

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE BUKAVU

FACULTE DE MEDECINE



DEPARTEMENT DE PEDIATRIE

**Analyse prospective de la mécanique
respiratoire chez enfants asthmatiques
caucasiens et africains par différentes
techniques spirométriques.**

BALOL'EBWAMI ZIGABE Serge

Docteur en Médecine

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Médecin Spécialiste en Pédiatrie

Promoteur : Professeur Dr Oreste BATTISTI
Co-Promoteur: Professeur Dr Bruno
MASUMBUKO

Décembre 2017

Remerciements

J'adresse mes remerciements au Professeur Oreste Battisti pour son appui inestimable dans la conception de ce travail, sa grande disponibilité et ses encouragements.

Je remercie le Professeur Ghislain Bisimwa, le Professeur Bruno Masumbuko ainsi que le Docteur Yvette Lufungulo pour leur soutien indéfectible.

Je remercie également tous mes collègues pour leurs contributions respectives.

Enfin, j'adresse mes remerciements aux membres de ma famille qui m'ont accompagné et soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Analyse prospective de la mécanique respiratoire chez des enfants asthmatiques caucasiens et africains par différentes méthodes spirométriques.

Résumé

A partir de différentes méthodes spirométriques réalisées dans une population pédiatrique comportant des enfants asthmatiques caucasiens (n =40) et africains (n= 35), nous avons réalisé, de manière prospective, une analyse détaillée de la mécanique respiratoire ou MR et des différents volumes pulmonaires statiques et dynamiques ou VPSD. Notre objectif était de vérifier l'hypothèse qu'il est possible de prédire, à partir des courbes débit-volume obtenues dans différentes techniques, de la plus sophistiquée à la plus simple, des paramètres complexes et importants concernant la MR. Dans le groupe d'enfants asthmatiques suivis au CHU de Liège d'août 2014 à août 2015, nous avons comparé les techniques de spirométrie avec pneumotachographie à celle de la pléthysmographie. Dans un autre groupe d'enfants asthmatiques africains suivis au service de Pédiatrie de l'HPGR Bukavu de janvier 2017 à juillet 2017, l'analyse de la MR et des VPSD a été également réalisée. Les résultats obtenus dans ces deux cohortes de 75 enfants asthmatiques nous ont permis d'atteindre les conclusions suivantes. Dans la population caucasienne, les deux méthodes s'équivalent pour la détermination du volume résiduel (VR) avec un coefficient de concordance de Lin de 85.34% (IC à 95%, 0.7979 à 0.8946). Le volume gazeux intra thoracique (VGT) peut être prédit à partir du volume résiduel (VR) (R^2 52.9%, $p < 0.0005$). L'analyse de la résistance des voies aériennes a montré de manière significative la réponse au salbutamol ($p < 0.0005$, $d = 0.96$). L'obstruction bronchique a été détectée par la résistance par interruptions de flux ($p < 0.0005$, $d = 1.77$). Dans la population africaine, l'obstruction bronchique a été le mieux appréciée par le DEM25-75, le DEM25-75 était plus sensible que le VEMS. Les indices de résistance et de volume résiduel étaient élevés, conformément à la physiopathologie de l'asthme bronchique. Notre étude permet également de confirmer que le VR peut être prédit à partir de la courbe débit-volume, et qu'il existe une corrélation entre le VR et le VGT. La plus simple des 3 techniques de spirométrie, par ses apports comparables aux techniques les plus sophistiquées et les plus onéreuses, permet ainsi dans les milieux à ressources limitées le diagnostic et le suivi de patients asthmatiques.

Abréviations :

ATS : American Thoracic society
CRF : Capacité résiduelle fonctionnelle
CPT : Capacité pulmonaire totale
CV : Capacité vitale
CVF : Capacité vitale forcée
CVL : Capacité vitale lente
DEM 25/75 : Débit expiratoire maximal entre 25 et 75 % de la CVF
DEM : Débit expiratoire maximal
DEP : Débit expiratoire de pointe
ERS : European Respiratory Society
EFR : Epreuves fonctionnelles respiratoires
Gaw : Compliance de voies respiratoires
HPGRB : Hôpital Provincial Général de Référence de Bukavu
MR : mécanique respiratoire
Rint : Résistances pulmonaires par interruptions itératives du débit
RVA : Résistances des voies aériennes
VEMS : Volume expiré maximal en 1 seconde
VEMS/CVL : Rapport de Tiffeneau
VGT : Volume gazeux intra thoracique
VPSD : volumes pulmonaires statiques et dynamiques
VR : Volume résiduel

Table des matières

| | |
|---|----|
| Remerciements..... | 1 |
| Analyse prospective de la mécanique respiratoire chez des enfants asthmatiques caucasiens et africains par différentes méthodes spirométriques..... | 2 |
| Résumé..... | 2 |
| Abréviations :..... | 3 |
| Liste de figures..... | 6 |
| Liste de tableaux..... | 6 |
| I. INTRODUCTION : un aperçu contextuel du spectre de l'asthme bronchique..... | 7 |
| 1.1. Définition et épidémiologie | 7 |
| 1.2. Corrélations entre la physiopathologie, l'anatomie et les données cliniques..... | 8 |
| 1.3. La place des épreuves respiratoires chez l'enfant asthmatique..... | 11 |
| II. POPULATION, MATERIEL ET METHODES :..... | 13 |
| 2.1. POPULATION | 13 |
| 2.2. METHODES..... | 14 |
| 2.3. MODALITE DU RECUEIL DE DONNEES..... | 15 |
| 2.3.1 : DESCRIPTION DU MATERIEL DE RECUEIL ET CRITERES D'INTERPRÉTATION : | 15 |
| 2.3.2 : MODALITES DE RECUEIL DE L'INFORMATION :..... | 18 |
| 2.4. PROCEDURES D'EXPLOITATION DE DONNEES..... | 21 |
| 2.4.1. ANALYSES STATISTIQUES : | 21 |
| 2.5. CONSIDERATIONS ETHIQUES..... | 34 |
| III. RESULTATS..... | 35 |
| A. RESULTATS OBTENUS DANS LA POPULATION CAUCASIENNE | 35 |
| 3.1. Volumes statiques obtenus par pléthysmographie..... | 35 |
| 3.2. Comparaison de volumes dynamiques obtenus par pléthysmographie et par pneumotachographie | 35 |
| 3.3. Résistances | 37 |
| 3.4 : Estimation du volume résiduel et de la conductance à partir de la courbe cycle total du débit-volume. | 40 |
| 3.4.1 : Estimation du volume résiduel : | 40 |
| 3.4.2 : Régression entre le volume résiduel et le volume gazeux total intrathoracique .. | 45 |
| 3.4.3 : Estimation de la conductance : | 47 |
| B. RESULTATS OBTENUS DANS LA POPULATION AFRICAINE..... | 48 |
| 3.5 : Volumes et débits obtenus dans la population de Bukavu..... | 48 |
| 3.6 : Indices spirométriques obtenus dans la population de Bukavu | 50 |
| IV. DISCUSSION..... | 51 |

| | |
|---|----|
| V. REFERENCES | 58 |
| Annexe I : Evolution vers la stabilisation de l' asthme bronchique | 60 |
| Annexe II : Caractéristiques de la population étudiée | 61 |
| Annexe III : Spiro Dyn'R de Dyn'R..... | 61 |
| Annexe IV : Pléthysmographe de Medisoft | 61 |
| Annexe V : Illustration Volumes et capacités pulmonaires | 62 |
| Annexe VI : Courbes débit volume | 62 |
| Annexe VII : Formules pour l'estimation du volume résiduel et de la compliance à partir de la courbe débit volume | 63 |
| Annexe VIII : Modèle de la fiche de données..... | 63 |
| Annexe IX : Volumes statiques obtenus par pléthysmographie..... | 64 |
| Annexe X : Comparaison de volumes dynamiques obtenus par pléthysmographie et par pneumotachographie | 64 |
| Annexe XI : Evaluation de la réponse au test de bronchodilatation au moyen de la résistance de voies aériennes et de la résistance par interruptions itératives de flux | 64 |
| Annexe XII : Comparaison de résistances de voies aériennes(Rva) puis résistances par interruption (Rint) avant et après bronchodilatation au salbutamol. | 65 |
| Annexe XIII : Comparaison de résistances Rva et Rint..... | 65 |
| Annexe XIV : Diagramme Bland et Altman de comparaison de volumes résiduels..... | 66 |
| Annexe XV : Concordance de Lin comparaison de volumes résiduels | 67 |
| Annexe XVI : Régression de Deming entre le VR mesuré et le VR calculé..... | 68 |
| Annexe XVII : Coefficient de concordance de Lin entre le VR calculé prédit et le VR mesuré par pléthysmographie..... | 69 |
| Annexe XVIII : Régression linéaire entre le VR et le VGT | 70 |
| Annexe XIX : Volumes et débits obtenus dans la population d'enfants asthmatiques de Bukavu..... | 70 |
| Annexe XX : Indices spirométriques obtenus dans la population de Bukavu | 71 |
| Annexe XXI : Fiche de données Bukavu | 71 |

Liste de figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : évolution vers la stabilisation de l' asthme bronchique | 10 |
| Figure 2 : Spiro Dyn'R de Dyn'R | 17 |
| Figure 3 : Pléthysmographe de Medisoft..... | 17 |
| Figure 4: Spirotel de MIR..... | 18 |
| Figure 5 : Volumes et capacités pulmonaires | 20 |
| Figure 6 : Courbe débit volume | 25 |
| Figure 7 : Courbe débit volume | 25 |
| Figure 8 : Fiche de données Liège..... | 26 |
| Figure 9:fiche de données Bukavu | 28 |
| Figure 11 : Représentation graphique de Bland et Altman. | 30 |
| Figure 12 : Diagramme Bland et Altman comparaison de volumes résiduels..... | 41 |
| Figure 13 : Concordance de Lin comparaison de volumes résiduels..... | 42 |
| Figure 14 : Régression de Deming entre le VR mesuré et le VR calculé | 44 |
| Figure 15 : Coefficient de concordance de Lin entre le VR calculé prédit et le VR mesuré par pléthysmographie..... | 45 |
| Figure 16: Régression linéaire entre le VR et le VGT | 46 |

Liste de tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau I:Caractéristiques de la population étudiée à Liège | 13 |
| Tableau II: Caractéristiques de la population étudiée à Bukavu | 14 |
| Tableau III: Volumes statiques obtenus par pléthysmographie | 35 |
| Tableau IV : Comparaison de volumes dynamiques | 35 |
| Tableau V: Evaluation de la réponse au test de bronchodilatation au moyen de la Rva et de la Rint de flux..... | 37 |
| Tableau VI: Comparaison de Rva et Rint avant et après bronchodilatation au salbutamol..... | 38 |
| Tableau VII : Comparaison de résistances Rva et Rint..... | 39 |
| Tableau VIII: Comparaison entre la conductance mesurée par pléthysmographie et la conductance calculée | 47 |
| Tableau IX : Volumes et débits obtenus dans la population de Bukavu | 48 |
| Tableau X: Différence médiane entre le VEMS/CVF en pré et post bronchodilatation..... | 49 |
| Tableau XI : Indices spirométriques | 50 |

I. INTRODUCTION : un aperçu contextuel du spectre de l'asthme bronchique

1.1. Définition et épidémiologie

L'asthme bronchique est une maladie hétérogène qui devrait être appelée spectre de l'asthme bronchique. Elle est généralement caractérisée par une inflammation chronique de voies respiratoires. Elle est définie par une histoire de symptômes respiratoires tels qu'une respiration sifflante, un essoufflement, une oppression thoracique et une toux qui varient dans le temps et en intensité, ainsi qu'une limitation du flux d'air expiratoire. L'asthme bronchique est la pathologie chronique la plus courante de l'enfance. La plupart de personnes souffrant de l'asthme ont présenté les premiers symptômes pendant la petite enfance (1).

L'asthme n'est pas un problème de santé publique limité aux pays à haut revenu ; il sévit dans tous les pays, quel que soit leur niveau de développement. La plupart des décès qui lui sont imputables surviennent dans les pays à revenu faible ou intermédiaire. Il est sous-diagnostiqué et insuffisamment traité. Il représente une lourde charge pour les individus et les familles et limite souvent l'activité du malade tout au long de sa vie. Il y a actuellement environ 300 millions de personnes souffrant d'asthme dans le monde(1). La prévalence de l'asthme a été rapportée entre 1 et 18 % de la population dans différents pays. En Afrique le nombre de patients asthmatiques âgés de moins de 15 ans est estimé à 49.7 millions(2). Il a été reporté une grande fréquence de troubles de sommeil (jusqu' à 34 %), un absentéisme à l'école (25 à 51 %) et une limitation de l'activité (47%)(3–5).

1.2. Corrélations entre la physiopathologie, l'anatomie et les données cliniques.

Les poumons sont divisés de manière segmentaire de la trachée (première division bronchique) aux alvéoles (23^{ième} division bronchique). Les grandes voies aériennes ont un diamètre de plus de 2 mm (1-7^{ième} division bronchique).

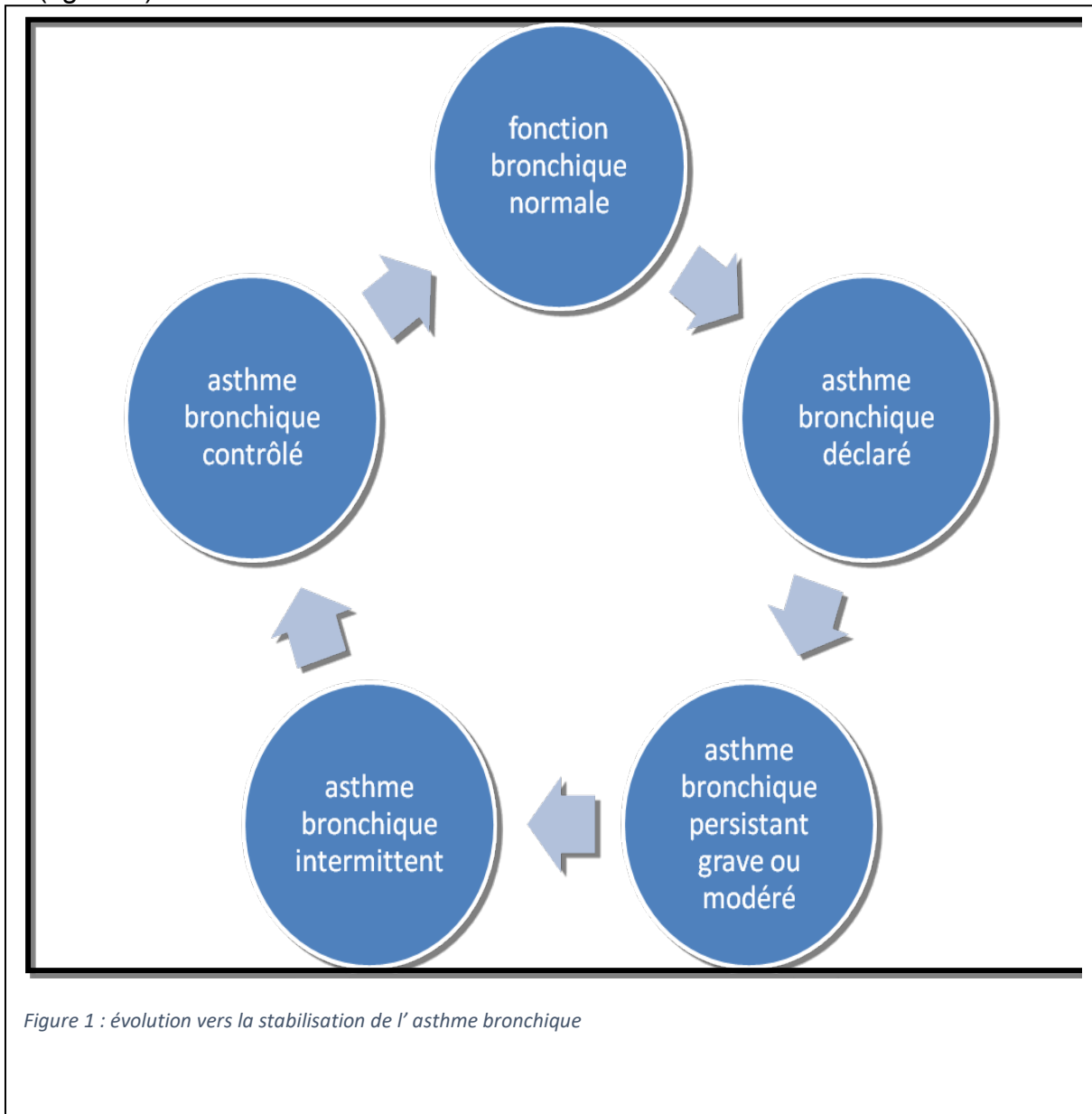
Les petites voies aériennes (8-23^{ième} division bronchique), définies comme les voies aériennes distales avec un diamètre de moins de 2 mm, ont été traditionnellement décrites comme « zones silencieuses ».

La physiopathologie de l'asthme a traditionnellement été attribuée à un processus inflammatoire survenant principalement au sein de grandes voies aériennes. Actuellement il est prouvé que l'asthme est une pathologie inflammatoire chronique de tout l'arbre bronchique, à partir de voies centrales jusqu' aux voies plus périphériques. Même si les petites voies aériennes ne représentent que 10 % du volume pulmonaire total, elles comptent pour plus de 90 % dans la résistance de voies aériennes. Durant les récentes années, une attention accrue a été accordée sur l'important rôle de petites voies aériennes dans la physiopathologie de l'asthme bronchique, révélant que les voies aériennes distales ne sont pas cette zone silencieuse décrite auparavant. Il est actuellement connu que les petites voies aériennes sont le site majeur de la limitation physiologique de débits dans l'asthme. Vue cette prépondérance de petites voies aériennes dans l'obstruction en cas d'asthme bronchique, de nos jours le défi thérapeutique est de développer de meilleures techniques d'inhalation afin d'améliorer l'acheminement de l'agent antiinflammatoire jusqu' aux petites voies aériennes du poumon(6–9).

L'obstruction de petites voies aériennes peut conduire à une réduction du flux d'air, une augmentation de résistances de voies aériennes, un piégeage de gaz au niveau pulmonaire et une ventilation inhomogène. Par conséquent, les tests

physiologiques mesurant ces paramètres peuvent détecter et quantifier leur atteinte. La spirométrie est le test des explorations respiratoires couramment utilisé pour le diagnostic et le suivi de l'asthme bronchique. Par contre elle détecte mieux une obstruction intéressant les grandes voies aériennes. Pour les petites voies aériennes, l'évaluation pléthysmographique de volumes pulmonaires constitue une mesure sensible du piégeage de gaz et de l'hyperinflation pulmonaire. L'hyperinflation peut être définie comme une augmentation anormale du volume de poumons à la fin de l'expiration. Le volume résiduel est aussi une mesure importante d'une dysfonction au niveau de petites voies aériennes et peut être élevée avant que la spirométrie ne détecte cette dysfonction (10). Une fois le diagnostic de l'asthme bronchique posé, les explorations fonctionnelles respiratoires sont un indicateur du risque dans le futur. Elles doivent être réalisées au moment du diagnostic, 3 à 6 mois après le début du traitement et par après de manière périodique (1).

Dans un intervalle de 12 semaines, suivant la période et suivant le provocateur, environ 1/3 des patients « voyagent » d'une forme à l'autre de la fonction bronchique (figure 1).



La réduction de la fréquence de ces « voyages » est un indicateur de la direction et du sens vers la stabilisation et une guérison. Les épreuves respiratoires permettent d'être plus précis dans le sens de cette évolution.

1.3. La place des épreuves respiratoires chez l'enfant asthmatique.

Chez les enfants souffrant d'asthme, l'évaluation objective de la fonction respiratoire de façon périodique est nécessaire pour optimiser le suivi ainsi que pour s'assurer que les objectifs du traitement sont atteints. Ceci est d'autant plus important par le fait qu'une obstruction importante peut se retrouver chez des enfants asthmatiques asymptomatiques. Seulement 20 à 40 % de prestataires de soins utilisent de mesures de la fonction respiratoire chez les patients asthmatiques asymptomatiques et jusqu' à 59 % de pédiatres n'effectuent jamais les épreuves respiratoires fonctionnelles. Au moment où chez la plupart des enfants asthmatiques bien stabilisés, les courbes débit-volume suffisent pour le suivi de la pathologie, les mesures pulmonaires (volume de gaz trappé et volume résiduel), obtenus par pléthysmographie corporelle peuvent être de grand intérêt dans le suivi de l'asthme sévère et difficile à traiter(11).

L'évaluation complète des volumes d'air du poumon requiert de mesurer à la bouche les volumes mobilisables par des mouvements respiratoires, grâce à un spiromètre ou à un pneumotachographe avec intégrateur de débit, et d'y ajouter le volume non mobilisable, qui reste dans le poumon à la fin d'une expiration maximale, appelé le volume résiduel(VR). L'intégrateur de débits permet en plus d'enregistrer la courbe débit-volume lors de l'expiration forcée. La mesure de volumes statiques, non mobilisables, dont le volume résiduel, la capacité résiduelle fonctionnelle et la capacité pulmonaire totale, se fait par la méthode de dilution de gaz ou par pléthysmographie(12). La réalisation des épreuves fonctionnelles respiratoires par pléthysmographie est réservée à des grands centres équipés et constitue une technique onéreuse(13). L'objectif principal pour notre travail est ainsi de savoir s'il est possible d'aboutir de manière scientifiquement valable, à des

conclusions pratiques pour la clinique en partant de la pléthysmographie vers une technique « plus simple » dans les paramètres analysés. Ainsi nous cherchons à prédire les valeurs du volume résiduel à partir de l'analyse visuelle de boucles respiratoires de courbes débit-volume obtenues par spirométrie. D'où la question : quel est l'apport de l'analyse des boucles respiratoires de la courbe débit-volume dans l'appréciation de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) ou du volume résiduel (VR) ?

Nous partons avec l'hypothèse que nous pouvons prédire les valeurs du volume résiduel à partir de l'interprétation de boucles respiratoires de la courbe débit-volume obtenue par spirométrie. L'objectif secondaire est de décrire et comparer les valeurs de volumes obtenus par les deux méthodes, ensuite de réaliser de spirométries chez des patients asthmatiques suivis dans un milieu à ressources limitées.

Ainsi dans notre approche nous allons prédire en premier le volume résiduel. Ensuite une corrélation entre le volume résiduel et le volume gazeux total intra thoracique sera recherchée. En effet cette démarche peut être utile pour le suivi de l'asthme bronchique dans de milieux à ressources limitées où l'exploration pléthysmographique n'est pas possible. Enfin nous allons décrire les valeurs de spirométrie obtenues dans une population africaine.

II. POPULATION, MATERIEL ET METHODES :

2.1. POPULATION

Cette étude s'applique premièrement à une population d'enfants asthmatiques suivis au Département de Pédiatrie du CHU de Liège durant la période d'Août 2014 à Août 2015 dont les caractéristiques sont reprises dans le tableau I.

Tableau I:Caractéristiques de la population étudiée à Liège

| | |
|----------------------------|--------------|
| Sexe M/F | 23/17 |
| Age moyen en années | 6,72 ± 1,76 |
| Taille moyenne en cm | 123,5 ± 10,9 |
| Poids en kg | 25,5 ± 9,1 |
| Indice de masse corporelle | 16,32 ± 2,85 |

Les enfants analysés ont un asthme bronchique connu et suivi au Centre Hospitalier Universitaire de Liège dans le service de pédiatrie. Ils ont été choisis au hasard, les parents ou l'enfant ayant donné leur accord pour participer à l'étude.

Nous avons réalisé les épreuves fonctionnelles respiratoires (EFR) chez 40 enfants. Parmi eux il y avait 23 garçons contre 17 filles. L'âge moyen est de 6,72 ans ($\pm 1,76$), la taille moyenne de 123,5 cm ($\pm 10,9$), le poids de 25,5 kg ($\pm 9,1$ kg), l'indice de masse corporelle 16,32 kg/m² ($\pm 2,85$).

Dans un deuxième temps, à l'Hôpital Provincial Général de Référence de Bukavu, nous avons réalisé la spirométrie chez les enfants asthmatiques d'âge compris entre 3 ans et 17 ans suivis en consultation de pédiatrie durant la période de Janvier 2017 à Juillet 2017, ayant donné leur consentement et répondant aux critères suivants :

- ✓ Avoir un diagnostic d'asthme bronchique ou d'hyperréactivité bronchique posé par un personnel médical ;
- ✓ Présenter une pathologie respiratoire sifflante faisant suspecter un asthme bronchique ;

- ✓ Présenter l'une de symptomatologies suivantes avec une bonne évolution sous antihistaminiques, beta mimétiques, théophylline, cromones ou anti leucotriènes :
 - ❖ de sibilances au moins deux fois sur les 12 derniers mois,
 - ❖ une toux persistante pendant au moins 3 semaines en absence de sinusite ou de rhinite allergique,
 - ❖ un réveil nocturne au moins une fois par semaine avec dyspnée, toux et sibilances en absence d'autres diagnostics pouvant les expliquer.

Nous avons ainsi pu analyser une cohorte dont les caractéristiques sont reprises dans le tableau II.

Tableau II: Caractéristiques de la population étudiée à Bukavu

| Sexe M/F | 22/13 |
|----------------------------|--------------|
| Age moyen en années | 9,63±3,96 |
| Taille moyenne en cm | 138,26±20,88 |
| Poids en kg | 36,09±16,16 |
| Indice de masse corporelle | 18,03±4,42 |

La cohorte comprend 22 garçons contre 13 filles. L'âge moyen est de 9,63 ans ($\pm 3,96$), la taille moyenne de 138,26 cm ($\pm 20,88$), le poids de 36,09 kg ($\pm 16,16$ kg), l'indice de masse corporelle 18,03 kg/m² ($\pm 4,42$).

2.2. METHODES

Pour déterminer la taille de l'échantillon afin de tester nos hypothèses, le logiciel G Power 3.0 a été utilisé. Connaissant le test à utiliser (test t pour échantillons appariés), nous nous sommes fixés une puissance de 80 %, un effet de taille moyenne de 50 % et une probabilité d'erreur type I associée au test de 5 %. La taille de l'échantillon requis a été calculée à au moins 34 paires de sujets(14,15).

Dans l'analyse réalisée à Liège, nous sommes arrivés à effectuer les mesures chez 40 sujets. Les épreuves respiratoires fonctionnelles ont été réalisées pour chaque sujet par deux méthodes différentes : la pléthysmographie et la pneumotachographie. Nous avons ainsi obtenu 40 paires de mesures, chaque patient étant considéré comme son propre contrôle pour l'autre mesure.

Dans l'étude réalisée à l'Hôpital Provincial Général de Référence de Bukavu, nous avons réalisé la spirométrie chez 35 patients.

2.3. MODALITE DU RECUEIL DE DONNEES.

Les données ont été recueillies de manière quantitative par l'analyse de fiches élaborées pour chaque patient.

2.3.1 : DESCRIPTION DU MATERIEL DE RECUEIL ET CRITERES D'INTERPRÉTATION :

A Liège, le spirographe Spiro Dyn'R de Dyn'R et le Plethysmographe de Medisoft ont été utilisés (figure 2 et figure 3).

A Bukavu, les spirométries ont été réalisées au moyen du spiromètre Spirotel A23-X de MIR Rome Italie (figure 4).

La spirométrie explore les volumes pulmonaires mobilisables, notamment le VEMS, volume expiratoire maximum au cours de la 1ère seconde lors d'une expiration forcée, à partir de la capacité pulmonaire totale (CPT) et la capacité vitale forcée (CVF) ainsi que la capacité vitale lente (CVL).

On peut également mesurer les débits expiratoires et inspiratoires à différents volumes pulmonaires grâce à des spiromètres électroniques qui calculent la dérivée du volume par unité de temps (débits) et donc permettent d'exprimer le débit en fonction du volume. Ces spiromètres dits « débiométriques » ou pneumotachographes fournissent une courbe (ou boucle) débit-volume. Les débits qui figurent au-dessus de l'axe

horizontal sont les débits expiratoires, les débits qui figurent au-dessous de l'axe horizontal sont les débits inspiratoires. A chaque cycle respiratoire on peut ainsi dessiner une boucle débit-volume. Dans les pathologies obstructives, l'expiration maximale débute et se termine anormalement à des hautes valeurs de volume pulmonaire et les débits sont faibles par rapport à la normale. La courbe aura un aspect concave vers le haut(16).

Le volume expiratoire maximum par seconde (VEMS) et la capacité vitale (CV) peuvent aussi être mesurés par cette méthode.

La pléthysmographie permet de mesurer le volume pulmonaire non mobilisable ou "statique", en pratique le volume résiduel (VR = ce qui reste dans le thorax quand on a fini d'expirer). Ceci permet donc de calculer notamment la Capacité Pulmonaire Totale (CPT = tout l'air que peut contenir un thorax en fin d'inspiration forcée). Cette technique est basée sur l'application de la loi de Boyle, qui stipule que pour une masse donnée d'un gaz, le produit de la pression et du volume reste constant. Ainsi, en mesurant les variations de pression et de volume intra thoraciques lors d'efforts respiratoires contre une occlusion externe, le volume pulmonaire peut être calculé (17). La capacité résiduelle fonctionnelle et le volume résiduel sont typiquement augmentés dans les pathologies dans lesquelles il y a une augmentation de la résistance. La CRF mesurée par pléthysmographie donne pratiquement le volume de gaz intrathoracique qui prend aussi en compte le volume d'air emprisonné (dans les kystes, les bulles) dont la pression ne communique pas avec le niveau de pression au niveau buccal(18). La pléthysmographie constitue aussi la méthode traditionnelle pour la mesure de la résistance des voies aériennes (Rva ou Raw). La Rva peut être calculée à partir du rapport entre la variation de la pression alvéolaire et le flux d'air à la bouche. La résistance par interruptions itératives de flux (Rint) peut être aussi

obtenue par pléthysmographie. Cette mesure est basée sur l'hypothèse selon laquelle pendant une occlusion transitoire de voies aériennes au niveau de la bouche, la pression alvéolaire s'équilibre rapidement avec la pression buccale. La résistance est calculée à partir du rapport entre la pression mesurée immédiatement à la bouche après l'occlusion et le débit d'air au niveau de la bouche avant l'occlusion (19).



Figure 2 : Spiro Dyn'R de Dyn'R



Figure 3 : Pléthysmographe de Medisoft



Figure 4: Spirotel de MIR

2.3.2 : MODALITES DE RECUEIL DE L'INFORMATION :

La spirométrie se déroule de manière standard. Pour l'étude réalisée à Liège :

- L'accueil est relaxant, l'anamnèse complète est réalisée y compris la vérification de la bonne prise du traitement.
- Les enfants tirent au hasard sur la méthode 1 (Spiro dyn 'R ou pléthysmographe), et puis après 5 minutes de récupération ils sont évalués par l'autre méthode, d'abord en spontané puis suit l'administration du bronchodilatateur,
- Le laboratoire est soumis à un contrôle chaque demi-journée pour le taux d'humidité, la pression atmosphérique, et les appareils sont calibrés chaque jour.
- La spirométrie se fait en circuit fermé : de manière spontanée, et également 20 minutes après avoir reçu du Salbutamol en inhalation (100 microgrammes en dessous de 15 kg, et 200 microgramme au-dessus de 15 kg).
- Pour les épreuves réalisées à Bukavu, les patients ont été évalués uniquement pour la spirométrie. Nous commençons par obtenir les volumes pulmonaires mobilisables (obtention des volumes statiques). Ensuite nous demandons au

patient d'expirer le plus fort et le plus longtemps possible à partir d'une inspiration maximale pour avoir les volumes dynamiques et une courbe débit-volume,

- Le patient bénéficie d'une administration en circuit fermé pendant 2 minutes, par voie inhalée de 100 µg de Salbutamol (poids de moins de 15 kg) ou 200 µg (à partir de 15 kg de poids) au moyen d'une chambre d'inhalation Volumatic®,
- 15 minutes après, il lui est demandé de souffler pour obtenir les volumes dynamiques et une courbe débit-volume après test de bronchodilatation au Salbutamol.
- Les résultats sont recueillis par un logiciel, qui vérifie également la bonne qualité et la reproductibilité de l'épreuve.
- Les résultats sont ensuite imprimés sur une fiche pour chaque patient (figure 8 et figure 9).
- L'interprétation tient compte de l'âge, du sexe, l'anthropométrie et du groupe ethnique (caucasien ou africain). Les résultats sont donnés en pourcentage observé par rapport à la norme attendue (ATS et ERS).

Les données recueillies comprennent :

- Les volumes statiques, obtenus lors d'une respiration normale : la capacité vitale normale(CVL), le volume résiduel (VR) et le volume gazeux total intra thoracique (VGT) ;
- Les volumes dynamiques et les débits, obtenus après une respiration « forcée » : la capacité vitale forcée(CVF), le volume expiratoire maximal par seconde(VEMS), le rapport VEMS/CVF, le rapport VEMS/CVL, le débit expiratoire de pointe(DEP) et le débit expiratoire moyen(DEM) ;

- La résistance par interruptions (R_{int}) et la résistance de voies aériennes (R_{va} ou R_{aw}) spontanées et après administration du Salbutamol ;
- La conductance (G_{aw}) ;
- La courbe débit-volume reprenant le cycle respiratoire total avec les valeurs de la courbe inspiratoire et de la courbe expiratoire.
- Pour les données recueillies à Bukavu, nous avons particulièrement (car la technique ne recueille pas l'ensemble des volumes pulmonaires) analysé le CVF, le VEMS, le rapport VEMS/CVF, le DEP et le DEM 25-75 avant et après bronchodilatation. Pour explorer les volumes non mobilisables, étant donné l'absence du pléthysmographe, nous avons fait recours à l'indice du volume résiduel, l'indice de la résistance et l'indice de la compliance. L'indice du volume résiduel s'obtient par la formule $100-VRE$; l'indice de la résistance par la formule $100-PIF$; l'indice de compliance s'obtient lui par le rapport $FIV1/FVC$.

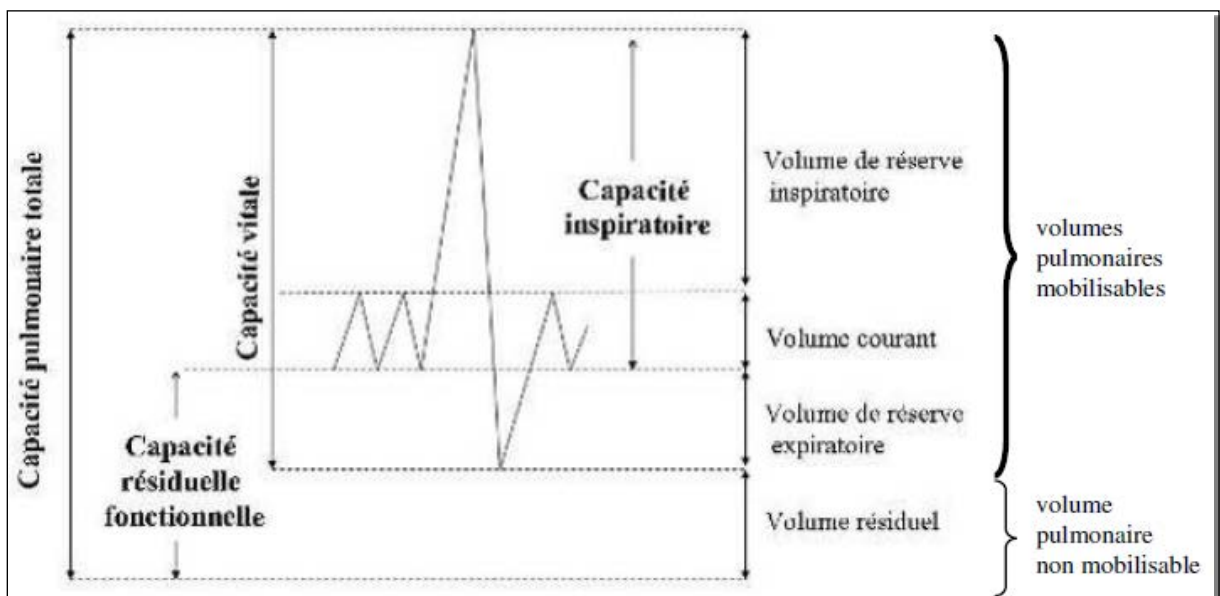


Figure 5 : Volumes et capacités pulmonaires

2.4. PROCEDURES D'EXPLOITATION DE DONNEES

De fiches comprenant les valeurs des épreuves respiratoires réalisées chez les patients par pléthysmographie et par pneumotachographie ont été utilisées. Les différents volumes et résistances ont été exprimés en pourcentage par rapport à la normale selon les normes de l'ATS et l'ERS.

Les données ont été encodées à partir de la fiche de chaque patient en utilisant le tableur du logiciel Microsoft Excel 2016.

2.4.1. ANALYSES STATISTIQUES :

Pour les analyses statistiques nous avons utilisé les logiciels SPSS Statistics (version 23, IBM, Armonk, New York, USA) et NCSS Data Analysis (version 11, Kaysville, Utah, USA).

Les statistiques descriptives utilisées pour les différentes variables ont été la moyenne et l'écart-type pour celles répondant à une distribution normale. Pour les variables ne répondant pas à une distribution normale, nous avons utilisé la médiane.

2.4.1.1. *Comparaison de résultats de volumes et débit obtenus par les deux méthodes :*

Pour comparer les différences de moyennes entre les valeurs de volumes et débits obtenus par les deux méthodes (spirométrie et pléthysmographie), nous avons utilisé le test t pour échantillons appariés (20). Chaque paire est constituée par la valeur mesurée du volume ou du débit et son équivalent par l'autre méthode.

La question posée était : « Y a-t-il une différence entre les mesures des épreuves respiratoires fonctionnelles obtenues par pléthysmographie et celles obtenues par pneumotachographie ? ».

L'hypothèse nulle était qu'il n'y pas de différence entre les deux groupes de mesure.

L'hypothèse alternative était qu'il y a une différence entre les deux groupes de mesure.

Les variables dépendantes ont été considérées comme les différents volumes respectifs qui ont été mesurés chez les patients. La variable indépendante a été considérée comme la méthode utilisée, respectivement la pléthysmographie corporelle et la pneumotachographie. Les statistiques calculées ont été l'intervalle de confiance de la différence de moyennes entre les deux groupes, la signification statistique de cette différence et la mesure de la taille de l'effet selon Cohen (21).

Pour chaque mesure nous avons rapporté la valeur t du test de comparaison pour échantillons appariés, le degré de liberté et la valeur de p. L'hypothèse nulle était acceptée si $p > 0.05$. Si $p < 0.05$, l'hypothèse alternative a été acceptée et nous avons conclu que la différence était statistiquement significative.

Ensuite nous avons calculé la taille de l'effet (d) pour la puissance du test selon la méthode de Cohen par la formule $d = M/SD$, où M est la moyenne de différences entre les deux groupes et SD l'écart-type de cette moyenne. Une valeur de d à 0.2 a été jugée de faible, une valeur de d de 0.5 a été jugée de modérée, alors qu'une valeur de d de 0.8 a été jugée de large (21).

Pour les conditions de l'applicabilité du test t pour échantillons appariés, nous nous sommes assurés qu'il n'y a pas de valeur aberrante dans la différence entre les deux groupes. Pour y arriver nous avons utilisé l'inspection visuelle de la boîte à moustaches. Toute valeur de point située à plus de 1.5 fois de la longueur de la boîte à moustaches a été considérée comme valeur aberrante. Les valeurs aberrantes détectées ont été supprimées pour éviter leur effet négatif sur les résultats du test. Ensuite nous nous sommes assurés que la différence de moyennes entre les deux groupes d'échantillons était distribuée approximativement de façon normale. Pour y parvenir nous avons utilisé le test de normalité de Shapiro-Wilk (22). La distribution a été jugée normale quand la valeur p associée au test a été supérieure à 0.05 ($p > 0.05$).

2.4.1.2. Evaluation de la réponse au salbutamol :

Afin de décrire et comparer la réponse au salbutamol dans la population caucasienne, nous avons considéré les valeurs de la résistance par interruptions itératives de flux (Rint) ainsi que celles de la résistance de voies aériennes par pléthysmographie (Raw ou Rva), en spontané puis 20 minutes après inhalation du salbutamol. Le critère d'obstruction bronchique retenu a été de valeurs de résistances supérieures ou égales à 140 % de la valeur théorique.

La réponse au bronchodilatateur a été exprimée de trois façons différentes : en valeurs absolues, en pourcentage de la valeur initiale et en pourcentage de la valeur prédite. Les critères de réversibilité après inhalation de salbutamol sont respectivement de $\leq 30\%$ par rapport à la valeur de base et de $\leq 25\%$ par rapport à la valeur théorique pour la résistance de voies aériennes. Pour la résistance par interruptions itératives, le critère est de $\leq 35\%$ par rapport à la valeur théorique(23). Le test t pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer les valeurs avant et après bronchodilatation. La valeur exprimée en pourcentage de la valeur prédite a été retenue pour la comparaison pour éviter l'influence de la valeur initiale de la résistance mesurée avant l'inhalation du salbutamol. Une valeur de $p < 0.05$ a été retenue comme statistiquement significative.

Pour la population de Bukavu, nous avons évalué les valeurs de la CVF, du VEMS, du VEMS/CVF, du DEP et du DEM25-75 avant et après bronchodilatation au salbutamol. Une bronchodilatation a été jugée significative quand nous avons obtenu une augmentation du VEMS ou de la CVF notamment, d'au moins 12 % de la valeur initiale. Pour le DEM25-75, le critère est d'au moins 20%. Dans la physiopathologie de l'asthme bronchique, l'obstruction est représentée par deux principaux acteurs : l'inflammation de la paroi bronchique et une exacerbation de la broncho motricité. La

levée de cette dernière par le salbutamol permet d'apprécier la part présente pour chacun des deux acteurs physiopathologiques(24).

Pour comparer les valeurs de spirométrie obtenues avant et après bronchodilatation au salbutamol dans la population d'enfants suivis en consultation au service de pédiatrie à Bukavu, nous avons utilisé le test t pour échantillons appariés pour les variables ayant une distribution normale ; pour les variables n'ayant pas une distribution normale, nous avons utilisé le test de rang signé de Wilcoxon pour échantillons appariés. Chaque paire est constituée de la valeur du paramètre avant et après bronchodilatation.

2.4.1.3. Réflexions sur les courbes et prédiction du volume résiduel :

A partir des courbes débit-volume (figure 6 et figure 7), il est possible de connaître, par mesure pléthysmographique ou par interruption du flux, les différents volumes statiques ou dynamiques.

Physiquement parlant, l'aire sous la boucle inspiratoire doit être égale à la boucle expiratoire et vice-versa, sinon on se trouve dans une situation anormale. Dans l'asthme bronchique, comme le VR ou la CRF (= VR + VRE) sont augmentés, cela se fait au détriment de la boucle inspiratoire. La hauteur ou profondeur des boucles ont une corrélation inverse avec le VR ou la CRF, et la largeur des boucles est en corrélation directe avec la conductance. Le terme "décalé" relate un retard d'entrée du volume inspiré dans les alvéoles, et est le plus souvent le reflet de l'état inflammatoire des bronches. Le terme "restreint" relate l'insuffisance de la mécanique respiratoire à atteindre les volumes attendus.

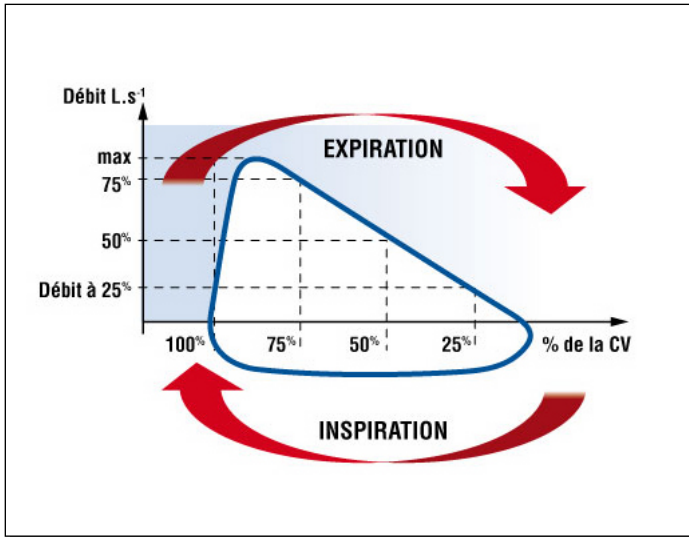


Figure 6 : Courbe débit volume

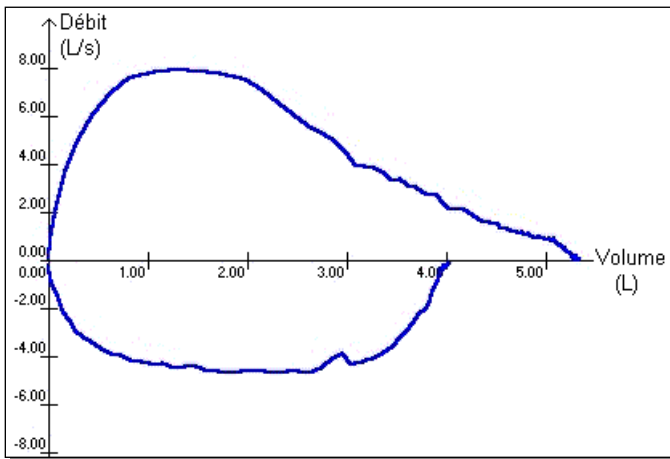


Figure 7 : Courbe débit volume

Ainsi, par exemple, dans le tracé ici-bas.

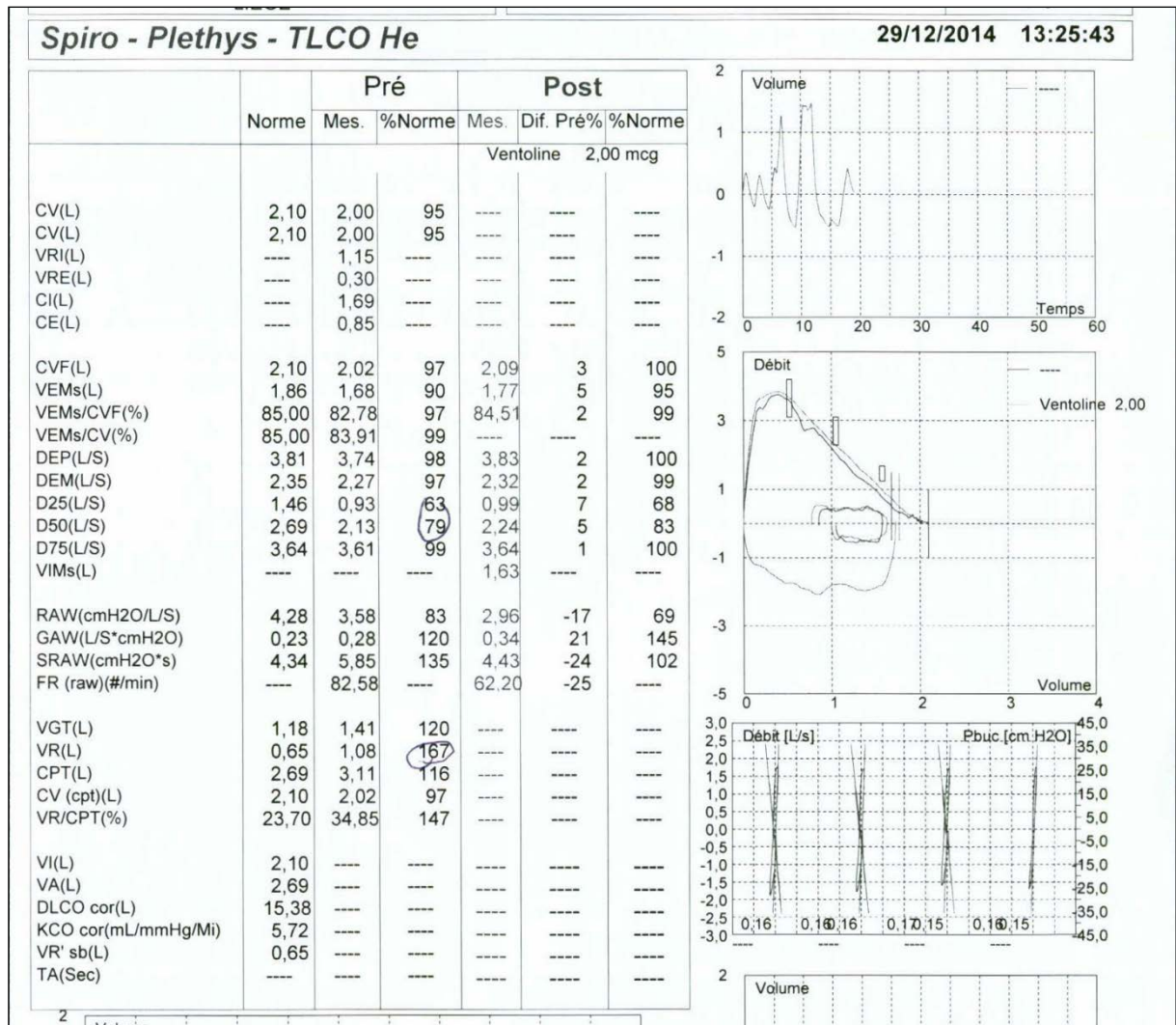


Figure 8 : Fiche de données Liège

- Pour l'estimation du volume résiduel, nous avons fait le rapport entre la profondeur de la courbe inspiratoire et la hauteur de la courbe expiratoire. Les mesures se font en unités arbitraires, ici en centimètres. Le graphique utilisé est celui du milieu à droite (confère figure 8). La profondeur de la courbe inspiratoire est mesurée sur le graphique à 11, et la hauteur de l'expiratoire à 19. Pour trouver la valeur du volume résiduel calculé par cette méthode, exprimé en pourcentage de la valeur prédite selon les normes ATS et ERS, nous avons multiplié par 100 le chiffre obtenu par le rapport entre la hauteur de la courbe expiratoire sur la hauteur de la courbe

inspiratoire. Ce qui donne un VR calculé de $(19/11) = 172 \%$, et mesuré à 167% .

- Pour l'estimation de la conductance (Gaw) : nous avons réalisé le rapport entre la largeur de la boucle inspiratoire et la hauteur de la boucle expiratoire ce qui donne ici une valeur calculée de 95% ($20/21$) contre une valeur mesurée de 83% .

Résultat épreuves fonctionnelles respiratoires

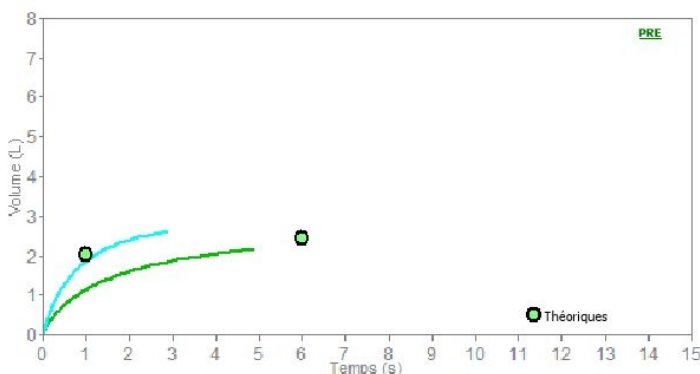
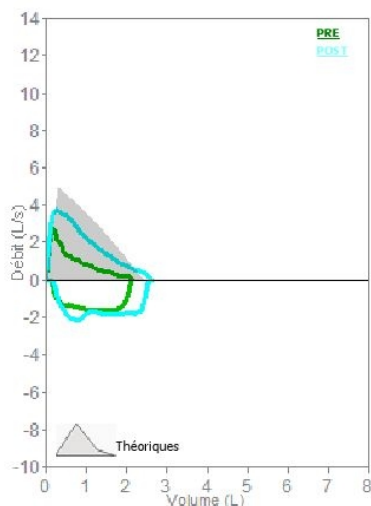
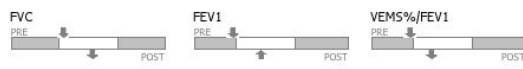
HOPITAL PROVINCIAL GENERAL DE
REFERENCE DE BUKAVU

DEPARTEMENT DE PEDIATRIE

UNITE D'EXPLORATIONS FONCTIONNELLES
RESPIRATOIRES

Date de la visite 24/07/2017

| | | |
|--------------------------------------|------------|-------|
| ID du patient 110771 | Age | 10 |
| Prénom xxxxxxx | Sexe | Homme |
| Nom xxxxxxx | Taille, cm | 146 |
| Date naissance xxxxxxxxxxx | Poids, kg | 30 |
| Groupe ethnique Africain | BMI | 14,07 |
| Tabac Non fumeur | Pack-Année | |
| Groupe patients Enfants asthmatiques | | |



Interprétation

Obstruction légère
Bronchodil° significative (FEV1 >= 80%théor.)
WARNING: FEF2575 PRE = 24%théor.

Date du test PRE 24/07/2017 12:50:51

POST Bronchodilatation Salbutamol - 13:14:14

| Paramètres | LLN | Pred | Best | %Théor. | Z-score | PRE #1 | PRE #2 | PRE #3 | POST | %Théor. | %Chg | |
|------------|-------|------|-------|---------|---------|--------|--------|-------------|-------------|---------|------|-----|
| FVC | L | 2,10 | 2,43 | 2,15* | 89 | -1,41 | 2,15 | 2,05 | 2,00 | 2,61* | 108 | 21 |
| FEV1 | L | 1,70 | 2,03 | 1,30* | 64 | -4,15 | 1,21 | 1,30 | 1,29 | 1,92* | 95 | 59 |
| FEV1/VC | % | | 81,8 | 105,2 | 129 | | 105,2 | 113,0 | 112,2 | | | |
| FEV1/FVC | % | 75,5 | 84,6 | 60,5* | 72 | -5,16 | 56,3 | 63,4 | 64,5 | 73,6* | 87 | 31 |
| FEV6 | L | 2,10 | 2,43 | 2,15 | 89 | -1,41 | 2,15 | 2,01 | 2,00 | 2,60 | 107 | 21 |
| VC | L | 2,16 | 2,48 | 1,15 | 46 | -7,00 | | | | | | |
| FEV1/FEV6 | % | | 83,3 | 56,3 | 68 | | 56,3 | 64,7 | 64,5 | 73,8 | 89 | 31 |
| PEF | L/s | 3,58 | 4,98 | 2,89* | 58 | -2,47 | 2,89 | 2,87 | 2,81 | 4,03* | 81 | 39 |
| FEF2575 | L/s | 1,95 | 2,76 | 0,67 | 24 | -4,31 | 0,67 | 0,82 | 0,83 | 1,55 | 56 | 131 |
| FEV3 | L | 1,48 | 2,43 | 1,93 | 80 | -0,87 | 1,93 | 1,81 | 1,96 | 2,60 | 107 | 35 |
| FEV3/FVC | % | | 100,0 | 89,8 | 90 | | 89,8 | 88,3 | 98,0 | 100,0 | 100 | 11 |
| ELA | Age | | 10 | | | | | | | | | |
| FET | s | | 6,00 | 4,88 | 81 | | 4,88 | 6,26 | 3,18 | 2,87 | 48 | -41 |
| FEF25 | L/s | 3,20 | 4,42 | 1,29 | 29 | -4,23 | 1,29 | 1,50 | 1,66 | 3,14 | 71 | 143 |
| FEF50 | L/s | 2,28 | 3,13 | 0,76 | 24 | -4,60 | 0,76 | 0,91 | 0,93 | 1,67 | 53 | 120 |
| FEF75 | L/s | 1,07 | 1,61 | 0,38 | 24 | -3,81 | 0,38 | 0,44 | 0,46 | 0,78 | 49 | 105 |
| EVol | mL | | | | | | 40 | 30 | | | | |
| FIVC | L | 2,10 | 2,43 | 1,94 | 80 | -2,48 | 1,94 | 1,85 | 1,00 | 2,41 | 99 | 24 |
| FIV1 | L | 1,70 | 2,03 | 1,57 | 77 | -2,32 | 1,57 | 1,65 | 0,81 | 2,13 | 105 | 36 |
| FIV1/FIVC | % | 75,5 | 84,6 | 80,9 | 96 | -0,68 | 80,9 | 89,2 | 81,0 | 88,4 | 104 | 9 |
| PIF | L/s | 3,58 | 4,98 | 1,65 | 33 | -3,93 | 1,65 | 2,01 | 0,99 | 2,16 | 43 | 31 |
| MVV(cal) | L/min | | 85,0 | 42,4 | 50 | | 42,4 | 45,5 | 45,2 | 67,2 | 79 | 59 |
| IC | L | | 2,48 | 0,81 | 33 | | | | | | | |
| ERV | L | | 0,90 | 0,34 | 38 | | | | | | | |
| EVC | L | 2,16 | 2,48 | 1,15 | 46 | -7,00 | | | | | | |
| IVC | L | 2,16 | 2,48 | | | | | | | | | |
| TV | L | | | 0,79 | | | | | | | | |
| VE | L/min | | | 21,56 | | | | | | | | |

Figure 9:fiche de données Bukavu

Les valeurs de VR (VR_{Calc}) et de Gaw (Gaw_{Calc}) ainsi calculées à partir de la courbe débit-volume seront comparées respectivement aux valeurs de VR et Gaw mesurées par pléthysmographie. Pour comparer les deux méthodes de mesure de variables de même nature VR et Gaw, ni la régression linéaire simple ni le coefficient de corrélation de Pearson ne sont adaptées.

Nous avons procédé par une méthode graphique au moyen du diagramme de Bland et Altman puis une méthode numérique en utilisant le test t de Student pour échantillons appariés, le coefficient de concordance de Lin et la régression de Deming(25,26).

Méthode graphique :

La méthode d'évaluation de la concordance de Bland et Altman consiste à réaliser un graphe comportant en ordonnée la différence entre les valeurs obtenues par les deux techniques A et B (soit A-B) et en abscisse la moyenne des valeurs obtenues par ces deux techniques, soit $(A + B) / 2$. Cette moyenne représente une estimation acceptable au plan technique en l'absence de connaissance préalable du biais existant entre les deux séries de données.

Dans la mesure où l'évaluation de la concordance repose sur la différence arithmétique de valeurs observées au sein des deux séries, il est nécessaire que ces deux valeurs mesurent d'une part la même grandeur et d'autre part qu'elles soient exprimées dans la même unité. Contrairement au cas de la régression linéaire, il est donc nécessaire, si les unités dans lesquelles sont exprimées les deux séries ne sont pas identiques, de procéder avant tout à la conversion de l'une des séries dans l'unité de l'autre.

Le biais est la moyenne des différences, il représente la moyenne de l'écart systématique d'une série de valeur par rapport à l'autre. L'écart type (ET ou SD pour Standard Deviation) des différences est calculé et va permettre de définir les deux

seuils de limite de concordance (biais $\pm 1.96 \times ET$). Les limites de concordance supérieures et inférieures sont tracées sur le graphique (en pointillés sur la figure 11). Elles correspondent approximativement à deux écarts types par rapport à la moyenne. Elles englobent l'intervalle dans lequel sont comprises 95% des différences sous l'hypothèse que leur distribution suive une loi normale.

Nous avons évalué au moyen de cette méthode si le biais de deux mesures était proche de zéro et si la zone incluant les limites d'agrément était étroite et proche de zéro.

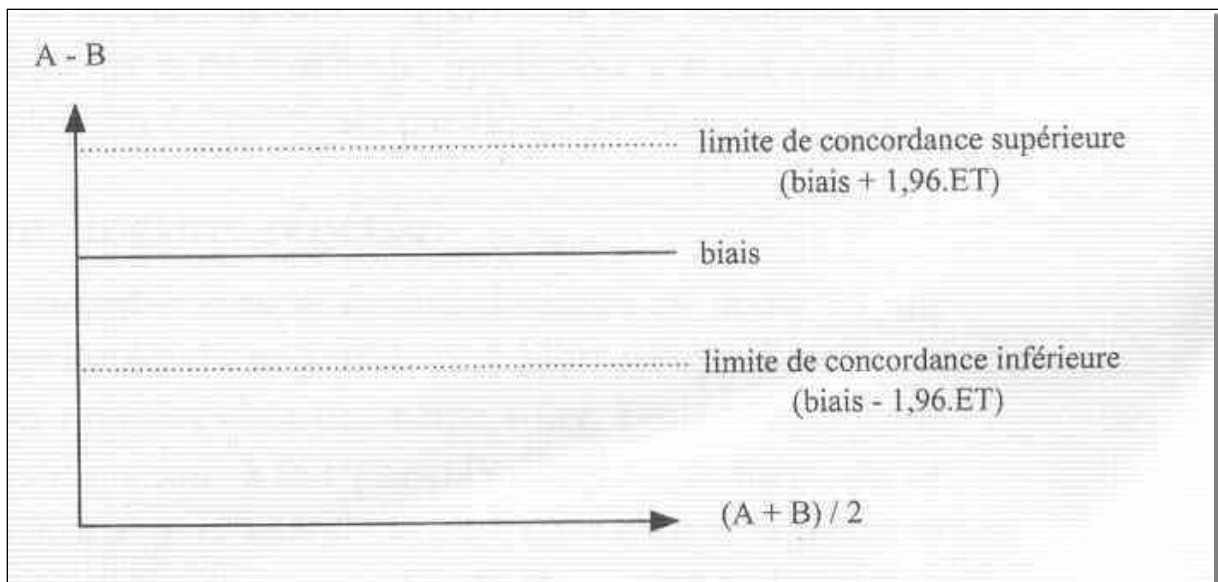


Figure 10 : Représentation graphique de Bland et Altman.

Méthode numérique :

Pour le test t de Student pour séries appariées, la moyenne des différences, en raison de l'appariement des données, peut être comparée à 0. Ce test permet de détecter une éventuelle différence systématique entre deux méthodes de mesure. La valeur obtenue est à comparer à la valeur seuil à $n-1$ degrés de liberté (ddl) pour le risque α de la table de Student (c'est-à-dire, en pratique, pour $n > 30$, 1.96 pour $\alpha = 5\%$).

Le coefficient de concordance de Lin permet d'évaluer la concordance de la mesure de chacune de paires de sujets par rapport aux deux méthodes. Pour y arriver

nous avons réalisé un graphique avec en abscisses (X) les valeurs de VR obtenues par pléthysmographie et en ordonnées (Y) les valeurs de VR estimées à partir de la courbe débit-volume. Chaque paire de mesures est représentée sur le plan X-Y. Pour l'interprétation, nous avons évalué visuellement la répartition de points par rapport à la ligne diagonale $Y=X$. Une corrélation parfaite donnera tous les points approximativement sur une ligne proche de la diagonale. Pour ce qui concerne l'interprétation numérique, un coefficient de concordance de 0.21 à 0.40 est jugé de simple, un coefficient de 0.41 à 0.60 est modéré, un coefficient de 0.61 à 0.80 est consistant tandis qu'un coefficient 0.81 à 1 est jugé de presque parfait (27).

La régression de Deming prend en compte la variabilité des deux méthodes en introduisant un paramètre supplémentaire, le rapport des deux variances analytiques. Toutefois, elle suppose que les erreurs de mesures suivent une distribution normale. Le calcul de l'intervalle de confiance à 95% de la pente et de l'ordonnée à l'origine permet de vérifier s'il existe ou non des différences significatives entre les méthodes. Si l'intervalle du coefficient de la pente contient 0, cela traduit qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux méthodes. Cette régression nous a fourni surtout un modèle sous forme d'équation $y=b + a*x$. Ce modèle peut nous permettre d'établir un lien fonctionnel entre les deux variables, au cas où la concordance serait faible et les limites de l'intervalle d'agrément seraient larges.

Cela a été rendu possible en obtenant de valeurs corrigées du VR calculés à partir du modèle de la régression de Deming en utilisant comme référence « gold standard », le VR mesuré par pléthysmographie. Les valeurs de VR corrigées ainsi obtenues ont été comparées aux valeurs de VR mesurées par pléthysmographie, puis le coefficient de concordance de Lin a été calculé après cette correction. Cette

procédure ressemble fort à une « calibration » de valeurs de VR obtenues par analyse de la courbe débit-volume.

2.4.1.4. Corrélation entre le volume résiduel et le volume gazeux total intra thoracique :

Pour prédire le volume gazeux total intra thoracique (VGT) à partir du volume résiduel (VR) nous avons utilisé une régression linéaire simple. Le VR a été considéré comme variable indépendante et le VGT comme variable dépendante.

Les conditions vérifiées pour l'application du test ont été :

- l'existence d'une relation linéaire entre la variable dépendante et la variable indépendante,
- une indépendance entre les observations,
- une homoscedasticité ,
- l'absence de valeurs aberrantes significatives,
- et la distribution normale de résidus de la régression linéaire.

La relation linéaire de la VGT par rapport au VR a été vérifiée par l'inspection du scatter plot pour voir si la relation suit approximativement une ligne droite.

L'indépendance des résidus a été vérifiée par le test de Durbin-Watson. La valeur du test de Durbin-Watson varie entre 0 et 4.

L'homoscedasticité veut dire que la variance de résidus est constante pour toutes les valeurs de la variable dépendante (ici le VR). Sa vérification a été réalisée à l'inspection du diagramme de résidus.

La distribution normale des résidus a été jugée à l'inspection visuelle du diagramme de la normalité P-P, les points alignés sur la ligne diagonale permettent de vérifier cette condition d'applicabilité du test.

Pour l'analyse de la régression linéaire nous avons cherché à déterminer si le modèle de la régression linéaire convient pour les données, à comprendre les

coefficients de régression du modèle et à réaliser de prédictions de la valeur dépendante (VGT) à partir de la variable indépendante (VR).

Pour déterminer comment le modèle convient pour les données nous avons utilisé la statistique "R²" qui est la proportion de variations de la variable dépendante (VGT) expliquée par notre variable indépendante (VR) dans l'échantillon et le R² ajusté qui évalue la même proportion au sein de la population. Le R² ajusté est aussi une estimation de la taille de l'effet pour la puissance du test selon Cohen. Une valeur de R² à 0.0196 correspond à un effet de taille faible, une valeur de 0.1304 définit un effet de taille moyen et une valeur de 0.2592 définit un effet de taille large (21).

Pour la signification statistique du modèle nous avons utilisé le test F, le degré de liberté de la régression, le degré de liberté de résidus et la valeur p indiquant la probabilité d'obtenir la valeur F observée si l'hypothèse nulle est vraie. Si $p < 0.05$, nous concluons à un résultat statistiquement significatif avec une relation linéaire.

Pour l'interprétation de résultats, l'équation de la régression linéaire a été exprimée sous la forme : $VGT = b_0 + (b_1 * VR)$ où b_0 est l'intercept (ordonné à l'abscisse, valeur de la variable dépendante quand la variable indépendante est égale à zéro) et b_1 est le coefficient de la pente. Pour déterminer si le coefficient de la pente est statistiquement différent de zéro nous avons reporté le résultat d'un test t. Si $p < 0.05$, la valeur du coefficient de la pente est statistiquement significative, et cela peut nous permettre d'admettre qu'il y a une relation linéaire dans la population.

Pour prédire les valeurs du VGT à partir du VR, nous avons remplacé dans l'équation de la régression linéaire, le VR par de valeurs voulues, par exemple 150, 160 et 160. Nous avons reporté les valeurs moyennes prédites de VGT avec un intervalle de confiance à 95 % correspondant à chacune.

2.5. CONSIDERATIONS ETHIQUES

Les méthodes d'investigations étant approuvées et acquises au préalable, il n'y avait pas nécessité d'approbation par un comité d'éthique avant d'effectuer les mesures.

Chaque enfant qui est son propre contrôle, accompagné de ses parents respectifs, a donné son accord pour la réalisation des épreuves respiratoires.

Nous avons sollicité l'autorisation du comité d'éthique de l'Université Catholique de Bukavu avant la publication de ces données.

III. RESULTATS

A. RESULTATS OBTENUS DANS LA POPULATION CAUCASIENNE

3.1. Volumes statiques obtenus par pléthysmographie.

Tableau III: Volumes statiques obtenus par pléthysmographie

| Volume en % de la valeur théorique | Moyenne \pm Ecart type |
|------------------------------------|--------------------------|
| CV | 97,8 \pm 14,8 |
| VR | 218,13 \pm 100 |
| VGT | 176,64 \pm 56,35 |

CV : capacité vitale ; VR : volume résiduel ; VGT : volume de gaz trappés

Nous avons obtenu une capacité vitale moyenne de 97,8 \pm 14,8 %, un volume résiduel de 218,13 \pm 100 % et un volume gazeux total intra thoracique de 176,64 \pm 56,35 %.

3.2. Comparaison de volumes dynamiques obtenus par pléthysmographie et par pneumotachographie

Tableau IV : Comparaison de volumes dynamiques

| Volumes | Test | n | \bar{x} | Test t | Valeur de p | <0,05=* |
|-----------|--------------------|----|-----------|--------|-------------|---------|
| CVF | Pneumotachographie | 39 | 103,64 | 2,34 | 0,025 | * |
| | Pléthysmographie | 39 | 98,10 | | | |
| VEMS | Pneumotachographie | 40 | 114,95 | 7,585 | <0,0005 | * |
| | Pléthysmographie | 40 | 97,5 | | | |
| VEMS/CVF | Pneumotachographie | 38 | 111,92 | 5,715 | <0,0005 | * |
| | Pléthysmographie | 38 | 105,16 | | | |
| DEP | Pneumotachographie | 40 | 113,45 | 2,697 | 0,010 | * |
| | Pléthysmographie | 40 | 105,88 | | | |
| DEM 25-75 | Pneumotachographie | 38 | 149,74 | 8,599 | <0,0005 | * |
| | Pléthysmographie | 38 | 115,13 | | | |

CVF : capacité vitale forcée, VEMS : Volume expiré maximal en 1 seconde ; VEMS/CVF : rapport entre le Volume expiré maximal en 1 seconde et la capacité vitale forcée ; DEP : débit expiratoire de pointe ; DEM : Débit expiratoire maximal entre 25 et 75 % de la CVF ; n : nombre de sujets ; \bar{x} : moyenne ; test t : valeur test de Student pour échantillons appariés ; * : différence statistiquement significative (p<0.05)

Un test t pour échantillons appariés a été utilisé pour déterminer s'il y avait une différence des moyennes entre la capacité vitale forcée (CVF) obtenue par pléthysmographie et celle obtenue par pneumotachographie. Les données sont des moyennes \pm écart-types sauf indication contraire. Une valeur aberrante a été détectée

qui était à plus de 1.5 longueur à l'inspection de la boîte à moustaches et supprimée dans l'analyse quoi que l'inspection de sa valeur n'ait pas été jugée extrême. L'hypothèse de la normalité a été respectée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk ($p=0.283$). Les participants avaient une CVF mesurée par pneumotachographie supérieure (103.64 ± 18.294 %) comparativement à la CVF mesurée par pléthysmographie (98.10 ± 14.643 %), une différence statistiquement significative de 5.538 (IC 95 %, 0.746 à 10.331) %, $t(38) = 2.34$, $p=0.025$, $d=0.375$.

De même un test t pour échantillons appariés a été utilisé déterminer s'il y avait une différence entre les valeurs obtenues par les deux méthodes pour le volume expiratoire maximal seconde (VEMS). Il n'y a pas eu de valeur aberrante détectée. L'hypothèse de la normalité de la distribution n'a pas été violée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk ($p=0.747$). Les participants avaient un VEMS mesuré par pneumotachographie supérieur (114.95 ± 17.768 %) comparativement au VEMS mesuré par pléthysmographie (97.5 ± 15.159 %), une différence statistiquement significative de 17.45 (IC 95%, 12.797 à 22.103) %, $t(39) = 7.585$, $p < 0.0005$, $d = 1.2$.

Pour le rapport VEMS/CVF, deux valeurs aberrantes ont été détectées à l'analyse de la boîte à moustaches. Elles ont été supprimées de l'analyse pour ce paramètre, quoi que à leur inspection elles n'ont pas été jugées extrêmes et n'influençaient pas le résultat du test. L'hypothèse de la normalité n'a pas été violée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk ($p=0.610$). Les participants avaient un rapport VEMS/CVF mesuré par pneumotachographie supérieur (111.92 ± 7.933 %) comparativement au VEMS/CVF mesuré par pléthysmographie (105.16 ± 8.316 %), une différence statistiquement significative de 6.763 (IC 95%, 4.365 à 9.161) %, $t(37) = 5.715$, $p < 0.0005$, $d = 0.93$.

Pour le débit expiratoire de pointe (DEP), il n'y a pas eu de valeur aberrante détectée. L'hypothèse de normalité n'a pas été violée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk ($p=0.124$). Les participants avaient un DEP mesuré par pléthysmographie supérieur (113.45 ± 22.017) % comparativement au DEP mesuré par pneumotachographie (105.88 ± 22.623) %, une différence statistiquement significative de 7.575 (IC 95 %, 1.895 à 13.25) %, $t(39) = 2.697$, $p=0.010$, $d= 0.43$.

Enfin pour le débit expiratoire maximal (DEM), un test t pour échantillons appariés a aussi été effectué. Deux valeurs aberrantes affectant l'analyse de mesures ont été détectées à l'inspection de la boîte à moustaches. Elles ont été supprimées. L'hypothèse de la normalité de valeurs n'a pas été violée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk ($p=0.892$). Les participants avaient un DEM mesuré par pneumotachographie supérieur (149.74 ± 40.288) % comparativement au DEM mesuré par pléthysmographie (115.13 ± 26.588) %, une différence statistiquement significative de 34.605 (IC 95 %, 26.451 à 42.760) %, $t(40) = 8.599$, $p<0.0005$, $d=1.4$.

3.3. Résistances

Tableau V: Evaluation de la réponse au test de bronchodilatation au moyen de la Rva et de la Rint de flux

| | Résistances | |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | Rva (CmH ₂ O/L/S) | Rint (KPa/L/S) |
| Réponse au salbutamol | | |
| Δ abs ($\bar{x} \pm SD$) | (-1,20 \pm 1,30) | (-0,0945 \pm 0.23) |
| Δ %init ($\bar{x} \pm SD$) | (-28,2 \pm 28,18) | (-10,71 \pm 32,70) |
| Δ %pred ($\bar{x} \pm SD$) | (-56,17 \pm 23,7) | (-21,07 \pm 52,13) |

Δ abs : changement en valeur absolue du paramètre ; Δ %init : changement en pourcentage de la valeur initiale du paramètre ; Δ %pred : changement en pourcentage de la valeur prédite du paramètre.

La différence de la résistance de voies aériennes est de 56,17 \pm 23,7 % de la valeur prédite après bronchodilatation au salbutamol, elle est de 21,07 \pm 52,13 % de la valeur prédite pour la résistance par interruptions de flux.

Tableau VI: Comparaison de Rva et Rint avant et après bronchodilatation au salbutamol.

| Résistance | Test | N | \bar{x} | Test t | Valeur de p | <0,05=* * |
|------------|------------------|----|-----------|--------|-------------|--------------|
| Rva | Après salbutamol | 39 | 56,41 | -6,01 | <0,0005 | * |
| | Spontané | 39 | 80,77 | | | |
| Rint | Après salbutamol | 37 | 129,3 | -2,009 | 0,052 | |
| | Spontané | 37 | 142,51 | | | |

Rva : Résistances des voies aériennes ; Rint : Résistances pulmonaires par interruptions itératives du débit ; n : nombre de sujets, \bar{x} : moyenne, test t : valeur test de Student pour échantillons appariés, * : différence statistiquement significative ($p < 0.05$)

Un test t pour échantillons appariés a été utilisé pour déterminer s'il y avait une différence de moyennes statistiquement significative entre la résistance de voies aériennes mesurée par pléthysmographie (Rva) et la Rva après le test au salbutamol. Il y avait une valeur manquante lors de l'analyse de ce paramètre, par contre aucune valeur aberrante n'a été détectée. L'hypothèse de la normalité a été respectée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk ($p = 0.115$). La Rva après le test au salbutamol était inférieure (56.41 ± 24.046) % comparativement à la Rva spontanée (80.77 ± 22.655) %, une différence statistiquement significative de -24.359 (IC 95%, -32.564 à -16.154) %, $t(38) = -6.01$, $p < 0.0005$, $d = 0.96$.

Un test t pour échantillons appariés a été utilisé pour déterminer s'il y avait une différence de moyennes statistiquement significative entre la résistance par interruptions mesurée par pneumotachographie (Rint) et la Rint après le test au salbutamol. Lors de l'analyse de ce paramètre, une valeur manquante a été remarquée ainsi que deux valeurs aberrantes qui affectaient les résultats ont été supprimées. L'hypothèse de la normalité n'a pas été violée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk ($p = 0.978$). La Rint après le test au salbutamol est inférieure (129.30 ± 40.832) % comparativement à la Rint spontanée (142.51 ± 35.433) %, une différence non

statistiquement significative de -13.216(IC 95%, -26.560 à 0.127) %, $t(36) = -2.009$, $p=0.052$, $d=0.33$.

Tableau VII : Comparaison de résistances Rva et Rint

| Résistance | Test | N | \bar{x} | Test t | Valeur de p | <0,05=* |
|------------|------|----|-----------|--------|-------------|---------|
| Totale | Rint | 38 | 140,34 | 10,92 | <0,0005 | * |
| | Rva | 38 | 80,81 | | | |
| Réductible | Rint | 33 | -6,24 | 5,203 | <0,0005 | * |
| | Rva | 33 | -31,33 | | | |
| Résiduelle | Rint | 35 | 128,06 | 13,9 | <0,0005 | * |
| | Rva | 35 | 54,29 | | | |

Rva : Résistances des voies aériennes ; Rint: Résistances pulmonaires par interruptions itératives du débit ; n : nombre de sujets, \bar{x} : moyenne, test t : valeur test de Student pour échantillons appariés, * : différence statistiquement significative ($p<0.05$)

Un test t pour échantillons appariés a été utilisé pour déterminer s'il y avait une différence de moyennes statistiquement significative entre les valeurs de résistance totale mesurée par pneumotachographie et celles mesurées par pléthysmographie. Les données sont en moyennes \pm écart-type, sauf indication contraire. Nous avons noté une valeur manquante. Une valeur aberrante a été détectée, se présentant à plus de 1.5 longueur à l'analyse visuelle de la boîte à moustaches. Elle a été écartée de l'analyse. L'hypothèse de la normalité de la distribution n'a pas été violée, tel que l'a évalué le test de Shapiro-Wilk($p=0.202$). La résistance mesurée par interruptions itératives de flux à la pneumotachographie(Rint) a été différente (140.34 ± 39.52) % par rapport à la résistance de voies aériennes (Rva) mesurée par pléthysmographie (80.81 ± 22.95) %, une différence statistiquement significative de 59.53 (IC 95%, 48.49 à 70.57) %, $t(37) = 10.925$, $p<0.0005$, $d=1.77$.

Pour comparer la valeur réductible des résistances mesurées par les deux méthodes, un test t pour échantillons appariés a également été utilisé. Nous avons noté deux valeurs manquantes dans les analyses. L'inspection de la boîte à moustache nous a permis de détecter 5 valeurs aberrantes qui ont toutes été supprimées. L'hypothèse

de la normalité de la distribution n'a pas été violée, tel que l'a montré le test de Shapiro-Wilk($p=0.914$). La valeur réductible de la résistance par interruption (R_{int}) a été différente (-6.24 ± 25.88) % comparativement à la valeur réductible de la résistance totale (R_{va}) (-31.33 ± 23.28) %, une différence statistiquement significative de 25.09 (IC 95 %, 15.27 à 34.91) %, $t(32) = 5.203$, $p < 0.0005$, $d = 0.9$.

Enfin pour comparer la valeur de la résistance résiduelle des résistances mesurées par les deux méthodes, un test t pour échantillons appariés a toujours été utilisé. Nous avons noté une valeur manquante dans les analyses. L'inspection de la boîte à moustache nous a permis de détecter 4 valeurs aberrantes qui ont été toutes supprimées. L'hypothèse de la normalité de la distribution n'a pas été violée, tel que l'a rapporté le test de Shapiro-Wilk($p=0.374$). La valeur résiduelle de la R_{int} a été différente (128.05 ± 33.52) % comparativement à la valeur résiduelle de la R_{va} (54.28 ± 19.18) %, une différence statistiquement significative de 73.77 (IC 95 %, 62.97 à 84.57) %, $t(34) = 13.885$, $p < 0.0005$, $d = 2.35$.

3.4 : Estimation du volume résiduel et de la conductance à partir de la courbe cycle total du débit-volume.

3.4.1 : Estimation du volume résiduel :

Un test t pour échantillons appariés a été effectué pour déterminer s'il y avait une différence statistiquement significative entre le volume résiduel mesuré par pléthysmographie et celui calculé à partir de la courbe cycle total (courbe débit-volume). La différence moyenne estimée était de 26.70 % (IC 95 %, de -6.26 à 58.8), $t(36) = 1.637$, $p = 0.11$, une différence statistiquement non significative. L'hypothèse de la distribution normale de cette différence a été vérifiée par un test de Shapiro Wilk ($p = 0.652$). Cette différence, non significative, nous a permis d'estimer le biais du calcul du volume résiduel à partir de la courbe cycle total par rapport au volume résiduel

mesuré par pléthysmographie corporelle, considéré comme Gold Standard. Cela a été illustré au moyen du graphique de Bland et Altman obtenu, l'axe des X représente les moyenne et l'axe des Y, les différences. Le biais a été estimé à 26.7 (IC 95%, de -6.26 à 58.8) %. Les bornes de limites d'agrément sont -165 (IC 95%, de -221,11 à -108,88) % et 217.5 (IC 95%, de 161,42 à 273,65) % correspondant respectivement à $\text{diff} - 1,96 \times \text{SD}$ et $\text{diff} + 1,96 \times \text{SD}$. La plupart de nos points se sont retrouvés dans l'intervalle donné par les limite d'agrément (figure 12).

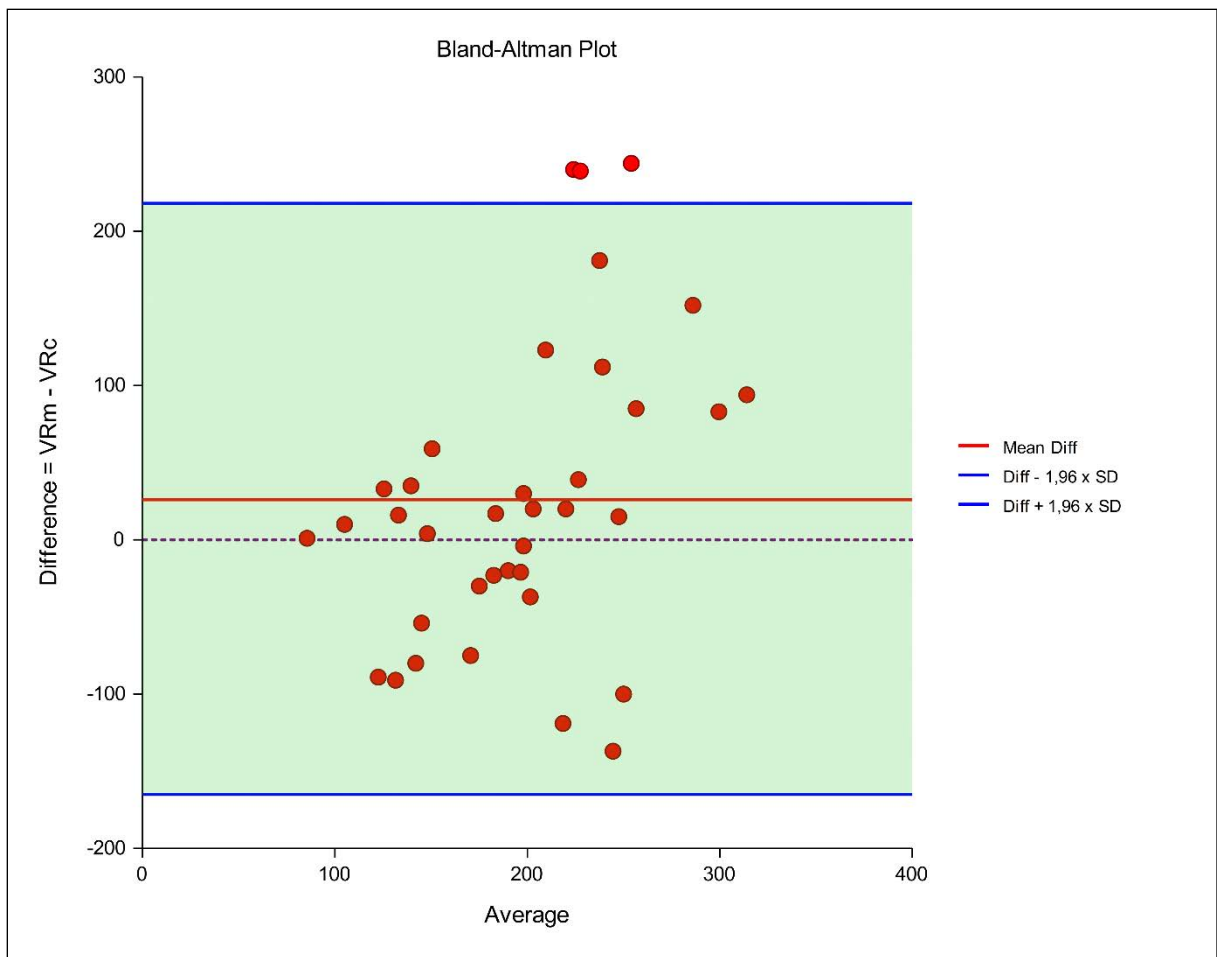


Figure 11 : Diagramme Bland et Altman comparaison de volumes résiduels

Ensuite pour voir la corrélation entre le volume résiduel (VR) mesuré par pléthysmographie et le VR calculé par évaluation de la courbe cycle total du débit volume, un test pour évaluer le coefficient de concordance de Lin a été utilisé. Deux

valeurs manquantes ont été détectées ainsi qu'une valeur aberrante qui a été supprimée. Pour les 37 paires analysées, le coefficient de Lin a été de 11.15 % (IC 95%, -0.169 à 0.3753), une corrélation faible selon Lin (figure 13).

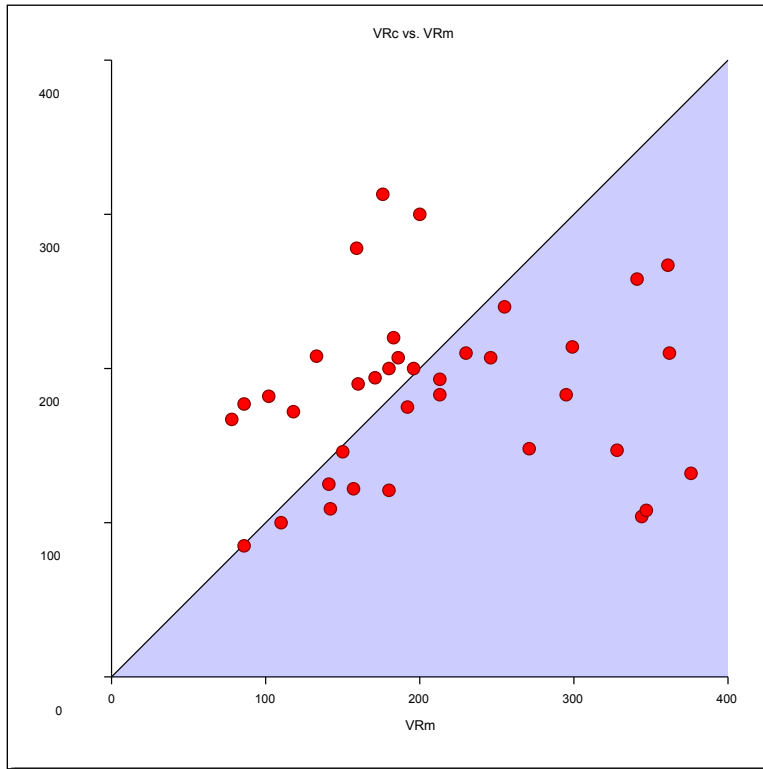


Figure 12 : Concordance de Lin comparaison de volumes résiduels

VRm : volume résiduel mesuré par pléthysmographie ; VRc : volume résiduel calculé à partir de la courbe cycle total

Cette concordance nous a permis d'élaborer un modèle par la régression de Deming. Ce modèle a été réalisé pour évaluer la valeur du volume résiduel estimé à partir de la courbe cycle total connaissant le volume résiduel mesuré par pléthysmographie. Les mesures des erreurs ont été jugées indépendantes et de distribution normale, tel que l'a montré l'inspection visuelle de diagrammes de résidus. L'hypothèse de la constance de la variance a été aussi vérifiée par l'inspection visuelle de diagrammes de résidus.

L'équation de prédiction était : Volume résiduel calculé (VRc)= 48.78 + 0.64* volume résiduel mesuré (VRm) (figure 14). Cette équation peut être exprimée autrement : $VRm = -75.93 + 1.55 * VRc$.

Un pourcentage supplémentaire du volume résiduel mesuré conduit à 0.64 (IC 95%, -0.63 à 1.91) % d'augmentation en volume résiduel calculé. L'intercept à l'abscisse est de 48.78 (IC 95 %, -210.51 à 303.08) %. Les intervalles de confiance de l'intercept à l'abscisse ainsi que celui de la pente incluent tous 0, ce qui nous a permis de considérer qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux méthodes.

Des prédictions ont été réalisées pour déterminer le VRc à partir de valeurs de VRm chez de patients qui avaient respectivement de valeurs de 130, 140 et 150 %. Pour 130 % de VRm, le VRc a été prédit à 132.3 % (IC 95 %, de 36.2 à 228.4) ; pour 140 % de VRm, le VRc a été prédit à 138.72 % (IC 95 %, de (54.83 à 222.62) ; enfin pour 150 % de VRm, le VRc a été prédit à 145.15 % (IC 95 %, de 73.29 à 217.01).

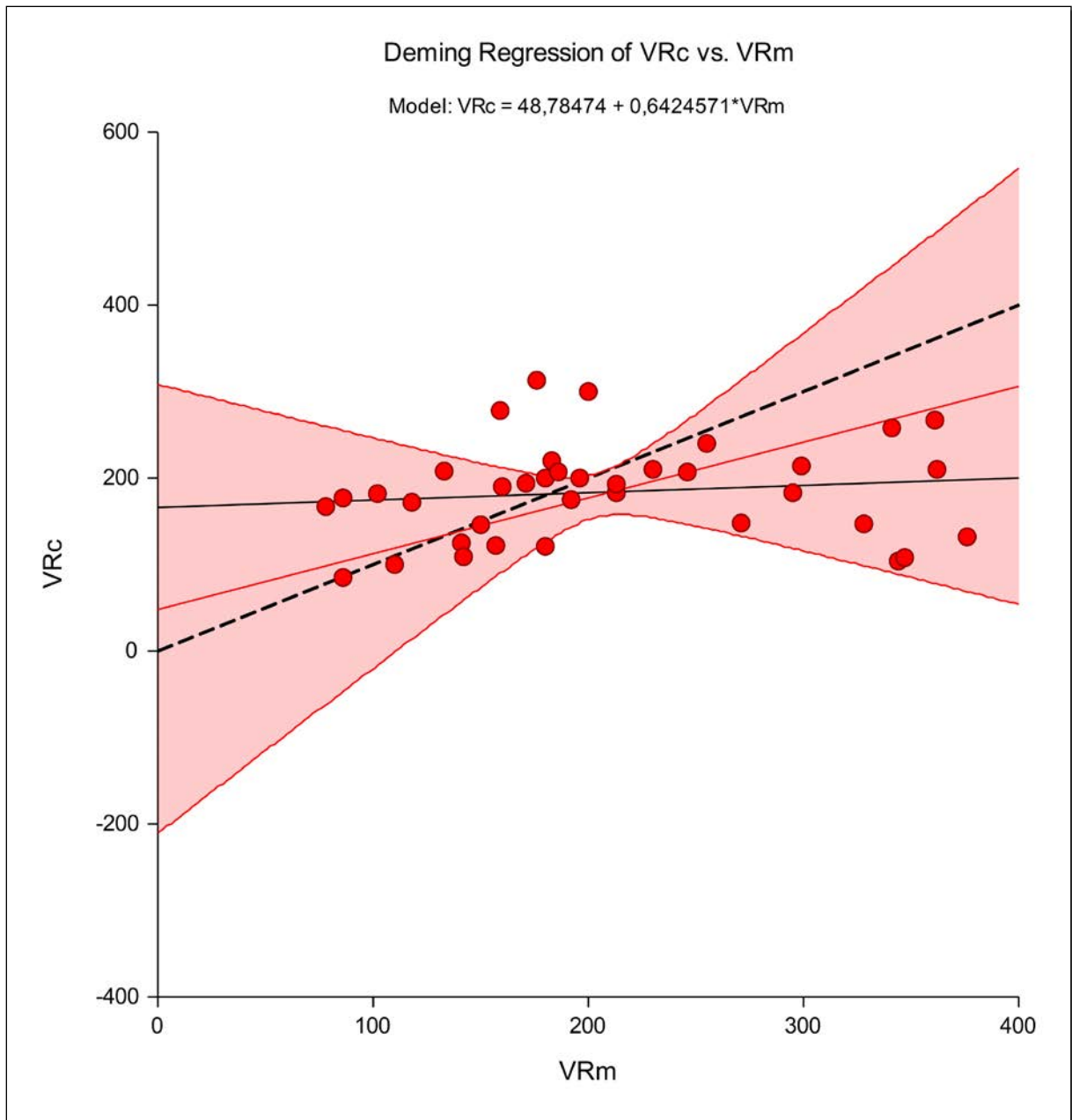


Figure 13 : Régression de Deming entre le VR mesuré et le VR calculé

Figure 14 : les points représentent les données ; en rouge la régression de Deming et les intervalles de confiance associées ; la ligne noire continue représente la ligne de régression linéaire simple, la ligne noire en pointillés représente la ligne à 45°(Y=X)

Nous avons comparé les valeurs prédites de VRc par ce modèle à partir de de valeurs de VR mesurés par pléthysmographie. Le coefficient de concordance de Lin ainsi calculé est de 85.34% (IC à 95%, de 0.7979 à 0.8946), une concordance quasi parfaite car comprise entre 0.81 et 1(figure 15).

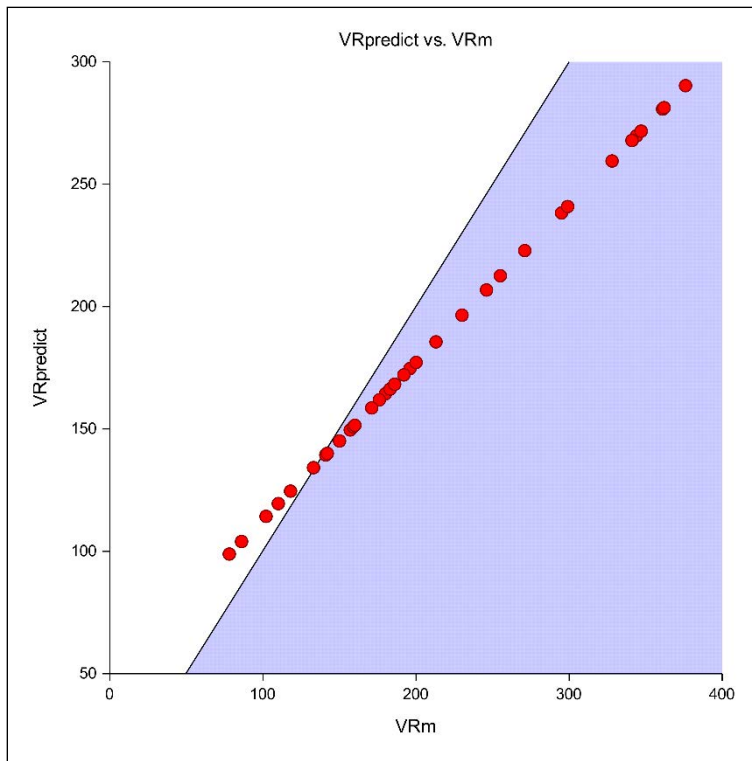


Figure 14 : Coefficient de concordance de Lin entre le VR calculé prédit et le VR mesuré par pléthysmographie

Figure 15 : VRpredict : Volume résiduel prédit à partir du modèle de la régression de Deming, VRm : volume résiduel mesuré par pléthysmographie

3.4.2 : Régression entre le volume résiduel et le volume gazeux total intrathoracique

Une régression linéaire a été réalisée pour estimer la valeur du volume gazeux total intra thoracique (VGT) à partir du volume résiduel mesuré par pléthysmographie. Pour évaluer la linéarité, un diagramme de dispersion du volume gazeux total intra thoracique par rapport au volume résiduel avec la droite de régression supposée a été tracé. L'inspection visuelle a indiqué une relation linéaire entre les variables. Il y avait une homoscedasticité et une normalité des résidus. Aucune valeur aberrante n'a été trouvée pour les participants.

L'équation de prédiction était : Volume gazeux total intra thoracique (VGT)=88,349+ 0,411*Volume résiduel(VR) (figure 16).

Le volume résiduel a prédit le volume gazeux total intra thoracique de manière statistiquement significative $F(1,36) = 40,509$, $p < .0005$, comptant pour 52.9% de la variation du volume gazeux total intra thoracique avec un R-deux ajusté de 51.6%, un

effet de taille large selon Cohen. Un pourcentage supplémentaire de la valeur du volume résiduel conduit à 0.411(95% IC, 0.280 à 0.542) % d'augmentation en volume gazeux total intra thoracique.

De prédictions ont été réalisées pour déterminer le volume gazeux total intra thoracique chez des patients qui avaient respectivement un volume résiduel de 160, 170, 180 %. Pour 160 % de volume résiduel, le volume gazeux total intra thoracique a été prédit à 154.089 (IC 95%, 139.091 à 169.087) %, pour 170% le volume de gaz trappés a été prédit à 158.198 (IC 95 %,143.82 à 172.575) % et pour 180 % de volume résiduel, le volume gazeux total intra thoracique a été prédit à 162.306(IC 95 %,148.452 à 176.160) %.

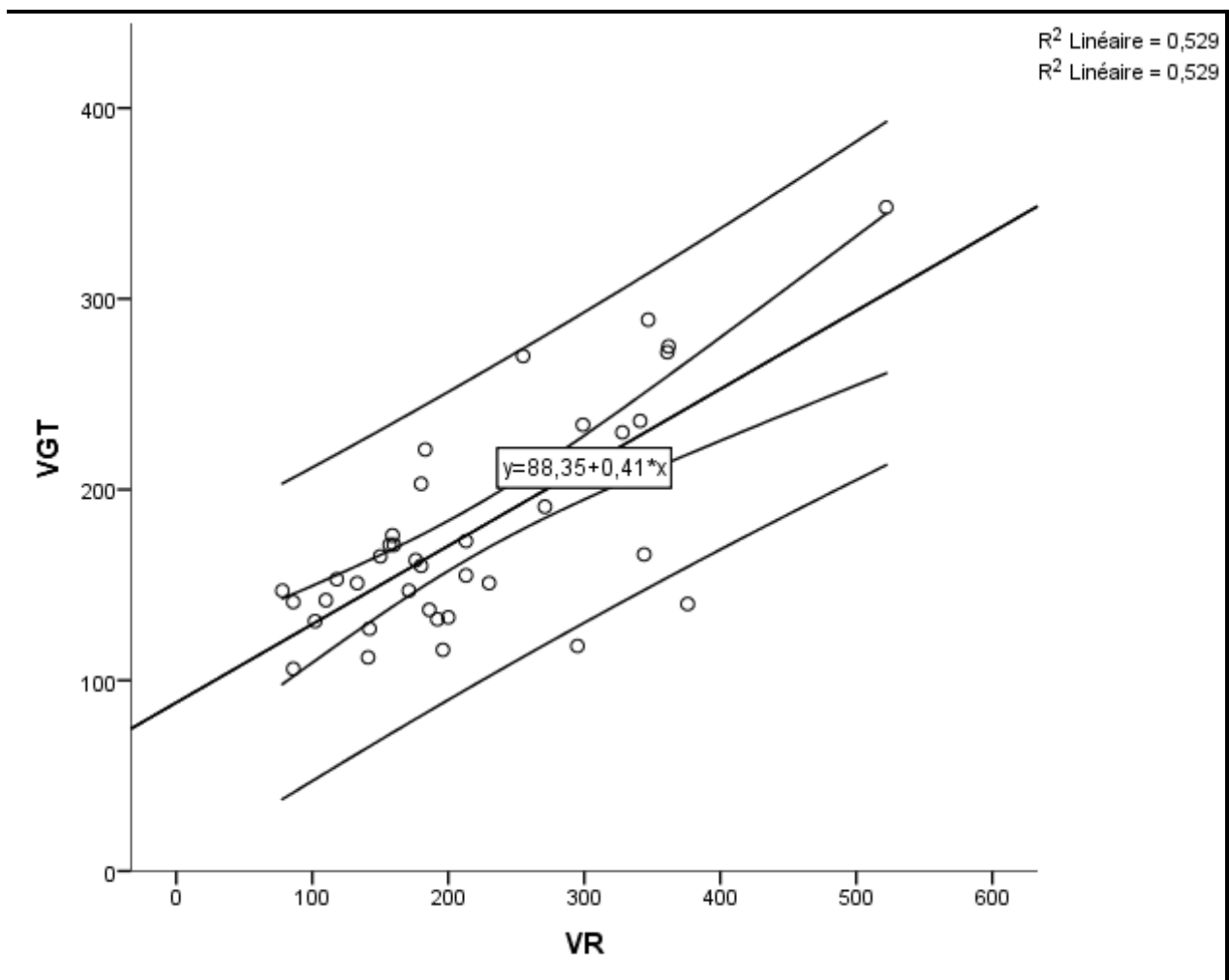


Figure 15: Régression linéaire entre le VR et le VGT

Figure 15 : régression linéaire, VR : volume résiduel en %, VGT : volume gazeux total intra thoracique en %.

3.4.3 : Estimation de la conductance :

Tableau VIII: Comparaison entre la conductance mesurée par pléthysmographie et la conductance calculée

| Compliance | Technique | N | \bar{x} | Test t | Valeur de p | <0,05=* |
|------------|-----------|----|-----------|--------|-------------|---------|
| Totale | GawMes | 39 | 133.79 | 8.542 | <0.0005 | * |
| | GawCalc | 39 | 79.69 | | | |

GawMes : conductance mesurée par pléthysmographie ; GawCalc : conductance calculée à partir de la courbe débit-volume.

Un test t pour échantillons appariés a été effectué pour comparer les valeurs de la conductance mesurée par pléthysmographie (GawMes) et la conductance calculée à partir de la courbe débit-volume (GawCalc). Les données sont en moyennes \pm écart-type, sauf indication contraire. Nous avons noté une valeur manquante. Aucune valeur aberrante n'a été détectée. L'hypothèse de la normalité de la distribution n'a pas été violée, tel que l'a évalué le test de Shapiro-Wilk($p=0.558$). La GawMes a été différente (133.79 ± 38.24) % par rapport à GawCalc (79.69 ± 15.29) %, une différence statistiquement significative de 54.1 (IC 95%, 41.28 à 66.92) %, $t(38) = 8.542$, $p < 0.0005$, $d = 1.36$.

B. RESULTATS OBTENUS DANS LA POPULATION AFRICAINE

3.5 : Volumes et débits obtenus dans la population de Bukavu

Tableau IX : Volumes et débits obtenus dans la population de Bukavu

| | Test | n | \bar{X} | Test t | Valeur de p | <0.05=* |
|----------|------------------|----|-----------|--------|-------------|---------|
| CVF | Après salbutamol | 35 | 95,94 | 4,126 | <0,0005 | * |
| | Spontané | | 88,26 | | | |
| VEMS | Après salbutamol | 35 | 96,06 | 7,806 | <0,0005 | * |
| | Spontané | | 84,86 | | | |
| DEP | Après salbutamol | 35 | 81,97 | 3,196 | 0,003 | * |
| | Spontané | | 75,91 | | | |
| DEM25-75 | Après salbutamol | 35 | 83,6 | 6,841 | <0,005 | * |
| | Spontané | | 64,54 | | | |

CVF : capacité vitale forcée, VEMS : volume expiratoire maximum à la première seconde, DEP débit expiratoire de pointe, DEM25-75 : débit expiratoire maximum entre 25 et 75 % de la CVF

Un test t pour échantillons appariés a été utilisé pour déterminer s'il y avait une différence de moyennes statistiquement significative entre la capacité vitale forcée(CVF) avant et après bronchodilatation. Les données sont en moyennes \pm écart-type. L'hypothèse de la normalité de la distribution n'a pas été violée, tel que l'a évalué le test de Shapiro-Wilk ($p=0.155$). La capacité vitale forcée après bronchodilatation au salbutamol a été différente (95.94 ± 24.087) % par rapport à la capacité vitale forcée spontanée (88.26 ± 25.941) %, une différence statistiquement significative de 7.686 (IC 95%, 3.9 à 11.471) %, $t(34) = 4.126$, $p < 0.0005$, $d = 0.69$.

Pour le volume expiratoire maximum seconde, l'hypothèse de la normalité a été respectée, avec un test de Shapiro-Wilk ($p=0.08$). Le VEMS post bronchodilatation au salbutamol a été différent (96.06 ± 27.025) % par rapport au VEMS spontané ($84.86 \pm$

26.114) %, une différence statistiquement significative de 11,2 (IC 95%, 8.284 à 14.116) %, $t(34) = 7.806$, $p < 0.0005$, $d = 1.32$.

Pour le DEM25-75, l'hypothèse de la normalité de la distribution a été respectée, avec un test de Shapiro-Wilk ($p = 0.05$). Le DEM25-75 post bronchodilatation au salbutamol a été différent (83.6 ± 37.271) % par rapport au DEM25-75 spontané (64.57 ± 31.54) %, une différence statistiquement significative de 19.057 (IC 95%, 13.396 à 24.719) %, $t(34) = 6.841$, $p < 0.0005$, $d = 1.15$.

Pour le DEP, l'hypothèse de la normalité de la distribution a été respectée, avec un test de Shapiro-Wilk ($p = 0,07$). Le DEP post bronchodilatation au salbutamol a été différent (81.97 ± 22.332) % par rapport au DEP spontané (75.91 ± 24.282) %, une différence statistiquement significative de 6.057 (IC 95%, 2.206 à 9.909) %, $t(34) = 3.196$, $p < 0.0005$, $d = 0.54$.

Tableau X: Différence médiane entre le VEMS/CVF en pré et post bronchodilatation

| | Test | n | μ | Test Wilcoxon | Valeur de p | <0.05=* |
|----------|------------------|----|-------|---------------|-------------|---------|
| VEMS/CVF | Après salbutamol | 35 | 102 | 2,755 | 0,006 | * |
| | Spontané | | 98 | | | |

VEMS/CVF : rapport entre le volume expiratoire maximum seconde et la capacité vitale fonctionnelle (indice de Tiffeneau)

Pour le VEMS/CVF, 35 patients ont été analysés pour évaluer la réponse de la bronchodilatation au salbutamol. Les données sont en médianes. Sur les 35 patients, la bronchodilatation au salbutamol a amélioré le rapport VEMS/CVF chez 24 patients, par contre il n'y a pas d'amélioration chez 2 patients et 9 patients ont présenté une baisse du VEMS/CVF. Un test de rang signé de Wilcoxon pour échantillons appariés a déterminé qu'il y avait une augmentation médiane statistiquement significative du

rapport VEMS/CVF (3%) après bronchodilatation au salbutamol (102%) par rapport au VEMS spontané (98%), $z=2.755$, $p=0.006$.

3.6 : Indices spirométriques obtenus dans la population de Bukavu

Tableau XI : Indices spirométriques

| | n | $\bar{X} \pm sd$ |
|---------------------------|----------|------------------------------------|
| Indice de volume résiduel | 33 | 67,85 ± 20,151 |
| Indice de résistance | 22 | 57 ± 19,079 |
| Indice de compliance | 23 | 109,57 ± 16,406 |

n : nombre de patients ; \bar{x} : moyenne ; sd : écart type

Nous avons obtenu un indice de volume résiduel moyen de 67.85 ± 20.151 %, un indice de résistance de 57 ± 19.079 % et un indice de compliance de 109.57 ± 16.406 %.

IV. DISCUSSION

Dans l'obstruction bronchique, l'importance de la CRF ou du VR, ainsi que la résistance des voies aériennes au passage de l'air n'est plus à montrer. Il en est de même pour les volumes dynamiques qui sont en fait tous représentés dans la courbe débit-volume. Il faut noter toutefois que le concept de résistance des voies aériennes regroupe les propriétés résistives de l'appareil respiratoire, qui comprend la somme des facteurs suivants : la rétraction élastique du poumon et de la cage thoracique, la résistance au passage de l'air, le frottement tissulaire et la tension superficielle dans les alvéoles (28).

Les épreuves fonctionnelles respiratoires constituent un élément important voire incontournable dans le diagnostic, le traitement et le suivi d'enfants asthmatiques. La spirométrie par pneumotachographie explore les volumes mobilisables dynamiques et statiques. La pléthysmographie explore en plus les volumes non mobilisables ainsi que la résistance de voies aériennes. Cette dernière technique onéreuse et accessible à partir d'un âge avancé étant donné le setting imposé, n'est pas disponible partout et semble de plus en plus cantonnée à des laboratoires expérimentaux en médecine humaine et animale. Il est dès lors judicieux de chercher à obtenir à partir de la spirométrie basée sur une approche plus simple, des informations pour une évaluation plus complète de voies respiratoires chez l'enfant asthmatique par la mise au point d'une méthode de prédiction de valeurs de volume de pléthysmographie. Dans cette étude, les mesures de boucles respiratoires de courbes débit-volume obtenues par pneumotachographie ont été utilisées pour prédire de valeurs de volume résiduel. La valeur de volume résiduel ainsi calculée a été comparée pour validation à celle mesurée par pléthysmographie corporelle qui constitue le gold standard. Nous avons trouvé que l'analyse de la profondeur de

boucles respiratoires permet d'obtenir de valeurs de volume résiduel qui prédisent de manière significative le volume résiduel mesuré par pléthysmographie. Dans une étude similaire réalisée en République Islamique d' Iran, le volume résiduel a été calculé à partir de la capacité vitale forcée, du débit expiratoire moyen entre 25 et 75 % de la capacité vitale forcée et du volume expiratoire seconde, tous de paramètres obtenus par pneumotachographie (29). Cette étude va dans le même sens que le nôtre par le fait que les volumes précités ont permis de calculer de valeurs de volume résiduel avec une bonne sensibilité et spécificité. Sur base de ces éléments nous pouvons affirmer que l'interprétation de la boucle cycle total de la courbe débit-volume permet de prédire de manière significative le volume résiduel qui est donné par la pléthysmographie. Cette méthode d'obtention du volume résiduel, comparée à la méthode de référence (la pléthysmographie), a été ainsi validée. Nous n'avons pas trouvé des études antérieures qui utilisent directement la lecture de la profondeur et de la hauteur de la boucle respiratoire. Pour l'analyse de la compliance, n'avons pas continué l'estimation du biais parce que la différence que nous avons obtenue entre les deux valeurs de Gaw a été statistiquement significative. De ce fait les deux méthodes ne sont pas équivalentes. Cette méthode n'a pas ainsi été validée pour la prédiction de la conductance.

Une corrélation entre le volume résiduel et le volume gazeux total intra thoracique a aussi été trouvée. Le volume gazeux total intra thoracique constitue aussi un moyen important d'évaluation de l'hyperinflation. Pendant les épisodes d'obstruction du flux d'air, une combinaison d'une limitation du débit expiratoire et une obstruction de voies aériennes distales peut induire une hyperinflation dynamique parce que le volume de fin d'expiration dépasse la capacité résiduelle fonctionnelle. En théorie, une élévation du volume résiduel est la première étape dans

l'hyperinflation. Chez les asthmatiques sévères, une augmentation de la compliance pulmonaire a aussi été rapportée (30). Le volume résiduel représente le volume d'air en intra alvéolaire que le patient ne sait pas mobiliser même au décours d'une expiration forcée. Le volume gazeux total intra thoracique représente le volume d'air se trouvant dans toutes les voies intra thoraciques, communiquant ou non avec les voies aériennes, qui est non plus pas mobilisable et qui donne une ventilation inhomogène de poumons. Dans notre démarche, la prédiction du volume résiduel à partir de la courbe débit volume étant possible, le volume gazeux total intra thoracique peut être obtenu à partir de la corrélation avec le volume résiduel, tel que l'a montré le modèle de régression linéaire entre les deux paramètres. Ainsi il est possible d'obtenir les deux volumes pléthysmographiques importants que sont le VR et le VGT à partir de la boucle respiratoire.

L'exploration de voies aériennes par la pneumotachographie ne nous a pas permis de détecter d'obstruction au niveau de voies aériennes centrales, quoique la pléthysmographie semble détecter mieux la limitation de débits expiratoires que la pneumotachographie. La différence entre les deux méthodes n'est pas significative à ce niveau, toutes les deux n'ayant pas détecté d'obstruction de voies aériennes proximales. Indépendamment de cela nous avons trouvé chez les mêmes patients, à la pléthysmographie, de valeurs élevées de volume résiduel et de volume gazeux total intra thoracique. Cela traduit une obstruction de petites voies aériennes et un emprisonnement d'air au niveau pulmonaire. Il a été ainsi trouvé que les enfants présentant un asthme bronchique peuvent avoir de valeurs spirométriques normales alors qu'il persiste une obstruction de petites voies aériennes détectable par la pléthysmographie. En effet une comparaison d'études évaluant l'état de petites voies aériennes dans l'asthme bronchique a montré que des anomalies de petites voies

aériennes sont fréquentes indépendamment du niveau de contrôle de la maladie ou du traitement (31). Selon d' autres sources, chez l' enfant asthmatique, l' obstruction de voies aériennes proximales est rare en dehors des exacerbations, ce qui fait que la capacité résiduelle fonctionnelle et le volume résiduel sont les plus adaptés pour le dépistage d' une atteinte de petites voies aériennes chez l' enfant (32). Ces perturbations du volume résiduel et du volume gazeux total intra thoracique peuvent aussi être observées sans signe d' obstruction de voies aériennes proximales à la spirométrie (31,33). Comme les patients avec un asthme contrôlé ou stable peuvent avoir une spirométrie et les courbes débit-volume normales, il est ensuite utile de voir s'il se présente un changement dans les valeurs de résistances de voies aériennes après administration d'un bronchodilatateur (34).

L'obstruction bronchique a été détectée de manière significative par les valeurs de résistances par interruptions itératives de flux. La résistance de voies aériennes n'a pas pour sa part détecté cette obstruction. La réponse au test de bronchodilatation au salbutamol a été détectée de manière significative en évaluant les valeurs de la résistance de voies aériennes mesurée par pléthysmographie avant et après bronchodilatation. Cette réversibilité au salbutamol a été conservée bien que les valeurs de résistances de voies aériennes ne soient pas élevées par rapport aux valeurs normales. La réversibilité conservée au test de bronchodilatation a été aussi trouvée dans une étude visant à évaluer l' efficacité de corticoïdes inhalés dans le traitement de l' asthme bronchique (9). Les enfants avec une persistance de la réversibilité au test aux bronchodilatateurs sont à risque de développer un déclin progressif de la fonction pulmonaire. Ils ont un taux élevé de fréquentation de structures de soins, un faible contrôle de leur asthme et un besoin de recours fréquent aux corticoïdes oraux. La persistance de cette réponse aux bronchodilatateurs peut

aussi être associée à une compliance faible au traitement ou à une technique d'inhalation inefficace (11). Le défi thérapeutique consiste à développer de techniques d'inhalation pouvant acheminer le médicament au niveau de petites voies aériennes. Nos résultats concourent avec ceux d'une étude effectuée chez des enfants de 2 à 5 ans qui a montré que la résistance spécifique est un moyen fiable pour évaluer le test à la bronchodilatation et ainsi poser le diagnostic de l'asthme bronchique chez cette catégorie de la population (35).

En comparant les valeurs obtenues par les résistances, il y a une forte composante inflammatoire totale et résiduelle mieux détectée par les résistances par interruptions itératives de flux. La composante broncho motrice, réductible après administration du salbutamol a été mieux détectée par la résistance de voies aériennes. Cela concorde avec certaines données de la littérature qui précisent que la résistance de voies aériennes est plus sensible pour détecter la bronchodilatation (10). La résistance par interruptions itératives de flux détecte mieux l'obstruction comparativement à la résistance de voies aériennes. En effet, la valeur de la résistance de voies aériennes varie en fonction du volume pulmonaire et n'est pas adaptée pour détecter une obstruction de petites voies aériennes, cela ne permet pas son utilisation pour identifier un syndrome obstructif (10,32).

Pour l'étude réalisée dans la population africaine, nous avons trouvé que l'obstruction bronchique est le mieux détectée par le DEM25-75 que le VEMS. Le DEM25-75 traduit plus l'état de petites bronches que le VEMS. En effet plus les volumes pulmonaires diminuent et les voies respiratoires s'amenuisent, la résistance augmente. Le point d'équilibre se déplace vers les petites voies aériennes. Ainsi vers la fin de l'expiration forcée, le flux est déterminé par les propriétés de petites voies respiratoires distales périphériques (18). Nos résultats nous montrent aussi que la

bronchodilatation après l'administration du salbutamol est bien détectée par le DEM25-75 et le VEMS, moins par le rapport VEMS/CVF. En effet ce rapport reste le même en post bronchodilatation parce que le VEMS et le CVF augmentent dans le même sens (18). Nous avons aussi trouvé que les indices de résistance et du volume résiduel sont aussi élevés. La résistance de voies aériennes est augmentée chez les patients présentant un asthme bronchique à cause de la contraction et l'hypertrophie de muscles lisses, l'augmentation de la sécrétion muqueuse et l'œdème de parois de voies respiratoires. Le volume résiduel est augmenté dans ces conditions parce que la fermeture de voies respiratoires se fait anormalement à de volumes élevés (18).

La taille de l'échantillon nous a permis de minimiser l'erreur bêta pour la puissance de notre étude, avec un effet de taille convenable pour généraliser les conclusions sur la population. Nous avons procédé à un appariement de mesures pour chaque sujet. Ainsi nous avons évité le biais qui serait dû à la variabilité entre les sujets, les différences ou similarités trouvées entre les valeurs de mêmes catégories sont réellement liées aux techniques utilisées. Les paramètres comparés suivaient dans la quasi majorité une distribution normale. Cela nous a permis d'effectuer aisément nos tests statistiques. Nous avons veillé à détecter les valeurs aberrantes pour chaque mesure pour éviter leur influence négative pour nos résultats, cela n'a pas vraiment gêné par rapport à la taille de l'échantillon qui a été bien fixée au préalable. Au contraire nous avons pu avoir un effet de taille satisfaisant pour une inférence au niveau de la population. Comme biais par rapport à notre étude, nous citons le fait que nous n'avons pas précisé le temps écoulé depuis que le diagnostic de l'asthme bronchique a été posé chez nos patients. Aussi nous n'avons pas précisé le traitement que prenaient les patients la période précédant l'évaluation de leur fonction respiratoire.

A partir des résultats obtenus par notre étude, notamment la possibilité de prédire les valeurs de pléthysmographie à partir de la courbe débit-volume, la perspective est de les appliquer pour avoir de valeurs de volume résiduel et de volume gazeux total intra thoracique pour améliorer le diagnostic et le suivi des enfants asthmatiques dans les régions à ressources limitées. L'application de formules obtenues par les modèles de régression peuvent servir à cette fin. Ainsi une étude visant à déterminer la sensibilité, la spécificité de valeurs obtenues par cette méthode pour la détection de pathologies obstructives ou restrictives dans une population d'enfants serait intéressante pour validation. En comparaison à des études réalisées chez les adultes (30), il est envisageable d'utiliser le volume résiduel pour détecter de façon précoce une obstruction de petites voies aériennes et évaluer la levée de cette obstruction après administration d'un bêtamimétique à courte durée d'action.

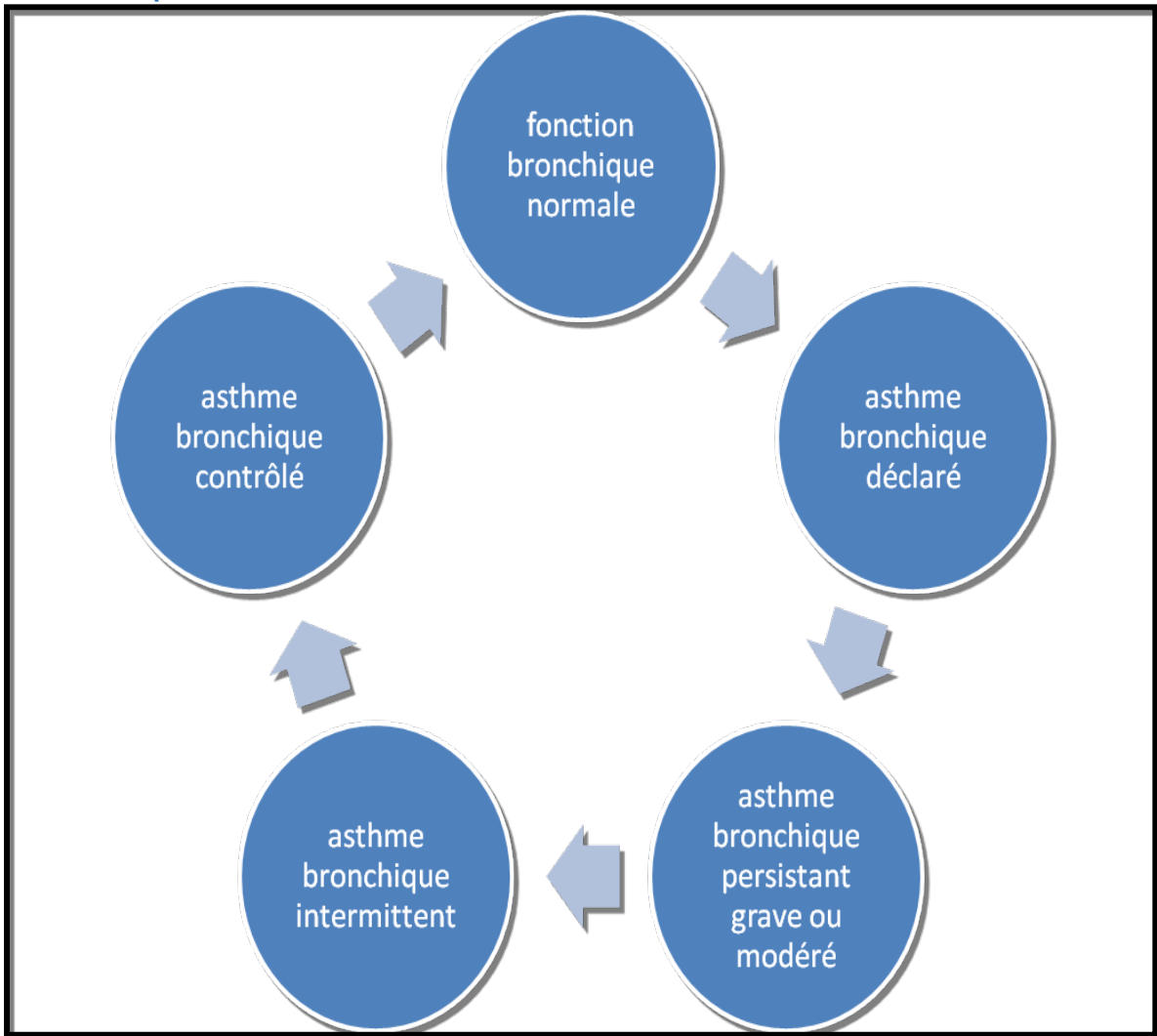
En conclusion, notre étude nous a permis d'obtenir de données complètes de l'exploration fonctionnelle respiratoires chez des enfants asthmatiques à partir de la spirométrie par la prédiction du volume résiduel et l'obtention des indices du volume résiduel et de résistance de voies aériennes. Nous recommandons que ces différentes techniques soient utilisées pour un suivi adéquat et ainsi améliorer le pronostic des enfants asthmatiques. Si la pléthysmographie n'est pas disponible, notre approche pourra s'avérer d'une certaine utilité.

V. REFERENCES

1. GINA Reports [Internet]. Global Initiative for Asthma - GINA. Disponible sur : <http://ginasthma.org/gina-reports/>
2. Adeloye D, Chan KY, Rudan I, Campbell H. An estimate of asthma prevalence in Africa: a systematic analysis. *Croat Med J.* déc 2013 ;54(6) :519-31.
2. OMS | Asthme [Internet]. WHO. Disponible sur : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs307/fr/>
4. Cottini M, Lombardi C, Micheletto C. Small airway dysfunction and bronchial asthma control : the state of the art. *Asthma Res Pract.* 2015 ;1 :13.
5. Carlsen KCL, Pijnenburg MW. Monitoring asthma in childhood. *Eur Respir Rev.* 1 juin 2015 ;24(136):178-86.
6. Bjermer L. The role of small airway disease in asthma: *Curr Opin Pulm Med.* janv 2014;20(1):23-30.
7. Usmani OS. Small-airway disease in asthma: pharmacological considerations. *Curr Opin Pulm Med.* janv 2015;21(1):55-67.
8. Contoli M, Santus P, Papi A. Small airway disease in asthma : pathophysiological and diagnostic considerations. *Curr Opin Pulm Med.* janv 2015;21(1):68-73.
9. Tulic MK, Christodoulopoulos P, Hamid Q. Small airway inflammation in asthma. *Respir Res.* 2001 ;2 :333.
9. McNulty W, Usmani OS. Techniques of assessing small airways dysfunction. *Eur Clin Respir J* [Internet]. 17 oct 2014 ;1(0). Disponible sur : <http://www.ecrj.net/index.php/ecrj/article/view/25898>
11. Moeller A, Carlsen K-H, Sly PD, Baraldi E, Piacentini G, Pavord I, et al. Monitoring asthma in childhood : lung function, bronchial responsiveness and inflammation. *Eur Respir Rev.* 1 juin 2015 ;24(136) :204-15.
12. Delaunois L, Delwiche J-P. Exploration fonctionnelle respiratoire. *EMC - Pneumol.* mai 2005 ;2(2) :61-73.
13. Pijnenburg MW, Baraldi E, Brand PLP, Carlsen K-H, Eber E, Frischer T, et al. Monitoring asthma in children. *Eur Respir J.* 1 avr 2015 ;45(4) :906-25.
14. Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A. G*Power 3 : A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods.* 39(2) :175-91.
15. Cohen J. A power primer. *Psychol Bull.* 1992 ;112(1) :155-9.
16. West JB. *Respiratory Physiology: The Essentials* 8th Edition by West, John B. Lipincott William&Wilkin,2008. 8th Edition ; 2008.
17. Milner AD. Series : Lung Function Testing. *Paediatr Respir Rev.* Juin 2000 ;1(2) :135-40.
18. West JB. *West's Pulmonary Pathophysiology.* Ninth edition. Philadelphia : Wolters Kluwer ; 2017. 264 p.

19. Couriel JM, Child F. Applied physiology: Lung function tests in children. *Curr Paediatr. nov 2006*;16(6):413-9.
16. Paired-samples t-test in SPSS Statistics | Laerd Statistics Premium [Internet]. Disponible sur: <https://statistics.laerd.com/premium/spss/pstt/paired-samples-t-test-in-spss.php>
21. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2 edition. Hillsdale, N.J: Routledge ; 1988. 400 p.
22. Ghasemi A, Zahediasl S. Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *Int J Endocrinol Metab*. 2012 ;10(2) :486-9.
23. Rufin P, Siret D. Les explorations fonctionnelles respiratoires chez l'enfant. *Rev Mal Respir*. Décembre 2009 ;26(10) :1166-8.
24. Battisti O. *Carnet de pédiatrie : physiologie respiratoire de l'enfant*. Octobre 2014 ; Disponible sur : <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/173351>
25. Journois D. Concordance de deux variables : l'approche graphique. *Rev Mal Respir*. Février 2004 ;21(1) :127-30.
26. Fuhrman C, Chouaïd C. Concordance de deux variables : les approches numériques. *Rev Mal Respir*. Février 2004 ;21(1) :123-5.
27. Lin LI-K. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. *Biometrics*. 1989 ;45(1) :255-68.
28. Battisti O. actualités sur la physiopathologie, le traitement et le suivi de l'asthme bronchique chez l'enfant. Mai 2015 ; Disponible sur : <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/182775>
29. Hashemi R, Mehrabian AA, Zojaji H. Calculation of residual volume by spirometric data. *Med J Islam Repub Iran*. Mai 2005 ;19(1) :49-51.
30. Perez T, Chanez P, Dusser D, Devillier P. Prevalence and reversibility of lung hyperinflation in adult asthmatics with poorly controlled disease or significant dyspnea. *Allergy*. 1 janv 2016 ;71(1):108-14.
25. Dave Singh, Monica Spinola, Andrea Bizzi, Peter J. Barnes. Prevalence Of Small Airway Impairment (SAI) Among Patients With Asthma. In : C47 ASTHMA AND COPD: ETIOLOGY, MORBIDITY, AND MORTALITY [Internet]. American Thoracic Society ; 2014. p. A4602-A4602.
32. Garcia G, Perez T, Mahut B. Épreuves fonctionnelles respiratoires et évaluation des voies aériennes distales dans l'asthme. *Rev Mal Respir*. Avril 2009;26(4):395-406.
33. Labbé G, Merlin E, Kauffman C, Fauquert J-L, Héraud M-C, Labbé A. Intérêt de la mesure des volumes pulmonaires par pléthysmographie corporelle dans le suivi de l'asthme de l'enfant. *Rev Mal Respir*. 2010 ;27(1):42-8.
34. Ranu H, Wilde M, Madden B. Pulmonary Function Tests. *Ulster Med J*. mai 2011 ;80(2):84-90.
35. Nielsen KG, Bisgaard H. Discriminative Capacity of Bronchodilator Response Measured with Three Different Lung Function Techniques in Asthmatic and Healthy Children Aged 2 to 5 Years. *Am J Respir Crit Care Med*. Août 2001 ;164(4):554-9.

Annexe I : Evolution vers la stabilisation de l' asthme bronchique



Annexe II : Caractéristiques de la population étudiée

| Sexe M/F | 23/17 |
|----------------------------|--------------|
| Age moyen en années | 6,72 ± 1,76 |
| Taille moyenne en cm | 123,5 ± 10,9 |
| Poids en kg | 25,5 ± 9,1 |
| Indice de masse corporelle | 16,32 ± 2,85 |

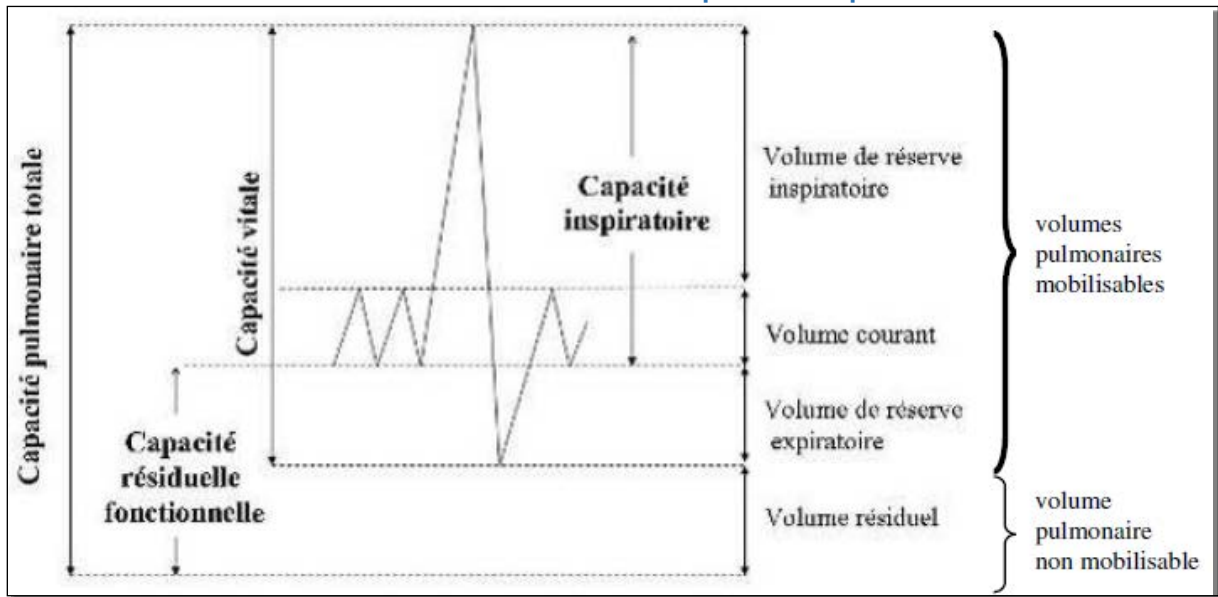
Annexe III : Spiro Dyn'R de Dyn'R



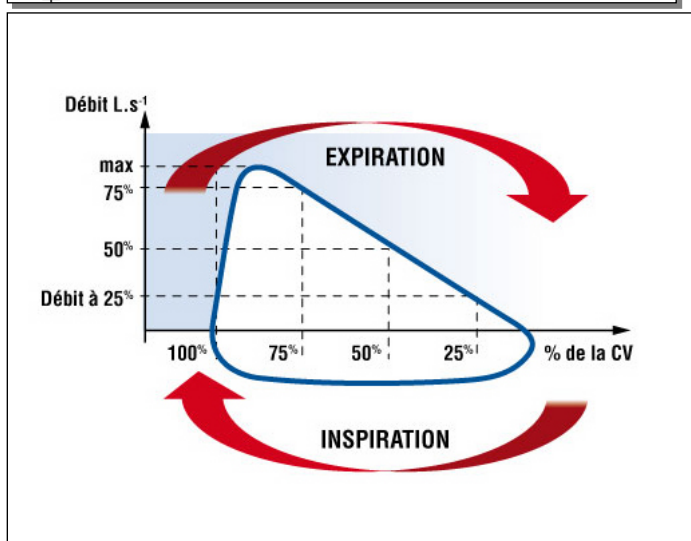
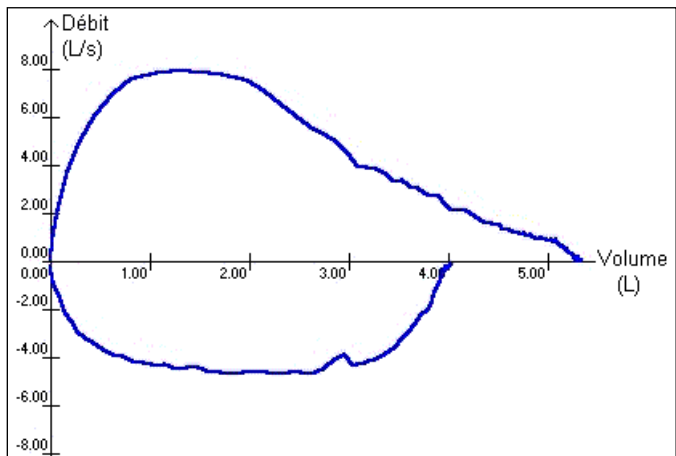
Annexe IV : Pléthysmographe de Medisoft



Annexe V : Illustration Volumes et capacités pulmonaires



Annexe VI : Courbes débit volume



Annexe VII : Formules pour l'estimation du volume résiduel et de la compliance à partir de la courbe débit volume

VR estimé(%norme) = [hauteur ci (cm)/profondeur ce (cm)] *100

VR : volume résiduel

Ci : courbe inspiratoire

Ce : courbe expiratoire

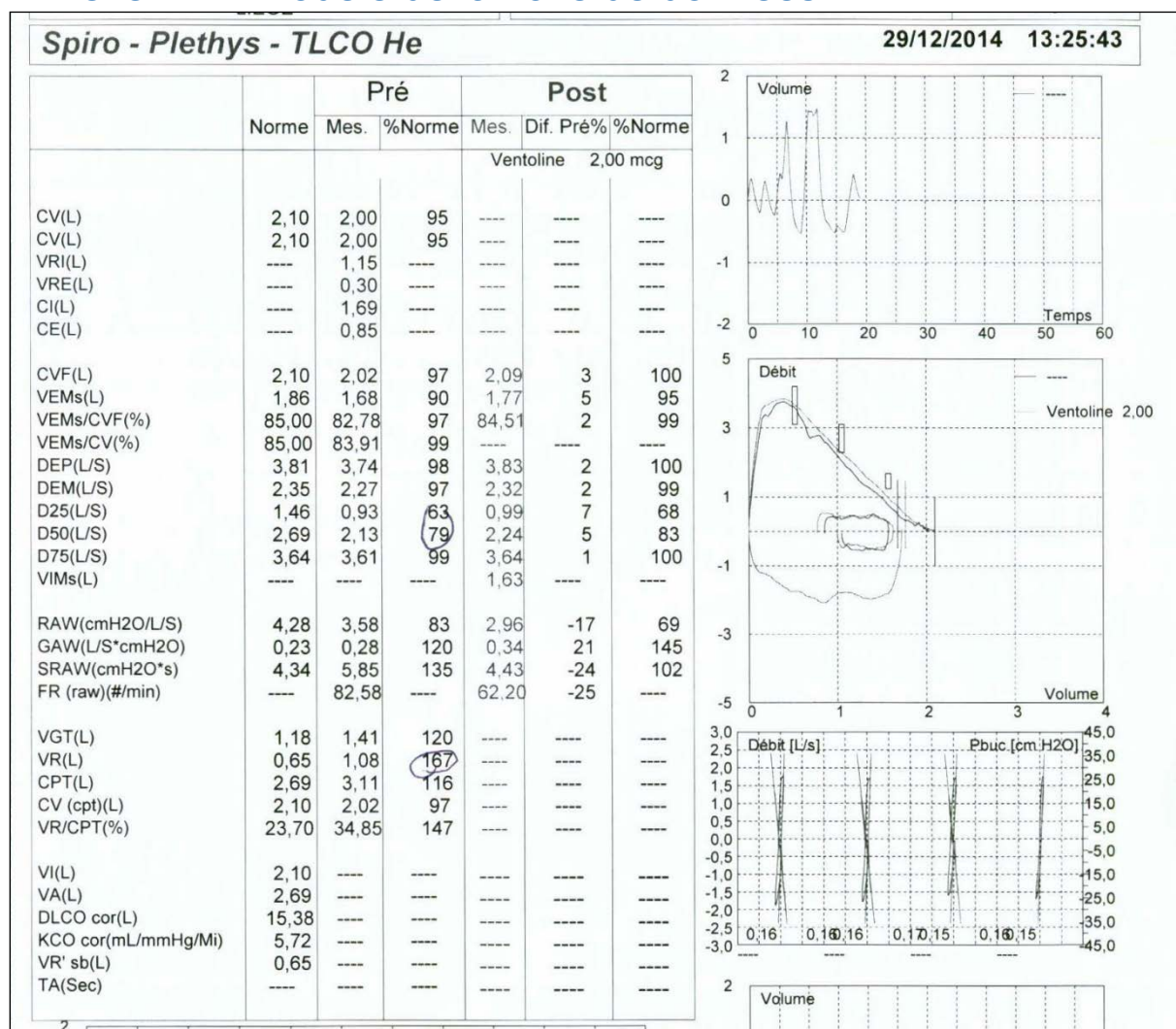
Gaw estimé(%norme) = [largeur ci(cm)/hauteur ce(cm)] *100

Gaw : compliance de voies respiratoires

Ci : courbe inspiratoire

Ce : courbe expiratoire

Annexe VIII : Modèle de la fiche de données



Annexe IX : Volumes statiques obtenus par pléthysmographie

| Volume en % de la valeur théorique | Moyenne \pm Ecart type |
|------------------------------------|--------------------------|
| CV | 97,8 \pm 14,8 |
| VR | 218,13 \pm 100 |
| VGT | 176,64 \pm 56,35 |

CV : capacité vitale ; VR : volume résiduel ; VGT : volume de gaz trappés

Annexe X : Comparaison de volumes dynamiques obtenus par pléthysmographie et par pneumotachographie

| Volumes | Test | n | \bar{x} | Test t | Valeur de p | <0,05=* |
|-----------|--------------------|----|-----------|--------|-------------|---------|
| CVF | Pneumotachographie | 39 | 103,64 | 2,34 | 0,025 | * |
| | Pléthysmographie | 39 | 98,10 | | | |
| VEMS | Pneumotachographie | 40 | 114,95 | 7,585 | <0,0005 | * |
| | Pléthysmographie | 40 | 97,5 | | | |
| VEMS/CVF | Pneumotachographie | 38 | 111,92 | 5,715 | <0,0005 | * |
| | Pléthysmographie | 38 | 105,16 | | | |
| DEP | Pneumotachographie | 40 | 113,45 | 2,697 | 0,010 | * |
| | Pléthysmographie | 40 | 105,88 | | | |
| DEM 25-75 | Pneumotachographie | 38 | 149,74 | 8,599 | <0,0005 | * |
| | Pléthysmographie | 38 | 115,13 | | | |

CVF : capacité vitale forcée, VEMS : Volume expiré maximal en 1 seconde ; VEMS/CVF : rapport entre le Volume expiré maximal en 1 seconde et la capacité vitale forcée ; DEP : débit expiratoire de pointe DEM : Débit expiratoire maximal entre 25 et 75 % de la CVF ; n : nombre

Annexe XI : Evaluation de la réponse au test de bronchodilatation au moyen de la résistance de voies aériennes et de la résistance par interruptions itératives de flux

| Réponse au salbutamol | Résistances | |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | Raw (CmH20/L/S) | Rint (KPa/L/S) |
| Δ abs (\bar{x} \pm SD) | (-1.20 \pm 1.30) | (-0.0945 \pm 0.23) |
| Δ %init (\bar{x} \pm SD) | (-28.2 \pm 28.18) | (-10,71 \pm 32,70) |
| Δ %pred (\bar{x} \pm SD) | (-56.17 \pm 23.7) | (-21,07 \pm 52,13) |

Δ abs : changement en valeur absolue du paramètre ; Δ %init : changement en pourcentage de la valeur initiale du paramètre ; Δ %pred : changement en pourcentage de la valeur prédite du paramètre

Annexe XII : Comparaison de résistances de voies aériennes(Rva) puis résistances par interruption (Rint) avant et après bronchodilatation au salbutamol.

| Résistance | Test | n | \bar{x} | Test t | Valeur de p | <0,05=* * |
|------------|------------------|----|-----------|--------|-------------|--------------|
| Rva | Après salbutamol | 39 | 56,41 | -6,01 | <0,0005 | * |
| | Spontané | 39 | 80,77 | | | |
| Rint | Après salbutamol | 37 | 129,3 | -2,009 | 0,052 | |
| | Spontané | 37 | 142,51 | | | |

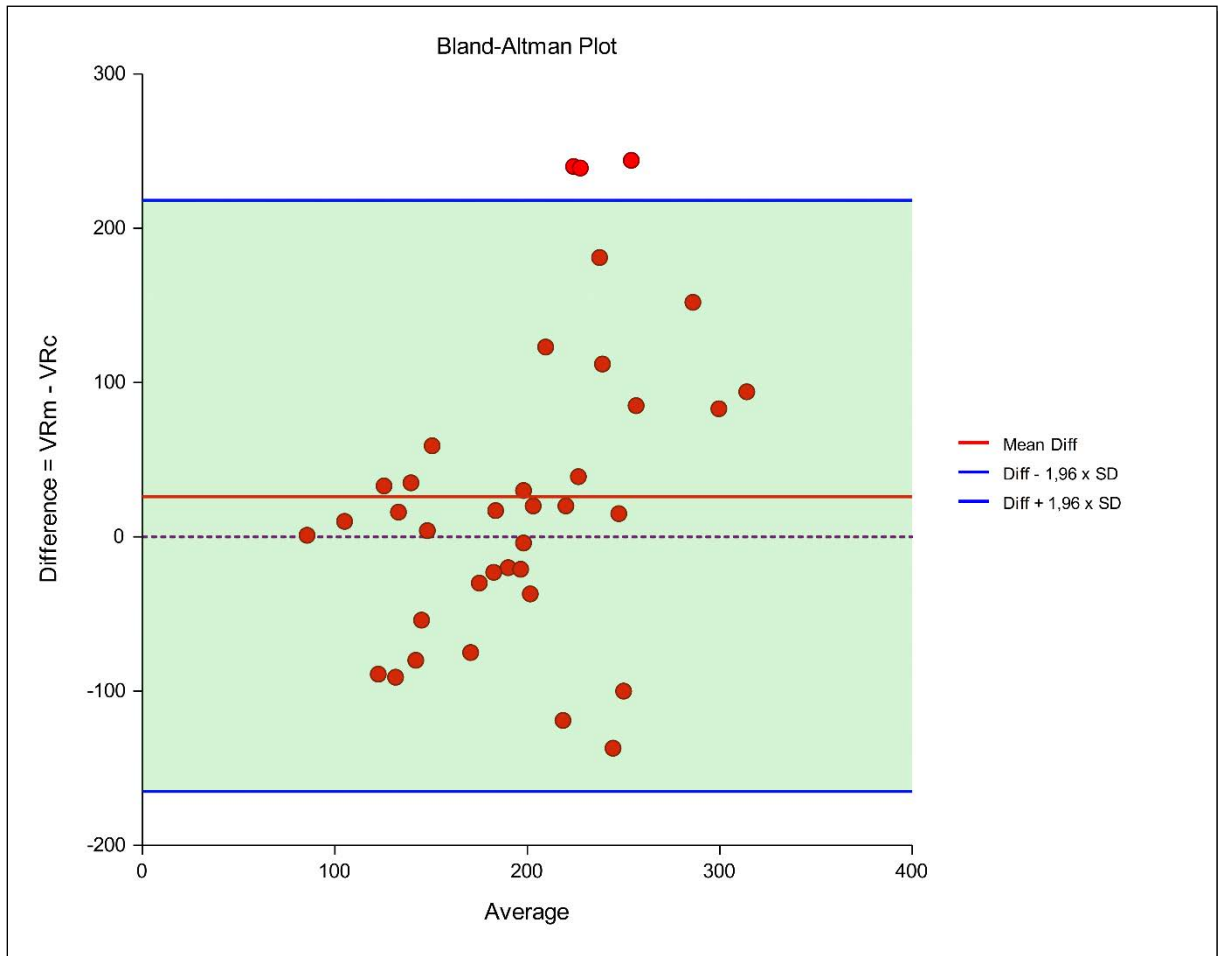
Rva : Résistances des voies aériennes ; Rint : Résistances pulmonaires par interruptions itératives du débit ; n : nombre de sujets, \bar{x} : moyenne, test t : valeur test de Student pour échantillons appariés, * : différence statistiquement significative (p<0.05)

Annexe XIII : Comparaison de résistances Rva et Rint

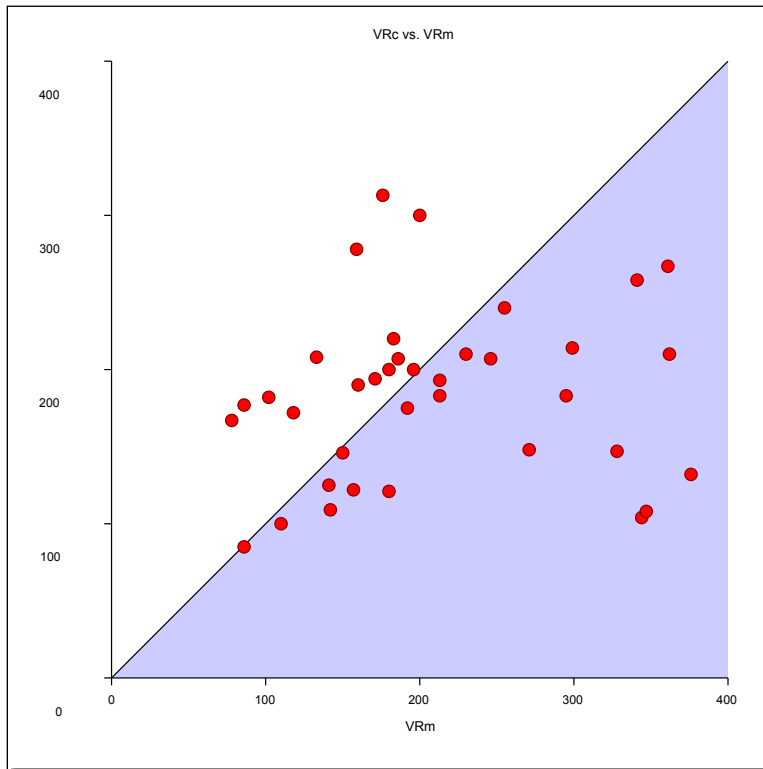
| Résistance | Test | n | \bar{x} | Test t | Valeur de p | <0,05=* * |
|------------|------|----|-----------|--------|-------------|--------------|
| Totale | Rint | 38 | 140,34 | 10,92 | <0,0005 | * |
| | Rva | 38 | 80,81 | | | |
| Réductible | Rint | 33 | -6,24 | 5,203 | <0,0005 | * |
| | Rva | 33 | -31,33 | | | |
| Résiduelle | Rint | 35 | 128,06 | 13,9 | <0,0005 | * |
| | Rva | 35 | 54,29 | | | |

Rva: Résistances des voies aériennes; Rint: Résistances pulmonaires par interruptions itératives du débit ; n : nombre de sujets, \bar{x} : moyenne, test t : valeur test de Student pour échantillons appariés, * : différence statistiquement significative (p<0.05)

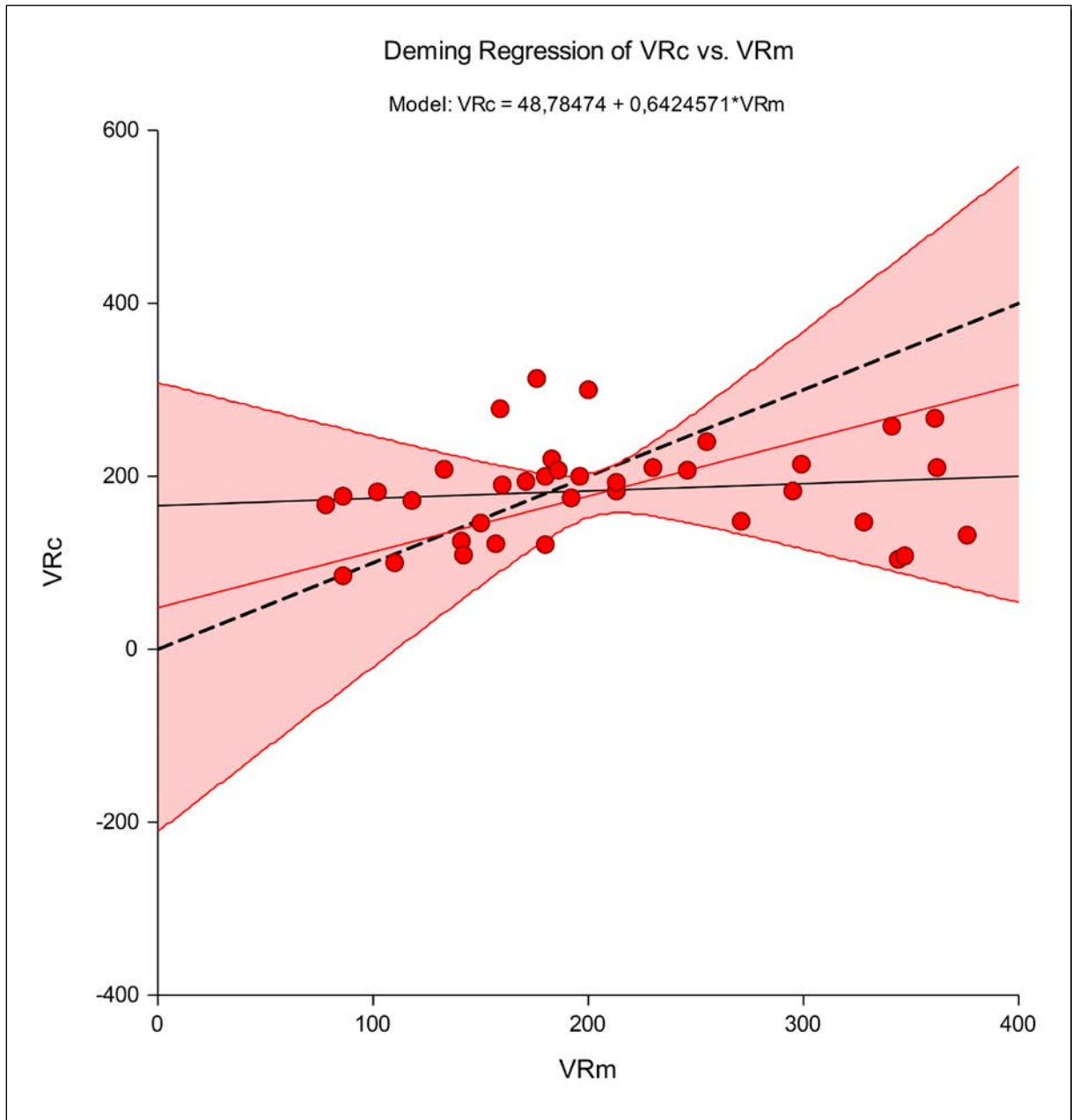
Annexe XIV : Diagramme Bland et Altman de comparaison de volumes résiduels



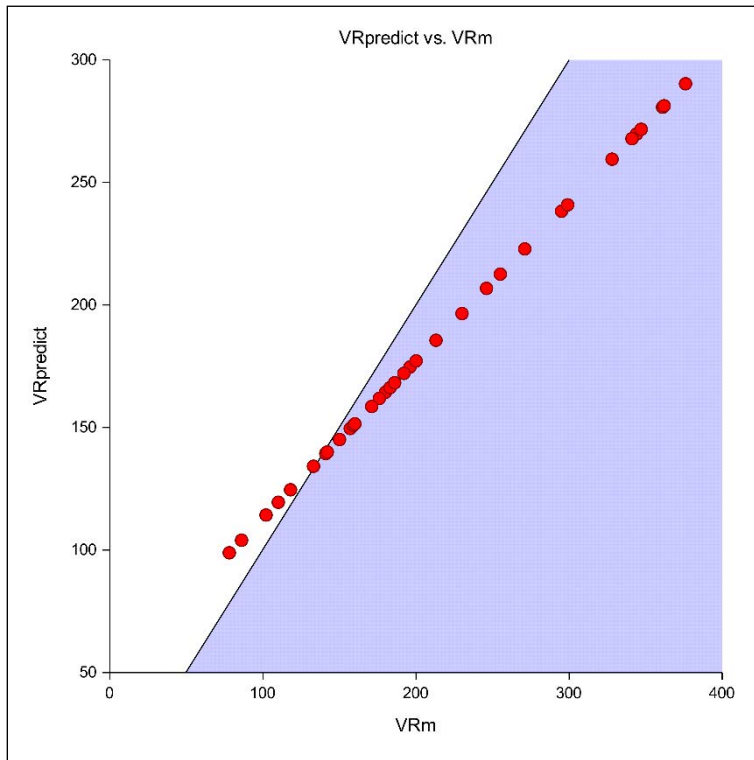
Annexe XV : Concordance de Lin comparaison de volumes résiduels



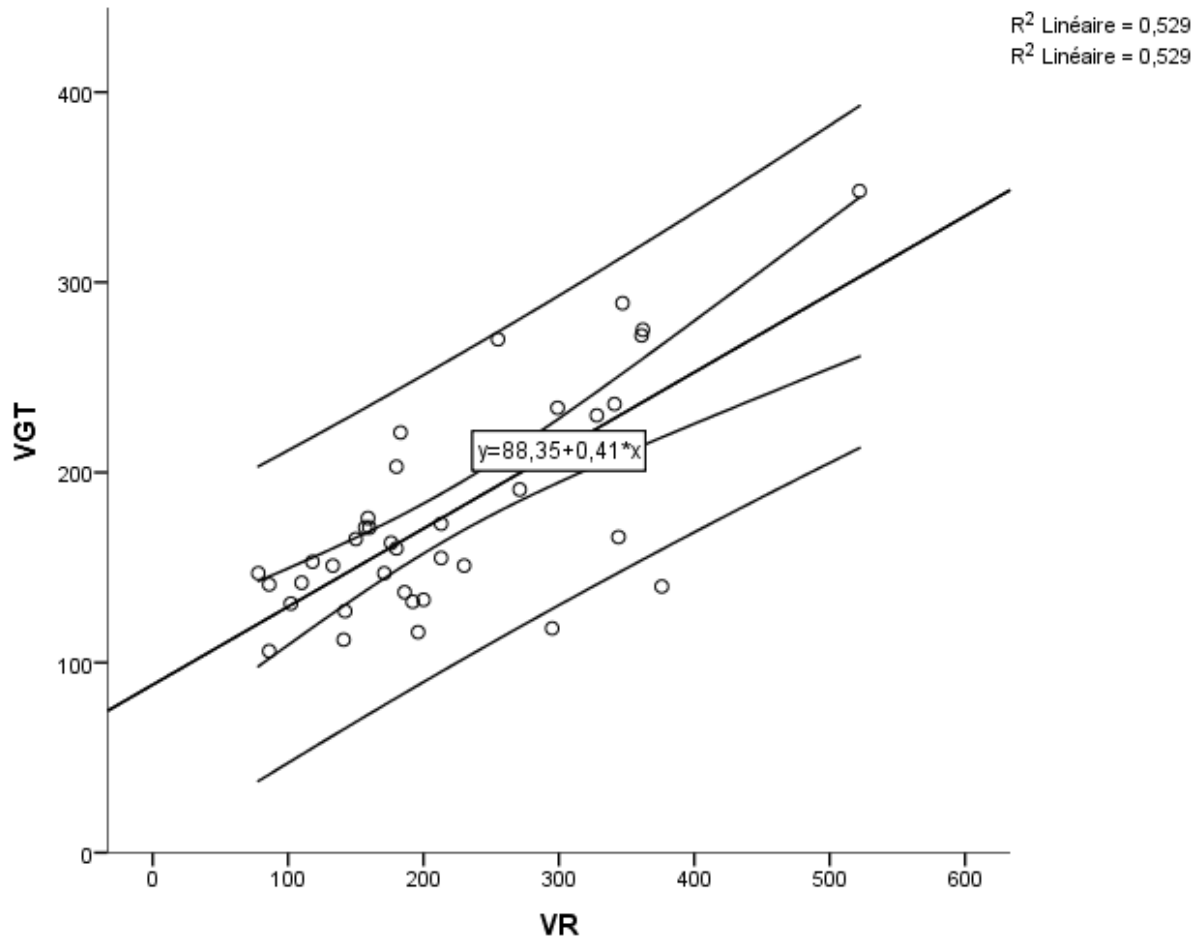
Annexe XVI : Régression de Deming entre le VR mesuré et le VR calculé



Annexe XVII : Coefficient de concordance de Lin entre le VR calculé prédit et le VR mesuré par pléthysmographie



Annexe XVIII : Régression linéaire entre le VR et le VGT



Annexe XIX : Volumes et débits obtenus dans la population d'enfants asthmatiques de Bukavu

| | Test | n | \bar{X} | Test t | Valeur de p | <0.05=* |
|----------|------------------|----|-----------|--------|-------------|---------|
| CVF | Après salbutamol | 35 | 95,94 | 4,126 | <0,0005 | * |
| | Spontané | | 88,26 | | | |
| VEMS | Après salbutamol | 35 | 96,06 | 7,806 | <0,0005 | * |
| | Spontané | | 84,86 | | | |
| DEP | Après salbutamol | 35 | 81,97 | 3,196 | 0,003 | * |
| | Spontané | | 75,91 | | | |
| DEM25-75 | Après salbutamol | 35 | 83,6 | 6,841 | <0,005 | * |
| | Spontané | | 64,54 | | | |

| | Test | n | μ | Test Wilcoxon | Valeur de p | <0.05=* |
|----------|---------------------|----|-------|------------------|-------------|---------|
| VEMS/CVF | Après salbutamol | 35 | 102 | 2,755 | 0,006 | * |
| | Spontané | | 98 | | | |

Annexe XX : Indices spirométriques obtenus dans la population de Bukavu

| | n | $\bar{X} \pm sd$ |
|---------------------------|----|------------------|
| Indice de volume résiduel | 33 | 67,85 ± 20,151 |
| Indice de résistance | 22 | 57 ± 19,079 |
| Indice de compliance | 23 | 109,57 ± 16,406 |

Annexe XXI : Fiche de données Bukavu

Résultat épreuves fonctionnelles respiratoires

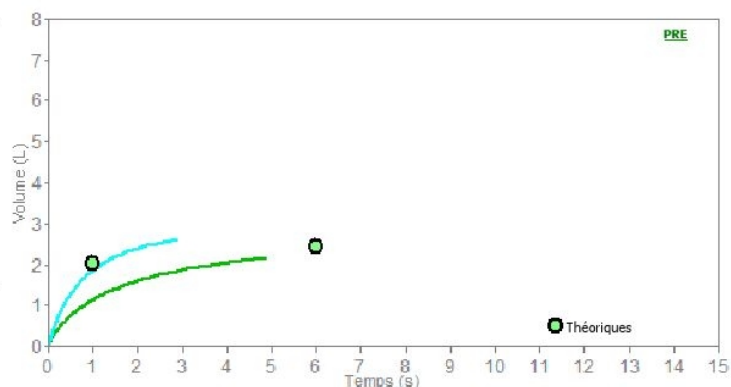
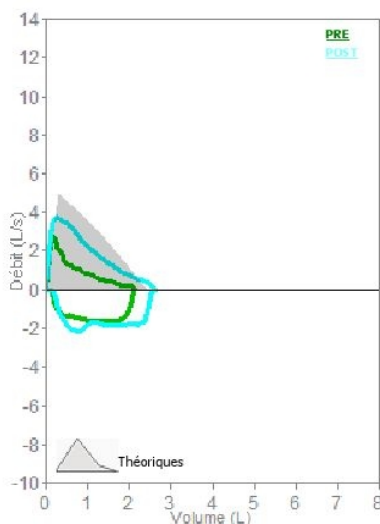
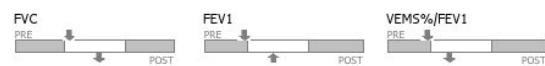
HOPITAL PROVINCIAL GENERAL DE
REFERENCE DE BUKAVU

DEPARTEMENT DE PEDIATRIE

UNITE D' EXPLORATIONS FONCTIONNELLES
RESPIRATOIRES

Date de la visite 24/07/2017

| | | | |
|-----------------|----------------------|------------|-------|
| ID du patient | 110771 | Age | 10 |
| Prénom | xxxxxxx | Sexe | Homme |
| Nom | xxxxxxx | Taille, cm | 146 |
| Date naissance | xxxxxxxxxx | Poids, kg | 30 |
| Groupe ethnique | Africain | BMI | 14,07 |
| Tabac | Non fumeur | Paq:-Année | |
| Groupe patients | Enfants asthmatiques | | |



Interprétation

Obstruction légère
Bronchodil* significative (FEV1 >= 80%théor.)
WARNING: FEF2575 PRE = 24%théor.

Date du test PRE 24/07/2017 12:50:51

POST Bronchodilatation Salbutamol - 13:14:14

| Paramètres | LLN | Pred | Best | %Théor. | Z-score | PRE #1 | PRE #2 | PRE #3 | POST | %Théor. | %Chg | |
|------------|-------|------|-------|---------|---------|--------|--------|-------------|-------------|---------|------|-----|
| FVC | L | 2,10 | 2,43 | 2,15* | 89 | -1,41 | 2,15 | 2,05 | 2,00 | 2,61* | 108 | 21 |
| FEV1 | L | 1,70 | 2,03 | 1,30* | 64 | -4,15 | 1,21 | 1,30 | 1,29 | 1,92* | 95 | 59 |
| FEV1/VC | % | | 81,8 | 105,2 | 129 | | 105,2 | 113,0 | 112,2 | | | |
| FEV1/FVC | % | 75,5 | 84,6 | 60,5* | 72 | -5,16 | 56,3 | 63,4 | 64,5 | 73,6* | 87 | 31 |
| FEV6 | L | 2,10 | 2,43 | 2,15 | 89 | -1,41 | 2,15 | 2,01 | 2,00 | 2,60 | 107 | 21 |
| VC | L | 2,16 | 2,48 | 1,15 | 46 | -7,00 | | | | | | |
| FEV1/FEV6 | % | | 83,3 | 56,3 | 68 | | 56,3 | 64,7 | 64,5 | 73,8 | 89 | 31 |
| PEF | L/s | 3,58 | 4,98 | 2,89* | 58 | -2,47 | 2,89 | 2,87 | 2,81 | 4,03* | 81 | 39 |
| FEF2575 | L/s | 1,95 | 2,76 | 0,67 | 24 | -4,31 | 0,67 | 0,82 | 0,83 | 1,55 | 56 | 131 |
| FEV3 | L | 1,48 | 2,43 | 1,93 | 80 | -0,87 | 1,93 | 1,81 | 1,96 | 2,60 | 107 | 35 |
| FEV3/FVC | % | | 100,0 | 89,8 | 90 | | 89,8 | 88,3 | 98,0 | 100,0 | 100 | 11 |
| ELA | Age | | 10 | | | | | | | | | |
| FET | s | | 6,00 | 4,88 | 81 | | 4,88 | 6,26 | 3,18 | 2,87 | 48 | -41 |
| FEF25 | L/s | 3,20 | 4,42 | 1,29 | 29 | -4,23 | 1,29 | 1,50 | 1,66 | 3,14 | 71 | 143 |
| FEF50 | L/s | 2,28 | 3,13 | 0,76 | 24 | -4,60 | 0,76 | 0,91 | 0,93 | 1,67 | 53 | 120 |
| FEF75 | L/s | 1,07 | 1,61 | 0,38 | 24 | -3,81 | 0,38 | 0,44 | 0,46 | 0,78 | 49 | 105 |
| EVol | mL | | | | | | 40 | 30 | | | | |
| FIVC | L | 2,10 | 2,43 | 1,94 | 80 | -2,48 | 1,94 | 1,85 | 1,00 | 2,41 | 99 | 24 |
| FIV1 | L | 1,70 | 2,03 | 1,57 | 77 | -2,32 | 1,57 | 1,65 | 0,81 | 2,13 | 105 | 36 |
| FIV1/FIVC | % | 75,5 | 84,6 | 80,9 | 96 | -0,68 | 80,9 | 89,2 | 81,0 | 88,4 | 104 | 9 |
| PIF | L/s | 3,58 | 4,98 | 1,65 | 33 | -3,93 | 1,65 | 2,01 | 0,99 | 2,16 | 43 | 31 |
| MVV(cal) | L/min | | 85,0 | 42,4 | 50 | | 42,4 | 45,5 | 45,2 | 67,2 | 79 | 59 |
| IC | L | | 2,48 | 0,81 | 33 | | | | | | | |
| ERV | L | | 0,90 | 0,34 | 38 | | | | | | | |
| EVC | L | 2,16 | 2,48 | 1,15 | 46 | -7,00 | | | | | | |
| IVC | L | 2,16 | 2,48 | | | | | | | | | |
| TV | L | | | 0,79 | | | | | | | | |
| VE | L/min | | | 21,56 | | | | | | | | |