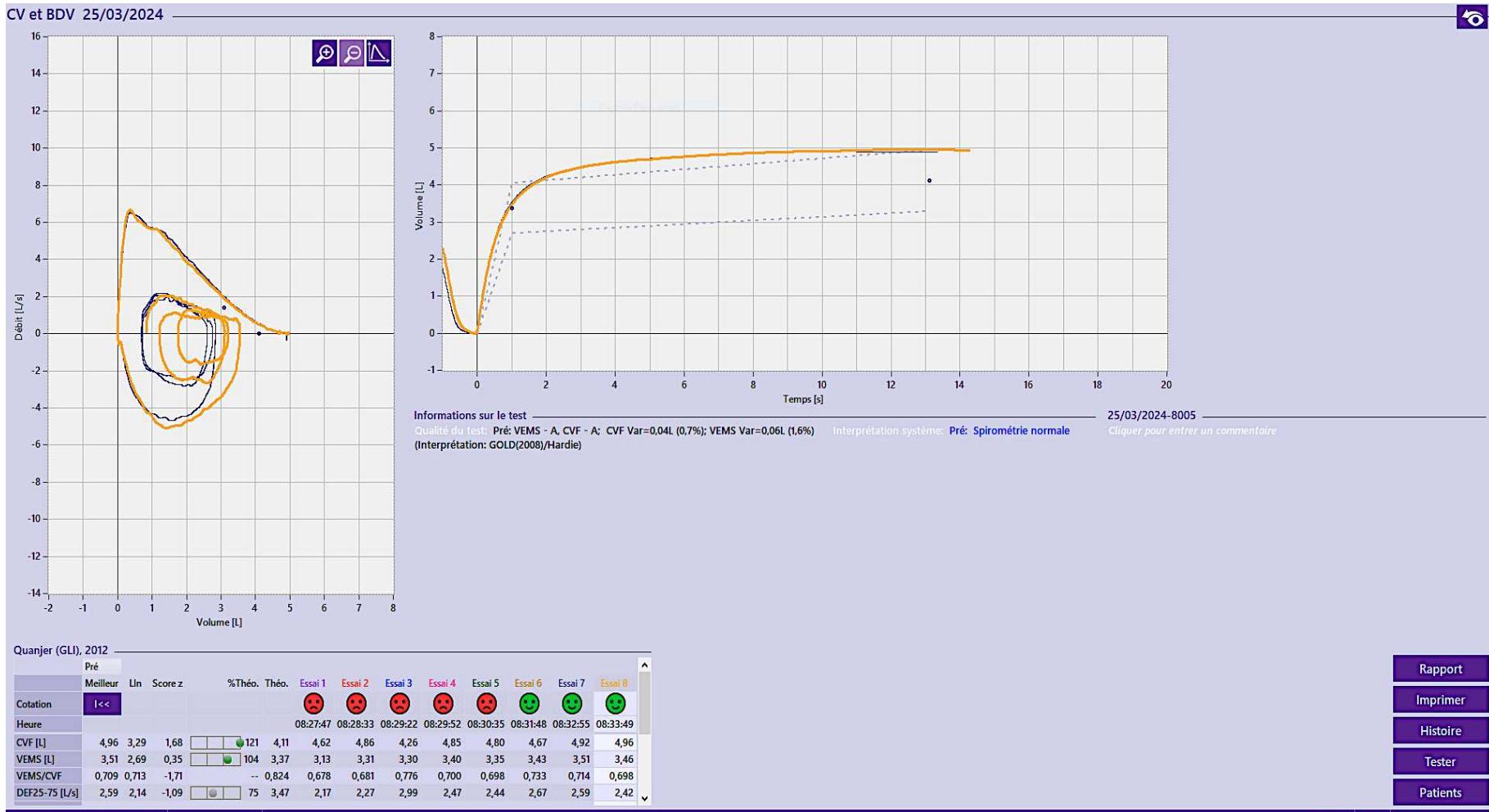


	Référence	Test Average	SD	CV %	Z-score	Diff. abs.	% prédit	M1	M2	M3
R5	2,771	2,542	0,2131	8,384	-0,3243	-0,2288	91,74	2,788	2,437	2,403
R5-20	-0,153	0,065			0,5903			0,083	0,028	0,085
AX	1,983	1,065	0,1968	18,48	-0,8962	-0,9188	53,68	0,841	1,144	1,209
VT		0,760	0,1652	21,73				0,572	0,828	0,880
COHS		0,949						0,931	0,967	0,950

<sup>1</sup> Oostveen E. et al. ERJ 2013

Rapport produit par le logiciel tremoflo version 1.0.43.44

## Annexe 7 : Visualisation des courbes en spirométrie

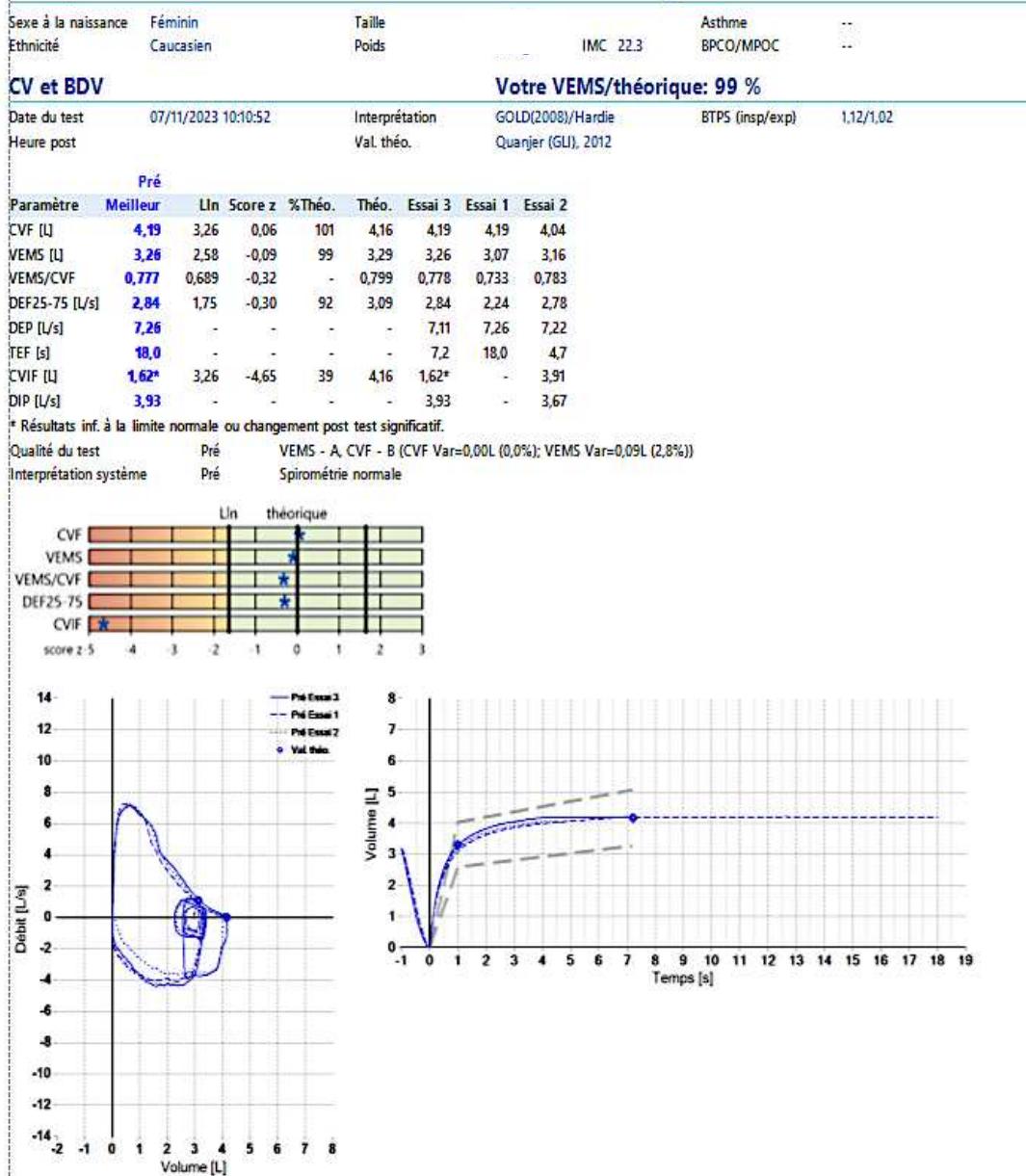


## Annexe 8 : Compte rendu de spirométrie

ndd Medical Technologies

Zurich, Switzerland

ID: 26071974 Âge: 49



## Annexe 9 : Caractéristiques de la population selon l'interprétabilité de la spirométrie

*Caractéristiques de la population selon l'interprétabilité de la spirométrie*

		Spirométrie interprétable		P-value
		Non (n = 7)	Oui (n = 46)	
<b>Sexe féminin</b>		5 (71.4%)	25 (54.3%)	0.6851
<b>Âge (années)</b>		39.2 [36.0 ; 44.8]	42.8 [33.9 ; 52.7]	0.4312
<b>Taille (cm)</b>		173 [168 ; 177]	170 [163 ; 179]	0.5364
<b>Poids (kg)</b>		80.0 [61.0 ; 91.0]	81.0 [64.8 ; 90.0]	0.8747
<b>IMC (kg.m<sup>2</sup>)</b>		25.2 [20.7 ; 29.9]	26.8 [23.2 ; 32.2]	0.6551
<b>Catégorie d'IMC</b>	<b>Sous la normale (&lt; 18.5)</b>	0 (0%)	3 (6.5%)	1
	<b>Normal (18.5-25)</b>	3 (42.9%)	15 (32.6%)	
	<b>Surpoids (&gt;= 25)</b>	2 (28.6%)	15 (32.6%)	
	<b>Obésité (&gt;= 30)</b>	2 (28.6%)	13 (28.3%)	
<b>Statut tabagique</b>	<b>Fumeur</b>	6 (85.7%)	19 (41.3%)	0.1202
	<b>Ex-fumeur</b>	1 (14.3%)	13 (28.3%)	
	<b>Non-fumeur</b>	0 (0%)	14 (30.4%)	
<b>Paquets-années</b>		15.0 [6.50 ; 17.5]	7.35 [0 ; 14.5]	0.2077
<b>Cigarette électronique</b>	<b>Oui</b>	0 (0%)	10 (21.7%)	0.3193
	<b>Non</b>	7 (100%)	33 (71.7%)	
	<b>Données manquantes</b>	0 (0%)	3 (6.5%)	
<b>Motif d'inclusion</b>				
<b>Tabagisme</b>	<b>Oui</b>	7 (100%)	26 (56.5%)	<b>0.03652</b>
<b>Signes fonctionnels respiratoires</b>	<b>Oui</b>	0 (0%)	20 (43.5%)	<b>0.03652</b>
<b>Exposition professionnelle</b>	<b>Oui</b>	0 (0%)	2 (4.3%)	1
<b>Port d'ARI</b>	<b>Oui</b>	0 (0%)	1 (2.2%)	1
<b>Autre motif d'inclusion</b>	<b>Oui</b>	0 (0%)	3 (6.5%)	1

ARI: Appareil Respiratoire Isolant ; IMC : Indice de Masse Corporelle.

Une spirométrie est considérée interprétable si elle répond aux critères d'acceptabilité et de reproductibilité selon l'ATS/ERS 2019.

Les tests statistiques sont des tests de Wilcoxon pour les variables quantitatives et des tests de Fisher pour les variables qualitatives.

## Annexe 10 : Autres paramètres d'oscillométrie

*Autres paramètres d'oscillométrie exprimés en z-score disponibles dans la base de données en fonction de la présence d'un TVO*

	TVO		Total (n = 46)
	Oui (n = 9)	Non (n = 37)	
<b>R11</b>	0.0305 [-0.877 ; 0.508]	-0.454 [-0.987 ; 0.378]	-0.443 [-0.979 ; 0.503]
<b>R13</b>	-0.132 [-1.11 ; 0.564]	-0.594 [-1.07 ; 0.151]	-0.548 [-1.10 ; 0.500]
<b>R17</b>	-0.454 [-1.09 ; 0.170]	-0.697 [-1.22 ; -0.0343]	-0.555 [-1.20 ; 0.119]
<b>R19</b>	-0.450 [-1.04 ; -0.0910]	-0.867 [-1.23 ; 0.0347]	-0.765 [-1.23 ; 0.00325]
<b>R23</b>	-0.586 [-1.13 ; -0.333]	-0.827 [-1.24 ; -0.0215]	-0.787 [-1.23 ; -0.0820]
<b>X11</b>	-0.504 [-0.972 ; -0.207]	-0.143 [-0.945 ; 0.452]	-0.209 [-0.965 ; 0.448]
<b>X13</b>	-0.703 [-1.31 ; -0.123]	-0.269 [-1.11 ; 0.365]	-0.348 [-1.28 ; 0.198]

Données présentées comme médiane [1er ; 3ème quartile] .

TVO: Trouble Ventilatoire Obstructif ; R11 : résistance à 11 Hz ; R13 : résistance à 13 Hz ; R17 : résistance à 17 Hz ; R19 : résistance à 19 Hz ; R23 : résistance à 23 Hz ; X11 : réactance à 11 Hz ; X13 : réactance à 13 Hz.

TVO défini par un z-score du rapport de Tiffeneau (VEMS/CVF) strictement inférieur à - 1.645.

Tous les paramètres d'oscillométrie sont exprimés en z-score.

Les normes utilisées sont les normes GLI 2012 pour la spirométrie, nous ne connaissons pas les normes utilisées pour ces paramètres d'oscillométrie.

**AUTEURE : Nom : DELAHAYE      Prénom : Béryl**

Date de soutenance : 21/10/2024

**Titre de la thèse :** Dépistage d'un trouble ventilatoire obstructif par la technique des oscillations forcées dans une population de travailleurs : étude de faisabilité

Thèse - Médecine - Lille 2024

## Cadre de classement : Médecine du Travail

## **DES + FST/option : Médecine du Travail**

**Mots-clés :** performances diagnostiques - faisabilité - EFR - spirométrie - oscillations forcées - trouble ventilatoire obstructif - expositions professionnelles - tabagisme

## Résumé :

**Contexte :** Les services de prévention et de santé au travail (SPST) rencontrent des difficultés à assurer le suivi de la fonction respiratoire des travailleurs en raison du nombre important de travailleurs à suivre et des exigences techniques de l'examen utilisé, la spirométrie. L'oscillométrie pourrait représenter une alternative. Il s'agit d'une méthode d'exploration fonctionnelle respiratoire (EFR) qui serait plus simple et rapide à réaliser que la spirométrie et pourrait ainsi faciliter et améliorer le suivi respiratoire des travailleurs. Cependant, cet examen ne nous fournit pas le rapport de Tiffeneau nécessaire pour identifier la présence d'un trouble ventilatoire obstructif (TVO). En revanche, il fournit d'autres paramètres qui permettraient de prédire la présence d'un TVO. Au regard de l'intérêt que portent les SPST à cette méthode, du contexte et de la littérature, nous avons souhaité mener une étude nommée FOTSCOM afin d'évaluer la capacité prédictive des oscillations forcées pour dépister un TVO. Dans l'attente des accords et du financement pour réaliser cette étude, nous avons réalisé une étude de faisabilité, objet de cette thèse.

**Matériel et Méthodes :** Nous avons réalisé une étude transversale, observationnelle et monocentrique au sein du service de Médecine du Travail du Personnel Hospitalisé du CHU de Lille du 8 janvier au 27 juin 2024. Les participants répondaient à des questionnaires et réalisaient les explorations fonctionnelles respiratoires comprenant l'oscillométrie et la spirométrie. Nous avons utilisé les normes GLI 2012 pour la spirométrie, les normes d'Oostveen pour l'oscillométrie et avons interprété les résultats grâce au z-score. Nous avons évalué les performances diagnostiques (Se, Sp, VPP, VPN, AUC) des paramètres d'oscillométrie pour dépister un trouble ventilatoire obstructif.

**Résultats :** Nous avons inclus 52 agents en 41 vacances. Nous n'avons pas rencontré de difficulté notable lors de la réalisation de l'étude. Nous avons mis en évidence que l'oscillométrie est un examen plus simple à réaliser que la spirométrie. Nous avons constaté qu'il n'existe aucune association significative entre une altération des paramètres d'oscillométrie et la présence d'un TVO. Les paramètres étudiés ont tous des aires sous la courbe inférieures à 0,6 et une sensibilité ne dépassant pas 0,33.

**Conclusion :** Ainsi, l'étude FOTSCOM semble réalisable. Elle permettra de confirmer nos résultats qui mettent en évidence qu'aucun paramètre d'oscillométrie n'offre de performance diagnostique satisfaisante pour dépister un TVO.

## Composition du Jury :

**Président :** Madame le Professeur SOBASZEK Annie

**Assesseurs :** Monsieur le Docteur DESCAMPS Emmanuel

Monsieur le Docteur WARDYN Pierre-Marie

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur HUO Sébastien

