



**HAL**  
open science

# Intérêt de la technique “ BFR ” lors du renforcement musculaire des membres supérieurs chez les patients atteints de BPCO : revue de littérature et protocole

Kévin Le Pevedic

► **To cite this version:**

Kévin Le Pevedic. Intérêt de la technique “ BFR ” lors du renforcement musculaire des membres supérieurs chez les patients atteints de BPCO : revue de littérature et protocole. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03791544

**HAL Id: dumas-03791544**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03791544>**

Submitted on 29 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



**Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie**

22, Avenue Camille Desmoulins

29238 Brest CEDEX 3

**Intérêt de la technique « BFR » lors du  
renforcement musculaire des membres  
supérieurs chez les patients  
atteints de BPCO :  
Revue de littérature et protocole**

LE PEVEDIC Kévin

Sous la direction de PERAN Loïc

En vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Masseur Kinésithérapeute

Promotion 2018-2022

Session « Juin 2022 »

## Remerciements

Je tiens à remercier :

- Loïc PÉRAN, mon Directeur de mémoire, pour son investissement, sa disponibilité et ses précieux conseils qui m'ont permis d'orienter au mieux ce travail de recherche,
- Ronan LESTIDEAU, mon Formateur référent pour son suivi sur ces dernières années et son aide sur ce mémoire,
- L'équipe pédagogique de l'IFMK de Brest, pour son accompagnement tout au long de ma formation,
- Ma famille et mes amis, pour leurs encouragements constants,
- Marine, pour son soutien inconditionnel tout au long de mes études.

## Sommaire

I. Introduction.....	6
I.1. Situation d’ancrage.....	6
I.2. Questionnement.....	7
II. Cadre conceptuel .....	9
II.1. La méthode « Blood flow restriction » .....	9
II.2. La bronchopneumopathie chronique obstructive.....	22
II.3. Problématique de la recherche .....	31
III. Méthode.....	34
III.1. Critères d’éligibilité.....	34
III.2. Critères de jugement.....	35
III.3. Stratégie de recherche.....	36
III.4. Processus de sélection des articles .....	37
III.5. Résultats de la recherche .....	39
IV. Résultats .....	40
IV.1. Résultats des études .....	40
IV.2. Protocole de recherche.....	42
V. Discussion.....	59
V.1 Les données de la littérature.....	59
V.2. Protocole .....	62
V.3. Retour sur les hypothèses.....	68
VI. Conclusion .....	70
BIBLIOGRAPHIE .....	71
ANNEXES	

## Liste des figures

**Figure 1** : Recommandations de l'utilisation du BFR [26]

**Figure 2** : Grille d'évaluation des risques, liés à l'utilisation du BFR [73]

**Figure 3** : Évaluation combinée de la BPCO (GOLD 2017)

**Figure 4** : Diagramme de flux CONSORT illustrants le protocole expérimental

**Figure 5** : Tableau présentant le déroulement du protocole

**Figure 6** : Représentation des tests du protocole

## Table des Abréviations

- BFR : « Blood Flow Restriction » = restriction du flux sanguin
- 1RM : Plus grande charge que l'on ne peut soulever qu'une seule fois
- HAS : Haute Autorité de la Santé
- BPCO : Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive
- VEMS : Volume Expiratoire Maximal en 1 seconde
- IMC : Indice de Masse corporelle
- TM6 : Test de Marche de 6 minutes
- CV : Capacité Vitale
- ATS : American Thoracic Society
- ERS : European Respiratory Society
- GOLD : Global initiative for chronic Obstructive Lung Disease
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- SPLF : Société de Pneumologie de la Langue Française
- PRR : Programme de Réhabilitation Respiratoire
- HAS : Haute Autorité de Santé
- FMV : Force Maximale Volontaire
- BFR-RE/LI- BFR: renforcement musculaire BFR charges légères
- HI-RT : renforcement musculaire standard charges lourdes
- LI-RT : renforcement musculaire standard charges légères
- IGF : Facteur de croissance
- IL-6 : interleukine 6
- AOP : Pression artérielle systolique
- 6PBRT : 6 minutes pegboard and ring test
- LCADL : Questionnaire London Chest Acticity of Daily Living

# **I. Introduction**

## **I.1. Situation d'ancrage**

La technique « Blood flow restriction » est au cœur de l'actualité de la kinésithérapie sportive, et est actuellement reconnue comme une bonne alternative au renforcement musculaire classique [1][2]. L'apparition d'une nouvelle méthode de renforcement innovante permet un apport dans la structuration de la rééducation.

J'ai d'abord été sensibilisé à la méthode lors de la réalisation de notre table ronde sur le sujet, l'année de ma deuxième année de kinésithérapie. Le but de ce projet collectif était de présenter au reste des étudiants cette technique, en s'appuyant sur des recherches scientifiques et des témoignages d'intervenants experts dans le domaine. Durant cette expérience, j'ai ainsi pu en apprendre d'avantage sur la méthode BFR, et son intérêt dans la rééducation en kinésithérapie. Nous avons pu échanger avec deux intervenants sur la technique, Ronan Sibiril préparateur physique et utilisateur quotidien du BFR dans le cadre de programme de réathlétisation, et Florian Jaffredo diplômé Masso-kinésithérapeute ayant réalisé son mémoire de fin d'étude sur ce sujet. Ce mémoire « *L'Intérêt du Blood Flow Restriction sur la reprise de course à pied après une reconstruction du LCA* » [3] a été le premier écrit que j'ai pu lire sur le sujet.

Les deux professionnels ont pu donner leur point de vue sur la technique en s'appuyant sur les nouvelles recherches dans le domaine.

Lors de ce projet, j'ai également dû prendre la fonction de monteur vidéo, permettant de manière ludique, d'expliquer aux participants l'application de cette méthode. Lors de la réalisation de ce projet, j'ai pu comprendre le fonctionnement d'un programme BFR, son intérêt dans une rééducation, le type de populations ciblées, et les limites de cette méthode. Par la suite, j'ai continué à m'intéresser à la méthode et à rechercher de la littérature scientifique sur le sujet.

Après avoir consulté une revue de littérature sur la pertinence de l'utilisation du BFR en post-opératoire immédiat, j'ai voulu réaliser mon mémoire sur ce sujet. Je me suis renseigné sur cette méthode nouvelle, et en ai discuté avec mon Directeur de mémoire. J'ai constaté que beaucoup d'études portaient sur l'utilisation de la technique pour des patients sains, mais peu se penchaient sur l'utilisation dans les cas de pathologies chroniques avec des comorbidités.

## **I.2. Questionnement**

Plusieurs études démontrent que le BFR permet de limiter la charge utilisée en renforcement tout en garantissant des améliorations sur la force et l'endurance [4][5]. Or, des études ont montré que le renforcement musculaire du membre inférieur, chez des patients BPCO, permet d'augmenter la qualité de vie, et de diminuer le risque de mortalité [4][5]. Pour le membre supérieur, la force est moins diminuée, bien qu'un programme de réadaptation respiratoire permette d'améliorer cette composante [6]. L'utilisation fonctionnelle du membre supérieur, pourvoyeur de dyspnée et de gêne dans la vie quotidienne, est l'élément capital à prendre en compte dans un programme de renforcement du membre supérieur [7]. La méthode BFR peut alors être une option dans le renforcement de ces patients, dont la charge de travail importante peut être limitante. Les bénéfices pourraient être comparables à un entraînement avec des charges lourdes.

La dyspnée est un des symptômes le plus handicapant pour le patient atteint de cette pathologie. La qualité de vie du patient se retrouve alors altérée. La spirale de déconditionnement qui en découle amène à un déconditionnement physique, qui lui-même, majore la dyspnée. Une atrophie musculaire secondaire et une modification du type de fibres musculaires résultent de cette spirale [8]. Pour le membre supérieur, la capacité d'utilisation du membre et les activités de la vie quotidienne sont diminuées [9]. Une des pierres angulaires d'un programme de réadaptation respiratoire est le réentraînement à l'effort. Il permet d'augmenter la capacité à l'exercice en modifiant la qualité des muscles.

Après m'être renseigné sur la rééducation des patients BPCO, j'ai fait le constat qu'un axe d'amélioration était envisageable sur les programmes de renforcement



musculaire en réadaptation respiratoire. La charge de travail utilisée pour le renforcement musculaire, bien que validée et reconnue, peut être un frein pour certains patients très déconditionnés, et peut potentiellement limiter l'adhésion du patient [10].

L'utilisation du BFR pourrait alors être considérée comme une alternative au renforcement musculaire avec des charges lourdes, pour des résultats sensiblement similaires [11]. Il deviendrait un outil intéressant dans la rééducation de cette pathologie, notamment pour des patients très déconditionnés ne répondant pas à la réadaptation. Il faut néanmoins s'assurer que les risques iatrogènes ne sont pas supérieurs à ceux d'un renforcement traditionnel. Les recommandations actuelles des sociétés savantes (*ATS/ERS*) soulignent la nécessité de nouvelles interventions. Celles-ci ciblent le dysfonctionnement des muscles périphériques dans la BPCO [7].

Les conclusions d'une étude de cas [11] sur l'utilisation du BFR avec charges légères sur le membre inférieur (*LL-BFRT*) montrent qu'il est bien toléré. Malgré le premier ressenti où la patiente a décrit une « sensation intense de brûlure et de fatigue musculaire », celle-ci s'est dissipée après avoir retiré le dispositif et a diminué après familiarisation. La patiente a également signalé que « l'essoufflement pendant le LL-BFR était facile à tolérer et ce fut un soulagement pour les articulations de ne pas avoir à soulever des poids aussi lourds » [11]. Les propos de la patiente montrent une dyspnée à l'effort non aggravée, ainsi qu'une bonne tolérance à ce type de programme. Ces propos sur son ressenti sont en faveur d'un approfondissement de l'utilisation du BFR pour des patients BPCO. De plus, des résultats sur la force, l'endurance et la tolérance à la charge de travail ont été recueillis. Cependant, ces conclusions sont issues d'une étude de cas, la faiblesse méthodologique ne permet pas de dresser de conclusions sur le sujet mais simplement de montrer l'intérêt d'un approfondissement. Il faut donc par la suite s'appuyer sur des études randomisées pour pouvoir dresser des conclusions valides.

## **II. Cadre conceptuel**

### **II.1. La méthode « Blood flow restriction »**

#### **II.1.1. Généralités**

La restriction du flux sanguin revêt plusieurs noms ; Blood Flow Restriction, Kaatsu training, ou encore entraînement par occlusion. C'est une méthode d'entraînement, appliquant une occlusion vasculaire réglable. Cette occlusion est rendue possible par un brassard compressif placé sur la partie proximale d'un membre. L'entraînement peut alors être réalisé avec des charges moins lourdes, de l'ordre de 30% de la répétition maximale (*IRM*), et les résultats sont sensiblement similaires sur le gain de masse musculaire comparés à un entraînement en charges lourdes [1]. Les résultats, concernant la comparaison avec des charges légères sans BFR, montrent une hypertrophie et un gain de force supérieur avec la technique occlusive [1].

La méthode a été inventée au Japon, par le Dr. Yoshiaki Sato en 1966 et développée jusqu'en 1973. L'histoire raconte que ce docteur a inventé la technique en se questionnant sur l'apparition de paresthésies dans les membres inférieurs, à la suite d'une prière prolongée. La position traditionnelle, assis sur les genoux, aurait créé une occlusion sanguine comparable à celle ressentie avec le BFR. Fort des expériences recueillies durant une dizaine d'années, le docteur Yoshiaki a alors commercialisé son produit sous le terme « Kaatsu » training [12]. Depuis, plusieurs générations d'appareils BFR se sont succédées. Par la suite, les premières applications ont été observées sur des patients déconditionnés en médecine gériatrique. Ensuite, le champ d'utilisation s'est développé pour compléter la rééducation traditionnelle des blessures musculo-squelettiques, et des traumatismes orthopédiques [13].

## **II.1.2. Principe de fonctionnement**

### **II.1.2.1. Principe de base**

La méthode consiste à appliquer une bande occlusive réglable, sur la partie proximale d'un membre. Le mécanisme du BFR est basé sur la combinaison de deux facteurs : le stress métabolique et le stress mécanique [13].

Le but est de fournir une pression externe suffisante pour occlure la sortie veineuse tout en maintenant partiellement l'entrée artérielle [14]. Le flux sanguin artériel n'est ainsi pas réduit de plus de 40-70 % de la valeur de base lors d'utilisation du dispositif [15]. Les valeurs d'occlusions sont ainsi définies à 100-160 mmHg pour le membre supérieur et 160-240 mmHg pour le membre inférieur [15]. Ceci a pour conséquence la création d'un milieu hypoxique, ainsi qu'une accumulation de métabolites [16].

### **II.1.2.2. Différents types de BFR**

Il existe actuellement plusieurs dispositifs sur le marché. Deux options de brassards sont disponibles et diffèrent dans leur approche : le BFR avec contrôle de pression dynamique ou statique [17].

Le premier est un système à régulation pneumatique. Il permet à l'utilisateur de sélectionner un pourcentage spécifique d'occlusion (*% Artériel Occlusion Pressure (% AOP)*). Cette pression est maintenue tout au long de la séance d'entraînement par une adaptation de pression du brassard pneumatique. Cette méthode est privilégiée dans le cadre de la recherche. En effet, elle permet d'obtenir des résultats standardisés car la pression d'occlusion ne fluctue pas pendant l'exercice [17]. Le BFR DELFI® medical innovation, KAATSU® Master 2.0, ou encore le Mad up® sont des exemples de ce type de dispositifs [18][19][20].

Le deuxième type de BFR se base sur la restriction statique du débit sanguin, à l'aide d'un sphygmomanomètre standard. La manœuvre est décrite en détails dans le chapitre suivant (*cf.* 2.1.2.3). Cette méthode s'est avérée sûre, et efficace pour pratiquer le BFR [21]. Elle considère qu'un pourcentage non fluctuant d'AOP, durant l'entraînement, n'est pas essentiel. En effet, la fluctuation du niveau d'occlusion, durant l'exercice, ne semble pas affecter les résultats cliniques [17]. Des dispositifs BFR avec contrôle de pression statique sont notamment le BFR H+®, FitCuffs®, ou des bandes élastiques à réglables standards [22][23][24].

### **II.1.2.3. Recommandation sur l'occlusion**

Le calcul de l'occlusion est un élément capital pour utiliser le BFR dans de bonnes conditions. L'AOP étant calculé de façon automatisée pour le BFR avec contrôle de pression dynamique, nous aborderons la détermination manuelle du BFR avec contrôle de pression statique [17].

Un brassard de pression artérielle est ainsi placé sur l'extrémité proximale. Une sonde Doppler est placée sur l'artère radiale ou dorsale pédieuse. Le thérapeute définit l'occlusion totale en gonflant le brassard jusqu'à une pression qui interrompt le flux, entendu par un doppler ultrasonore. Puis le brassard est dégonflé lentement jusqu'à entendre de nouveau le signal sur la sonde doppler. La valeur de tension artérielle obtenue sur le brassard correspond à la pression artérielle systolique du membre testé. Par la suite, si on considère un AOP d'entraînement de 50 %, le brassard sera gonflé à la moitié de la pression artérielle systolique obtenue précédemment.

La pression optimale appliquée dépend de la circonférence du membre et de la largeur du brassard [25]. En effet, différentes largeurs de brassards existent, impactant le niveau d'occlusion pour une même pression. Cependant, l'efficacité de la technique ne dépend pas de la largeur de celui-ci [26].

Les brassards sont en élastique ou en nylon [26]. Il n'y a aucune preuve de supériorité pour l'un des matériaux [27]. Cependant, en fonction du matériau utilisé, une même pression d'occlusion n'entraîne pas le même AOP. Mais si la pression d'occlusion

est calculée par rapport à l'AOP, la largeur du brassard peut ne pas affecter significativement la pression artérielle pendant la restriction du flux sanguin [28].

La taille du brassard a un impact sur les sensations du patient. En effet, la sensation d'occlusion par un brassard large, pour le membre supérieur, est plus facilement tolérée par le patient [29]. L'étude de Loenneke et al montre qu'un brassard étroit (5 cm) nécessite une pression plus élevée pour obtenir une occlusion artérielle partielle, par rapport à un brassard large (13,5 cm)[30].

Les recommandations de l'AOP ne sont pas uniformes dans la littérature scientifique, seul un intervalle d'AOP est défini [31]. Ce manque de recommandations conduit à une diversité des protocoles d'utilisation du BFR. Counts et al ont trouvé des effets similaires sur le développement musculaire à 40 % d'AOP par rapport à 90 % [32]. Au-delà de cet intervalle, aucun gain supplémentaire n'est retrouvé, et les risques d'événements indésirables sont accrus [32]. Cependant, pour assurer la sécurité du dispositif, des valeurs seuils à ne pas dépasser sont définies à 60 % d'AOP pour le membre supérieur et 80 % pour le membre inférieur [26]. Actuellement, les protocoles d'études sont le plus souvent composés d'une occlusion de 70 % et 50 %, respectivement pour le membre inférieur et supérieur [26]. La charge est de 30 % de la force maximale volontaire (*FMV*). Les programmes de renforcements sont composés de 75 répétitions sous forme de 4 séries : 1 série de 30 répétitions puis 3 séries de 15 répétitions [31].

La pression d'occlusion, pour les périodes de repos entre chaque série, peut être relâchée ou maintenue [26]. Il n'y a pas de différences d'activation musculaire entre ces deux composantes, si la pression d'occlusion suit l'intervalle d'AOP [33]. Cependant, le BFR continu induit davantage de gênes et de douleurs pendant l'exercice [33]. Les temps des périodes de repos entre les séries sont recommandés entre 30s et 60s [1].

Le tableau ci-dessous synthétise les recommandations actuelles de l'entraînement BFR avec des charges légères, selon l'étude de Patterson et al [26] :

	Recommandations pour BFR-RE
<b>Fréquence</b>	2-3 fois par semaine (>3 semaines) ou 1-2 fois par jour (1-3 semaines)
<b>Poids</b>	20-40% FMV
<b>Temps d'occlusion</b>	5-10 min par exercice (reperfusion entre les exercices)
<b>Type</b>	Petits et grands groupes musculaires (bras et jambes/unique ou bilatéral)
<b>Séries</b>	2-4
<b>Largeur brassard</b>	5 (petit), 10 ou 12 (moyen), 17 ou 18 cm (grand)
<b>Pression exercice</b>	(75 reps) 30 - 15 - 15 - 15, ou séries jusqu'à échec musculaire 40-80% AOP
<b>Repos entre séries</b>	30-60 s
<b>Forme de restriction</b>	Continue ou intermittente
<b>Vitesse exécution</b>	1-2 s (concentrique et excentrique)
<b>Execution</b>	Jusqu'à l'échec des mouvements concentriques ou jusqu'à la fin du programme de répétitions prévu.

*Figure 1 : Recommandations de l'utilisation du BFR [26]*

#### II.1.2.4. Différents types de renforcements

Plusieurs types de renforcements sont possibles avec ce dispositif [34] :

- Le plus étudié dans la littérature scientifique est le BFR-Resistance Exercice (*BFR-RE*), les modalités sont semblables au renforcement musculaire classique. Il est possible de travailler avec des charges légères (*Low Load*), ce qui permet de diminuer les charges d'entraînements tout en ayant des résultats similaires sur l'hypertrophie, et légèrement inférieurs sur la force, en comparaison avec un entraînement de charges lourdes sans BFR [35]. Les intérêts sont de diminuer la charge de travail et de réduire les contraintes sur le système ostéo-articulaire [1][26]. L'utilisation de charges légères

permet de diminuer le temps de repos entre deux séances BFR en comparaison avec un entraînement traditionnel [36].

- Le BFR-Aérobie Exercice (*BFR-AE*), est plus fonctionnel car il permet une occlusion sanguine contrôlée sur des activités de la vie quotidienne [34]. Le patient effectue un exercice de vélo ou de marche avec le dispositif. Cela entraîne une hypertrophie musculaire, un gain de force et une amélioration de la capacité aérobie [37][38]. Ces études utilisent un niveau d'intensité faible, inférieur à 50% de VO<sub>2</sub>max. Le protocole consiste à appliquer le dispositif deux à trois fois par semaine, sur une période de 5 à 20 minutes d'occlusion [26]. Un manque de normalisation de la pression d'AOP pendant le BFR-AE ne permet pas de dresser de recommandations sur ce point [26].
- Enfin, le BFR-Passif (*P*) ou l'occlusion au repos, permet d'induire un milieu musculaire hypoxique semblable à celui retrouvé lors d'un entraînement musculaire [13][26]. Le protocole consiste à appliquer le dispositif une à deux fois par jour, sur 3 à 4 séries de 5 minutes d'occlusion et 3 minutes de reperfusion [26]. Aucune étude ne détermine l'AOP pour le BFR-P. Il n'y a donc pas de recommandations sur cette modalité [26]. Cependant, l'étude de Kubota et al utilise une pression d'occlusion absolue faible, de 50 mm Hg, pour tous ses participants [39]. Le BFR-P permet de limiter l'amyotrophie lors d'une période d'immobilisation, il est étudié notamment en postopératoire immédiat du ligament croisé antérieur (*LCAE*) [26].

### **II.1.3. Intérêts de la technique BFR avec charges légères**

Actuellement, les deux paramètres les plus étudiés sur l'utilisation du BFR sont la force musculaire et l'hypertrophie [1]. Cette partie synthétise les données actuelles sur le BFR-Resistance Exercice (*BFR-RE*).

#### **II.1.3.1. Force musculaire**

La force musculaire est la capacité d'un muscle à exercer un mouvement contre une résistance. Ce paramètre, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (*OMS*), participe à une bonne santé et peut être prédictif de mortalité [40][41]. L'OMS

recommande ainsi de pratiquer 150 minutes par semaine d'activité d'intensité soutenue. De plus, l'ensemble de la population est répondeur à un programme d'entraînement de la force musculaire [42][43]. Concernant l'entraînement sans BFR, les gains de force 1RM sont significativement plus importants durant un entraînement à fortes charges par rapport à un entraînement à faibles charges [44][45]. Enfin, l'entraînement jusqu'à l'échec musculaire n'est pas nécessaire pour améliorer la force maximale et ne semble pas nécessaire pour obtenir des gains de force maximaux [44].

Pour le dispositif BFR-RE, plusieurs études ont noté un gain de force maximale volontaire légèrement inférieur à un renforcement musculaire avec charges lourdes [1][2]. Les résultats sont plus probants lorsque l'on compare la technique BFR-RE à un renforcement avec des charges similaires. Le gain de force est alors bien supérieur à un entraînement traditionnel à 30% de la 1RM sans le dispositif [1][2]. La méthode occlusive est donc une bonne alternative pour limiter les contraintes sur les articulations, et réduire la difficulté de l'entraînement.

Concernant les mécanismes physiologiques d'adaptations, le premier à se mettre en place avec l'entraînement en force classique est le remaniement de l'unité motrice. Cette modification permet un gain de force sans changement musculaire après 4 semaines d'entraînement en force [46]. Pour l'entraînement avec la technique BFR, les changements nerveux sont moins importants, comparés à un renforcement classique. Cependant de plus amples investigations sont nécessaires pour dresser des conclusions [47]. Après un entraînement de résistance, on observe un passage des fibres de sous-type IIX au sous-type IIA [48]. Concernant les changements myofibrillaires, le BFR augmente le taux de synthèse protéique post-exercice *in vivo* chez l'homme [49]. Les changements sont donc sensiblement similaires à un renforcement classique, avec des mécanismes nerveux puis protéiques se mettant en place [26].

### **II.1.3.2. Hypertrophie**

L'hypertrophie musculaire est la capacité d'un muscle à augmenter sa taille [50]. Deux types d'hypertrophies sont retrouvés lors d'un exercice avec résistances. La première est l'hypertrophie aiguë ou congestion, qui est transitoire, correspondant à



l'augmentation du volume musculaire post exercice. Elle est due à une infiltration de liquides dans les zones interstitielles et intracellulaires. [51] Plusieurs études ont retrouvées cet œdème aigu 2 à 10 jours après utilisation du BFR [52][53]. Il y a une grande variabilité individuelle concernant ces résultats. La deuxième est l'hypertrophie chronique ou myofibrillaire, due à l'augmentation du diamètre des fibres et de l'ajout de matières protéiques contractiles. Celle-ci se met en place après 3 semaines de renforcement [54].

Des études ont montré, à l'aide de mesures périmétriques et/ou d'IRM, une augmentation de la section transversale musculaire avant et après un protocole de renforcement avec BFR [26][34]. Les résultats montrent une hypertrophie plus importante avec le dispositif, comparée à un renforcement standard avec les mêmes charges sans celui-ci [1]. Lorsqu'il s'agit de comparer avec un renforcement de charges lourdes, les études ne sont pas unanimes, et montrent un gain hypertrophique similaire ou légèrement inférieur [26]. De plus, le renforcement musculaire de type BFR induit une tension mécanique moins importante qu'un entraînement de charges lourdes, mais un stress métabolique plus important [55]. Il est donc reconnu que le renforcement musculaire de type BFR permet des gains hypertrophiques après plusieurs semaines d'utilisation [1][34].

L'intérêt du renforcement musculaire de type BFR, concernant la prévention de l'atrophie musculaire faisant appel au développement de la section transversale du muscle, a lui aussi été étudié [39]. Il est ainsi actuellement reconnu que le BFR est un bon moyen pour réduire ou prévenir l'atrophie musculaire postopératoire [56].

### **II.1.3.3. Filière Aérobie**

Un entraînement jusqu'à l'échec musculaire montre une augmentation de l'endurance musculaire [57]. L'échec musculaire est un nombre de répétitions maximales que le patient peut réaliser avec une charge. Un renforcement musculaire avec le BFR et des charges légères permet une amélioration de la filière aérobie [1][26].

Ce dispositif pourrait s'avérer intéressant, pour augmenter l'endurance musculaire tout en ayant un ressenti de l'effort diminué.

Le milieu hypoxique généré par le dispositif, grâce à une occlusion sanguine, aurait ainsi un impact sur la filière énergétique aérobie [58]. Les études montrent que cette amélioration est valable sur plusieurs types de populations, notamment les jeunes sujets non entraînés, les athlètes entraînés, mais également pour les personnes âgées [1] [34].

Une méta-analyse démontre qu'un programme de renforcement musculaire de type BFR de 12 semaines permet une amélioration sensible de l'endurance musculaire [34].

#### **II.1.3.4. Mécanismes d'actions**

La méthode BFR déclenche plusieurs mécanismes physiologiques, semblables à un renforcement musculaire classique [48][60]. Tout d'abord, une optimisation du recrutement des unités motrices est retrouvée [46][47].

Par la suite, la voie anabolique mTOR est stimulée, permettant une série de réactions physiologiques aboutissant à une hypertrophie musculaire [59][60]. La lactatémie se trouve également majorée par l'utilisation du BFR, il en résulte une libération importante d'interleukine 6 (*IL-6*), de facteur de croissance (*IGF-1*), ainsi qu'une augmentation de la production d'hormones de croissance [49][60]. Il s'agit de protéines ou d'hormones jouant un rôle dans divers processus physiologiques, notamment l'hypertrophie [61]. Une diminution de l'expression de la myostatine est retrouvée, celle-ci étant inhibitrice de la croissance musculaire [60]. Une prolifération des cellules satellites permet une hyperplasie musculaire [62]. Toutes ces adaptations physiologiques après utilisation du BFR sont responsables d'une hypertrophie myofibrillaire.

#### **II.1.3.5. Complexe cardio-vasculaire**

Concernant les risques du BFR, l'adaptation vasculaire aiguë ne montre aucune augmentation de la concentration des D-dimères, des fragments de prothrombine, et des

produits de dégradation de la fibrine [63]. Cependant, le renforcement musculaire type BFR entraîne une plus grande activation du métaboréflexe musculaire que le renforcement musculaire avec des charges lourdes [28]. Le métaboréflexe est un réflexe sympathique d'augmentation du flux sanguin et de la pression artérielle. Il provient du muscle squelettique en contraction, conséquence d'une augmentation des métabolites musculaires pendant l'exercice. Plusieurs pathologies sont contre-indiqués à l'utilisation du dispositif, en raison de potentielles réponses cardiovasculaires anormales, résultant d'une activation augmentée du métaboreflexe [28]. Ces pathologies sont l'insuffisance cardiaque, les pathologies artérielles périphériques, et l'hypertension.

L'étude de Evans et al, démontre une augmentation de la capacité de filtration microvasculaire du triceps sural [64]. Cette augmentation fait suite un renforcement musculaire type BFR sur ce même muscle [64]. L'hypothèse émis par cette étude est une augmentation de la capillarisation après un programme de 4 semaines [64]. D'autres études montrent que le renforcement musculaire sous BFR favorise le flux sanguin post-exercice, et l'apport d'oxygène grâce à une augmentation de l'expression des facteurs angiogéniques [65][26]. Des études montrent, après exclusion des pathologies contre-indiquées, que le renforcement type BFR ne semble pas présenter de risques supplémentaires par rapport à l'exercice traditionnel [2][26].

L'entraînement avec BFR entraîne une diminution de la réponse autonome parasympathique et une augmentation de la réponse sympathique [16]. Par conséquent la fréquence cardiaque, la pression artérielle, et la vasoconstriction augmentent avec le BFR [28]. Ces paramètres cardiovasculaires, notamment la tension artérielle et la fréquence cardiaque sont à contrôler pour des populations à risque. L'utilisation d'un dispositif BFR automatisé (*cf. 2.1.2. Différents types de BFR*), et un cardiofréquencemètre sont donc justifiés pour des patients BPCO.

Certaines variables du renforcement musculaire type BFR peuvent contribuer à diminuer les risques d'évènements indésirables. En effet, l'application des recommandations concernant l'AOP, permet de limiter le risque d'augmentation

importante de la pression artérielle. L'utilisation d'une forme d'occlusion intermittente pourrait aussi réduire les réponses hémodynamiques indésirables [28].

#### **II.1.4. Risques Iatrogènes**

Les risques, inhérents à la création d'une occlusion vasculaire, peuvent poser questions sur une population de patients BPCO. Plusieurs études de grande envergure, ont permis ainsi de rendre compte des risques que peuvent faire courir le BFR [51][66]. Nous allons aborder les différents effets secondaires à l'utilisation de la technique, ainsi que leur probabilité d'apparition dans la partie ci-dessous.

##### **II.1.4.1. Ecchymoses**

L'effet secondaire le plus fréquemment recensé dans la littérature est l'apparition d'ecchymoses ou « bleus » [66]. L'apparition de ces hématomes cutanés est due à des épanchements au niveau de la peau, sans gravité [26]. Ces ecchymoses ne durent que quelques jours après utilisation. Sur une enquête nationale impliquant 12 642 participants de la population générale, 13% des personnes recensent cet effet secondaire [66].

##### **II.1.4.2. Douleur**

Concernant la sensation à l'effort, il semble que ce type de renforcement génère une évaluation plus haute de l'effort, à la première utilisation, comparé à un entraînement à charges équivalentes [68]. Cependant, il semble y avoir une adaptation à la sensation d'occlusion [26]. En effet, une fois que le patient a réalisé plusieurs sessions de renforcement musculaire type BFR, l'évaluation de l'effort revient à un niveau semblable à celui d'un renforcement standard [11].

Les jours suivants l'utilisation du BFR, une majoration des courbatures (*DOMS*) est observée [69][70].

#### **II.1.4.3. Rhabdomyolyse**

Plusieurs cas isolés de rhabdomyolyses sont recensés dans les études scientifiques [26]. Nakajima et al, retrouvent 3 % d'apparition de ce phénomène dans leur étude [66]. Ce sont des destructions des cellules musculaires striées squelettiques [71]. Les conclusions montrent que le risque n'est pas nul, mais que la probabilité n'est pas majorée par l'utilisation du BFR, comparativement à un entraînement avec charges lourdes [26].

#### **II.1.4.4. Thrombose veineuse profonde**

À la suite d'entraînements avec BFR, plusieurs cas isolés de thrombose veineuse profonde (*TVP*) en lien avec l'entraînement, ont été recensés [66]. Cependant, cette même étude montre que le risque de développer une TVP n'est pas supérieur à un travail à charges lourdes. L'incidence est faible, de l'ordre de 0.8 %, selon l'étude de Patterson et al [67]. De plus, l'exercice avec BFR n'active pas le système de coagulation chez les sujets sains [72]. Une élimination rigoureuse des patients présentant des contre-indications à l'utilisation du dispositif permet de réduire le risque d'événements indésirables [26][28][70].

#### **II.1.4.4. Hypotension orthostatique**

L'utilisation du BFR peut entraîner une hypotension orthostatique pouvant provoquer une perte de connaissance [13][29]. Cependant, cet effet indésirable reste très minoritaire dans la littérature, de l'ordre de 0,3 % [66]. Il est recommandé au professionnel de santé de vérifier les paramètres cardiovasculaires durant les entraînements sous BFR. Les paramètres à surveiller sont la fréquence cardiaque et la tension artérielle.

#### **II.1.5. Contre-indications**

Il est important de repérer les facteurs de risques liés à l'utilisation du dispositif. La grille d'évaluation ci-dessous est un outil pour le thérapeute, elle établit la sécurité

d'utilisation à l'aide d'un score de risque. Si le score est supérieur ou égal à 4, il contre-indique l'utilisation du BFR [73]. Cette grille a été élaborée par Nakajima et al, et a été traduite par KINESPORT® [73].

Historique de thrombose veineuse profonde.	5 points
Fièvres ou maladie aiguë.	
Pression sanguine > 180/100 mmHg.	
Post-opératoire immédiat.	
Arythmie importante ou ischémie coronarienne.	
Grossesse.	4 points
Varices.	3 points
Inactivité prolongée.	
Fibrillation auriculaire ou insuffisance cardiaque.	
Pression sanguine >160-170/95-99 mmHg.	
Age > 60 ans, IMC > 30kg/m2, malignité, hyperlipidémie, œstrogène thérapie.	2 points
Age 40-59 ans, sexe féminin, BMI 25-30kg/m2.	1 point

**Figure 2 :** Grille d'évaluation des risques, liés à l'utilisation du BFR [73]

### II.1.6. Application en rééducation

Plusieurs études ont été réalisées sur l'utilisation du BFR avec des personnes âgées [34][42][74]. Son utilisation est donc reconnue, et présente un intérêt pour lutter contre l'amyotrophie, pour ce type de population [13][43]. Des gains de force et d'hypertrophie similaires aux résultats obtenus sur des patients jeunes sont retrouvés [42]. Cependant, le BFR ne permet pas d'augmenter la sécrétion d'hormones de croissance après utilisation comparativement à un entraînement avec charges lourdes [61]. Il dispose donc du même intérêt qu'un renforcement traditionnel afin de lutter contre la sarcopénie [38]. Une étude a montré des résultats similaires sur des sujets féminins âgés (*post-ménopause*) [75].

Des patients en post-opératoire d'une arthroplastie de genou, peuvent bénéficier de cette technique afin de limiter la sidération musculaire et l'amyotrophie secondaire [76][77]. Il est également utilisé après une chirurgie du LCAE, afin de limiter l'amyotrophie du quadriceps en postopératoire immédiat [56].

Plusieurs études sont en cours sur l'utilisation de la technique sur des patients BPCO aux membres inférieurs [78][79][80][81]. Un cas clinique montre que le BFR peut être utilisé sur des patients BPCO [11]. L'intérêt de la technique reste à prouver, mais son utilisation semble aujourd'hui validée.

## **II.2. La bronchopneumopathie chronique obstructive**

### **II.2.1. Définition**

La Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (*GOLD*) définit la bronchopneumopathie chronique obstructive (*BPCO*) comme une maladie courante ayant une atteinte inflammatoire des tissus bronchiques et pulmonaires, causée par une exposition aux particules nocives ou aux gaz [82]. Elle entraîne ainsi une limitation des débits respiratoires, ainsi que des comorbidités pouvant avoir un impact sur la qualité de vie et la mortalité [83]. Elle est également à différencier de l'asthme, cette pathologie étant en partie réversible à la suite d'une prise de bronchodilatateurs [84].

Le principal symptôme de la BPCO est la dyspnée, se manifestant d'abord à l'effort puis progressivement au repos [85]. C'est une perception anormale et désagréable de la respiration, entraînant un essoufflement et pouvant aboutir à une diminution de participation du sujet. Il s'agit donc d'une gêne respiratoire subjective dont se plaint un patient. Elle comprend plusieurs facteurs : physiologique, psychologique, social et environnemental. C'est un élément capital de prise en charge lors du développement de la maladie [86]. Enfin comme beaucoup de pathologies chroniques, la BPCO devient avec l'avancée des symptômes, une pathologie aux répercussions globales [8].

Les facteurs de risques de la BPCO sont multiples, mais le plus souvent, l'élément central est le tabagisme [87]. L'incidence est d'ailleurs similaire entre un tabagisme passif ou actif. D'autres facteurs de risques peuvent développer la pathologie, tel que la consommation de cannabis, l'exposition aux facteurs polluants, ou encore des antécédents d'infections des voies aériennes inférieures dans l'enfance. Agir sur ces

points est un enjeu de santé publique afin de prévenir la survenue de la pathologie et son incidence [88]. Enfin, le phénotype a également un impact sur la survenue de la pathologie ainsi que sur son évolution [89]

### **II.2.2. Épidémiologie**

Cette pathologie est la troisième cause de décès dans le monde en 2020 [90]. Pourtant la BPCO est une pathologie sous-diagnostiquée, le manque de connaissance de la population ne permet pas de recenser, puis prendre en charge les patients de manière optimale [85]. Les patients développant la pathologie pensent ressentir des symptômes normaux inhérents à la consommation de tabac. Ils ne consultent bien souvent que quand la dyspnée est trop importante dans la vie quotidienne.

C'est donc un enjeu de santé publique puisqu'elle touche 5 % à 10 % des adultes de plus de 45 ans [87][91]. Selon l'INSERM, 3,5 millions de personnes sont concernées en France par cette pathologie, elle représente 17 000 décès en 2017 [92]. Cependant ces chiffres sont difficiles à évaluer avec précision en raison du sous-diagnostic de la pathologie. En effet plus de 70 % des personnes atteintes de BPCO ne seraient pas diagnostiquées [93]. De plus, entre 69 000 et 112 000 patients BPCO sont hospitalisés par année pour exacerbation de symptômes, ce qui représente un coût important [87]. Enfin environ 80 % des cas de BPCO sont attribuables au tabagisme [92]. Pourtant 25,4 % des patients BPCO gardent une consommation quotidienne de tabac [91].

Concernant la répartition par sexe, l'incidence semble plutôt stable chez l'homme ces dernières années, mais s'accroît chez la femme suite aux changements de comportement vis-à-vis du tabac. Il est admis que la BPCO chez la femme est souvent à un stade plus avancé pour un âge similaire, comparativement à l'homme [90].

En conclusion, nous avons pu voir avec ces quelques chiffres que la BPCO est une pathologie mondiale qui doit devenir une préoccupation majeure pour les



prochaines années. La santé publique en terme de prévention afin d'alerter la population, est un point qui reste sous-développé [93].

### **II.2.3. Physiopathologie**

#### **II.2.3.1. Mécanismes pathogènes**

La BPCO est une maladie touchant les voies aériennes inférieures. Les caractéristiques principales sont une réaction inflammatoire chronique des bronches, une destruction du parenchyme pulmonaire, ainsi qu'une hypersécrétion de mucus [85]. Pour les cas les plus sévères, le système cardio-vasculaire peut être touché, entraînant une hypertrophie du ventricule droit en réponse à une hypertension pulmonaire [94].

La pathologie induit un épaissement de la paroi des bronches, une augmentation du tonus du muscle lisse, ainsi qu'une hyperplasie des glandes de la muqueuse [95]. De plus, les aérocontaminants détruisent les cellules ciliées de la paroi, qui ont alors tendance à se raréfier, et endommagent l'efficacité du tapis muqueux. La combinaison de ces phénomènes aboutit à créer une obstruction bronchique. L'inflammation chronique entraîne une surproduction de mucus et à une réduction du calibre des bronches [89].

Dans les stades évolués de la maladie, des zones emphysémateuses sont retrouvées en imagerie. Elles sont dues à la destruction du parenchyme qui amène à une dilatation des bronches, les rendant non-fonctionnelles [96].

L'inhalation régulière de toxiques, aussi appelée aérocontaminants, déclenche le phénomène inflammatoire au niveau de la muqueuse bronchique. Cette inflammation induit une libération de cellules immunitaires (macrophages, lymphocytes CD8+, et neutrophiles) sur une durée prolongée [95]. L'inflammation est un processus physiologique, mais dans le cas de la BPCO, sa permanence induit des phénomènes de remaniements délétères pour le système pulmonaire [89]. De plus, des pistes expliquent cette inflammation bronchique chronique. Les explications potentielles sont la composition des toxiques inhalés qui interagissent avec la muqueuse bronchique,

l'infiltration de la sous-muqueuse des cellules inflammatoires, et la stimulation du système immunitaire par les cellules endommagées. Agir sur ces phénomènes pourrait permettre de limiter cette inflammation. L'arrêt du tabac est donc fortement recommandé aux patients atteints de BPCO [85].

La BPCO aboutit également à une perturbation du rapport ventilation/perfusion. L'obstruction bronchique, les modifications vasculaires, et les lésions de la paroi endothéliale modifient la ventilation de certains territoires pulmonaires. Les capacités d'échanges gazeux entre le milieu sanguin et l'air bronchique se retrouvent alors perturbées [94].

Cette perturbation aboutit à des mécanismes pathologiques qui sont l'effet de shunt et l'espace mort. Le premier terme désigne le sang qui est conduit dans des zones pulmonaires non ventilées [94]. Les échanges ne peuvent pas se faire et le rapport est modifié. Dans le second cas, il s'agit de l'effet inverse, ce sont des territoires pulmonaires non perfusés qui sont ventilés. Ces mécanismes modifient donc l'apport en oxygène ( $O_2$ ) dans le sang et l'évacuation du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) dans les bronches. Cette diminution du rapport ventilation/perfusion est à l'origine des mécanismes d'hypercapnie et d'hypoxémie.

### **II.2.3.2. La dyspnée**

La dyspnée est la principale plainte des patients atteints de BPCO [7]. L'American Thoracic Society (*ATS*) a défini la dyspnée comme étant « une expérience subjective d'inconfort respiratoire consistant en des sensations qualitativement distinctes variables en intensité » [7]. Elle correspond à une gêne respiratoire, à un certain niveau d'activité, n'entraînant habituellement aucun inconfort. Elle est liée à la limitation des débits expiratoires, la distension dynamique et l'atteinte musculaire [97].

La dyspnée comprend trois domaines. Ils sont respectivement l'expérience sensorielle, l'expérience affective, et l'impact engendré sur la qualité de vie et les activités de la vie quotidienne [98]. Ce modèle permet une individualisation des soins

en comprenant mieux les causes et les mécanismes de la dyspnée, et par conséquent permet de disposer du meilleur traitement.

La conséquence de la dyspnée est une spirale de déconditionnement progressive, décrite par Préfaut et al [99]. L'empreinte émotionnelle de l'essoufflement conduit à une peur et une anxiété. Le patient met en place des stratégies d'adaptations, en évitant les activités responsables de cette dyspnée. La diminution d'activité amène une dégradation des muscles périphériques. Leur intolérance à l'effort augmente, et l'essoufflement lors de leur utilisation se trouve majoré. Ce cercle vicieux, ou spirale de déconditionnement, a pour conséquence un effondrement de la qualité de vie et une diminution de l'espérance de vie.

### **II.2.3.3. Impact sur le système cardiovasculaire**

Progressivement, l'atteinte du poumon va entraîner un retentissement sur les vaisseaux. En effet, le réflexe de vasoconstriction hypoxique va réorienter la perfusion artérielle dans les zones saines pour favoriser les échanges gazeux. Cependant, cette vasoconstriction chronique va aboutir à une hypertension pulmonaire [100]. L'augmentation des pressions dans le ventricule droit amène une hypertrophie ou une dilatation de celui-ci. Ce phénomène se nomme le cœur pulmonaire chronique [94].

### **II.2.3.4. Impact sur la musculature périphérique**

Les patients BPCO vont progressivement se retrouver avec une dyspnée importante dans les activités de la vie quotidienne. Celle-ci va limiter les activités que le patient va réaliser, et entraîner une sédentarisation. Par la suite, le patient va se déconditionner à l'effort et va avoir une atteinte musculaire importante [85]. En effet, une inflammation musculaire et une diminution des fibres I conduisent à une diminution du mouvement. Les fibres II interviennent alors mais génèrent une production importante d'acide lactique. Une hyperventilation est retrouvée, destinée à éliminer cet excès d'acidité. L'essoufflement majoré conduit à une baisse d'activité, ce qui accélère la disparition des fibres I au profit de fibres II. C'est le cercle vicieux du

déconditionnement, que le thérapeute va essayer de réduire notamment grâce au renforcement musculaire [101].

### **a) Membres inférieurs**

Une atrophie des muscles des membres inférieurs est retrouvée avec l'évolution de la pathologie. Or selon Swallow et al [4], la force et l'endurance des quadriceps est prédictif du risque de mortalité chez le patient BPCO. Il est donc capital que le masseur-kinésithérapeute, lors des séjours de réadaptation respiratoire, quantifie la perte de force et d'endurance, pour proposer un renforcement musculaire afin d'y remédier [101]. Au niveau physiologique, cette faiblesse musculaire peut s'expliquer par des modifications structurelles du muscle. Le rapport fibre I/II est alors modifié, ce qui a un impact sur la performance musculaire. On assiste à une amyotrophie des fibres de type II, impactant directement la force maximale volontaire et la centimétrie musculaire. Or selon Marquis et al, la section transversale de la cuisse est elle aussi un facteur prédictif de mortalité chez le BPCO [102].

### **b) Membres supérieurs**

Selon l'American Thoracic Society, de nombreuses activités deviennent problématiques dans la vie quotidienne chez les personnes atteintes d'une maladie respiratoire chronique impliquant les membres supérieurs. Il cite notamment l'habillage, le bain, les courses et les tâches ménagères [7]. De ce fait, l'entraînement des membres supérieurs est généralement intégré dans un régime d'exercices [103]. Les exemples d'exercices pour les membres supérieurs comprennent les régimes aérobiques (l'entraînement sur ergocycle) et l'entraînement en résistance (l'entraînement avec des poids libres et des bandes élastiques, qui fournissent une résistance) [7]. L'entraînement des membres supérieurs, comparés à l'absence d'entraînement de ceux-ci, semble améliorer la dyspnée [104]. Une autre étude montre que l'entraînement des bras avec résistance améliore la fonction, la capacité d'exercice et la force musculaire [105]. Cependant cette même étude ne retrouve pas d'amélioration de la dyspnée. Enfin les

muscles typiquement visés sont les biceps, les triceps, les deltoïdes, le grand dorsal et les pectoraux [7].

#### **II.2.3.6. Autres troubles associés**

Avec l'évolution de la pathologie, ses retentissements symptomatiques deviennent globaux et multiples. Ainsi la dénutrition, les troubles anxio-dépressifs, l'ostéoporose, le diabète, l'hypertension artérielle et pulmonaire sont des répercussions de la maladie [85].

#### **II.2.4. Diagnostic**

Le thérapeute doit veiller à prévenir la survenue des premiers signes de la maladie. Elle est souvent sous-diagnostiquée et banalisée dans les stades précoces comme étant une toux normale chez le fumeur [85].

Il est aujourd'hui admis que la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une maladie générale, à point de départ respiratoire [118]. Actuellement, l'accent est mis sur l'importance des comorbidités associées à la pathologie. L'ensemble des pathologies cardiovasculaires, le cancer du poumon, le diabète, le syndrome métabolique, la dysfonction musculaire périphérique, la dépression, ou encore l'anxiété sont des éléments étudiés [106]. Concernant les symptômes de la maladie pulmonaire pouvant être ressentis, plusieurs sont caractéristiques. L'un des symptômes est une toux chronique plus ou moins productive et intermittente [85]. Néanmoins, ces symptômes sont communs avec beaucoup d'autres pathologies respiratoires et ne peuvent pas faire le diagnostic à eux seuls.

Des infections récurrentes des voies aériennes inférieures sont souvent associées. Enfin une dyspnée progressive dans le temps, aggravée par l'effort doit amener le thérapeute au diagnostic de la BPCO [4]. C'est d'ailleurs souvent l'élément faisant consulter le patient. Enfin les symptômes peuvent être amenés à s'accroître lors des phases d'exacerbations.

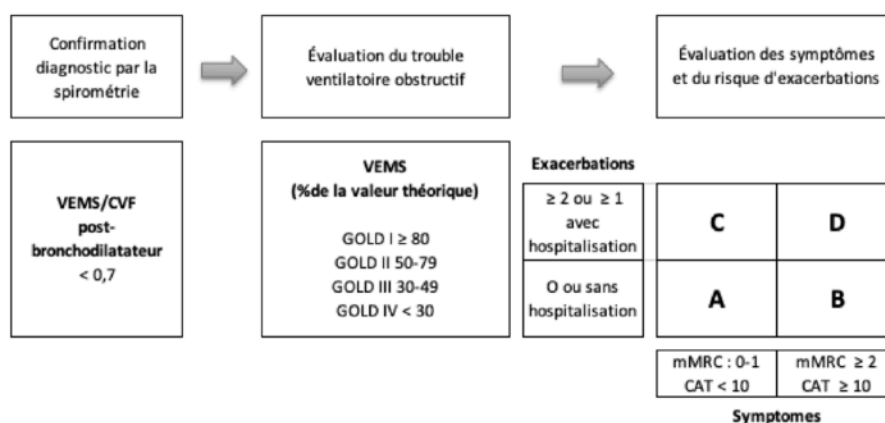
### II.2.3.1. L'évaluation de la pathologie

La seule manière de poser le diagnostic de cette pathologie est d'effectuer un examen spirométrique. La mesure des volumes et des débits ventilatoires va permettre de confirmer un trouble ventilatoire obstructif. Le rapport VEMS/CVF, appelé rapport de Tiffeneau, permet lorsqu'il est inférieur à 70 % des valeurs théoriques, de confirmer le diagnostic [85]. Le VEMS correspond au volume expiratoire maximal sur la première seconde d'expiration. La capacité vitale forcée (CVF) correspond, quant à elle, à l'ensemble des volumes mobilisables par le patient.

Afin d'éliminer l'asthme, cette évaluation spirométrique doit être réalisée après inhalation de bronchodilatateurs pour s'assurer de l'irréversibilité du trouble ventilatoire obstructif.

Ci-dessous la classification de la sévérité de la BPCO (GOLD 2017). Elle permet de prendre en compte plusieurs paramètres. Le degré de sévérité de l'obstruction (*VEMS*), la fréquence des exacerbations menant ou non à une hospitalisation, la dyspnée (échelle modified Medical Research Council (*mMRC*)), et l'impact des symptômes sur la qualité de la vie (*questionnaire COPD Assessment Test (CAT)*) sont ainsi utilisés. Cette classification inclut la spécificité de chaque patient au regard de sa pathologie.

Concernant l'évaluation des symptômes et le risque d'exacerbations, le stade D est le stade le plus sévère et A le moins sévère.



**Figure 3 : Évaluation combinée de la BPCO (GOLD 2017)**

### **II.2.3.2. Mesure de la dyspnée**

Selon Parshall et al, la dyspnée est subjective, sa perception est propre à chaque patient [98]. L'évolution de la pathologie et le déclin de la fonction respiratoire n'ont pas de corrélation avec l'essoufflement perçu par le patient [107]. L'auto-évaluation est ainsi la modalité la plus adaptée pour investiguer la dyspnée.

Différents outils permettent d'évaluer les trois domaines de la dyspnée [85]. L'un des domaines concerne la qualité de vie et la capacité fonctionnelle. Il est investigué par plusieurs questionnaires notamment le London Chest Activity of Daily of Life (*LCADL*)(Annexe VII). Un autre domaine concerne la composante sensorielle. Il est notamment investigué par l'échelle de Borg modifié (Annexe VI). C'est une échelle unidirectionnelle permettant d'évaluer les perceptions physiques de l'essoufflement sur un score de 0 à 10. Enfin le dernier domaine investigue la composante affective. Il est investigué par plusieurs éléments dont certains sont similaires au domaine sensorielle. Cependant il permet de recueillir les sentiments instantanément perçus par le patient.

### **II.2.3.3. Evaluation des muscles périphériques**

La Bronchopneumopathie Chronique Obstructive atteint les muscles périphériques de manière quantitative et qualitative. Cependant, cette dégradation est réversible, le rôle du masso-kinésithérapeute est alors d'évaluer puis renforcer les muscles déficitaires.

Deux tests spécifiques d'évaluation permettent de quantifier la force et l'endurance des muscles périphériques. Nous allons volontairement, dans ce mémoire, nous concentrer sur leur utilisation pour les muscles quadriceps.

- L'isocinétisme permet de mesurer la force maximale volontaire, sur une vitesse programmée et constante. C'est le gold standard pour la mesure des muscles périphériques.

- Le dynamomètre portatif mesure lui aussi, la force maximale volontaire, mais uniquement en isométrique. Ce dispositif est plus facile d'utilisation, et nécessite un protocole strict pour ne pas biaiser les résultats [108].

### **II.2.5. La réadaptation respiratoire**

« La réadaptation respiratoire est une intervention globale et individualisée, reposant sur une évaluation approfondie du patient. Elle y inclue, sans y être limitée un réentraînement à l'effort, une prise en charge psychosociale et nutritionnelle, une optimisation des traitements, et de l'éducation thérapeutique » [7]. Ce dernier point permet une adhésion à long terme aux traitements et amène à des comportements adaptés à leur état de santé [7]. Elle est dispensée aux patients atteints de maladies respiratoires chroniques, tel que la BPCO. Elle regroupe une équipe pluridisciplinaire spécialisée dans le domaine. Le but de ce séjour de réadaptation respiratoire, selon la Société de Pneumologie de Langue Française (*SPLF*), est de réduire les symptômes de la pathologie, d'optimiser les conditions psychiques et psychosociales, et de diminuer les coûts de la santé [109]. Selon ce même rapport de la SPFL, un programme de réadaptation chez des patients stables permet une réduction du nombre d'exacerbations. Beaumont et al montrent qu'une amélioration est retrouvée à l'issue d'un séjour en réadaptation respiratoire, quel que soit le stade de BPCO [110]. Les patients les plus sévères sont cependant ceux ayant acquis le plus de bénéfices durant le séjour.

Lors de ce séjour de plusieurs semaines, le renforcement musculaire prodigué aux patients est un enjeu important, comme montré précédemment. L'utilisation d'une méthode comme le BFR, pourrait permettre de diminuer la charge de travail perçue, tout en garantissant des gains musculaires similaires. Cette méthode pourrait alors être utilisée en remplacement des techniques traditionnelles.

### **II.3. Problématique de la recherche**

La bronchopneumopathie chronique obstructive développe plusieurs symptômes qui ont une répercussion non-négligeable sur la vie du patient [85]. Ainsi des activités



de la vie quotidienne, impliquant les membres supérieurs, comme l'habillage, les courses et les tâches ménagères, deviennent problématiques [111]. Les programmes de réadaptation respiratoire ont alors pour objectif principal de réduire cet impact, aux moyens d'une évaluation puis d'une réadaptation méthodique [109]. Dans ce contexte, le réentraînement à l'effort et le renforcement musculaire constituent deux éléments majeurs de la prise en charge. L'American Thoracic Society (*ATS*) montre dans son dernier rapport que l'entraînement des membres supérieurs, chez les patients BPCO, augmente leur fonction et la capacité d'exercice du bras [105]. Dans ce même rapport, l'essoufflement dans la vie courante et l'utilisation du membre supérieur ont montré plus de déficit que la force des muscles du membre supérieur.

La méthode BFR pourrait constituer un bon moyen pour diminuer l'effort perçu tout en garantissant un renforcement efficace, et ainsi augmenter la fonction des membres supérieurs [13]. Les patients présentant des douleurs aux articulations du membre supérieur pourraient répondre au renforcement musculaire type BFR. La sollicitation avec une charge légère, donc plus facilement tolérée, que permet le BFR peut en effet paraître intéressante.

L'objectif de ce mémoire est par conséquent de répondre à la problématique suivante :  
L'utilisation de la méthode BFR, chez des patients atteints de BPCO, est-elle efficace pour améliorer la force et la fonction des membres supérieurs, diminuer l'essoufflement à l'effort, tout en étant sécurisante pour le sujet ?

Hypothèses :

- La méthode de renforcement type BFR permet d'augmenter la force des membres supérieurs, chez le patient BPCO, avec des charges plus faibles qu'un entraînement standard.
- Un programme de renforcement type BFR peut être utilisé dans un programme de réadaptation respiratoire.
- Le bénéfice attendu en utilisant l'entraînement BFR pour les patients atteints de BPCO est une amélioration de la capacité fonctionnelle des membres supérieurs supérieure à celle obtenue avec un programme de renforcement standard.

- Le renforcement type BFR des membres supérieurs permet de diminuer l'essoufflement lié à leur utilisation.

### **III. Méthode**

Pour répondre à la problématique de ce mémoire, la méthodologie utilisée est mixte. Elle utilise d'abord les codes d'une revue de littérature, pour permettre par la suite, de créer un protocole en concordance avec les données scientifiques actuelles. Cette revue de la littérature se référera aux recommandations de la méthodologie PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)[112].

La revue de littérature portera sur l'utilisation du BFR aux membres supérieurs. Celle-ci répondra à la problématique au moyen d'un travail de recherche, de collecte, et d'analyse de la littérature dont le but final est de mettre à jour les données actuelles sur l'hypothèse de ce mémoire.

Une équation de recherche incluant uniquement des patients BPCO n'est pas rendue possible. En effet, aucune étude n'est actuellement réalisée concernant l'utilisation du BFR aux membres supérieurs chez le patient BPCO. Quelques études sont en cours concernant l'utilisation du BFR sur le membre inférieur chez le patient BPCO [78][79][80][81].

#### **III.1. Critères d'éligibilité**

L'intervalle des articles inclus dans cette revue doivent répondre aux critères définis par la méthode PICO (*Population, Intervention, Comparaison, Outcomes (Résultats)*).

##### **III.1.1. Critères d'inclusion**

Pour cette revue de la littérature, les études retenues sont celles évoquant l'utilisation du BFR sur le membre supérieur.

Il n'existe actuellement pas de consensus sur le programme de rééducation optimal utilisant ce dispositif sur le membre supérieur. Par conséquent l'ensemble des programmes de renforcement type BFR seront inclus. La durée des séances, des séries, le temps de repos sont autant de variable non prises en compte dans mes critères

d'exclusion afin de posséder l'échantillon le plus large possible. Les études utilisant des groupes contrôles sont incluses. Ces groupes contrôles pourront comprendre un renforcement musculaire avec charges lourdes ou charges légères.

### **III.1.2. Critères d'exclusion**

Les études utilisant la technique BFR sur le membre inférieur sont exclues de cette revue de littérature. Le but étant de démontrer l'efficacité de l'utilisation du BFR sur le membre supérieur, des données sur le membre inférieur ne seraient pas interprétables.

Les études ne comportant pas de groupe témoin ne seront pas pris en compte dans cette revue de littérature.

### **III.2. Critères de jugement**

L'intérêt de cette revue de littérature est d'évaluer l'efficacité et la faisabilité du BFR sur le membre supérieur. Le BFR pourrait alors être un substitut aux techniques de renforcements traditionnels. Cet état des lieux pourrait justifier la création d'un protocole clinique chez le patient BPCO. En effet, l'utilisation de charges lourdes peut être un frein lors d'une réadaptation respiratoire. Certains patients ne peuvent bénéficier du renforcement traditionnel. En effet des patients présentant des pathologies articulaires du membre supérieur pourraient voir dans ce nouveau dispositif une opportunité pour stimuler les muscles des membres supérieurs tout en diminuant la charge, et donc les contraintes.

Le critère de jugement principal concerne le gain de force en flexion/extension de coude et d'abduction de l'épaule. Ces mouvements étant facilement mesurables, et fonctionnellement pertinents, ils permettraient de montrer une tendance sur les effets du BFR pour le membre supérieur. Ces données permettraient de répondre à notre hypothèse concernant le gain de force après utilisation d'un protocole BFR de plusieurs semaines.

Le critère de jugement secondaire concerne la fatigabilité musculaire du patient lors de l'utilisation du dispositif. Une diminution des contraintes, tout en gardant une

stimulation motrice importante peut améliorer le ressenti de l'effort du patient. Si le BFR améliore le ressenti à l'effort, il pourra apparaître comme un outil intéressant pour les patients BPCO réalisant avec difficulté le renforcement musculaire standard.

### **III.3. Stratégie de recherche**

Plusieurs critères concernant la sélection des articles semblent pertinents. Il convient donc de garder seulement les essais contrôlés randomisés afin de pouvoir comparer les articles entre eux.

Les études doivent être comparatives et seules celles rédigées en anglais ou français seront sélectionnées dans un souci de compréhension. Concernant la date de parution des études, aucun critère exclusif n'est mis en place. Le domaine étant encore récent, il ne serait pas pertinent de restreindre les recherches sur ce point.

#### **III.3.1. Base de données**

Les études ont été recherchées sur plusieurs bases de données, que sont Pubmed, Cochrane, et Pedro. Le choix de ces bases de données permet de regrouper la littérature sur le sujet. La recherche a débuté le 4 octobre 2021 et a été achevée le 1er novembre 2021. L'outil Zotero a été utilisé pour recueillir les articles dans ce mémoire.

#### **III.3.2. Mots clés**

Avant de réaliser une équation de recherche, il a fallu repérer les mots-clés les plus pertinents pour ce sujet. À la suite de recherches les termes « Blood flow restriction » et « upper limb » sont ressortis. Après quelques recherches sur les bases de données, il semble y avoir plusieurs synonymes à intégrer. Par la suite, l'utilisation de mots MeSH (*Medical subjects Heading*) est recommandée afin d'inclure l'ensemble des synonymes aux termes de recherche.

Ainsi le mot-clé « Blood flow restriction » semble posséder une variante avec « restricted ». L'ajout du type d'intervention avec les termes « therapy », « training » et

« rehabilitation » permet d’inclure la littérature sur le sujet. Il n’existe pas de descripteur MeSH pour le BFR, mais seulement pour « Blood flow » qui semble bien plus global. Pour le terme « Upper limb », le synonyme « upper extremity » est souvent retrouvé dans la littérature. Le descripteur MeSH « upper extremity » est retrouvé.

### III.3.3. Equation de recherche

Pour construire cette équation de recherche, l'utilisation d'opérateurs booléens a permis de regrouper les mots-clés précédemment évoqués. Les équations sont les suivantes :

Base de données	Equation de recherche	Résultats
Pubmed	((((Blood) AND flow OR (blood flow[MeSH Terms])) AND ((restriction) OR (restricted))) AND (((training) OR therapy) OR rehabilitation) OR train)) AND ((Upper limb OR Upper extremity OR upper extremities) OR (upper extremity[MeSH Terms]))	136
Pedro	“blood flow” dans Abstract and Title, et “strength training” dans theranv	103
Cochrane	#1 ("blood"):ti,ab,kw AND ("flow"):ti,ab,kw AND ("restriction"):ti,ab,kw OR ("restricted"):ti,ab,kw (Word variations have been searched) #2 MeSH descriptor: [Blood Circulation] explode all trees #3 "Rehabilitation" OR "rehab" OR "training" OR "exercice" #4 MeSH descriptor: [Exercise] explode all trees #5 ("upper extremity"):ti,ab,kw OR ("upper limb"):ti,ab,kw OR ("upper extremities"):ti,ab,kw #6 MeSH descriptor: [Upper Extremity] explode all trees #7 (#1 OR #2) AND (#3 OR #4) AND (#5 OR #6)	306

### III.4. Processus de sélection des articles

L’interrogation des bases de données préalablement choisies permet de recueillir les articles pertinents. Par la suite, l’inclusion des articles est réalisée selon un diagramme de flux PRIMSA. Les articles sont ainsi recueillis. Les doublons et triplons

sont ensuite supprimés à l'aide du logiciel Zotero. Pour la sélection des articles, nous avons utilisé les critères PICO en procédant à la lecture des titres et des résumés. L'application spécifique à cette revue de littérature est détaillée ci-dessous :

Population : Tous types de patients

Intervention : Utilisation de la technique Blood flow restriction

Comparaison : Rééducation avec entraînement traditionnel comprenant des charges lourdes. Des études utilisant également des charges légères comme moyen de comparaison sont également incluses.

Résultats (Outcomes) : La mesure du gain de force du membre supérieur est prise en compte. Les mouvements de flexion/extension de coude, de préhension et d'abduction d'épaule sont recherchés dans les études. La mesure peut se faire avec un dynamomètre portable ou avec une machine d'isocinétisme.

#### **III.4.1. La qualité des articles**

Afin de mesurer la qualité des articles sélectionnés, la grille de notation PEDro a été choisie (Annexe I). Elle est composée de 11 critères et donne un résultat sur 10 pouvant être interprétée de la façon suivante [113] :

- Score entre 9 et 10 : excellente qualité
- Score Entre 6 et 8 : bonne qualité
- Score Entre 4 et 5 : qualité moyenne
- Score Inférieur à 3 : faible qualité

Pour cette revue de littérature, les études ayant un score supérieur ou égal à 5 ont été retenues. Ce choix permet d'inclure des études ne respectant pas les items 5 et/ou 6. En effet pour ce type d'étude, les critères concernant l'aveuglement et la randomisation pour le sujet et le thérapeute administrant le traitement ne peuvent être respectés. Le dispositif étant physiquement reconnaissable et ayant des actions sur le système circulatoire, il semble complexe de créer un dispositif similaire type placebo. Le détail des items de chaque article est disponible en Annexe II.

### **III.5. Résultats de la recherche**

Au total, 545 articles sont recueillis après interrogation des bases de données. Après un processus de sélection, représenté par le digramme de flux PRIMSA ci-dessus, 7 articles sont retenus pour cette revue de littérature.

#### **III.5.1. Caractéristiques des études**

Les études sélectionnées pour cette revue sont rédigées en anglais et ont été publiées entre 2011 et 2021. Parmi ces études, il y a 7 essais contrôlés randomisés. Le tableau récapitulatif renseignant sur les caractéristiques de ces études est disponible en Annexe III.

#### **III.5.2. Paramètres évalués**

Les articles sélectionnés pour cette revue de littérature s'intéressent à plusieurs paramètres. Un tableau dressant une synthèse de ces paramètres est disponible en Annexe IV. Tout d'abord, l'ensemble de ces articles possèdent comme critère d'analyse la force musculaire des membres supérieurs. Une étude s'intéresse spécifiquement à la force de préhension [114], et une autre l'intègre dans ses résultats [115].

L'ensemble des études s'intéressent également au volume musculaire du membre supérieur. Les techniques de mesure sont variables entre les études. Pour certaines, une mesure centimétrique est réalisée pour apprécier l'augmentation de la surface transversale du muscle [114,115,116]. Pour d'autres études, le choix de l'IRM permet de limiter les biais avec une mesure directe sur l'augmentation du tissu musculaire [117,118,119,120].

Une étude s'intéresse aux courbatures après utilisation du BFR [120]. Cet élément est analysé grâce à une échelle EVA lors d'une contraction excentrique 48h après l'effort.

Enfin certaines études ont analysé l'activation musculaire lors de l'exercice à l'aide d'un EMG de surface [118,119,120].



## IV. Résultats

### IV.1. Résultats des études

Cette revue de littérature possède une grande diversité dans ces protocoles de recherche d'utilisation du BFR, comme le montre le tableau en Annexe V. Cela peut s'expliquer par le manque de recommandations actuelles claires sur la méthodologie d'entraînement avec BFR. Cependant, ces pluri-modalités permettent d'obtenir des résultats sensiblement similaires, comme nous allons le voir ci-dessous.

L'ensemble des études se sont déroulées dans un environnement clinique contrôlé, la synthèse des résultats de cette revue de littérature, est la suivante :

Sans comparaison avec une autre forme d'entraînement les études sont unanimes. Elles retrouvent une amélioration de la force des muscles ciblés, à la suite d'un programme d'exercices. Cependant, il est reconnu que le BFR permet un gain de force inférieur à un entraînement avec charges lourdes [117][119]. Seule l'étude de Sugiarto et al retrouve une force supérieure pour le renforcement musculaire type BFR comparée à un renforcement charges lourdes [116]. Cette étude mesure trois vitesses angulaires (*60o/s*, *120o/s* et *180o/s*), en force maximale volontaire. L'étude de Fernandes et al retrouve une augmentation de la force de préhension des muscles de l'avant-bras, mais les résultats ne sont pas statistiquement significatifs [114]. Enfin l'étude de Yasuda et al met en avant une force isométrique et dynamique induites par l'entraînement combiné du BFR et des charges lourdes plus élevées. Ces forces étaient comparées au BFR charges légères et au renforcement charges lourdes [119].

Le BFR utilisé seul, semble produire moins d'adaptations neuronales en comparaison avec un entraînement charges lourdes. Le gain de force serait préférentiellement expliqué par une hypertrophie musculaire [120].

Les études montrent une hypertrophie semblable à un renforcement avec charge lourde [114,116,118]. L'hypoxie locale, le gonflement musculaire, ainsi qu'un recrutement de plus d'unité motrice sont les hypothèses ayant pour conséquence un développement musculaire post exercice [115]. Plusieurs études recensent une

augmentation du lactate sanguin ainsi qu'une modification du pH sanguin similaires à un exercice de haute intensité [120,116].

L'utilisation du BFR pourrait également avoir un effet sur le membre controlatéral à l'exercice. Cela serait dû à la libération de facteurs de croissance musculaire dans la circulation sanguine. L'étude de Bowman et al aborde ce phénomène, toutefois comme ils le soulignent dans leur étude, de prochaines investigations sont nécessaires pour tirer des conclusions claires [115].

Concernant la sécurité d'utilisation du BFR, après avoir exclu les patients présentant des facteurs de risque contre-indiquant à sa bonne pratique, ils correspondent aux risques encourus lors d'un entraînement traditionnel. Les contre-indications étaient de ne pas présenter de cardiopathie ischémique, d'antécédents ou de risque de thromboembolie veineuse profonde et d'artériopathie périphérique [114, 115, 116, 117, 118, 119]. Les sujets devaient également être normotendus (*135/85 mmHg*) et ne pas présenter de blessure/chirurgie des membres supérieurs [120].

L'étude de Yasuda et al, s'appuyant sur une étude réalisée sur plus de trente mille utilisations du BFR, démontre que les événements indésirables graves sont inférieurs à 1 % de survenue [119]. L'entraînement BFR n'entraîne pas plus de douleurs musculaires, comparé à un entraînement avec charges lourdes, après accoutumance [119, 120]. Cet élément peut justifier le BFR comme stratégie pour pallier à une fonte musculaire chez des individus non-répondant à un entraînement traditionnel.

L'entraînement traditionnel avec faible charge (*40% de la 1RM*) mené jusqu'à l'échec musculaire pourrait induire des résultats hypertrophiques semblables à ceux retrouvés avec l'utilisation du BFR. L'étude de Farup et al, montre en effet des gains similaires, mais 60 répétitions sont nécessaires pour obtenir l'échec à 40% de la 1RM [120]. Cependant, ces résultats sont à nuancer, car le design de l'étude utilise un bras avec entraînement traditionnel et un bras BFR. Ce design d'étude ne prend pas en compte l'effet potentiel controlatéral du BFR.

Enfin, le BFR pourrait avoir une action sur les muscles proximaux au brassard d'occlusion. L'étude de Lambert et al montre un gain en force isométrique, par rapport au groupe contrôle, ainsi qu'une hypertrophie du muscle deltoïde. L'hypothèse serait une augmentation du recrutement des muscles non occlus par pré-fatigue des muscles distaux à l'occlusion. De plus, l'étude de Yasuda et al, dresse l'hypothèse qu'un gonflement de la zone induirait une réponse anabolique des muscles proximaux [117].

Mais comme évoqué précédemment dans ce travail, aucune étude ne s'intéresse directement aux effets du BFR sur le membre supérieur de patient BPCO. Une étude ciblée sur ce type de population doit donc être conduite afin d'objectiver de l'intérêt de cette méthode, et ainsi de répondre à la problématique de ce mémoire.

## **IV.2. Protocole de recherche**

La revue de la littérature nous a permis de souligner l'intérêt d'un programme de renforcement type BFR pour le membre supérieur. Cet outil peut être utilisé afin de gagner en force et en hypertrophie [118].

Lors d'un séjour de réadaptation respiratoire, conformément aux préconisations des sociétés savantes, un programme de renforcement du membre supérieur est réalisé [7]. L'utilisation du BFR, pourrait alors permettre un renforcement des membres supérieurs, en diminuant la dyspnée à l'effort, tout en améliorant l'utilisation du membre supérieur dans les gestes de la vie quotidienne. En effet, il pourrait hypothétiquement améliorer la force musculaire et la capacité fonctionnelle des membres supérieurs. Cependant, aucune étude n'est actuellement disponible pour l'utilisation du dispositif pour le membre supérieur sur des patients atteints de BPCO. Une proposition d'un protocole sur ce type de population est donc conduite.

Il s'agira d'une étude pilote, contrôlée randomisée, reprenant les attendus d'un essai d'équivalence. Son but sera de déterminer si le renforcement BFR avec des charges légères, peut être comparable au renforcement musculaire des membres supérieurs avec charges lourdes. L'intérêt d'une étude pilote sera de réaliser une étude préliminaire, avec

un petit nombre de patients. Celle-ci permettra d'étudier la faisabilité et de déterminer la meilleure façon de mener ce projet à plus grande échelle. De ce fait, une étude interventionnelle contrôlée pourra permettre d'explorer un moyen innovant de renforcement des membres supérieurs chez le patient atteint de BPCO.

La sécurité du protocole sera un point important de cette étude pilote avec le dispositif BFR. Il a été démontré que le BFR peut être appliqué chez le patient BPCO, mais avec une surveillance durant l'utilisation et des critères d'inclusions sélectifs [78, 79, 80, 81].

#### **IV.2.1. Objectif et hypothèse**

L'objectif principal de cette étude sera d'évaluer les effets d'un renforcement type BFR bilatéral sur l'évolution de la force des membres supérieurs chez le patient atteint de BPCO, en comparaison à un renforcement musculaire bilatéral avec charges lourdes. L'hypothèse est que le BFR pourra être utilisé en remplacement d'un renforcement traditionnel afin de diminuer la charge de travail, avec des charges légères, tout en garantissant un gain en force. Il sera comparé à un renforcement avec des charges lourdes au membre supérieur.

Plusieurs objectifs secondaires seront également évalués dans cette étude pilote. En effet, la mesure de la dyspnée pendant l'exercice sera comparée à un renforcement classique, à l'aide d'une échelle de Borg modifiée (Annexe VI). Un questionnaire London Chest Activity of Daily Living (*LCADL*) sera également mis en place pour apprécier d'éventuels changements sur l'impact de la dyspnée dans les activités de la vie quotidienne (Annexe VII). Enfin la mise en place du test fonctionnel, 6 minutes pegboard and ring test, permettra d'analyser les éventuels changements sur la capacité à l'exercice du membre supérieur (Annexe VIII).

#### **IV.2.2. Population**

Les patients atteints de BPCO, inclus dans un programme de réadaptation respiratoire des centres participants se verront proposer de participer à l'étude.

Les inclusions seront réalisées par les masseurs-kinésithérapeutes de la structure, en accord avec les critères décrits dans ce protocole. Les masseur-kinésithérapeutes participants aux inclusions seront invités à prendre connaissance du protocole, puis seront formés lors d'une réunion pré-intervention afin de présenter en détail le déroulement du protocole ainsi que ses attendus durant les 8 semaines.

Les patients éligibles recevront une information claire et loyale à l'oral et à l'écrit, et donneront ou non leur consentement écrit en remplissant le formulaire d'information et de consentement (Annexe IV et V), conformément à la déclaration d'Helsinki. Ils seront ensuite inclus ou non à l'étude après vérification des critères d'inclusion et de non-inclusion.

#### **IV.2.2.1. Critères d'inclusion**

Les critères d'inclusion correspondent aux critères permettant d'inclure les sujets à l'étude. Ces critères seront les suivants :

- Consentement, après avoir reçu une information claire et loyale
- Patient atteint de BPCO, selon les critères GOLD
- Capacité à participer à un programme de réadaptation respiratoire
- Age de plus de 18 ans

#### **IV.2.2.2. Critères de non-inclusion**

Les critères de non-inclusion correspondent aux critères n'autorisant pas l'inclusion des sujets à l'étude. Ces critères de non-inclusion à l'étude seront :

- Absence de consentement ou Non-francophone
- Refus de participation
- Patients sous tutelle ou curatelle
- Patientes enceintes
- Douleurs articulaires du membre supérieur
- Chirurgie récente du membre supérieur

Critères médicaux contre-indiquant la réalisation d'un renforcement type BFR :

- Score > 4 à la grille d'évaluation des profils à risques Kinesport® (*Figure 2*)
- Hypertension sévère ( $TA > 180/100$ ) ou Pression artérielle systolique au repos <100 mmHg
- Antécédents de Thromboembolie veineuse au membre supérieur ou inférieur
- Antécédents de maladie vasculaire périphérique
- Insuffisance cardiaque
- Greffe vasculaire
- Blessures des tissus mous

#### **IV.2.2.3. Critères d'exclusion**

Les critères d'exclusion correspondent aux critères faisant sortir les sujets de l'étude après leur inclusion. Les motifs d'exclusion seront à chaque fois précisés. Ces critères d'exclusion de l'étude seront :

- Ne pas terminer l'étude

#### **IV.2.3. Matériel et méthode**

La technique choisie dans ce protocole est celle pouvant être applicable simplement et avec sécurité en pratique courante. Le dispositif utilisé sera le système de garrot automatisé DELFI Medical Innovations®. Il s'agit d'un dispositif médical de classe I (*faible risque*) [17]. Il permettra en effet de prévenir une modification de la tension artérielle durant l'entraînement. Cet élément permettra également de garantir la fiabilité des mesures de ce protocole, en garantissant un AOP constant. Le dispositif comprendra un brassard, relié par un tuyau étanche au système afin de réguler automatiquement les différents niveaux de pressions (Annexe IX). L'interface du BFR permettra de connaître en temps réel la pression sanguine, le pourcentage d'occlusion, et le déroulement du protocole de renforcement.

Concernant l'utilisation du dispositif, plusieurs éléments seront à prendre en compte. Tout d'abord, le thérapeute devra installer un manchon de protection sur le membre supérieur, pour permettre un confort optimal du patient. Ensuite, il devra définir la taille du brassard en nylon utilisé. Pour ce faire, une périmétrie de la zone recevant le brassard sera réalisée. Sa localisation est sur l'insertion distale du deltoïde (*V-deltoidien*). Ensuite, il s'appuiera sur le tableau renseigné par le fabricant (Annexe X). Enfin, le brassard sera appliqué par un investigateur sur la partie la plus proximale du membre supérieur, soit juste en dessous de l'articulation de l'épaule (Annexe XI). En suivant les recommandations de réglage du fabricant Delfi Medical®, l'utilisateur doit pouvoir placer deux doigts entre le brassard et la peau avant qu'il ne soit gonflé. Cette application est conforme aux recommandations actuelles et respecte les recommandations du fabricant [26, 118].

Ensuite, le patient sera placé en position de repos, allongé sur une table d'examen, pour permettre la prise de mesure. Le dispositif étant automatisé, le brassard comprendra une sonde Doppler et mesurera la pression artérielle systolique. L'investigateur pourra ensuite rentrer sur la machine le pourcentage de AOP. Le système calculera de façon automatisé la pression requise pour obtenir la pression d'occlusion d'entraînement, réglé par l'investigateur. Cette manœuvre sera réalisée à chacun des patients du groupe intervention, avant chaque session d'entraînement. L'occlusion sera de 50% AOP pour toute la durée du programme de renforcement, conformément aux recommandations de Patterson et al sur le membre supérieur [26].

Une fois le calibrage et l'AOP réglés, le patient sera invité à réaliser le programme de renforcement à l'aide du dispositif. Les exercices seront l'abduction d'épaule, la flexion puis l'extension de coude. Le système régulera la pression pour maintenir le même degré d'occlusion tout au long des contractions (*ajustement de ~10-20 mm Hg*). Le masseur-kinésithérapeute, sera présent lors des séances. Il devra être attentif aux variables affichées par le moniteur, et le cardiofréquencemètre.

## IV.2.4. Protocole

### IV.2.4.1. Inclusion et échantillonnage

La première étape consistera à recueillir les consentements ainsi que les critères d'inclusions et de non-inclusion à l'étude. Celle-ci sera réalisée par les masseurs kinésithérapeutes. Les patients donneront leur consentement libre et éclairé, puis une vérification des critères d'inclusion et de non-inclusion sera opérée.

La randomisation permettra de diminuer le biais de sélection. Une personne tierce à l'étude sera utilisée pour permettre de garantir une assignation secrète. La méthode de randomisation choisie sera celle des enveloppes opaques, numérotées et scellées. Les enveloppes contiendront quatre papiers, deux inscrits « groupe I » (groupe intervention), et deux inscrits « groupe C » (groupe contrôle). Il sera alors demandé au patient de piocher les yeux bandés. La procédure séquentielle de randomisation sera préférée. L'investigateur en charge de la randomisation renseignera le groupe attribué sur la fiche de renseignement du patient.

Par la suite, ces données seront remplies dans un tableur excel. Une analyse de la stratification des participants sera réalisée selon l'âge, le sexe, l'IMC, ainsi que le VEMS, le stade de la BPCO et l'index de BODE afin de vérifier l'homogénéité des deux groupes.

Les sujets seront ensuite répartis de manière aléatoire en 2 groupes :

- Groupe contrôle : protocole de réadaptation respiratoire comprenant un renforcement musculaire standard
- Groupe intervention : protocole de réadaptation respiratoire comprenant un renforcement type BFR avec faible charge du membre supérieur

Le diagramme de flux ci-dessous représente le design de la présente étude selon le modèle Consolidated Standards of Reporting Trials (*CONSORT*). Il illustre les patients qui ont été éligibles, recrutés, randomisés et analysés. Il permet également de prendre en compte des patients exclus de l'étude.





1RM sera réalisé après un échauffement à l'aide d'un dynamomètre manuel de type MicroFET®. Les mesures seront prises dans l'ordre suivant : abduction d'épaule, flexion puis extension de coude.

L'échauffement sera composé de mouvements d'abductions d'épaule sans résistance puis de trois contractions sous maximales. Par la suite, trois mesures à 100% de la force maximale volontaire (*FMV*) seront réalisées, conformément aux recommandations [122]. Le temps de contraction doit être de 5 secondes, avec un temps de repos entre les mesures de 1 minute. La moyenne de ces trois mesures sera réalisée afin de gagner en fiabilité. Toujours dans un but de fiabilité du test, les encouragements seront standardisés. Le thérapeute demandera au patient de « Poussez le plus fort possible contre le testeur ». L'investigateur devra ainsi dire « A mon signal , prêt ? » puis « aller » durant l'ensemble du temps de contraction pour chacune des mesures.

La prise de mesure respectera les recommandations de l'étude de Hogrel et al [123]. Pour la position d'évaluation, le sujet sera installé en décubitus dorsal sur une table. L'épaule à tester sera placée à 90° d'abduction dans le plan frontal et le coude à 90° de flexion. L'avant-bras sera en position neutre. Le MicroFet® sera placé perpendiculairement au segment, sur la face latérale du bras, juste au-dessus de l'épicondyle. Une attention particulière à la flexion et rotation d'épaule permettra de limiter les compensations. Le masseur-kinésithérapeute sera chargé de maintenir le dynamomètre dans sa position initiale durant la prise de mesure. Une fois les mesures recueillies, une mesure du bras de levier entre le bord latéral de l'acromion et le milieu de la surface d'appui du dynamomètre sera réalisée. La mesure du bras de levier permet de calculer le moment de force grâce à l'équation suivante :

$$\text{Moment de Force (Nm)} = \text{Force (N)} \times \text{distance bras de levier (m)}$$

Ensuite, le patient sera invité à effectuer la même procédure pour les mesures du coude. L'échauffement sera composé de flexion/extension sans résistances puis de trois contractions sous maximale. La position d'évaluation sera en décubitus dorsal, le coude à 90° de flexion et l'avant bras en position neutre [123]. Le Microfet® sera placé sur le

poignet pour les deux mesures. L'évaluateur sera placé en tête de table, du côté à tester. Il maintiendra le dynamomètre dans sa position initiale durant la prise de mesure. La mesure du bras de levier se fera sur la face latérale de l'avant-bras, de l'épicondyle à la surface d'appui du dynamomètre. Le moment de force sera ainsi calculé à l'aide de la formule ci-dessus.

Par la suite, un investigateur sera chargé de mesurer l'impact de la dyspnée sur les activités de la vie quotidienne. Pour ce faire, il donnera l'auto questionnaire London Chest Activity of Daily Living (*LCADL*) au patient (Annexe VII). Ce questionnaire évaluera l'impact de la dyspnée dans les activités de la vie quotidienne. Il sera composé de 15 items pour un score total de 75 points, répartis en quatre catégories d'activités. Celles-ci seront les loisirs, l'activité physique, les tâches ménagères et les soins personnels. Ce questionnaire pourra alors être rempli en autonomie, et l'investigateur se rendra disponible en cas d'éventuelles questions.

Enfin, un investigateur réalisera le 6 minutes pegboard and ring test (*6MPRT*) avec l'ensemble des patients (Annexe XI). Le patient sera assis devant une table, un plateau canadien sera disposé devant lui. Sur celui-ci, deux pics courts seront installés en avant, et deux pics plus longs en arrière. Les pics seront espacés de douze trous pour une meilleure reproductibilité [124]. Trois anneaux seront disposés sur les pics courts. L'objectif pour le patient sera de déplacer les anneaux le plus grand nombre de fois possible entre les pics courts et longs. Les anneaux seront à déplacer un par un, et simultanément entre les deux membres supérieurs. L'investigateur sera chargé des explications du test, puis du bon déroulement durant les 6 minutes. Le temps sera également indiqué chaque minute, sans encouragement. À la fin du test, le thérapeute devra renseigner le nombre de mouvements effectués.

#### **4.2.4.4. Phase 2 du protocole**

La deuxième phase, sera la phase de déroulement du protocole de renforcement. Durant celle-ci, seule l'échelle de Borg modifiée sera réalisée à chaque séance, avant et après l'effort. Elle permettra d'apprécier l'évolution de la dyspnée durant l'effort [125].

De plus, le seuil de dyspnée est corrélé au niveau de l'entraînement. L'échelle de Borg modifié comprendra des valeurs entre 0 et 10. Cette mesure sera importante pour comparer la dyspnée provoquée par le renforcement type BFR face à un renforcement standard.

Les patients auront 3 séances par semaine de renforcement musculaire du membre supérieur, pendant 8 semaines, soit un total de 22 séances. Ces séances seront espacées d'un jour de repos.

### **a) Protocole de rééducation standard du patient BPCO**

Les deux groupes suivront un séjour de réadaptation respiratoire standard, suivant les recommandations actuelles [7]. L'ensemble des interventions inhérentes au programme de réadaptation seront proposées aux deux groupes de manière identique. Ce suivi similaire permettra de limiter les biais de l'étude, et ainsi de garantir la validité des résultats.

### **b) Sessions de renforcement musculaire des membres supérieurs**

Chacune des séances de rééducation comprendra une session de renforcement musculaire. Cette session sera supervisée par l'un des masseurs-kinésithérapeutes participant à ce travail de recherche et étant professionnel de la structure de réadaptation respiratoire. Les protocoles d'exercices qui seront mis en place sont conçus conformément aux recommandations concernant l'utilisation du BFR [26]. La méthodologie sera la même durant toutes les séances de renforcement et est présenté ci-dessous :

<b>Groupe contrôle</b>	<b>Groupe intervention</b>
Renforcement charges lourdes	Renforcement charges légères + BFR
(10, 10, 10)	(30, 15, 15, 15)
Rythme 1-0-1-0	Rythme 1-0-1-0
1 minute de repos	1 minute de repos
70% FMV	30% FMV
	50% AOP

Les modalités d'entraînements pour le groupe contrôle sont en adéquation avec l'American College of Sports Medicine (ACSM) [126]. Pour le groupe intervention, les recommandations se basent sur l'étude de Patterson et al [26]. La pression d'occlusion sera relâchée entre les exercices, et entre les séries [28]. Le temps de repos entre exercice sera de 2 minutes et entre les séries de 1 minute [26]. L'ensemble du programme de renforcement musculaire des deux groupes sera effectué de façon bilatérale. Le patient réalisera ainsi le renforcement des deux côtés simultanément.

Pour les deux modalités d'entraînement, le poids soulevé lors des exercices sera déterminé en fonction de la force maximale volontaire mesurée durant la phase 1. Par exemple pour l'abduction d'épaule, le placement de l'haltère durant le renforcement devra amener à un ajustement de la valeur obtenue. En effet, le bras de levier entre le bord latéral de l'acromion et le poignet devra être mesurée en mètre, et cette valeur devra diviser la FMV précédemment obtenue. La valeur de force obtenue sera ensuite rentrée dans l'équation suivante :

$$\text{Masse (Kg)} = \text{Force (N)} / g (9,81)$$

Enfin pour obtenir le poids de renforcement en pourcentage de la FMV, un calcul sera nécessaire. Pour le renforcement standard, le calcul sera  $70/100 \times \text{Masse obtenue (Kg)}$ . Pour le renforcement musculaire type BFR, le même calcul sera effectué avec 30 % de la FMV soit  $30/100 \times \text{Masse obtenue (Kg)}$ .

Durant le renforcement musculaire type BFR, la fréquence cardiaque devra être suivie à l'aide d'un cardiofréquencemètre. La tension artérielle sera aussi surveillée à l'aide du dispositif BFR Defli®. Un chariot d'urgence devra être présent dans la salle en cas d'événement indésirable, notamment d'hypotension orthostatique.

### Abduction d'épaule

Le patient sera installé sur un tabouret/chaise le dos droit pour limiter les compensations au niveau du rachis. Démarrant les bras tendus le long du corps, le

patient devra réaliser une abduction d'épaule à 90° bras tendus, avec un haltère dans chaque main. Le poids des haltères aura été défini précédemment avec la méthode ci-dessus. La descente s'effectuera dans un mouvement similaire et contrôlé. Les 2 groupes auront pour consigne « Dans cette position, vous allez devoir lever les bras jusqu'à l'horizontale, et contrôler la descente ».

- Pour le groupe force, le mouvement sera réalisé 10 fois de suite avec un poids à 70% de la FMV.
- Pour le groupe BFR, le patient réalisera 1 série de 30 répétitions puis 3 séries de 15 répétitions, avec une pause de 1 minute de récupération entre chaque série. Le poids sera à 30% de la FMV. La pression du brassard sera relâchée lors des phases de récupération.

#### Flexion de coude

Le patient sera installé dans la même position que l'exercice précédent. Cependant, cette fois-ci, le patient sera amené à plier le coude avec un poids dans la main. Ainsi un mouvement de l'articulation du coude de 0° d'extension à 135° de flexion, puis de retour à 0° d'extension sera réalisé [116]. L'épaule sera immobile durant l'ensemble du mouvement dans la position anatomique de référence. Le poids des haltères aura été défini précédemment avec la méthode ci-dessus. Les 2 groupes auront pour consigne « Dans cette position, vous allez devoir plier les bras, et contrôler la descente ».

- Pour le groupe force, le mouvement sera réalisé 10 fois de suite avec un poids à 70% de la FMV.
- Pour le groupe BFR, le patient réalisera 1 série de 30 répétitions puis 3 séries de 15 répétitions, avec une pause de 1 minute de récupération entre chaque série. Le poids sera à 30% de la FMV. La pression du brassard sera relâchée lors des phases de récupération.

#### Extension de coude

Pour ce dernier exercice, le patient sera allongé sur un plan horizontal. Il disposera d'une haltère dans chaque main, les bras verticaux. Le poids des haltères aura été défini précédemment avec la méthode ci-dessus. Il lui sera demandé de réaliser une flexion du coude à 135° puis de revenir à la position de départ en extension à 0°. Dans cet exercice seul l'avant-bras bougera, le bras devra rester fixe avec une flexion à 90° d'épaule. Les 2 groupes auront pour consigne « Dans cette position vous allez devoir plier les bras, et contrôler la descente ».

- Pour le groupe force, le mouvement sera réalisé 10 fois de suite avec un poids à 70% de la FMV.
- Pour le groupe BFR, le patient réalisera 1 série de 30 répétitions puis 3 séries de 15 répétitions, avec une pause de 1 minute de récupération entre chaque série. Le poids sera à 30% de la FMV. La pression du brassard sera relâchée lors des phases de récupération.

#### 4.2.4.5. Phase 3 du protocole

Enfin la dernière phase correspondra à la prise de mesure, lors de la dernière séance du protocole. Les mesures seront prises dans des situations identiques à la phase 1. L'ordre des mesures sera similaire. À la fin de cette phase, les données seront transmises pour les analyser. Le diagramme suivant représente l'ensemble des tests réalisés lors de cette étude :

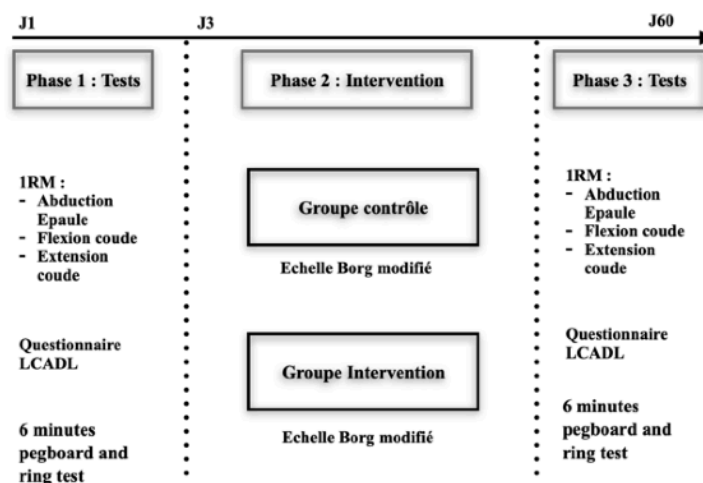


Figure 6 : Représentation des tests du protocole

#### **4.2.5. Critères de jugements**

##### **4.2.5.1. Critère de jugement principal**

Le critère de jugement principal de l'étude sera la force maximale volontaire du membre supérieur en abduction d'épaule, flexion et extension de coude. Les investigateurs devront évaluer la force musculaire des 3 mouvements spécifiques à l'aide d'un dynamomètre. La force maximale isométrique volontaire sera ainsi notée pour chaque patient comme développé dans la phase 1 du déroulement de l'étude.

##### **4.2.5.2. Critères de jugements secondaires**

La seconde hypothèse concernera l'amélioration d'utilisation fonctionnelle du membre supérieur après un programme de renforcement. Pour objectiver un changement, le 6 minutes pegboard and ring test (*6PBRT*), encore appelé le test de la planche et de l'anneau de 6 minutes sera utilisé. Il permettra d'évaluer la capacité à l'exercice des membres supérieurs chez le patient BPCO. Selon Takeda et al, il y a une corrélation positive entre le score 6PBRT et la capacité inspiratoire et pulmonaire. La même étude montre que le 6PBRT peut être utilisé comme un marqueur prédictif des activités de la vie quotidienne des membres supérieurs chez les patients atteints de BPCO [127].

Dans cette étude, la dyspnée sera mesurée lors des exercices des membres supérieurs sous BFR chez le patient BPCO. Une échelle de Borg modifiée sera ainsi utilisée avant et à la fin du renforcement musculaire des deux groupes. Cette échelle est un outil d'évaluation fiable, validé, et utilisé en pratique courante dans les protocoles de réadaptation respiratoire. Sa rapidité d'utilisation, ainsi que sa simplicité de compréhension pour le patient en feront un outil de choix pour évaluer ce paramètre secondaire. Elle est validée pour mesurer la dyspnée chez le patient BPCO [125].

La dernière hypothèse formulée indiquera si le renforcement type BFR permet de diminuer l'impact de la dyspnée dans la vie quotidienne. Pour investiguer ce



paramètre, le questionnaire London Chest Activity of Daily Living (*LCADL*) sera utilisé au début et à la fin de l'intervention (Annexe VII). Il constituera un questionnaire de 75 points, plus le score est élevé et plus l'impact de la dyspnée sera important. Il est validé pour des patients BPCO, la différence minimale importante du *LCADL* est évalué à 4 points [128].

#### 4.2.6. Traitements des données

##### 4.2.6.1. Caractéristiques générales de l'échantillon

Les informations relatives correspondant aux caractéristiques générales des patients seront renseignées sur un fichier Excel. Ainsi l'âge, le poids, la taille, le stade BPCO selon GOLD, l'IMC, le VEMS seront renseignés afin de dresser un tableau de chaque groupe.

##### 4.2.6.2. Analyses statistiques

L'étude pilote sera de non-infériorité, le but est de montrer l'effet du renforcement type BFR comparé au traitement de référence [129]. Une analyse en intention de traiter sera conduite pour l'ensemble des patients inclus après randomisation (*intention to treat ITT*).

Au début de l'étude, une analyse statique descriptive sera préférée pour comparer l'homogénéité des groupes. Chaque caractéristique des sujets sera analysée à l'aide des paramètres usuels, soit la moyenne et l'écart-type. Le tableau ci-dessous représentera les caractéristiques des deux groupes avant intervention :

	Groupe contrôle	Groupe Intervention
Nombre	.../...	.../...
Femme n(%)	.../...	.../...
Homme n(%)	.../...	.../...
Age (années)	.../...	.../...
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	.../...	.../...
VEMS (% théorique)	.../...	.../...
Stade GOLD	.../...	.../...
Index Bode	.../...	.../...

Le traitement statistique s'effectuera après les 8 semaines de l'étude. Il sera également réalisé par un statisticien, pour rester aveugle face à l'évolution des deux groupes. Les caractéristiques des différents tests seront détaillées dans le tableau suivant :

	Groupe contrôle	Groupe Intervention
1RM	.../...	.../...
LCADL	.../...	.../...
Borg modifiée	.../...	.../...
6PBRT	.../...	.../...

#### **4.2.7. Faisabilité de l'étude**

##### **4.2.7.1. Conformité aux pratiques**

L'étude respectera les recommandations de prise en charge sur la pathologie BPCO, se basant notamment sur le rapport de l'American Thoracic Society [7]. Les étapes ainsi que les exercices proposés dans cette étude seront respectueux des principes et des objectifs de la prise en charge en réadaptation respiratoire.

Ce protocole prendra en compte les recommandations d'utilisation du BFR [26]. Le respect de ces recommandations permettra une utilisation optimale et sécurisée. Ce point est primordial pour permettre une utilisation du dispositif sur une population fragile [28].

Le protocole de recherche sera conçu en adéquation avec les recommandations de bonnes pratiques. Il respectera la déclaration d'Helsinki pour le consentement libre et éclairé. Il sera aussi conforme aux pratiques éthiques liées à la recherche. Les sujets inclus seront également en droit de se retirer au cours de l'étude, sans que cela n'impacte leur rééducation. La confidentialité des données personnelles et des résultats sera respectée. Ce protocole d'étude sera soumis à un comité de protection des personnes (CPP), qui permettra de valider la faisabilité de l'étude.

#### **4.2.7.2. Les ressources**

##### **a) Ressources humaines**

Concernant les ressources humaines nécessaires, plusieurs masseurs-kinésithérapeutes seront impliqués pour mener à bien les inclusions de cette étude. Par la suite, ces professionnels mettront en place le renforcement musculaire dans un centre de réadaptation respiratoire, devenant investigateurs pour les 8 semaines du protocole. Ils mettront en place l'intervention et recueilleront les données. Les investigateurs devront donc être familiers avec les protocoles de réadaptation respiratoire et notamment celui du renforcement du membre supérieur. Une formation sur l'utilisation du BFR, ainsi que le déroulement du protocole devront être dispensés. Un statisticien indépendant à l'étude sera chargé de l'analyse des résultats ainsi que de la randomisation.

##### **b) Ressources matérielles**

Plusieurs ressources matérielles spécifiques à cette étude seront également nécessaires. L'investissement du dispositif automatisé Delfi Medical Innovations® constituera l'élément central de la présente étude. Le système personnalisé de garrot, les manchons de protection des membres ainsi que les différents brassards occlusifs seront à prendre en compte dans l'élaboration de ce protocole.

Le matériel choisi pour mesure de la force maximale volontaire sera le MircoFET2®. Il sera un outil de mesure indispensable à la présente étude. Son choix permettra de limiter le coût de l'étude en comparaison à l'utilisation d'une machine d'isocinétisme, tout en garantissant une bonne fiabilité si un protocole sera mis en place. Dans la revue de littérature de ce mémoire, plusieurs études utilisent un dynamomètre portable [114, 115, 118, 120].

Enfin, un stylo, un cardiofréquencemètre, un plateau canadien avec 2 grands bâtons et deux petits, 3 anneaux, une chaise sans accoudoirs/tabouret, des haltères de poids allant de 500g à 7kg [123], un chariot d'urgence seront des éléments à prévoir pour cette étude.

## **V. Discussion**

L'intérêt de ce mémoire était d'explorer les effets du BFR sur le membre supérieur, et par la suite de montrer sa possible utilisation sur une population atteinte de BPCO. L'utilisation d'une méthodologie mixte m'a permis de répondre à la problématique. La revue de littérature a permis de faire un état des lieux des connaissances sur le BFR et le membre supérieur. Par la suite, le protocole de recherche a montré une possible utilisation du dispositif sur une population BPCO.

Dans cette partie, une analyse de la revue de littérature ainsi que ses limites seront discutées. Dans une deuxième partie, l'intérêt du protocole de recherche sera mis en avant ainsi que ses freins éventuels. Dans un dernier temps, une réponse aux hypothèses de ce mémoire sera formulée.

### **V.1 Les données de la littérature**

L'idée principale ressortant de cette revue de littérature est l'importante hétérogénéité des protocoles des études incluses. Cependant, le consensus établi par ce travail sur l'utilisation du BFR, montre une amélioration de la force du membre supérieur.

#### **V.1.1. Effet du BFR sur le membre supérieur**

Selon les résultats de la revue de la littérature, l'utilisation du BFR permet un gain de force et d'hypertrophie à la suite d'un programme de renforcement [115, 116, 117, 118, 119, 120]. Lorsque l'on compare ce gain à un renforcement avec des charges lourdes, les études montrent que les charges lourdes restent supérieures sur ce paramètre. Ce fait est également retrouvé dans deux méta-analyses, dont l'une portant sur une population de patients âgés [2, 34].

Pour la comparaison avec des charges légères, ce rapport s'inverse en faveur du BFR [115, 118]. Le renforcement musculaire avec charge légère était de 30%-40% de la 1RM. L'étude de Farup et al, montre qu'un entraînement charge légère conduit jusqu'à

l'échec musculaire mené des effets sensiblement similaires sur la force en comparaison au renforcement type BFR [120]. Cependant, le nombre de répétitions pour l'entraînement charge légère sans BFR est trois fois plus important, ce qui constitue une limite d'adhésion du patient.

L'ensemble des études incluses dans cette revue réalisent leur protocole sur une population saine. Ces résultats, concernant la force et l'hypertrophie musculaire, sont retrouvés de manière similaire dans plusieurs méta-analyses chez des patients âgés [2, 34].

En conclusion le renforcement musculaire type BFR s'avère plus efficace qu'un travail à charge légère et potentiellement mieux toléré qu'un travail à charge lourde.

### **V.1.3. Points forts et limites**

Une méthode rigoureuse et standardisée selon le modèle « *Prisma Statement* » a été suivie pour cette revue de littérature [130]. L'utilisation de plusieurs bases de données a permis d'étoffer le nombre d'études incluses. De plus, une évaluation de la qualité méthodologique et des éventuels biais a été conduite, selon le processus de sélection PEDro [113]. Cependant la réalisation de cette revue présente un biais venant attacher la reproductibilité de cette méthode rigoureuse. En effet, tout son processus a été réalisé par une seule personne, n'assurant pas une reproductibilité des procédures [131].

Cette revue de littérature possède plusieurs autres biais méthodologiques. Certaines publications ont un score PEDro de 5, ce qui constitue la limite basse fixée préalablement [117, 120]. Le score moyen est de 6 points, soit une méthodologie « moyenne ». Cependant, comme un grand nombre d'essais en kinésithérapie, plusieurs items ne sont pas réalisables en pratique. Ces items sont l'aveuglement du traitement au patient ainsi qu'à l'investigateur (*items 5/6*). Pour répondre à cette limite, une analyse détaillée de ces biais permet de mettre en lumière les limitations de chaque article et de nuancer la fiabilité des résultats trouvés.

L'étude de Farup et al possède un biais de confusion élevé [120]. L'ensemble des patients sont randomisés dans les deux groupes de l'étude. Le renforcement type BFR et l'entraînement en faible résistance étant utilisés, soit sur le bras gauche ou droit du patient. Or, un facteur peut influencer les résultats de l'étude. L'effet controlatéral systémique du BFR n'est ici pas pris en compte. L'étude de Bowman et al montre un effet minime de ce point, bien qu'aucune preuve ne fasse consensus dans la littérature [115]. Cette méthodologie questionne également sur l'influence de la latéralité sur les résultats de l'étude.

Fernandez et al ne montrent pas de résultats, au regard d'une analyse statistique (p-valeur), de la force musculaire de préhension [114]. Plusieurs explications peuvent être trouvées. Par exemple, la durée du protocole de 4 semaines n'a pas permis d'évolution significative sur ce paramètre [1]. De plus, les méthodes d'utilisation de dynamomètres manuels ou de mesures centimétriques peuvent présenter des biais de mesure si elles ne sont pas utilisées dans le cadre d'un protocole strict [121, 122, 123].

Une autre limitation concerne la comparaison entre les études. Une analyse des résultats par données n'a donc pas pu être conduite dans cette revue de littérature. Les protocoles sont trop différents, sur les paramètres d'entraînement, comme le montre le tableau en annexe V. Loenneke et al évoquent le même constat de disparité des protocoles BFR dans une méta-analyse [1].

Le temps de déroulement du protocole n'est pas le même entre les études. Ainsi Lambert et al réalisent un protocole sur 8 semaines, alors que Fernandez et al juge 4 semaines pertinentes [114, 118].

Les moyens de détermination de l'occlusion ne font pas consensus dans la littérature scientifique [26, 31, 32]. Deux méthodes sont ainsi retrouvées, et peuvent poser problème lors d'une analyse comparative. Certaines études déterminent l'occlusion en pourcentage de l'occlusion totale du membre (*AOP*) [115,118]. En raison d'une variation de tension artérielle entre les individus, une évaluation individualisée de chaque patient est nécessaire. L'autre méthode consiste à appliquer une pression unique à chaque individu [114, 116, 117, 119, 120]. Les recommandations sont pourtant en

faveur de la première méthode, permettant d'individualiser le dispositif [26]. Le consensus d'utilisation du dispositif est de 50% du AOP pour le membre supérieur [31].

Enfin, les modalités d'exercices sont très disparates entre les protocoles de cette revue. Certaines études utilisent ainsi 70% de la force maximale volontaire (*IRM*) pour comparer le BFR avec des charges lourdes [114, 116, 117, 119]. D'autres études utilisent une comparaison avec charge légère de l'ordre de 40% de la 1RM [120], 30% [115], et 20% [118]. Les recommandations de l'American College of Sports Médecine (*ACSM*), et de Patterson et al doivent guider la réalisation des protocoles afin de tendre vers une homogénéisation de ces paramètres [26][126].

L'investigation de la méthode BFR est récente dans la littérature scientifique. Son impact sur la physiologie à long terme est encore peu étudié et nécessite de plus amples investigations [13].

## **V.2. Protocole**

Ce protocole d'étude pilote contrôlée randomisée est le premier qui explore les effets d'un programme de renforcement musculaire des membres supérieurs avec BFR sur des patients atteint de BPCO.

### **V.2.1. Utilisation du BFR sur des patients BPCO**

Le membre supérieur ne montre pas de perte de force importante chez des patients atteints de BPCO [7]. Cependant, il est recommandé de renforcer ces derniers afin de diminuer leur fatigabilité et ainsi de diminuer l'essoufflement lors de leur utilisation [132].

Les patients les plus sévères sont les plus améliorés durant un séjour de réadaptation respiratoire [110]. Cependant, le choix de patients de tous stades de BPCO dans cette étude pilote, permettra de donner une tendance sur les hypothèses de ce mémoire. En effet, l'analyse en fonction du stade de la BPCO, permettra d'affiner l'inclusion dans une prochaine étude.

Néanmoins, l'entraînement de la force du membre supérieur est une méthode de traitement reconnu, utilisé pour des patients atteints de BPCO en pratique clinique [133]. Cependant des paramètres comme l'évolution de la dyspnée, l'utilisation du membre supérieur dans la vie quotidienne, et l'adhésion au traitement sont des hypothèses à investir avec l'utilisation du BFR [104]. Une étude de cas investit ces domaines en montrant que le ressenti de la patiente à l'effort est meilleur qu'un entraînement traditionnel [11]. De plus amples investigations sont nécessaires pour permettre de dresser des conclusions claires. Le protocole de ce mémoire propose ainsi un moyen d'investir ce domaine.

Concernant la sécurité du dispositif, un étude de grande envergure a permis de rendre compte des effets indésirables sur une population générale [66]. Les risques encourus par les patients ne semblent ainsi pas supérieurs à un entraînement traditionnel [13]. Néanmoins, les changements de pression artérielle obligent une exclusion des patients présentant des problèmes cardio-vasculaires [134]. Cela s'explique par une plus grande activation du métaboréflexe musculaire pour le renforcement musculaire type BFR en comparaison au renforcement musculaire avec des charges lourdes [28]. Toutefois, Madarame et al ont utilisé le dispositif sur des patients souffrant de cardiopathie ischémique stable [72]. Dans cette étude, aucune modification significative des processus d'hémostase n'a été retrouvée, comparée à un entraînement traditionnel. Cependant, la fréquence cardiaque et la concentration de noradrénaline étaient plus élevées dans le groupe de renforcement musculaire type BFR que dans le groupe de renforcement charges lourdes [72]. Certaines variables du renforcement musculaire type BFR sont donc à prendre en compte pour garantir une sécurité du dispositif [26][28].

Les paramètres optimaux d'utilisation sur une population BPCO ont été utilisés dans ce protocole. Les études montrent qu'un temps d'entraînement BFR supérieur à 6 semaines entraîne un gain de force et d'hypertrophie [1]. De plus, la fréquence optimale d'utilisation du dispositif pour la force et l'hypertrophie est de 2 à 3 fois par semaine [1].



Enfin, l'exercice sous BFR, appliqué au membre supérieur, semble permettre une augmentation de la taille et de la force des muscles qui ne sont pas distaux à l'occlusion sous BFR [117]. Hypothétiquement certains muscles respiratoires pourraient être affectés par l'entraînement de BFR, mais cela est actuellement inconnu [135].

Cette étude propose une alternative lorsque la thérapie actuellement mise en place ne répond pas au patient. Des patients présentant des douleurs aux articulations du membre supérieur, ou une dyspnée importante à l'effort pourraient utiliser le dispositif. En effet, des sujets peuvent faire l'objet de capacité physique limitée ou de contre-indications à la réalisation d'exercices de haute intensité. De plus, certains patients présente un risque accru de déchirures musculaires dues à un traitement chronique aux stéroïdes, un stress important apporté par des charges lourdes n'est alors pas optimal [135]. Les patients atteints de BPCO souffrant d'ostéoporose peuvent aussi être contre-indiqués pour effectuer des exercices en résistance de haute intensité en raison du stress imposé aux articulations.

Enfin, ce protocole permettrait de valider l'utilisation du dispositif sur le membre supérieur pour ce type de population dans un programme de réadaptation respiratoire. Par la suite, une utilisation du BFR pourra être envisagée sur une plus grande population [135].

### **V.2.2. Points forts**

La conception d'une étude pilote permet de réaliser une étude préliminaire sur l'utilisation du renforcement musculaire type BFR sur le membre supérieur. Un petit nombre de patients sera inclus, afin de gagner en faisabilité. L'issue de cette étude pilote permettra de définir la meilleure façon de mener ce projet à plus grande échelle.

La réalisation de ce protocole de recherche a cherché à limiter les biais de conception. En effet, une erreur systématique, aléatoire ou une généralisation limitée peuvent ternir les données du protocole. La conception de l'étude doit en prendre compte afin d'en limiter les risques, et de permettre d'augmenter la qualité méthodologique [129].

Une validité interne élevée signifie que les différences observées entre les groupes sont liées à l'intervention testée dans l'essai. Les deux principales menaces à la validité interne sont le biais et l'erreur aléatoire.

Le protocole ainsi construit permet de recueillir deux groupes. Les analyses statistiques et la randomisation sont effectuées par des statisticiens, garantissant une qualité d'analyse. Le biais de sélection sera ainsi contrôlé par cette randomisation. L'objectif principal est de s'assurer que chaque individu a une probabilité égale d'être assigné à l'un ou à l'autre des traitements.

Les prises de mesures sont effectuées en aveugles quant au groupe testé, par des investigateurs formés. Le biais de détection sera ainsi contrôlé, car il n'y aura pas d'interaction autre que celle explicitée dans ce protocole entre le sujet et l'évaluateur. La marge de manœuvre de l'évaluateur est très fine, en effet, le protocole est suffisamment détaillé pour pallier aux différentes situations. La description précise du protocole permet donc une facilité de mise en application de l'étude.

La réalisation de ce protocole au sein d'un programme de réadaptation respiratoire, son temps de mesure restreint, ainsi que le temps du protocole permettent de réduire le risque d'abandon de l'étude et assurent une bonne faisabilité. De plus, une approche en intention de traiter (*ITT*) sera réalisée pour ce protocole. Tous les participants qui seront randomisés devront être inclus dans l'analyse, qu'ils aient terminé l'étude ou qu'ils l'aient abandonnée. Ces éléments permettent de limiter le biais d'attrition [129]. Il se produit si lors de l'analyse on note une différence entre le nombre de participants initiaux et celui enregistré à la fin de l'étude. Par exemple, le groupe intervention propose de bons résultats sur la dyspnée à l'effort avec utilisation du dispositif, mais 30% des patients ont abandonné l'étude. Leur abandon peut être expliqué par ce paramètre et donc ces résultats non pris en compte peuvent fausser les résultats finaux.

Le calcul de la marge de non-infériorité, déterminé par un statisticien, permettra de calculer la taille de l'échantillon nécessaire ainsi que la puissance de l'étude. Une estimation de l'erreur aléatoire permettra de recruter un nombre suffisant de sujets.

La validité externe décrit la mesure dans laquelle les résultats peuvent être généralisés à la pratique clinique et à la population générale. Ainsi, la réalisation de ce protocole dans un programme complet de réadaptation respiratoire permet d'augmenter cette validité. La validité interne étant préalable, afin de garantir des résultats interprétables. Le choix d'un échantillon large de patient atteint de BPCO, permet de montrer une tendance pour ce type de population.

Ce protocole propose la réalisation d'une étude contrôlée randomisée suivant les recommandations de la déclaration Consolidated Standards of Reporting Trials (*CONSORT*). Elle se compose d'une liste de 25 items pour guider la structuration de l'étude [135]. L'organigramme de flux respecte ainsi les recommandations. Les parties « Méthode » et « Résultat » ont servi de base à la réalisation de ce protocole.

### **V.2.3. Limites**

Le coût du dispositif BFR Delfi médical innovation® représente l'une des principales limites de ce protocole. De plus, le matériel provient des Etats-Unis, son temps d'importation est donc à prévoir en amont de l'intervention. Un dispositif similaire est disponible en France, mais son utilisation n'est pas répandue en recherche clinique, il pourrait donc constituer un frein.

Néanmoins, le BFR Delfi® est utilisé dans un grand nombre de protocoles expérimentaux de par sa sécurité et sa fiabilité. La possibilité de maintenir un niveau d'occlusion permanent durant la réalisation de l'exercice permet de garantir une fiabilité dans les résultats [25].

L'utilisation du dispositif BFR n'est pas répandue dans les centres de réadaptation respiratoire. Une formation sur l'utilisation du dispositif sera donc nécessaire pour les investigateurs de l'étude. Ce temps est à prévoir et devra être fixé en amont de l'étude.

Ce protocole utilise le consensus sur le nombre de répétitions avec utilisation du dispositif BFR [26]. Celui-ci se base notamment sur l'étude de Scott et al, qui

recommande le protocole d'entraînement « 30-15-15-15 » pour des programmes d'entraînement isotoniques [31]. Deux modifications sont apportées à celui-ci pour permettre une utilisation dans ce protocole chez des patients BPCO. Le premier est le temps de repos, il est fixé à une minute pour être similaire au groupe contrôle et limiter un biais à son égard. Deuxièmement, l'occlusion n'est pas maintenue durant les périodes de repos. Cette modification permet un gain de confort et de sécurité pour le patient [13, 28].

Ce protocole possède un biais de performance pouvant limiter sa validité interne. Cependant, la revue de littérature a montré qu'un protocole expérimental utilisant le BFR ne permet pas d'y faire face. L'insu des participants et des soignants ne peut ainsi être respecté. Les deux groupes sont facilement distingués par l'investigateur et le patient. Les conditions du groupe intervention étant caractéristiques face aux conditions du groupe contrôle. En effet, le dispositif est identifiable facilement, et la sensation d'occlusion permet une reconnaissance du patient. L'étude pilote pourra amener par la suite la réalisation d'un essai contrôlé randomisé avec un groupe BFR placebo.

Cependant, la formation des masseurs-kinésithérapeutes sera identique pour chaque groupe avant intervention. Les prises de mesures de la phase 2 seront standardisées grâce à une échelle validée. Pour les phases 1 et 3, les investigateurs seront aveugles quant au groupe évalué. Ces investigateurs pourront être extérieurs au service.

La validité externe peut également être compromise dans ce protocole. En effet, les critères de non-inclusions et d'exclusions peuvent exclure une partie de la population BPCO présente dans un programme de réadaptation respiratoire. En effet, des patients ayant des problèmes cardiovasculaires ne pourront bénéficier de ce dispositif, par souci de sécurité [134]. L'utilisation ne pourra donc être généralisable à l'ensemble des patients BPCO. Cependant, ce protocole de non-infériorité veut permettre d'explorer un moyen alternatif de renforcement pour certains patients.

L'inclusion dans ce protocole, de patients BPCO de tous stades peut constituer une limite. En effet, l'inclusion de patient BPCO sévère à très sévère semblerait amener à de meilleurs résultats sur les hypothèses. Cependant cette population est également la plus à risque de développer des complications, les critères d'exclusion pourrait alors compliquer l'inclusion de patients. Le choix est donc d'avoir un échantillon large, afin de gagner en faisabilité. De plus, en fonction des résultats obtenus dans cette étude, la population pourra être affinée lors d'une prochain essai contrôlé randomisé. L'étude pilote permettra de donner une tendance, pour une utilisation dans un programme de renforcement en réadaptation respiratoire. De plus, l'essoufflement perçu par le patient n'est pas en rapport avec l'évolution de la pathologie et le déclin de la fonction respiratoire [107]. Une analyse des résultats de l'étude, en fonction du stade de la BPCO, permettra également de donner une tendance sur la meilleure utilisation du BFR. Enfin, les études en cours sur la pathologie avec utilisation du dispositif BFR au membre inférieur, intègre tous les stades de BPCO [78, 79, 135]. Seules les études de Gunes et al, portent sur des stades de BPCO modérées à sévères [80, 81]. Il semble qu'elles se basent sur l'étude de Swallow et al, montrant que la force du quadriceps est prédicteur de mortalité chez les patients atteints de BPCO modérée à sévère [4].

### **V.3. Retour sur les hypothèses**

L'objectif de cette revue de la littérature, ainsi que du protocole est de confirmer ou d'infirmer les hypothèses émises au sujet du questionnement de départ.

La revue de littérature permet de constater l'intérêt du BFR sur le membre supérieur. Elle montre cependant une pratique disparate, ne suivant pas toujours les recommandations sur les paramètres d'entraînement avec BFR. Ces recommandations ont été établies à la suite d'études contrôlées randomisées. L'optimisation de ces paramètres d'entraînement permet de dresser un protocole plus sécuritaire et précis.

L'hypothèse principale de ce mémoire possède plusieurs éléments de réponse. En effet, le BFR semblerait augmenter la force des membres supérieurs, chez le patient

BPCO. Les charges déployées seraient plus faibles qu'un entraînement traditionnel, et le gain de force inférieur à celui d'un entraînement avec charges lourdes. Les résultats du protocole permettront de donner une tendance sur cette hypothèse.

« *Le BFR peut être utilisé pour une étude de faisabilité, dans un programme de réadaptation respiratoire* » est une hypothèse faisant consensus à l'issue de ce mémoire. Le protocole pourra permettre d'utiliser le BFR, en recherche clinique, dans un programme de réadaptation respiratoire. La sélectivité de l'inclusion, et le suivi durant le protocole permettra de garantir la sécurité des patients. Une investigation future, à l'aide du protocole décrit, pourra permettre d'apporter des éléments de réponses aux autres hypothèses.

Les hypothèses secondaires, sur l'amélioration de la capacité fonctionnelle des membres supérieurs et sur la diminution de l'essoufflement trouvent moins d'éléments de réponse probante dans ce mémoire. Celles-ci ne sont pas vérifiées pour le moment, l'étude pilote pourra ainsi donner une tendance.

## VI. Conclusion

La bronchopneumopathie chronique obstructive (*BPCO*), à point de départ respiratoire, s'installe progressivement comme une maladie générale [7]. De nombreuses comorbidités associées à la pathologie peuvent venir entacher la qualité de vie du patient. La dysfonction musculaire périphérique en est un exemple probant. Elle est la conséquence de l'installation d'une spirale de la dyspnée et du déconditionnement psychosocial. Des séjours de réadaptation respiratoire sont alors proposés pour répondre, sans y être limités, de manière efficace à ces problèmes. Or, le *Blood Flow Restriction (BFR)* est une modalité de renforcement musculaire présentant un intérêt pour ce type de programme. L'objectif de ce mémoire était de savoir si **l'utilisation de la méthode BFR, chez des patients BPCO, peut améliorer la force et la fonction des membres supérieurs, diminuer l'essoufflement à l'effort, tout en étant sécurisante pour le sujet.**

Cette revue de littérature montre l'intérêt du BFR sur le membre supérieur chez des patients sains. Des gains de force et d'hypertrophie sont retrouvés après son utilisation. Le ressenti à l'effort semble moins élevé comparé à un entraînement avec charges lourdes. Enfin, l'utilisation sur une population BPCO ne présente pas de contre-indication, en excluant les patients ayant des antécédents cardiovasculaires.

Cependant, de plus amples investigations sont nécessaires avec une uniformisation des pratiques afin de dresser des conclusions solides. Actuellement, aucune étude ne s'intéresse au renforcement des membres supérieurs avec le dispositif, chez des patients BPCO. Cette technique étant encore émergente en kinésithérapie, des investigations similaires à ce mémoire permettraient d'apporter des éléments de réponse quant à son utilisation. La proposition d'un protocole de recherche est donc en cohérence avec l'état actuel de la littérature scientifique.

Les voies futures de recherche pourront également analyser d'autres utilisations du BFR sur le patient BPCO. Par exemple, son utilisation pourrait être intéressante pour un renforcement en endurance du membre supérieur.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bembien MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* mai 2012;112(5):1849-59.
2. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* juill 2017;51(13):1003-11.
3. Florian J. Intérêt du Blood Flow Restriction sur la reprise de course à pied après une reconstruction du LCA : revue de littérature et protocole108.
4. Swallow EB, Reyes D, Hopkinson NS, Man WD-C, Porcher R, Cetti EJ, et al. Quadriceps strength predicts mortality in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* févr 2007;62(2):115-20.
5. Robles PG, Mathur S, Janaudis-Ferreira T, Dolmage TE, Goldstein RS, Brooks D. Measurement of peripheral muscle strength in individuals with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* févr 2011;31(1):11-24.
6. Janaudis-Ferreira T, Hill K, Goldstein R, Wadell K, Brooks D. Arm exercise training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2009;29: 277–283.
7. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, ZuWallack R, Nici L, Rochester C, et al. An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Key Concepts and Advances in Pulmonary Rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med.* 15 oct 2013;188(8):e13-64.
8. Barreiro E, Gea J. Respiratory and Limb Muscle Dysfunction in COPD. *COPD.* 2015 Aug;12(4):413-26.
9. Zhang F, Zhong Y, Qin Z, Li X, Wang W. Effect of muscle training on dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore).* 2021 Mars
10. Bjoernshave B, Korsgaard J, Nielsen CV. Does pulmonary rehabilitation work in clinical practice? A review on selection and dropout in randomized controlled trials on pulmonary rehabilitation. *Clinical epidemiology.* Aug 9 2010;2:73-83.



11. Kohlbrenner D, Aregger C, Osswald M, Sievi NA, Clarenbach CF. Blood-flow restricted strength training combined with high-load strength and endurance training in pulmonary rehabilitation for COPD: a case report. *Phys Ther.* 14 févr 2021;
12. Sato Y. The history and future of KAATSU Training. *Int J KAATSU Training Res.* 2005;1(1):1-5.
13. Vopat BG, Vopat LM, Bechtold MM, Hodge KA. Blood Flow Restriction Therapy: Where We Are and Where We Are Going. *J Am Acad Orthop Surg.* 15 juin 2020;28(12):e493-500.
14. Scott BR, Slattery KM, Sculley DV, Dascombe BJ: Hypoxia and resistance exercise: A comparison of localized and systemic methods. *Sports Med* 2014;44: 1037-1054.
15. Iida H, Kurano M, Takano H, Kubota N, Morita T, Meguro K, Sato Y, Abe T, Yamazaki Y, Uno K, Takenaka K, Hirose K, Nakajima T (2007) Hemodynamic and neurohumoral responses to the restriction of femoral blood flow by KAATSU in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol* 100:275–285.
16. Tegtbur, U.; Haufe, S.; Busse, M. W. (2020). Anwendung und Effekte des blood flow restriction training; Application and effects of blood flow restriction training; . *Der Unfallchirurg*, 123(3), 170–175.
17. Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, Mangine RE, Head P, Grindstaff TL, Morrison S. Blood Flow Restriction Training. *J Athl Train.* 2021 Sep 1;56(9):937-944.
18. Site Defli medical. (Page consultée le 25/04/2022). PERSONALIZED BLOOD FLOW RESTRICTION PRODUCT CATALOG, [en ligne]. <https://www.delfimedical.com/wp-content/uploads/2020/09/D-4900-038-Rev.1-BFR-Catalog-LR.pdf>
19. Site Kaatsu. (Page consultée le 25/04/2022). KAATSU Master 2.0 Package, [en ligne]. <https://www.kaatsu.com/?action=store.details&pid=3>
20. Site Mad-Up. (Page consultée le 25/04/2022). Mad-up pro, [en ligne]. <https://mad-up.com/fr/mad-up-pro>
21. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA: Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res* 2013;27:3068-3075.
22. Site Hpluscuff. (Page consultée le 25/04/2022). H+ Cuff Blood Flow Restriction Cuffs, [en ligne]. <https://hpluscuff.com/collections/h-cuff-blood-flow-restriction-cuffs>
23. Site Fit Cuffs. (Page consultée le 25/04/2022). Fit Cuffs products, [en ligne]. <https://fitcuffs.com/products/>

24. Site BFR shop. (Page consultée le 25/04/2022). PRO-X EDITION ADJUSTABLE OCCLUSION TRAINING BANDS, [en ligne]. <https://www.bfrshop.com/products/pro-x>
25. Weatherholt AM, Vanwyke WR, Lohmann J, Owens JG. The Effect of Cuff Width for Determining Limb Occlusion Pressure: A Comparison of Blood Flow Restriction Devices.
26. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol.* 2019;10:533.
27. Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Mattocks, K. T., et al. (2017). Influence of cuff material on blood flow restriction stimulus in the upper body. *J. Physiol. Sci.* 67, 207–215.
28. Cristina-Oliveira M, Meireles K et al (2020) Clinical safety of blood flow-restricted training? A comprehensive review of altered muscle metaboreflex in cardiovascular disease during ischemic exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 318(1):H90–H109.
29. Trofa DP, Obana KK, Herndon CL, Noticewala MS, Parisien RL, Popkin CA, et al. The Evidence for Common Nonsurgical Modalities in Sports Medicine, Part 2: Cupping and Blood Flow Restriction. *JAAOS: Global Research and Reviews.* janv 2020;4(1):e1900105.
30. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, Bembien DA, Bembien MG. Effects of cuff width on arterial occlusion: Implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol* 112(8): 2903-2912, 2012.
31. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med.* mars 2015;45(3):313-25.
32. Counts BR, Dankel SJ, Barnett BE, et al: Influence of relative blood flow restriction pressure on muscle activation and muscle adaptation. *Muscle Nerve* 2016;53: 438-445.
33. Yasuda T, Loenneke JP, Ogasawara R, Abe T. Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity multiple sets of resistance exercise. *Acta Physiol Hung.* 2013 Dec;100(4):419-26.
34. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* janv 2019;49(1):95-108.
35. Dankel SJ, Jessee MB, Abe T, Loenneke JP. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sports Med.* janv 2016;46(1):23-33.

36. Umbel JD, Hoffman RL, Dearth DJ, Chleboun GS, Manini TM, Clark BC. Delayed-onset muscle soreness induced by low-load blood flow-restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Dec;107(6):687-95.
37. Abe, T., Fujita, S., Nakajima, T., Sakamaki, M., Ozaki, H., Ogasawara, R., et al. (2010a). Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO<sub>2</sub>max in young men. *J. Sports Sci. Med.* 9, 452–458.
38. Clarkson MJ, Conway L, Warmington SA. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *Journal of Science and Medicine in Sport.* déc 2017;20(12):1041-6.
39. Kubota A, Sakuraba K, Koh S, Ogura Y, Tamura Y. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. *J Sci Med Sport.* mars 2011;14(2):95-9.
40. Site OMS. (Page consultée le 15/12/2021). LIGNES DIRECTRICES DE L'OMS SUR L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET LA SÉDENTARITÉ, [en ligne].<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/337003/9789240014862-fre.pdf>
41. Westcott WL. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Curr Sports Med Rep.* 2012 Jul-Aug;11(4):209-16.
42. Kittilsen HT, Goleva-Fjellet S, Freberg BI, Nicolaisen I, Stoa EM, Bratland-Sanda S, Helgerud J, Wang E, Saebo M and Storen O. Responses to maximal strength training in different age and gender groups. *Front Physiol*, 2021.
43. Signorile JF. Resistance Training for Older Adults: Targeting Muscular Strength, Power, and Endurance. *ACSM'S Health & Fitness Journal.* sept 2013;17(5):24-32.
44. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med.* avr 2018;48(4):765-85.
45. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research.* déc 2017;31(12):3508-23.
46. Del Vecchio A, Casolo A, Negro F, Scorcelletti M, Bazzucchi I, Enoka R, Felici F, Farina D. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *J Physiol.* 2019 Apr;597(7):1873-1887.
47. Cook SB, Scott BR, Hayes KL, Murphy BG. Neuromuscular Adaptations to Low-Load Blood Flow Restricted Resistance Training. *J Sports Sci Med.* 2018 Mar 1;17(1):66-73.

48. Moghetti P, Bacchi E, Brangani C, Donà S, Negri C. Metabolic Effects of Exercise. *Front Horm Res.* 2016;47:44-57.
49. Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, K., et al. (2005c). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 1, 6–12.
50. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2016 Nov;46(11):1689-1697. doi: 10.1007/s40279-016-0543-8. PMID: 27102172.
51. Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, Newton RU, Galvão DA, Trajano GS, Teodoro JL, Kraemer WJ, Häkkinen K, Pinto RS. Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2021 Jun 1;53(6):1206-1216.
52. Nielsen, J. L., Aagaard, P., Bech, R. D., Nygaard, T., Hvid, L. G., Wernbom, M., et al. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. 2012. *J. Physiol.* 590, 4351–4361
53. Fujita, T., Brechue, W., Kurita, K., Sato, Y., and Abe, T. (2008). Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 4, 1–8.
54. Ladlow, P., Coppack, R. J., Dharm-Datta, S., Conway, D., Sellon, E., Patterson, S. D., et al. (2018). Low-load resistance training with blood flow restriction improves clinical outcomes in musculoskeletal rehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Front. Physiol.* 9:1269.
55. Kon M, Ikeda T, Homma T, et al. Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *J Strength Cond Res.* 2012;26(3):611–7.
56. Žargi T, Drobnič M, Stražar K, Kacin A. Short-Term Preconditioning With Blood Flow Restricted Exercise Preserves Quadriceps Muscle Endurance in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Front Physiol.* 2018;9:1150.
57. Kacin A, Strazar K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scand J Med Sci Sports.* déc 2011;21(6):e231-241.
58. Oliveira MFM de, Caputo F, Corvino RB, Denadai BS. Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 2016;26(9):1017-25.
59. Fukada SI, Nakamura A. Exercise/Resistance Training and Muscle Stem Cells. *Endocrinol Metab (Seoul).* 2021 Aug;36(4):737-744.

60. Pearson, Stephen John; Hussain, Syed Robiul (2015). A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, 45(2), 187–200.
61. Manini TM, Yarrow JF, Buford TW, Clark BC, Conover CF, Borst SE. Growth hormone responses to acute resistance exercise with vascular restriction in young and old men. *Growth Horm IGF Res.* 2012 Oct;22(5):167-72
62. Nielsen JL, Frandsen U, Prokhorova T, Bech RD, Nygaard T, Suetta C, et al. Delayed Effect of Blood Flow- restricted Resistance Training on Rapid Force Capacity. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(6):1157-67.
63. Rossi FE, de Freitas MC, Zanchi NE, Lira FS, Cholewa JM. The Role of Inflammation and Immune Cells in Blood Flow Restriction Training Adaptation: A Review. *Front Physiol.* 2018;9:1376.
64. Evans C, Vance S, Brown M. Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. *J Sports Sci.* juill 2010;28(9):999-1007.
65. Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116:749–757.
66. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, et al. Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International Journal of Kaatsu Training Research.* 1 janv 2006;2:5-13.
67. Patterson SD, Brandner CR: The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire- based survey. *J Sports Sci* 2018;36: 123-130.
68. Hughes L, Patterson SD, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, McCarthy D, et al. Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Phys Ther Sport.* sept 2019;39:90-8.
69. Brandner CR, Warmington SA. Delayed onset muscle soreness and perceived exertion following blood flow restriction exercise. *J Strength Cond Res.* 2017.
70. Brandner, C. R., May, A. K., Clarkson, M. J., & Warmington, S. A. Reported Side-effects and Safety Considerations for the Use of Blood Flow Restriction During Exercise in Practice and Research. *Techniques in Orthopaedics.* 2018; 33(2), 114-121.
71. Cabral BMI, Edding SN, Portocarrero JP, Lerma EV. Rhabdomyolysis. *Dis Mon.* 2020 Aug;66(8):101015.

72. Madarame H, Kurano M, Takano H, Iida H, Sato Y, Ohshima H, Abe T, Ishii N, Morita T, Nakajima T. Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010 May;30(3):210-3.
73. Nakajima T, Morita T, Sato Y. Key considerations when conducting KAATSU training. *Int J KAATSU Training Res*. 2011;7(1):1-6.
74. Ferreira MLV, Sardeli AV, Souza GVD, Bonganha V, Santos LDC, Castro A, et al. Cardiac autonomic and haemodynamic recovery after a single session of aerobic exercise with and without blood flow restriction in older adults. *J Sports Sci*. déc 2017;35(24):2412-20.
75. Letieri RV, Teixeira AM, Furtado GE, Lamboglia CG, Rees JL, Gomes BB. Effect of 16 weeks of resistance exercise and detraining comparing two methods of blood flow restriction in muscle strength of healthy older women: A randomized controlled trial. *Experimental Gerontology*. 1 déc 2018;114:78-86.
76. Wengle L, Migliorini F, Leroux T, Chahal J, Theodoropoulos J, Betsch M. The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2021 Aug
77. Cancio JM, Sgromolo NM, Rhee PC. Blood Flow Restriction Therapy after Closed Treatment of Distal Radius Fractures. *J Wrist Surg*. 2019 Aug;8(4):288-294.
78. Christian Clarenbach, et al. The Acute Cardiorespiratory Response to Blood-flow Restricted Versus Traditional Exercise Training Regimen. University of Zurich
79. LAU chung wai, et al. Effect of Blood Flow Restriction Resistance Exercises in COPDAE In-patient Rehabilitation. Hospital Authority, Hong Kong
80. Ahmet Gunes, et al. Blood Flow Restricted Exercise in Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). Medipol University, Turkey
81. Ahmet Gunes, et al. The Effect of Blood Flow Restricted Aerobic Exercise on Chronic Obstructive Pulmonary Patients. Medipol University, Turkey
82. GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19\_WMV.pdf [Internet]. [cité mars 2021]. Disponible sur: [https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19\\_WMV.pdf](https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19_WMV.pdf).
83. OMS | La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) [Internet]. WHO. [cité mars 2021]. Disponible sur: <https://www.who.int/respiratory/copd/fr/>
84. Global Initiative for Asthma (GINA) [Internet]. Global strategy for asthma prevention and management 2019. [Cité février 2022] <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2019/06/GINA-2019-main-report-June-2019-wms.pdf>

85. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (2018 Report). 2018.
86. Anzueto A, Miravittles M. Pathophysiology of dyspnea in COPD. *Postgrad Med.* 2017 Apr;129(3):366-374.
87. Site Santé publique France. (Page consultée le 05/03/2020). Epidémiologie BPCO, [en ligne]. <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-et-infections-respiratoires/bpco-et-insuffisance-respiratoire-chronique/documents/article/epidemiologie-descriptive-de-la-bronchopneumopathie-chronique-obstructive-bpco-en-france>
88. Labaki WW, Rosenberg SR. Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Ann Intern Med.* 2020 Aug 4;173(3):ITC17-ITC32.
89. Lange P, Ahmed E, Lahmar ZM, Martinez FJ, Bourdin A. Natural history and mechanisms of COPD. *Respirology.* 2021 Apr;26(4):298-321.
90. Site gold COPD. (Page consultée le 05/03/2020). Pocket Guide Final French, [en ligne]. <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2016/04/wms-GOLD-2017-Pocket-Guide-Final-French.pdf>
91. Site HAS. (Page consultée le 06/03/2020). Pertinence des soins BPCO, [en ligne]. [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-01/app\\_361\\_rapport\\_pertinence\\_bpco\\_cd\\_2019\\_11\\_20\\_v0.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-01/app_361_rapport_pertinence_bpco_cd_2019_11_20_v0.pdf)
92. Site INSERM. (Page consultée le 09/11/2021). Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) Une toux chronique et un essoufflement à ne pas négliger, [en ligne]. <https://www.inserm.fr/dossier/bronchopneumopathie-chronique-obstructive-bpco/>
93. Marques C, Guignard R, Quatremère G, Hochet M, Smadja O, Nguyen Thanh V. Évolution des connaissances de la bronchopneumopathie chronique obstructive après la campagne nationale du 31 mai 2019 : résultats d'une évaluation avant/après. Synthèse. Saint-Maurice : Santé publique France ; 2020. 8 p.
94. Cassady SJ, Reed RM. Pulmonary Hypertension in COPD: A Case Study and Review of the Literature. *Medicina (Kaunas).* 2019 Aug 2;55(8):432.
95. Rovina N, Koutsoukou A, Koulouris NG. Inflammation and immune response in COPD: where do we stand? *Mediators Inflamm.* 2013;2013:413735.
96. Barnes, Peter J. (2020). COPD 2020: new directions needed. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 319(5), L884–L886.
97. Reychler G, Roeseler J, Delguste P. Kinésithérapie respiratoire. Elsevier Masson, 2009. p187

98. Parshall MB, Schwartzstein RM, Adams L, Banzett RB, Manning HL, Bourbeau J, et al. An Official American Thoracic Society Statement: Update on the Mechanisms, Assessment, and Management of Dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 févr 2012;185(4):435-52.
99. Christian Préfaut, Grégory Ninot. *La Réhabilitation du malade respiratoire chronique*. Elsevier Masson, Mars 2009.
100. Rabe KF, Hurst JR, Suissa S. Cardiovascular disease and COPD: dangerous liaisons? *Eur Respir Rev*. 2018 Oct 3;27(149):180057.
101. Fiorentino G, Esquinas AM, Annunziata A. Exercise and Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). *Adv Exp Med Biol*. 2020;1228:355-368.
102. Marquis K, Debigare R, Lacasse Y, et al. Midthigh muscle cross-sectionnal area is a better predictor of mortality than body mass index in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002; 166:809-13.
103. Silva CMDSE, Gomes Neto M, Saquetto MB, Conceição CSD, Souza-Machado A. Effects of upper limb resistance exercise on aerobic capacity, muscle strength, and quality of life in COPD patients: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2018 Dec;32(12):1636-1644.
104. McKeough ZJ, Velloso M, Lima VP, Alison JA. Upper limb exercise training for COPD. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016 Nov 15;11(11):CD011434.
105. Janaudis-Ferreira, Tania; Hill, Kylie; Goldstein, Roger S.; Robles-Ribeiro, Priscila; Beauchamp, Marla K.; Dolmage, Thomas E.; Wadell, Karin; Brooks, Dina (2011). Resistance Arm Training in Patients With COPD. *Chest*, 139(1), 151–158.
106. Couillard A, Veale D1, Muir J-F1. Les comorbidités dans la BPCO : un nouvel enjeu en pratique clinique. *Revue de pneumologie clinique*. 2011 Juin, Vol 67, Num 3, pp 143-15
107. Reilly CC, Bausewein C, Garrod R, Jolley CJ, Moxham J, Higginson IJ. Breathlessness during daily activity: The psychometric properties of the London Chest Activity of Daily Living Scale in patients with advanced disease and refractory breathlessness. *Palliat Med*. oct 2017;31(9):868-75.
108. Beaumont M, Kerautret G, Peran L, Pichon R, Le Ber C, Cabillic M. Reproductibilité de la mesure de la force et de l'endurance du quadriceps dans la BPCO. *Revue des Maladies Respiratoires*. nov 2017;34(9):1000-6.
109. Jouneau S, Dres M, Guerder A, Bele N, Bellocq A, Bernady A, et al. Management of acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Guidelines from the Société de pneumologie de langue française (summary). *Revue des Maladies Respiratoires*. avr 2017;34(4):282-322.



110. Beaumont M , Reychler G, Le Ber-Moy C, Peran L . Effet d'un programme de réhabilitation respiratoire selon la sévérité de la BPCO. *Rev Mal Respir*. 2011 mar ; 28 : 297-305.
111. Annegarn J, Meijer K, Passos VL, Stute K, Wiechert J, Savelberg HH, Schols AM, Wouters EF, Spruit MA; Ciro+ Rehabilitation Network. Problematic activities of daily life are weakly associated with clinical characteristics in COPD. *J Am Med Dir Assoc*. 2012 Mar;13(3)
112. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie, la Revue*. 1 janv 2015;15(157):39-44.
113. Échelle PEDro [Internet]. PEDro. [cité 23 oct 2021]. Disponible sur: <https://staging-pedro.neura.edu.au/french/resources/pedro-scale/>
114. Fernandes DZ, Weber VMR, da Silva MPA, de Lima Stavinski NG, de Oliveira LEC, Casoto Tracz EH, et al. EFFECTS OF BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING ON HANDGRIP STRENGTH AND MUSCULAR VOLUME OF YOUNG WOMEN. *Int J Sports Phys Ther*. déc 2020;15(6):901-9.
115. Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Upper-extremity blood flow restriction: the proximal, distal, and contralateral effects-a randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg*. juin 2020;29(6):1267-74.
116. Sugiarto D, Andriati A, Laswati H, Kimura H. Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training. *Bali Med J*. 1 mai 2017;6(2):251.
117. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Bembem MG, Abe T. Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow-restricted low-intensity resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging*. sept 2011;31(5):347-51.
118. Lambert B, Hedt C, Daum J, Taft C, Chaliki K, Epner E, et al. Blood Flow Restriction Training for the Shoulder: A Case for Proximal Benefit. *Am J Sports Med*. août 2021;49(10):2716-28.
119. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y, Abe T. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol*. oct 2011;111(10):2525-33.
120. Farup J, de Paoli F, Bjerg K, Riis S, Ringgard S, Vissing K. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*. déc 2015;25(6):754-63.

121. Buckinx F, Croisier JL, Reginster JY, Dardenne N, Beudart C, Slomian J, Leonard S, Bruyère O. Reliability of muscle strength measures obtained with a hand-held dynamometer in an elderly population. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2017 May;37(3):332-340.
122. Solier A, Boichat V. Fiabilité intra- et inter-examineurs du dynamomètre MicroFET2 pour la flexion et l'abduction de l'épaule : une étude transversale avec répétition des mesures. Bachelor of science HES-SO in Physiotherapy. 2016 juin.
123. Hogrel JY, Payan CA, Ollivier G, Tanant V, Attarian S, Couillandre A, Dupeyron A, Lacomblez L, Doppler V, Meininger V, Tranchant C, Pouget J, Desnuelle C. Development of a French isometric strength normative database for adults using quantitative muscle testing. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007 Oct;88(10):1289-97.
124. Éloïse Charoy. Influence du ré-entraînement à l'effort des membres supérieurs sur la dyspnée chez les patients atteints de BPCO. *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2017.
125. Kendrick KR, Baxi SC, Smith RM. Usefulness of the modified 0-10 Borg scale in assessing the degree of dyspnea in patients with COPD and asthma. *J Emerg Nurs*. 2000 Jun;26(3):216-22.
126. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. mars 2009;41(3):687-708.
127. Takeda K, Kawasaki Y, Yoshida K, Nishida Y, Harada T, Yamaguchi K, Ito S, Hashimoto K, Matsumoto S, Yamasaki A, Igishi T, Shimizu E. The 6-minute pegboard and ring test is correlated with upper extremity activity of daily living in chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2013;8:347-51.
128. Amélia de Parscau Du Plessix. Détermination de la différence minimale importante (DMI) du questionnaire LCADL (London Chest Activity of Daily Living scale) pour des patients BPCO sévère à très sévère suivant un programme de réhabilitation respiratoire : analyse post-hoc. *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2020.
129. Spieth PM, Kubasch AS, Penzlin AI, Illigens BM, Barlinn K, Siepmann T. Randomized controlled trials - a matter of design. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2016 Jun 10;12:1341-9.
130. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ*. 2009 Jul 21;339:b2535.
131. Begley CG, Ioannidis JP. Reproducibility in science: improving the standard for basic and preclinical research. *Circ Res*. 2015 Jan 2;116(1):116-26.

132. Miranda EF, Malaguti C, Marchetti PH , et al. Upper and Lower Limb Muscles in Patients With COPD: Similarities in Muscle Efficiency But Differences in Fatigue Resistance. *Respiratory Care* January 2014, 59 (1) 62-69.
133. Calik-Kutukcu E, Arikan H, Saglam M, Vardar-Yagli N, Oksuz C, Inal-Ince D, Savci S, Duger T, Coplu L. Arm strength training improves activities of daily living and occupational performance in patients with COPD. *Clin Respir J*. 2017 Nov;11(6):820-832.
134. Spranger MD, Krishnan AC, Levy PD, O’Leary DS, Smith SA: Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: A call for concern. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2015;309: H1440-H1452.
135. Robert S. Thiebaud, Jeremy P. Loenneke, Takashi Abe. COPD and muscle loss: is blood flow restriction a potential treatment? *Journal of Trainology* janvier 2014.
136. Christian F Clarenbach, Dario Kohlbrenner. Low-load Blood Flow Restriction Training in COPD (LL-BFRT COPD). University of Zurich

## **ANNEXES**

Annexe I : Echelle PEDro .....	II
Annexe II : Score PEDro articles évalués en texte intégral .....	III
Annexe III : Caractéristiques des études .....	IV
Annexe IV : Synthèse des résultats des études .....	V
Annexe V : Vue d'ensemble des protocoles .....	VI
Annexe VI : Echelle de Borg modifiée .....	VII
Annexe VII : Questionnaire LCADL .....	VIII
Annexe VIII : Plateau du 6 minutes pegboard and ring test, décrit dans l'étude de Charoy et al [124] .....	IX
Annexe IX : Document d'information et de consentement .....	X
Annexe X : Notice d'information de l'étude .....	XI
Annexe XI : Photo du BFR Defli Medical Innovation® .....	XII
Annexe XII : Tableau du fabricant Defli medical® sur le choix du brassard occlusif ..	XII
Annexe XIII : Mise en place BFR au membre supérieur .....	XII
Annexe XIV : Tableau du risque de biais des études sélectionnées .....	XIII

## Annexe I : Echelle PEDro

### Échelle PEDro – Français

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

## Annexe II : Score PEDro articles évalués en texte intégral

références	PEDRO											FINANCEME- ESTIMATION	TOTAL	
	CRITERES	PEDRO			INDICATEUR	SUJET	THERAPEUT	EXAMINATE	CRITERE	TTT RECU	INTERGROU			ESTIMATION
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
EUGIBILITE	RANDOMISA	REPARTITIO	INDICATEUR	SUJET	THERAPEUT	EXAMINATE	CRITERE	TTT RECU	INTERGROU	ESTIMATION	ESTIMATION	TOTAL		
1. Farup J, de Paoli F, Bjerg K, Riis S, Ringgaard S, Vissing K. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. <i>Scand J Med Sci Sports</i> . déc 2019;51(12):2288-94.	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	5
2. Cancio JM, Sgromolo NM, Rhee PC. Blood Flow Restriction Therapy after Closed Treatment of Distal Radius Fractures. <i>J Wrist Surg</i> . août 2019;8(4):268-94.		1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	4	
3. Lambert B, Hedd C, Daum J, Tafel G, Chaliki K, Eaner E, et al. Blood Flow Restriction Training for the Shoulder: A Case for Proximal Benefit. <i>Am J Sports Med</i> . août 2021;49(10):2716-28.		1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6	
1. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y, Abe T. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. <i>Eur J Appl Physiol</i> . oct 2011;111(10):2525-33.		1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6	
3. Kim J, Lang JA, Pilania N, Franke WD. Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults. <i>Experimental Gerontology</i> 2017 Dec 1;99:127-132. 2017;		0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4	
1. Fernandes DZ, Weber VMR, da Silva MPA, de Lima Stavinski NG, de Oliveira LEC, Casoto Tracz EH, et al. EFFECTS OF BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING ON HANDGRIP STRENGTH AND MUSCULAR VOLUME OF YOUNG WOMEN. <i>Int J Sports Phys Ther</i> . déc 2020;15(6):901-9.		1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	6	
1. Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. <i>Clin Physiol Funct Imaging</i> . sept 2010;30(5):338-43.		0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4	
1. Ramis TR, Muller CH de L, Boeno FP, Teixeira BC, Rech A, Pompermayer MG, et al. Effects of Traditional and Vascular Restricted Strength Training Program With Equalized Volume on Isometric and Dynamic Strength, Muscle Thickness, Electromyographic Activity, and Endothelial Function Adaptations in Young Adults. <i>J Strength Cond Res</i> . mars 2020;34(3):689-98.		1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	4	
1. Chen N, He X, Zhao G, Liu L, Ainsworth BE, Liu Y, et al. Efficacy of low-load resistance training combined with blood flow restriction vs. high-load resistance training on sarcopenia among community-dwelling older Chinese people: study protocol for a 3-arm randomized controlled trial. <i>Trials</i> . déc 2021;22(1):518.		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
1. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Bemben MG, Abe T. Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow-restricted low-intensity resistance training. <i>Clin Physiol Funct Imaging</i> . sept 2011;31(5):347-51.		0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5	
1. Copithorne DB, Rice CL. The effect of blood flow occlusion during acute low-intensity isometric elbow flexion exercise. <i>Eur J Appl Physiol</i> . mars 2019;119(3):587-95.		0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4	
1. Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Upper-extremity blood flow restriction: the proximal, distal, and contralateral effects—a randomized controlled trial. <i>J Shoulder Elbow Surg</i> . juin 2020;29(6):1267-74.		1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8	
1. Sugiarto D, Andriati A, Laswati H, Kimura H. Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training. <i>Baill Med J</i> . 1 mai 2017;6(2):251.		1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6	

### Annexe III : Caractéristiques des études

Auteurs	Design étude	Nombre de patients	Groupes	Mouvement(s)	Paramètres évalués
<b>Lambert et al 2021</b>	Essai contrôlé randomisé	32	- LJ-BFR - LI-RT	<u>Epaule :</u> - rotation externe - rotation interne - scaption	- Force musculaire (MicroFet) - Endurance Musculaire (MicroFet) - Activité musculaire (EMG) - Volume musculaire (DEXA Scan)
<b>Bowman et al 2020</b>	Essai contrôlé randomisé	24	- LJ-BFR - LI-RT	<u>Epaule :</u> - rotation externe - rotation interne - Abduction Coudé : - Flexion - Extension	- Force musculaire (isocinétisme : RE RI épaule) (MicroFet : scaption, abduction, flexion, préhension) - Volume musculaire (centimétrie)
<b>Sugiarto et al 2017</b>	Essai contrôlé randomisé	18	- HI-RT - LJ-BFR - LI-RT	Coudé : - Flexion	- Force musculaire (machine à poulie de mesure EN-TreeM) + Cybex isocinétisme - Volume musculaire (centimétrie) - Body mass Index
<b>Fernandes et al 2020</b>	Essai contrôlé randomisé	28	- LJ-BFR - HI-RT	Main : - Préhension	- Force préhension (MicroFet) - Volume musculaire (centimétrie) - BMI (kg/m2)
<b>Yasuda et al sept 2011</b>	Essai contrôlé randomisé	30	- HI-RT - LJ-BFR - CON	<u>Epaule :</u> - Développé couché	- Force musculaire (Force dynamique maximale (1-RM)) - Volume musculaire (IRM)
<b>Yasuda et al oct 2011</b>	Essai contrôlé randomisé	40	- HI-RT - LJ-BFR - HI-RT + LJ-BFR - CON	<u>Epaule :</u> - Développé couché	- Force musculaire : Bench press (Force dynamique maximale (1-RM) + épaule (biodes isocinétisme) - Volume musculaire (IRM) - Activation musculaire (EMG) - Evaluation de l'effort perçu (Borg)
<b>Farup et al 2015</b>	Essai contrôlé randomisé	10	- LL-BFR - LI-RT	Coudé : - Flexion	- Force musculaire (MicroFet) - Fatigue musculaire (Ultrasound et VAS) - Volume musculaire (IRM) - Volume eau intra muscle (IRM) - Activité musculaire (EMG)

LJ-BFR = Low Intensity - Blow Flow Restriction (Basse intensité BFR) ; HI-RT = High intensity - Resistance Training (Entraînement charge lourde) ; LI-RT = Low Intensity - Resistance Training (entraînement charge légère) ; CON = Control group (groupe contrôle) ; LOP = Limb Occlusion Pressure (Pression d'occlusion des membres) ; Isomax = Isometric Maximal (charge maximale isométrique) ; 1RM = 1 répétition maximale ; IRM = Image par Résonance Magnétique ; EMG = Electromyographic ; VAS = Visual Analogique Scale (Echelle visuelle analogique)

Annexe IV : Synthèse des résultats des études

Auteurs	Force musculaire	Volume musculaire	Réponse perceptuelle	Activation musculaire
<i>Lambert et al 2021</i>	+ LI-BFR (RI) NS	++ Epaule LI-BFR + Bras LI-BFR	/	++ BFR (scaption/RE/RI)
<i>Bowman et al 2020</i>	++ LI-BFR + LI-RT	++ LI-BFR Bras + LI-BFR avant bras (+) contro bras	EVA 7/8	/
<i>Sugiarto et al 2017</i>	+++ LI-BFR ++ HI-RT + LI-RT	++ HI-RT ++ LI-BFR + LI-RT	/	/
<i>Fernandes et al 2020</i>	NS	++ LI-BFR + HI-RT	/	/
<i>Yasuda et al sept 2011</i>	+++ HI-RT ++ LI-BFR + CON	++ HI-RT + LI-BFR 0 CON	/	/
<i>Yasuda et al oct 2011</i>	+++ HI-RT et C-RT ++ LI-BFR - CON	++ HI-RT et CRT + LI-BFRT - CON	+ HI-RT - LI-BFR	/
<i>Farup et al 2015</i>	++ LI-BFR ++ LI-RT	++ LI-BFR ++ LI-RT	/	15 reps LI-BFR = 60 reps LI-RT

LI-BFR = Low Intensity - Blow Flow Restriction (Basse intensité BFR) ; HI-RT = High intensity - Resistance Training (Entraînement charge lourde) ; LI-RT = Low Intensity - Resistance Training (entraînement charge légère) ; CON = Control group (groupe contrôle) ; RE= Rotation externe (épaule) ; RI = Rotation Interne (épaule) ; Scaption = Abduction plan de la scapula ; EVA = Echelle Visuelle Analogique



Annexe V : Vue d'ensemble des protocoles

Auteurs	Durée	Brassard	BFR	Pression occlusion	Protocole BFR	Protocole RT
<i>Lambert et al 2021</i>	8 semaines (2x semaine)	Manchon protection Brassard nylon Delfi (11,5 cm de large)	Système de garrat personnalisé Delfi®	50% LOP	20% Isomax 75 Reps 30s (30 . 15 . 15 . 15)	20% Isomax 75 Reps 30s (30 . 15 . 15 . 15)
<i>Bowman et al 2020</i>	6 semaines (2x semaine)	Brassard nylon Delfi (11,5 cm de large)	Système de garrat personnalisé Delfi®	60% LOP	30% IRM 75 Reps 30s (30 . 15 . 15 . 15)	30% IRM 75 Reps 30s (30 . 15 . 15 . 15)
<i>Sugiarto et al 2017</i>	5 semaines (2x semaine)	Brassard élastique Kaatsu-Master (13cm large)	KAATSU® master	50 mmHg	30% IRM 75 Reps 30s (30 . 15 . 15 . 15)	70% IRM 36 reps 2 min (12 . 12 . 12)
<i>Fernandes et al 2020</i>	4 semaines (3x semaine)	NR	Manomètre ClinicArm WCS®	160 mmHg	35% - 55% IRM Echec musculaire 30 sec (3 x 15 - 25 reps)	70% IRM Echec musculaire 1 min (10 . 10 . 10)
<i>Yasuda et al sept 2011</i>	6 semaines (3x semaine)	Brassard élastique Kaatsu-Master (13cm large)	KAATSU® master	100-160 mmHG	30% IRM 75 Reps 30s (30 . 15 . 15 . 15)	75% IRM 30 Reps 3min (10 . 10 . 10)
<i>Yasuda et al oct 2011</i>	6 semaines (3x semaine)	Brassard élastique Kaatsu-Master (13cm large)	KAATSU® master	100-160 mmHG	30% IRM 75 Reps 30s (30 . 15 . 15 . 15)	75% IRM 30 Reps 3min (10 . 10 . 10)
<i>Farup et al 2015</i>	6 semaines (3x semaine)	Brassard élastique VBM (8cm large)	Digital tourniquet 9000®	100mmHg	40% IRM Echec musculaire 30s (X . X . X . X)	40% IRM Echec musculaire 30s (X . X . X . X)

LI-BFR = Low Intensity - Blow Flow Restriction (Basse intensité BFR) ; HI-RT = High Intensity - Resistance Training (Entraînement charge lourde) ; LI-RT = Low Intensity - Resistance Training (entraînement charge légère) ; CON = Control group (groupe contrôle) ; LOP = Limb Occlusion Pressure (Pression d'occlusion des membres) ; Isomax = Isometric Maximal (charge maximale isométrique) ; IRM = 1 répétition maximale ;

Annexe VI : Echelle de Borg modifiée

<b>Évaluation</b>	<b>Intensité de la sensation de dyspnée</b>
0	Rien
0.5	Très, très légère
1	Très légère
2	Légère
3	Modérée
4	Un peu forte
5	Forte
6	
7	Très forte
8	
9	Très, très forte
10	Maximale

## Annexe VII : Questionnaire LCADL

### L'échelle respiratoire londonienne des activités de la vie quotidienne

Nom, prénom : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_  
Date de naissance : \_\_\_\_\_  
Vivez-vous seul(e) : oui  non

**Veillez lire attentivement et entourez le chiffre correspondant pour chaque activité.**

Ce questionnaire est conçu pour déterminer les activités que vous ne pouvez plus faire à cause de votre essoufflement, et pour connaître l'intensité de votre essoufflement pour celles que vous faites toujours. Toutes vos réponses resteront confidentielles.

Si une activité ne s'applique pas à votre quotidien ou que vous ne l'avez jamais faite, veuillez répondre :

**0 : je ne le ferais pas de toute façon**

Si l'activité est facilement réalisable pour vous, veuillez répondre :

**1 : ça ne m'essouffle pas**

Si l'activité vous essouffle un peu, veuillez répondre :

**2 : je suis modérément essoufflé(e)**

Si l'activité vous essouffle beaucoup, veuillez répondre :

**3 : je suis très essoufflé(e)**

Si vous ne pouvez plus réaliser une activité à cause de votre essoufflement et *que vous n'avez personne pour le faire à votre place*, répondez :

**4 : je ne peux plus le faire**

Si quelqu'un d'autre fait une activité à votre place ou vous aide PARCE QUE vous êtes trop essoufflé(e) (par exemple : l'aide-ménagère vous aide à faire vos courses), veuillez répondre :

**5 : j'ai besoin de quelqu'un pour le faire**

Indiquez-nous à quel point vous étiez essoufflé(e) ces derniers jours durant la pratique des activités suivantes :

#### SOINS PERSONNELS :

Se sécher	0	1	2	3	4	5
S'habiller (le haut du corps)	0	1	2	3	4	5
Mettre ses chaussettes, ses chaussures	0	1	2	3	4	5
Se laver les cheveux	0	1	2	3	4	5

#### TACHES MENAGERES:

Faire son lit	0	1	2	3	4	5
Changer les draps	0	1	2	3	4	5
Laver les carreaux/les rideaux	0	1	2	3	4	5
Faire le ménage/faire les poussières	0	1	2	3	4	5
Laver la vaisselle	0	1	2	3	4	5
Passer l'aspirateur, balayer	0	1	2	3	4	5

#### ACTIVITES PHYSIQUES :

Monter les escaliers	0	1	2	3	4	5
Se pencher en avant	0	1	2	3	4	5

#### LOISIRS :

Marcher dans la maison	0	1	2	3	4	5
Mener une vie sociale	0	1	2	3	4	5
Parler	0	1	2	3	4	5

Dans quelle mesure votre respiration limite-t-elle vos activités habituelles de la vie quotidienne ?

Beaucoup  un peu  pas du tout

CH des Pays de Morlaix – Service de réhabilitation respiratoire

Annexe VIII : Plateau du 6 minutes pegboard and ring test, décrit dans l'étude de Charoy et al [124]





# Annexe X : Notice d'information de l'étude

BFR et BPCO

## NOTICE D'INFORMATION

Intérêt de la technique "BFR" lors du renforcement musculaire des membres supérieurs chez les patients atteints de BPCO.

**Investigateur:**  
Kevin LE PEVEDIC  
Adresse mail: kevinlepev@gmail.com  
Numéro de téléphone: 0659723079

**Encadrement:**  
Mr Loïc Peran  
Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Brest  
- 22 Rue Camille Desmoulins 29200 Brest  
- 02-98-01-79-75

Madame, Monsieur

Nous vous proposons de participer à une étude qui consiste à mettre en place un renforcement par **Blood Flow restriction** ou **BFR** dans le cadre de votre pathologie BPCO. L'objectif de l'étude étant d'évaluer son efficacité en comparaison au traitement conventionnel de réadaptation respiratoire.

Avant de décider de participer à cette étude il est important pour vous d'en comprendre l'objectif ainsi que ces implications. Prenez le temps de lire consciencieusement les informations suivantes, et d'en discuter avec vos proches. Si toutefois certains points manquent de clarté ou si vous avez besoin d'informations complémentaires, n'hésitez pas à en parler avec votre médecin. Vous pouvez prendre tout le temps nécessaire pour décider si vous souhaitez participer ou non à l'étude.

Si vous décidez de participer à cette recherche, on vous demandera de signer un formulaire de consentement. Cette signature confirmera que vous êtes d'accord pour participer à cette étude.

## 1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Page 1 sur 5

BFR et BPCO

La restriction du flux sanguin revêt plusieurs noms ; Blood Flow Restriction, Kaastu training, ou encore entraînement par occlusion. C'est une méthode d'entraînement, appliquant une occlusion vasculaire réglable, qui limite en partie l'afflux artériel, et totalement le retour veineux. Dans cette étude, le dispositif est automatisé et permet de réguler en temps réel le niveau d'occlusion, assurant ainsi la sécurité du dispositif. De plus, la technique a été étudiée chez les athlètes, les patients en post chirurgie orthopédique, mais aussi chez une population âgée de patient.

Le principe de base du dispositif est de diminuer les charges de travail lors d'un renforcement musculaire, tout en garantissant des résultats comparables à un entraînement avec des charges lourdes. Cette méthode peut alors être une option dans le renforcement de ces patients, dont la charge de travail importante peut être limitante. Il deviendrait un outil intéressant dans la rééducation de cette pathologie, notamment pour des patients non répondant à la réadaptation actuellement en place.

La pathologie BPCO entraîne une dyspnée dans les activités de la vie quotidienne. Les tâches sont alors réduites et une amyotrophie peut s'installer progressivement. L'un des objectifs de la réhabilitation respiratoire est de lutter contre celle-ci à l'aide d'un renforcement musculaire. Le BFR pourrait alors être un dispositif diminuant la charge de travail tout en assurant un renforcement efficace.

Il semble donc intéressant de réaliser une étude mettant en place ce protocole dans le cadre d'une pathologie BPCO. En effet l'idée d'un dispositif de renforcement efficace tout en diminuant la charge de travail peut constituer un nouvel outil pour le programme de réadaptation respiratoire.

## 2. OBJECTIF ET DESCRIPTION DE L'ÉTUDE

Le critère d'évaluation principal est la force maximale du membre supérieur. Il sera évalué à plusieurs temps du protocole afin d'apprécier son évolution.

Des objectifs secondaires seront également visés comme la mesure de la dyspnée à l'effort, ainsi que l'amélioration de l'impact de la dyspnée dans la vie quotidienne. Ces deux points seront évalués respectivement par une échelle de Borg modifiée et par la réalisation d'un auto-questionnaire, le London Chest Acticity of Daily Living (LCADL).

L'étude nécessite la participation de plusieurs sujets. Pour intégrer ces patients différents critères doivent être remplis:

- Capacité à participer à un programme de réhabilitation respiratoire
- Diagnostic de BPCO légère à très sévère selon les critères GOLD
- Age de plus de 18 ans

Page 2 sur 5

BFR et BPCO

Les critères de non-inclusion sont les suivants:

- Score  $\geq 4$  à la grille d'évaluation des profils à risques (Figure 1)
- Non-francophone (empêchant le consentement éclairé)
- Troubles mentaux
- Douleurs articulaires du membre supérieur
- Chirurgie récente du membre supérieur
- Critères médicaux contre indiquant la réalisation d'un entraînement sous BFR :
- Hypertension artérielle (TA  $> 180/100$ ) ou Pression artérielle systolique au repos  $> 160$  mmHg
- Antécédents de Thrombose veineuse au membre supérieur ou inférieur
- Antécédents de maladie vasculaire périphérique
- Insuffisance cardiaque
- Cliffe vasculaire
- Blessures des tissus mous

La durée moyenne d'une inclusion est estimée à 1 heure 30

### 3. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE

L'étude se déroule sur une durée de 8 semaines. Le déroulement de l'étude se fait 3 étapes, une première étape de prise de mesure kinésithérapique durant une dizaine de jours. La deuxième étape correspond à la réalisation de la réhabilitation respiratoire sur 2 mois avec l'entraînement des membres supérieurs. Enfin, la dernière étape consiste à reprendre les mesures dans les mêmes conditions que la phase 1.

Pour chaque session, trois séances au centre de réadaptation respiratoire, se succèdent à chaque participant.

### 4. RISQUE POTENTIELS DE L'ÉTUDE

Dans cette étude l'utilisation du BFR ne présente pas plus de risque qu'une séance renforcement musculaire nécessitant de soulever des charges lourdes. La tension artérielle et la fréquence cardiaque seront surveillées durant les exercices. Les douleurs musculaires sont possibles après utilisation, mais disparaissent rapidement.

### 5. BÉNÉFICES POTENTIELS DE L'ÉTUDE

Bénéfice personnel kinésithérapique: cette étude peut vous permettre d'améliorer votre force musculaire sur le membre supérieur. Mais également de diminuer la dyspnée ressentie par l'utilisation de vos bras et ainsi permettre l'amélioration des capacités d'utilisation de votre membre supérieur.

Page 3 sur 5

BFR et BPCO

Bénéfice collectif: cette étude permettra de montrer l'intérêt du BFR dans un programme de réhabilitation respiratoire. Il montrera l'impact du dispositif sur la dyspnée et le renforcement du membre supérieur.

### 6. PARTICIPATION VOLONTAIRE

Votre participation à cette étude est entièrement volontaire.

Vous êtes libre de refuser d'y participer ainsi que de mettre un terme à votre participation à l'étude à n'importe quel moment, sans encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice de ce fait et sans que cela n'entraîne de conséquences sur la qualité des soins qui vous seront prodigués.

Dans ce cas, vous devez informer le kinésithérapeute investigateur de votre décision. Dans le cas où vous n'avez votre consentement pour votre participation à l'étude, nous continuerons à utiliser les données obtenues sur la base du consentement éclairé exprimé sauf opposition ou demande d'effacement écrite de votre part. (Article L.1122-1-1 du code de la Santé Publique)

Aucune indemnisation n'est prévue pour les sujets participant à la recherche.

Durant l'étude, vous serez averti(e) par votre kinésithérapeute investigateur, si des faits nouveaux pourraient affecter votre volonté de participer à l'étude.

### 7. OBTENTION D'INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Si vous le souhaitez, le kinésithérapeute investigateur ou Mr Loïc Peran, kinésithérapeute au centre de réhabilitation respiratoire de Morlaix, que vous pourrez joindre à l'adresse mail suivante: loic.peran@gmail.com, pourra répondre à toutes vos questions concernant cette étude.

À l'issue de l'étude et à votre demande, vous pourrez être informé(e) des résultats globaux de la recherche par votre kinésithérapeute investigateur.

### 8. PROTECTIONS DES DONNÉES

L'ensemble des données recueillies seront utilisées dans le seul but de répondre à l'objectif de l'étude. Ces données appartiennent au cadre du secret professionnel et ne seront donc en aucun cas utilisées à d'autres fins.

Vous disposez d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptible d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Page 4 sur 5

BFR et BPCO

Vous disposez également d'un droit d'accès, de rectification, d'effacement et de limitation des informations figurant dans ce traitement.

Ces droits s'exercent auprès du kinésithérapeute qui vous suit dans le cadre de la recherche et qui connaît votre identité.

Si vous acceptez de participer à cette étude, merci de compléter et de signer le formulaire de recueil de consentement. Nous conservons cette note d'information.

Page 5 sur 5

Annexe XI : Photo du BFR Defli Medical Innovation®



Annexe XII : Tableau du fabricant Defli medical® sur le choix du brassard occlusif



Annexe XIII : Mise en place BFR au membre supérieur



Annexe XIV : Tableau du risque de biais des études sélectionnées

	Biais de sélection	Biais de classement	Biais de confusion
<i>Lambert et al 2021</i>	● Faible risque	● Risque modéré	● Faible risque
<i>Bowman et al 2020</i>	● Faible risque	● Risque modéré	● Faible risque
<i>Sugiarto et al 2017</i>	● Faible risque	● Risque modéré	● Faible risque
<i>Fernandes et al 2020</i>	● Risque modéré	● Risque modéré	● Faible risque
<i>Yasuda et al sept 2011</i>	● Faible risque	● Risque modéré	● Faible risque
<i>Yasuda et al oct 2011</i>	● Faible risque	● Risque modéré	● Faible risque
<i>Farup et al 2015</i>	● Risque modéré	● Faible risque	● Haut risque

Faible risque
  Risque modéré
  Haut risque



LE PEVEDIC  
Kevin

**Intérêt de la technique « BFR » lors du renforcement musculaire des membres supérieurs chez les patients atteints de BPCO : Revue de littérature et protocole**

**Background:** Patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) suffer from dyspnea, resulting in progressive physical deconditioning. One purpose of a respiratory rehabilitation program (RRP) is to reduce perceived exertion while providing effective strengthening. The use of BFR allows a reduction in workload, with results similar to those of traditional training. The purpose of this study is to investigate the value of BFR on the upper limb for COPD patients in a respiratory rehabilitation program. **Methods:** A review of the literature was performed. Pubmed, PEDro, and Cochrane Library databases were searched. 7 studies were included following a PRISMA selection. **Results:** Out of 545 studies, 7 randomized controlled trials were included after searching the databases. Benefits in terms of strength, hypertrophy and perceived exertion were observed. However, no studies addressed the conditions of COPD. Therefore, a research protocol was conducted focusing on the effects of BFR on the upper extremity. **Conclusion:** The literature, in a healthy population, shows that BFR improves strength and hypertrophy, but the studies are heterogeneous. BFR seems to be interesting in a pulmonary rehabilitation program for COPD patients. This pilot study protocol could be implemented to trend the upper limb in a future thesis.

**Contexte:** Les patients atteints de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) souffrent de dyspnée, ce qui entraîne un déconditionnement physique progressif. L'un des objectifs d'un programme de réadaptation respiratoire (PRR) est alors de diminuer l'effort perçu, tout en assurant un renforcement efficace. L'utilisation du BFR permet une réduction de la charge de travail, avec des résultats similaires à ceux d'un entraînement traditionnel. Ce mémoire a pour but, d'étudier l'intérêt du BFR sur le membre supérieur pour les patients BPCO dans un programme de réadaptation respiratoire. **Méthodes:** Une revue de la littérature a été réalisée. Les bases de données Pubmed, PEDro, et Cochrane Library ont été interrogées. 7 études ont été incluses à la suite d'une sélection PRISMA. **Résultats:** Sur 545 études, 7 essais contrôlés randomisés ont été inclus après recherche dans les bases de données. Des bénéfices en termes de force, d'hypertrophie et d'effort perçu sont observés. Cependant, aucune étude ne s'intéresse aux conditions de la BPCO. Par conséquent, un protocole de recherche a été mené en s'intéressant aux effets du BFR sur le membre supérieur. **Conclusion:** La littérature, sur une population saine, montre que le BFR améliore la force et l'hypertrophie, mais les études sont hétérogènes. Le BFR semble être intéressant dans un programme de réadaptation pulmonaire pour des patients atteints de BPCO. Ce protocole d'étude pilote pourrait être mis en œuvre afin de donner une tendance sur le membre supérieur, dans un futur mémoire.

KEYWORDS : COPD - pulmonary rehabilitation - blood flow restriction - upper limb

MOTS CLES : BPCO - Réadaptation respiratoire - blood flow restriction - membre supérieur

INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE

22 avenue Camille Desmoulins 292380 BREST CEDEX 3

TRAVAIL ECRIT DE FIN D'ETUDE - Juin 2022